

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECANICA

OTIMIZAÇÃO DE MASSAS CERÂMICAS GRÉS
UTILIZANDO A METODOLOGIA TAGUCHI

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECANICA

MILTON LUIZ HORN VIEIRA

FLORIANÓPOLIS, AGOSTO DE 1991

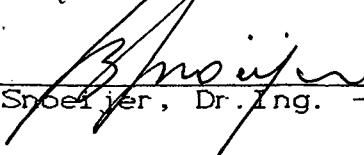
OTIMIZAÇÃO DE MASSAS CERÂMICAS GRÉS UTILIZANDO A METODOLOGIA TAGUCHI

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

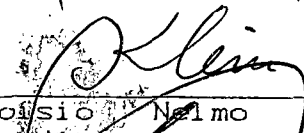
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO FABRICAÇÃO
MECÂNICA, APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECANICA


Prof. Orestes Estevam Alarcon, Dr. Eng. - Orientador


Prof. Berend Spoeljer, Dr. Ing. - Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Orestes Estevam Alarcon, Dr. Eng. - Presidente


Prof. Aloisio Nelmo Klein, Dr. Ing.


Prof. Sergio Luiz Gargioni, M. Sc.

A meus pais, Valdir~~na~~e Eunice,
e ao Prof. Aloisio^oN₃ Klein

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Orestes Estevam Alarcon, pela orientação e pelo apoio concedido na execução dessa dissertação.

Aos colegas do LABMAT/EMC - UFSC, pela atenção e pelo auxílio na realização de ensaios, em particular aos colegas Carlos D. L. Yukimura, Gilson R. Bosa e Ivens Wagner de Abreu Jr. pelo apoio no trabalho experimental.

Ao Professor Arno Blass (UFSC), à Professora Ingeborg Kühn Arroyo (UFSC), ao Dr. Marcio Fortes de Barros e ao Engenheiro Químico Edgar E. Mass Merialdi (Cerâmica Portobello) pelas sugestões e discussões realizadas.

Aos Engenheiros Sérgio Luiz Gargioni, Celso Joaquim de Oliveira e Edgardo Alves da Cerâmica Portobello, por todo apoio na realização da parte experimental do trabalho.

À Cerâmica Portobello pelo suporte financeiro e pela utilização de suas facilidades laboratoriais, que viabilizou a realização desse trabalho.

Ao Engenheiro Sérgio Cardoso e todo o pessoal de apoio do Centro de Cerâmica Tijucas - SENAI, na concessão de sua unidade piloto para a realização desse trabalho.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos e pelo apoio financeiro concedido.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

ÍNDICE

I.	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
II.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
	II.1 Introdução à Metodologia Taguchi.....	4
	II.1.1 A Qualidade.....	4
	II.1.2 Análise de Variância - ANOVA.....	5
	II.1.3 Estratégias para Ensaios.....	12
	II.1.4 Projeto de Produto ou Processo.....	21
	II.2 Produção de Cerâmica Grés.....	30
	II.2.1 Atomização e Estoque.....	34
	II.2.2 Prensagem e Secagem.....	39
	II.2.3 Sinterização e Escolha.....	44
III.	Procedimento Experimental.....	46
	III.1 Características das Matérias Primas.....	46
	III.2 Organização dos Experimentos.....	49
	III.3 Processamento Piloto.....	54
	III.3.1 Preparação das Matérias Primas.....	54
	III.3.2 Preparação das Massas.....	57
	III.3.3 Moagem das Massas.....	59
	III.3.4 Atomização.....	64
	III.3.5 Compactação dos Corpos de Prova.....	65
	III.3.6 Secagem dos Corpos de Prova.....	66
	III.3.7 Sinterização das Pastilhas.....	67
IV.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
	IV.1 Análise Estatística de Desempenho.....	71

IV.2	Montagem da Tabela de Sinal/Ruído.....	74
IV.3	Efeitos da Análise Estatísticas de Desempenho.....	84
IV.4	Análise através da Função-Perda.....	85
IV.5	Montagem da Tabela de Resultados da Função-Perda.....	89
IV.6	Análise dos Efeitos em seus Respectivos Níveis.....	90
IV.7	Os Efeitos da Análise em Função-Perda.....	92
V.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	94
VI.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
VII.	ANEXO - A	
	Testes de controle de qualidade.....	100
IX.	ANEXO - B	
	Resultados experimentais.....	119

RESUMO

A metodologia Taguchi permite garantir a robustez das funções do produto, agindo sobre os parâmetros que influenciam o processo de fabricação, levando-se em consideração suas condições de utilização. O trabalho em questão tem o objetivo de aplicar a metodologia estatística de delineamento de experimentos proposta por Genichi Taguchi, para o caso de otimização de massas cerâmicas grés, visando a obtenção de um produto robusto, assegurando o melhor compromisso desempenho/custo de utilização, portanto um produto mais competitivo. O produto foi obtido em uma usina piloto, seguindo todas as etapas do processo convencional de produção de cerâmica grés. Os corpos de prova foram ensaiados segundo as normas de caracterização de produtos cerâmicos. Tanto o planejamento dos experimentos como a análise dos resultados foram baseados na metodologia Taguchi. Assim, os resultados foram testados utilizando-se a estatística de desempenho e Função-Perda, sendo obtidas as melhores massas (misturas) sob o ponto de vista de desempenho e custo da qualidade.

OPTIMIZATION OF GRES CERAMICS
BY TAGUCHI METHODOLOGY

ABSTRACT

The Taguchi methodology assures the robust of the product functions by acting on the parameters influencing the manufacturing process, and taking into account the conditions in which it is employed. This work aims at the application of the statistical methodology of outlining experiments, proposed by Genichi Taguchi, for the optimization of mixtures of gres ceramics, in order to obtain a strong product and to assure the best combination of performance/cost of utilization and thus a more competitive product. The product was obtained in a pilot factory, following all the steps of the conventional process for the production of gres ceramics. The testing models were tried according to the rules of characterization of ceramic products. Both the planning of the experiments and the analysis of the results were based on the Taguchi methodology. Thus performance and Loss Function statistics were employed to test the results, with the best mixtures being obtained regarding performance and cost of quality.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Atualmente, é inegável o impacto dos trabalhos de G. Taguchi sobre a gestão de qualidade dentro das empresas. Tal abordagem visa a redução ao mínimo do custo da qualidade para o cliente (o conceito de cliente aplica-se a todas as etapas de fabricação do produto - desde o projeto do produto até o serviço de assistência após a venda).

A metodologia Taguchi permite garantir a robustez das funções do produto, agindo sobre os parâmetros que influenciam o processo de fabricação, levando-se em consideração suas condições de utilização; ou seja, o produto robusto assegura o melhor compromisso desempenho/custo de utilização, portanto um produto mais competitivo. Para Taguchi "a não qualidade é a perda que o produto impõe à sociedade a partir do momento em que o mesmo é liberado pela fábrica".

Os métodos de planejamento de experimentos foram desenvolvidos com a finalidade de auxiliar as pesquisas científicas e tecnológicas. Os conceitos utilizados dentro destes métodos podem ser definidos como a determinação das relações causa-efeito. Sob o ponto de vista estritamente científico procura-se, através de experimentos, encontrar uma lei única, na forma de uma equação que

descreva as relações de causas, as quais explicam os fenômenos estudados, utilizando-se modelos matemáticos. Por outro lado, dentro do domínio tecnológico, existem várias maneiras de abordar a função de um produto. Frequentemente, a pesquisa das causas que asseguram a função procurada são extremamente custosas, ou as causas que interferem no processo de fabricação são tão numerosas ou mesmo particulares, que é impossível imaginar as relações de causas, ou um modelo matemático que descreva as relações entre as mesmas. Portanto, ao nível de concepção e industrialização de um produto robusto, o que se procura são as relações de causa e efeito, sem buscar compreender as relações entre as causas. Segundo o pensamento japonês (budista) "A verdade é o vácuo e somente as relações causa-efeito são acessíveis".

A adoção deste conceito de robustez do produto, dentro da técnica de gestão de qualidade proposta por G. Taguchi, foi fundamental para assegurar a competitividade das empresas japonesas na década de 70 e mais recentemente tem sido largamente empregada nos E.U.A. e na Europa.

- CASO DA INDÚSTRIA CERÂMICA

De modo geral, a gestão de qualidade nas Indústrias Cerâmicas no Brasil tem sido baseada em cartas de controle de tolerâncias e o planejamento para o desenvolvimento de produtos fundamentado em experimentações empíricas, variando-se um ou dois fatores e fixando-se os demais.

Devido à grande quantidade de matérias primas componentes do produto cerâmico (massa ou vidrado) e à complexidade das reações

que ocorrem durante as diferentes etapas de processamento (mistura, atomização, secagem, compactação, sinterização), a formulação do produto procurando as condições ótimas, em termos de propriedades, torna-se extremamente complexa. Normalmente, pequenas variações na composição química ou nos parâmetros de processo respondem em termos de qualidade de maneira drástica (grande variação nas propriedades do produto - robustez). Além disto, os efeitos interativos entre cada parâmetro em jogo, na formulação do produto, torna muito difícil o estudo isolado de causas. Desta forma, para garantia de qualidade e competitividade dos produtos, é necessária grande quantidade de experimentos em nível de laboratório e de produção, gerando desperdício de recursos, sem que uma qualidade satisfatória seja obtida.

Assim, a metodologia de delineamento de experimentos de G. Taguchi, que reduz o número de experimentos, variando-se todos os fatores que afetam o desempenho do produto, ao mesmo tempo, e a possibilidade de análise dos resultados estatisticamente, através de análise de desempenho e de função-perda, é um ferramental de importância estratégica para a gestão de qualidade nas empresas.

O trabalho em questão tem o objetivo de aplicar a metodologia estatística de delineamento de experimentos proposta por G. Taguchi, para o caso de otimização de massas cerâmicas grés para revestimentos, visando a obtenção de um produto robusto, assegurando o melhor compromisso desempenho/custo de utilização, portanto um produto mais competitivo.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1 INTRODUÇÃO À METODOLOGIA TAGUCHI

II.1.1 A QUALIDADE

A grande corrida por qualidade, iniciada nos anos 70, possui um grande fato gerador. O Japão, por ser uma ilha e com recursos naturais escassos, necessitava de importações para manter as suas indústrias abastecidas de matérias primas, beneficiando-as e exportando os produtos resultantes destas. O seu sucesso está em poder agregar aos produtos um alto valor, em função de uma grande eficiência na transformação das matérias primas em produto acabado. "Eficiência em aumento de valor de materiais equivale a processos com pouca perda ou alta qualidade".

Para um produto, a qualidade é avaliada em função das características que interessam ao cliente em um determinado momento. Características como resistência à ruptura de uma sacola plástica de supermercado, consumo de combustível de um carro, ou a temperatura que alcança um chuveiro elétrico são exemplos desse interesse. De modo geral, o controle da qualidade deve ser realizado sobre estas características; relacionando desta forma a qualidade com a perda para a sociedade causada por um produto durante seu ciclo de vida (quanto maior for a qualidade menor será a perda para a sociedade). A perda ocorre quando um produto não

alcança um desempenho esperado.

Taguchi [1] considera controle de qualidade em duas áreas fundamentais: (i) controle de qualidade fora da linha e; (ii) controle de qualidade na linha. A primeira refere-se ao aperfeiçoamento da qualidade nos estágios de desenvolvimento de produto e processo, e a segunda diz respeito à monitoração dos processos industriais correntes, a fim de verificar os níveis de qualidade produzidos.

Quando uma nova idéia aparece, esta gera o seu próprio mercado. Porém, uma vez que um concorrente tem a possibilidade de duplicar o produto gerado por esta idéia, a vantagem tecnológica é perdida, restando apenas a qualidade de produção como parâmetro de luta pelo mercado.

II.12. ANÁLISE DE VARIÂNCIA - ANOVA

O método a ser utilizado para interpretar dados experimentais e tomar decisões necessárias é o da análise de variância (ANOVA) [2], uma vez que grande parte da discussão referente a qualidade é com base na variação das características de desempenho. ANOVA é uma ferramenta de decisão estatisticamente formulada para detectar quaisquer diferenças no desempenho médio de uma série de peças testadas. A decisão, longe de considerar somente o julgamento leva em consideração a variação.

Para facilitar a compreensão da ANOVA, utilizaremos um exemplo em análise de experimentação para uma fundição de alumínio que fabrica pistões de motores [3]. No final do processo de fabricação,

surgiu um problema: como atingir a dureza adequada do produto. De acordo com as especificações, o teor de cobre deve ser de 3,5 a 4,5% e o de magnésio de 1,2 a 1,8%. Foi realizado um experimento com o propósito de avaliar simultaneamente estes fatores e estas condições. Neste exemplo utiliza-se a simbologia a seguir:

A = % do teor de cobre $A_1 = 3,5$ $A_2 = 4,5$
 B = % do teor de magnésio $B_1 = 1,2$ $B_2 = 1,8$

Há quatro combinações possíveis de serem realizadas nas condições experimentais: A_1B_1 , A_1B_2 , A_2B_1 e A_2B_2 . Suponha que são preparadas quatro misturas diferentes dos componentes do metal e a dureza resultante é medida. Os resultados podem, muito possivelmente, assemelharem-se aos da tabela 2.1.

	A_1	A_2
B_1	76 - 78	73 - 74
B_2	77 - 78	79 - 80

TABELA 2.1 - Dados experimentais com dois fatores

Lembrando que a variação decorrente da média não será considerada, pode-se subtrair, 70 pontos da dureza de cada valor para simplificar a discussão. Os resultados transformados são mostrados na tabela 2.2.

	A_1	A_2
B_1	6 - 8	3 - 4
B_2	7 - 8	9 - 10

TABELA 2.2 - Dados transformados para ANOVA com dois fatores

- somas quadráticas

A variação total pode ser decomposta em mais componentes:

1. Variação devida ao fator A
2. Variação devida ao fator B
3. Variação devida à interação dos fatores A e B
4. Variação devida ao erro

A equação para a variação total pode ser escrita da seguinte forma:

$$SQ_T = SQ_A + SQ_B + SQ_{A \times B} + SQ_e \quad [2.1]$$

Onde SQ_A é a soma dos quadrados com relação ao fator A, SQ_B com relação ao fator B, $A \times B$ representa a interação dos fatores A e B. A interação consiste no efeito mútuo do cobre e magnésio exercido sobre a dureza do fundido. Se a influência sobre a dureza da porcentagem de cobre depende da porcentagem de magnésio, então, conclui-se que há uma interação

	A ₁	A ₂	Total
B ₁	6 - 8	3 - 4	21
B ₂	7 - 8	9 - 10	34
Total	29	26	55 (Total Geral)

TABELA 2.3 - Arranjo com dois fatores, dados resumidos

A somatória de todas as observações (T) é o total geral da tabela 2.3. O número total de observações (N) é 8. O número de observações nos níveis $n_{A_1} = 4$, $n_{A_2} = 4$, $n_{B_1} = 4$ e $n_{B_2} = 4$.

A variação total é:

$$SQ_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad [2.2]$$

onde y_i é a i -ésima resposta, desta forma:

$$SQ_T = 6^2 + 8^2 + 3^2 + \dots + 10^2 - \frac{55^2}{8} = 40,875$$

A variação devida ao fator A pode ser calculada de diversas formas. A fórmula usual para qualquer número de níveis do fator A é:

$$SQ_A = \left[\sum_{i=1}^k A_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad [2.3]$$

$$SQ_A = \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \dots + \frac{A_k^2}{n_{Ak}} - \frac{T^2}{N}$$

$$SQ_A = \frac{29^2}{4} + \frac{26^2}{4} - \frac{55^2}{8} = 1,125$$

$$SQ_A = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N} = 1,125 \quad [2.4]$$

$$SQ_B = \frac{(B_1 - B_2)^2}{N} = 21,125 \quad [2.5]$$

Suponha que $(A \times B)_i$ representa a somatória de dados sob a i -ésima condição das combinações de fatores A e B; considere também c o número de combinações possíveis dos fatores que interagem e $n_{(A \times B)_i}$ o número de valores observados sob esta condição. Portanto,

$$SQ_{AxB} = \left[\sum_{i=1}^c \left(\frac{(A \times B)_i^2}{n_{(AxB)_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} - SQ_A - SQ_B \quad [2.6]$$

$$SQ_{AxB} = \frac{14^2}{2} + \frac{7^2}{2} + \frac{15^2}{2} + \frac{19^2}{2} - \frac{55^2}{8} - 1,125 - 21,125 = 15,125$$

Portanto:

$$SQ_e = SQ_T - SQ_A - SQ_B - SQ_{AxB} = 3,500$$

- graus de liberdade

Determinando-se a soma quadrática, calcula-se os graus de liberdade. Um grau de liberdade, no sentido estatístico, está associado a cada parcela de informação que é estimada dos dados. Ou seja, é definido um grau de liberdade para cada comparação independente que pode ser feita com os dados. A sua somatória pode ser feita de modo similar às somas quadráticas; os resultados que dão continuidade ao experimento encontram-se na tabela 2.4.

Onde:

v_T = graus totais de liberdade

v_A = graus de liberdade associados ao fator A = $k_A - 1$

v_B = graus de liberdade associados ao fator B = $k_B - 1$

v_e = graus de liberdade associados a erros

v_{AxB} = graus de liberdade associados a interação AxB = $v_A * v_B$

k = número de observações

$$v_T = N - 1 = v_A + v_B + v_{A \times B} + v_e \quad [2.7]$$

	SOMA DOS QUADRADOS SQ	GRAUS DE LIBERDADE GL
A	1.125	1
B	21.125	1
A x B	15.125	1
e	<u>3.500</u>	<u>4</u>
T	40.875	7

TABELA 2.4 - Resumo das informações sobre Graus de Liberdade

- quadrado médio

Quadrado médio ou variância do erro é uma outra forma de estatística descritiva que pode ser calculada através da tabela de ANOVA, e é igual à soma dos quadrados de cada um dividido pelos seus respectivos graus de liberdade.

A variância do erro é a medida de variação devida a todos os parâmetros fora de controle, incluindo o erro de medição envolvido num determinado experimento (série de dados coletados). Continuando o exemplo de fundição, define-se a tabela 2.5.

	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO
A	1.125	1	1.125
B	21.125	1	21.125
A x B	15.125	1	15.125
e	<u>3.500</u>	<u>4</u>	0.875
T	40.875	7	

TABELA 2.5 - Resumo da ANOVA para o experimento em questão

- teste F

Para se avaliar, estatisticamente, o nível de confiança de uma decisão sobre as variâncias serem significativamente diferentes, é utilizado o teste F. O mesmo consiste na razão entre as variâncias das amostras. Quando este valor torna-se suficientemente grande, duas variâncias serão consideradas diferentes em um determinado nível de confiança. As tabelas do teste F, que especificam os valores exigidos para alcançar determinado nível de confiança, encontram-se em qualquer obra de estatística.

Determinar, estatisticamente, se um valor F de duas variâncias é suficientemente grande, três aspectos deverão ser avaliados:

- i. O nível de confiança necessário;
- ii. Os graus de liberdade associados à variância da amostra no numerador;
- iii. Os graus de liberdade associados à variância da amostra no denominador.

Cada combinação de nível de confiança, graus de liberdade do numerador e do denominador, apresenta um valor F associado a ela.

	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	TESTE F
A	1.125	1	1.125	1.29
B	21.125	1	21.125	24.14‡
A x B	15.125	1	15.125	17.29†
e	3.500	4	0.875	
T	40.875	7		

†Pelo menos 90% de confiança

‡Pelo menos 95% de confiança

#Pelo menos 99% de confiança

TABELA 2.6 - ANOVA para o experimento de fundição

A tabela 2.6 indica que o teor de cobre, por si só, não exerce efeito algum sobre a dureza resultante da fundição, e que o teor de magnésio apresenta efeito ponderável sobre a dureza, e a interação dos teores do cobre e do magnésio representa um elemento substancial na determinação da dureza. Desta forma o efeito B é o maior; o efeito AxB é o segundo maior, e o efeito A é muito pequeno.

II.13. ESTRATEGIAS PARA ENSAIOS

Normalmente em um processo produtivo, técnicos especializados, deparam-se com duas situações de desenvolvimento do produto. Uma situação de desenvolvimento de produto consiste em encontrar um certo parâmetro que aperfeiçoe determinada característica de desempenho, levando-a para um valor aceitável ou ótimo. Uma segunda situação, consiste em descobrir um projeto alternativo, envolvendo material ou método menos caro, que proporcione o mesmo desempenho. Diferentes estratégias poderão ser empregadas, conforme a situação apresentada. O primeiro problema, que consiste na necessidade de melhoria do desempenho, constitui a situação mais típica.

Na busca de um projeto aperfeiçoado executa-se, normalmente, um determinado ensaio, observa-se o desempenho do produto e toma-se a decisão quanto à utilização ou não do novo projeto. É a qualidade desta decisão que pode ser aperfeiçoada, quando são utilizadas estratégias adequadas de ensaios; em outras palavras, evitar-se-á o erro de utilizar um projeto aceitável.

Várias formas de análise para a tomada de decisões foram

desenvolvidas por estatísticos, designadas genericamente por análise fatorial [4]. Elas utilizam somente uma parte de todas as combinações possíveis na elaboração de um problema, que deve estimar os efeitos principais dos resultados esperados de um fator analisado. Taguchi [5] desenvolveu um tipo de matriz especial, designada de arranjo ortogonal, que pode ser empregada em várias situações de análise. Os mesmos originam-se de uma generalização dos quadrados gregos-latinos [6].

As etapas iniciais no projeto, execução e análise de experimentação, com arranjos ortogonais são seqüencialmente:

- Seleção dos fatores;
- Seleção do número de níveis para os fatores;
- Seleção do arranjo ortogonal adequado;
- Atribuição de fatores;
- Execução dos ensaios;
- Análise dos resultados;
- Novo experimento para confirmação.

Os itens seguintes discutirão a importância destas etapas no desenvolvimento da experimentação, observando que as quatro primeiras etapas referem-se ao projeto real do experimento.

- SELEÇÃO DOS FATORES

A determinação de quais os fatores que serão investigados estará associada às características de desempenho do produto ou processo, ou respostas de interesse. Diversos métodos auxiliam na

determinação de quais os fatores que deverão estar presentes nos experimentos iniciais. Eles são:

- Livre associação de idéias, que é a reunião de um grupo de técnicos relacionados ao problema, aos quais serão solicitadas opiniões com respeito aos fatores que interferem no desempenho do produto e na estrutura do experimento;
- Fluxogramas, que, no caso de processos de produção, são particularmente úteis na determinação dos fatores que afetam os seus resultados. Este auxiliará na visão da estrutura do processo, evitando a omissão de fatores importantes;
- Diagramas de Causa-Efeito, cuja estrutura inicia com o efeito básico, que é produzido e se desenvolve em direção às causas que podem ter provocado o efeito. Nestes diagramas causas primárias, secundárias e terciárias estão ramificadas no tronco principal da árvore efeito (fig.1).

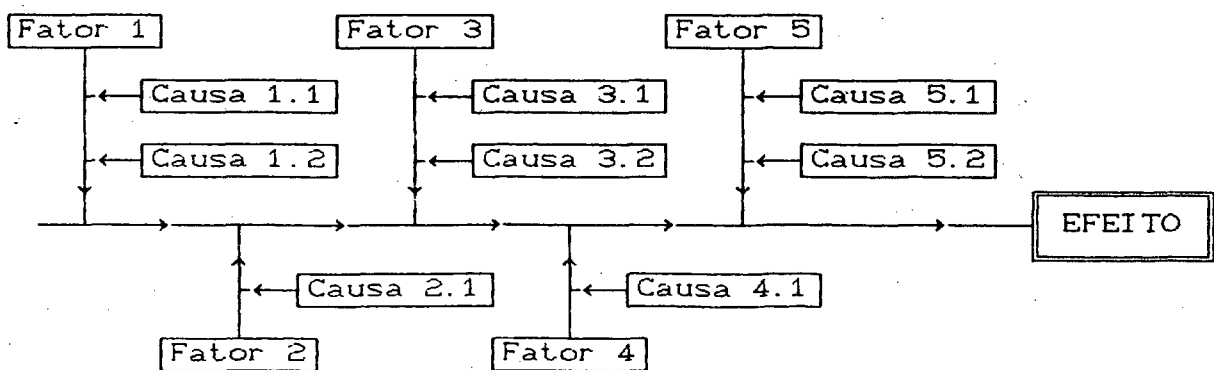


Figura 1 - Diagrama de Causa-Efeito para um processo hipotético

- SELEÇÃO DO NÚMERO DE NÍVEIS

Etapas iniciais da experimentação podem envolver muitos fatores em poucos níveis; é usual trabalhar-se com dois níveis para

minimizar a dimensão inicial do experimento. Aumentar o número de níveis para um fator significa em aumentar os graus totais de liberdade, que é função direta do número de ensaios, e em segundo lugar, aumentar o número de graus de liberdade do próprio fator, que é o número de níveis menos um. Estas etapas iniciais da experimentação eliminarão muitos fatores da discussão e, os poucos restantes poderão ser investigados com múltiplos níveis sem causar crescimento excessivo no tamanho do experimento, que provocaria aumento de custo e, ou tempo.

Existem dois tipos de parâmetros que podem influenciar na resposta de um produto: parâmetros contínuos e discretos. Parâmetros contínuos podem ser medidos em escala de um valor muito baixo para um valor muito alto, e podem admitir qualquer valor intermediário. Alguns exemplos são: temperatura; velocidade, pressão e tempo. Parâmetros discretos apenas admitem valores específicos, tais como desligado ou ligado, material A, B ou C, cilindro do motor número 1, 2, 3 ou 4. Se parâmetros contínuos estão sendo utilizados, então o experimento inicial deve ocorrer em apenas dois níveis; interpolação ou extrapolação poderão ser utilizados para determinar outros níveis. Se fatores discretos são utilizados, então a interpolação e extrapolação ficarão sem sentido. Por exemplo: é possível a utilização de três materiais diferentes; não há meio de interpolar ou extrapolar com o propósito de obter resultados de um quarto material admissível. Se parâmetros discretos forem estudados, mais de dois níveis poderão, portanto, ser exigidos nos experimentos iniciais.

- SELEÇÃO DO ARRANJO ORTOGONAL

A ortogonalidade significa que todos os fatores podem ser avaliados independentemente um do outro; o efeito de um fator não influencia na estimativa do efeito de outro fator. Uma exigência da ortogonalidade consiste no experimento equilibrado; número igual de amostras de acordo com as diversas condições de tratamento (número equivalente de valores observados dentro de cada nível e de cada fator).

A seleção de um arranjo ortogonal a ser utilizado em uma experimentação depende dos seguintes itens:

- Número de fatores e interações de interesse, e;
- Número de níveis para os fatores de interesse.

Estes dois itens determinam os graus de liberdade exigidos para todos os experimentos. O número, na designação do arranjo ortogonal, indica a quantidade de ensaios contidos no mesmo; por exemplo, um arranjo L_8 possui 8 ensaios (vide fig.2). O número de graus de liberdade disponíveis num certo arranjo é equivalente ao número de ensaios menos uma unidade.

Quando da seleção de um arranjo, o número de níveis empregados nos fatores irá determinar o seu tipo, com dois ou três níveis. No entanto, se ocorrer a presença de fatores com dois níveis e outros com três níveis, em uma mesma experimentação, então o fator predominante deverá indicar o tipo de arranjo a ser selecionado.

Após a seleção de um arranjo ortogonal, os fatores e interações poderão ser atribuídos às diversas colunas.

Ensaio n ^o	COLUNA n ^o						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

FIGURA 2 - Exemplo de um arranjo ortogonal L8 (2 níveis)

- ATRIBUIÇÃO DE FATORES

Taguchi fornece duas ferramentas para auxiliar na determinação de fatores e interações dos arranjos:

- Gráficos Lineares, e;
- Tabelas triangulares.

Cada arranjo ortogonal possui uma série distinta de gráficos lineares e uma tabela triangular associada a ele. Os gráficos lineares indicam as diversas colunas, às quais fatores podem estar atribuídos, e as colunas avaliam, subseqüentemente, a interação destes fatores. As tabelas triangulares contêm todas as interações possíveis entre os fatores (colunas).

- gráficos lineares

Existem dois gráficos lineares disponíveis para um L₈, mostrados na figura 3. Estes dois gráficos indicam que diversos

fatores podem estar atribuídos a diferentes colunas e várias interações diferentes podem ser avaliadas em diferentes colunas. Por exemplo, no gráfico linear tipo b, os fatores A,B,C e D podem estar associados às colunas 1,2,4 e 7, respectivamente. Isto situa a interação AxB na coluna 3, a interação AxC na coluna 5 e a interação AxD na coluna 6. O outro gráfico linear fornece um arranjo alternativo com outra distribuição de interações.

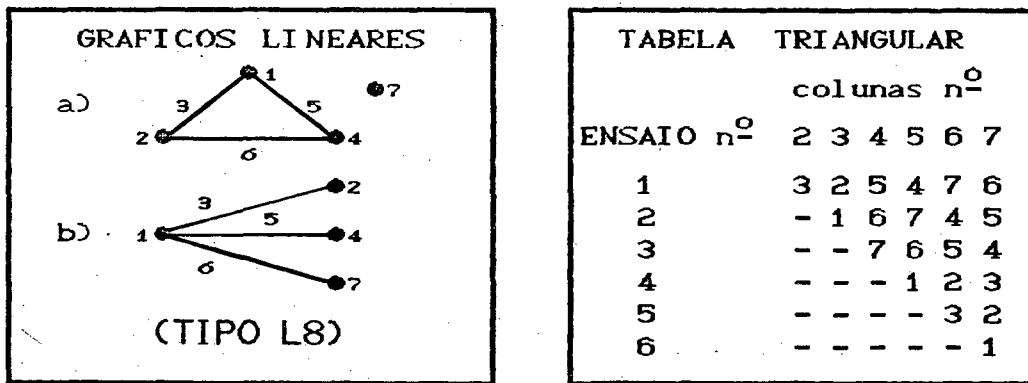


FIGURA 3 - Exemplos de gráficos lineares e tabela triangular para um arranjo ortogonal L8.

- tabelas triangulares

Tabelas triangulares especificam todas as possíveis interações das colunas existentes num determinado arranjo ortogonal. Uma tabela triangular L₈ é mostrada na figura 3. O primeiro fator atribuído a um arranjo ortogonal pode realmente estar situado em qualquer coluna, por exemplo, a coluna 4. O segundo fator pode ser atribuído a qualquer outra coluna, por exemplo, a coluna 6. Se o fator A é atribuído à coluna 4 e o fator B à coluna 6, a tabela triangular indica que a interação AxB ocorrerá na coluna 2. A tabela triangular mostra que essas três colunas interagem; 2 e 4

interagem na 6, 4 e 6 na 2 e 2 e 6 na 4. Qualquer atribuição de fatores A e B é matemática e estatisticamente equivalente. Todos os gráficos lineares e tabelas triangulares de arranjos ortogonais funcionam da mesma maneira.

- EXECUTANDO A EXPERIMENTAÇÃO

Quando os fatores já estão atribuídos a uma coluna específica de um arranjo ortogonal selecionado, a estratégia de ensaios pode ser determinada, e a preparação física para executá-los pode ser iniciada. Algumas decisões precisam ser tomadas com relação à ordem a ser seguida para executar diversos ensaios.

As condições para o ensaio, referentes à interação, não podem ser controladas ao se executar um ensaio, pois elas são dependentes dos níveis dos fatores principais. Somente a análise está relacionada a essas colunas de interação. Por esta razão, recomenda-se que sejam elaborados formulários que mostrem apenas os níveis dos fatores principais exigidos em cada ensaio. Isto irá minimizar falhas na execução do experimento, que, inadvertidamente, poderão destruir a ortogonalidade.

A ordem de execução dos diversos ensaios deve incluir algum tipo de escolha aleatória. A ordem de um ensaio, selecionada aleatoriamente, protege o experimento de certos fatores ignorados e não controlados que poderão sofrer variação durante todo o experimento e exercer influência sobre os resultados.

De um ponto de vista extremamente prático, exige-se o mínimo de um resultado para cada ensaio, para que possa ser mantido o

equilíbrio do tamanho da amostra na experimentação. Portanto, mais de um resultado por ensaio deverá ser utilizado, aumentando, desta forma, a sensibilidade do experimento para detectar pequenas variações nas médias das populações.

- ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A análise de variância - ANOVA - de um arranjo ortogonal é realizada através do cálculo das somas dos quadrados para cada coluna, sendo que o total das somas dos quadrados referentes às colunas não-atribuídas (onde não foram atribuídos fatores) é equivalente a soma do quadrado do erro. Desta forma, colunas não-atribuídas em um arranjo ortogonal representam uma estimativa da variação do erro, o que nos leva a observar que as somas dos quadrados e os graus de liberdade associados a cada componente de variação se correlacionam de forma precisa.

A variância decorrente de um fator consiste realmente numa estimativa da variância de valores individuais observados, baseada na variância das médias da amostra daquele fator. Espera-se que esta variação seja pequena; variação excessiva indicará que um fator potencialmente importante foi excluído da experimentação.

Quando os fatores são atribuídos a todas as colunas, a variância do erro pode, ainda, ser estimada; alguns fatores atribuídos a um experimento poderão não ser significativos, ainda que considerados antes da experimentação. Isto equivaleria a dizer que a cor de um carro pode afetar a economia de combustível e atribuir duas cores diferentes a uma coluna. É bem provável que o

resultado da soma dos quadrados desta coluna possua valor baixo, pois será realmente a estimativa da variância do erro e não o efeito real da cor que estará interferindo no resultado.

- EXPERIMENTO DE CONFIRMAÇÃO

Esta é a etapa final da análise de conclusões adquiridas em etapas anteriores do experimento. Condições ótimas são estabelecidas para fatores e níveis significativos, e diversos ensaios são realizados sob condições constantes. A média dos resultados do experimento de confirmação é comparada à média estimada, baseada nos fatores e níveis ensaiados.

II.14 PROJETO DE PRODUTO OU PROCESSO

Taguchi considera o projeto do produto ou processo como um programa de três fases:

- Projeto do Sistema;
- Projeto por Parâmetros;
- Projeto por Tolerâncias.

O Projeto do Sistema consiste na fase em que novos conceitos, idéias, métodos etc., são desenvolvidos com o objetivo de fornecer aos consumidores produtos novos ou aperfeiçoados. A fase do Projeto por Parâmetros é crucial no sentido de aperfeiçoar a uniformidade do produto, e pode ser realizada isenta de custos ou até mesmo de

forma econômica. A fase do Projeto por Tolerância aperfeiçoa a qualidade a um custo mínimo. A qualidade é aperfeiçoada através da redução das tolerâncias dos parâmetros do produto ou processo para diminuir a variação no desempenho.

Taguchi [7] distingue os fatores do projeto de produto em dois grupos principais: fatores de controle e de ruído. Fatores de controle são aqueles estabelecidos pelo fabricante e que não podem ser diretamente modificados pelo consumidor. Fatores de ruído são aqueles sobre os quais o fabricante não possui controle direto, mas que variam de acordo com o ambiente e hábito do consumidor. Em geral, os fatores de ruído são aqueles que o fabricante deseja não ter necessidade de controlar.

Fatores de ruído podem ser classificados em três categorias:

- Ruído externo
- Ruído interno
- Ruído do produto

Ruídos externos são fatores do ambiente, tais como temperatura ambiente, umidade, pressão, etc.; ruídos internos causam variações ao produto, tais como encolhimento, desgaste, perda de cor, etc.; o ruído do produto manifesta-se como uma variação de peça para peça. Os produtos podem apresentar simultaneamente sensibilidade a todas as formas de ruído.

Taguchi refere-se aos esforços relacionados à qualidade do projeto como controle da qualidade fora da linha e, aos esforços referentes à qualidade da produção, como controle de qualidade na linha. Quanto mais um controle de qualidade fora da linha é posto em prática, mais robusto é o processo ou produto às perturbações (ruído externo e interno) no ambiente e na vida do produto.

Projeto por parâmetros e por tolerâncias adquirem significados adicionais com o conceito de função-perda. O Projeto por parâmetros é empregado para amortecer o efeito do ruído (reduzir a variância) através da seleção do nível adequado para os fatores de controle. Este projeto é utilizado para melhorar a qualidade sem controlar ou eliminar a causa da variação, fazendo com que o produto se torne robusto aos fatores de ruído. O Projeto por Tolerâncias reduz, ou elimina, o efeito das causas da variação. Através da utilização do Projeto por parâmetros e por Tolerâncias, as verdadeiras características críticas (fatores de controle) podem ser identificadas e minimizadas em termos numéricos.

- ESTRATÉGIA NO PROJETO POR PARÂMETROS

A estratégia mais eficiente de projeto por parâmetro seria estimular, de forma diferente, os efeitos do ruído por um experimento. A figura 5 [8] mostra um arranjo ortogonal experimental do tipo L9, com arranjo interno exclusivo para fatores de controle e arranjo externo exclusivo para fatores de ruído. Se estes fatores de ruído são misturados com o arranjo interno, teremos, portanto, um experimento tradicional na detecção de causas onde serão identificados os níveis dos fatores de controle que poderiam ter reduzido a variação em relação aos efeitos do ruído.

Esta estratégia de projeto por parâmetros separa os fatores de controle dos ruídos através da utilização de arranjos internos e externos, respectivamente. Assim sendo, fatores de ruído poderiam

ser atribuídos ao arranjo externo para constatar algum nível do fator de controle que não apresente variação demasiada nos resultados, apesar de os fatores de ruído estarem definitivamente presentes.

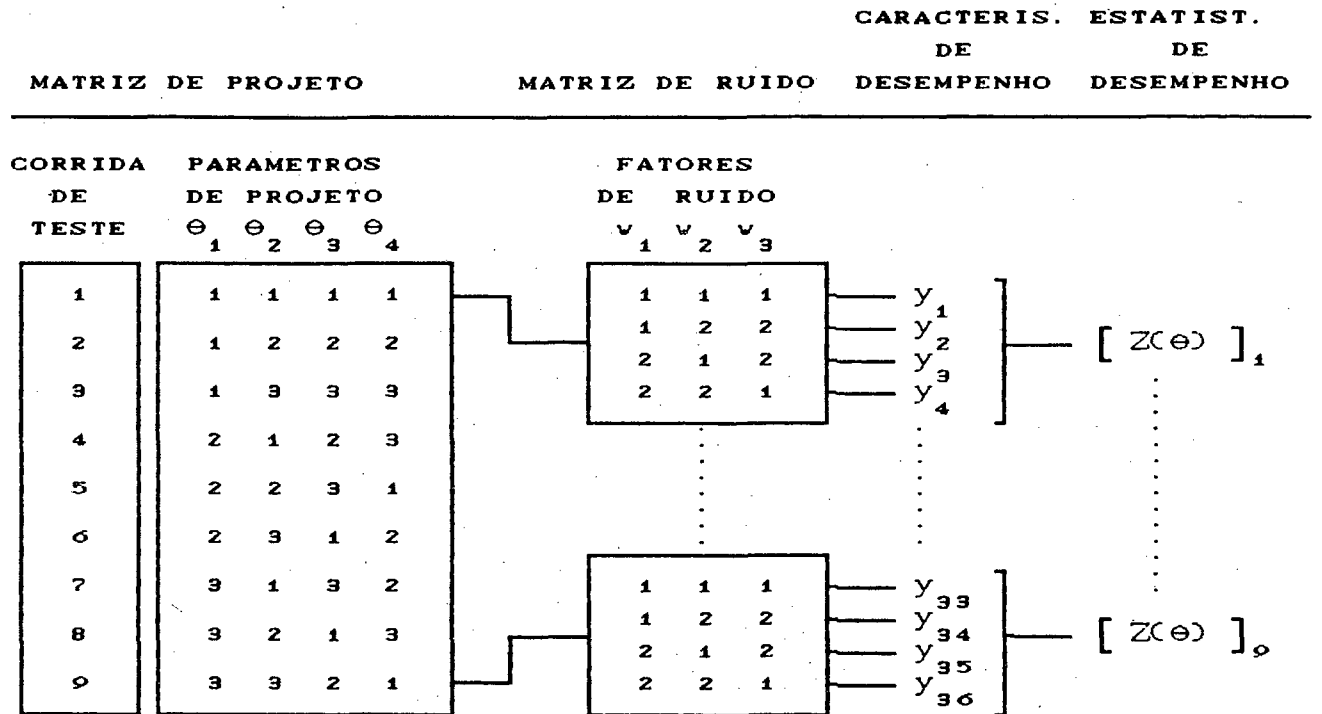


FIGURA 4 — Um exemplo do plano experimental de um projeto do parâmetro [8].

Neste arranjo experimental existem 36 condições de ensaio distintas. Um número no ensaio especifica a condição relacionada aos fatores de controle; porém o arranjo externo especifica três condições diferentes referentes aos fatores de ruído para aquele mesmo ensaio.

Se os ensaios forem muito dispendiosos, deve-se evitar um arranjo externo completo e somente um fator de ruído considerado importante (ou fatores de ruído associados às condições melhores e piores) poderá ser utilizado.

- ÍNDICE SINAL/RUÍDO

Os fatores de controle que contribuem na redução de variação (aperfeiçoamento da qualidade) podem ser rapidamente identificados observando o quanto de variação aparece como resposta. Taguchi idealizou uma transformação dos dados da repetição em outro valor, que representa a medição da variação existente. A transformação é designada como relação Sinal/Ruído (S/R). A relação S/R combina diversas repetições (exigem-se no mínimo, dois valores observados) em um valor que reflete o quanto de variação está presente. Existem diversas relações S/R disponíveis, de acordo com o tipo de característica; menor-é-melhor, nominal-é-melhor, ou maior-é-melhor. E as equações para cálculo das relações S/R para as características são [9]:

1. MENOR-É-MELHOR (MEM)

$$S/R_{meM} = -10 \log \left[\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r y_i^2 \right] \quad [2.8]$$

onde r é o número de repetições num ensaio (número de repetições independente dos níveis do ruído) e y é a resposta do ensaio.

2. NOMINAL-É-MELHOR (NEM)

- Somente variância:

$$S/R_{NeM_1} = -10 \log V_e \quad [2.9]$$

onde V_e é o número de graus de liberdade associados a erros.

- Média e variância:

$$S/R_{NeM_2} = +10 \log \left(\frac{V_m - V_e}{r V_e} \right) \quad [2.10]$$

onde V_m é o número de graus de liberdade associados a média.

3. MAIOR-É-MELHOR (MEM)

$$S/R_{MeM} = -10 \log \left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \frac{1}{y_i^2} \right) \quad [2.11]$$

As relações S/R para meM e MeM são fáceis de serem calculadas; cada repetição está associada a uma equação. No entanto, a relação S/R para NeM necessita de explicação adicional. Ambas as relações contém o valor V_e , e NeM_2 contém V_m . Estes valores são determinados através da utilização da ANOVA na discussão da análise de desempenho.

- ESTRATÉGIAS NO PROJETO POR TOLERÂNCIAS

O projeto por tolerâncias é empregado quando os esforços do projeto por parâmetros não atuarem de forma adequada na redução de variação. Num projeto por parâmetros, pode-se utilizar largamente

componentes ou fatores com custo baixo ou muito variáveis. Se a qualidade destes componentes ainda necessitar de melhorias, a fim de reduzir a variação ao nível desejado, o projeto por tolerâncias entra em aplicação. No projeto por tolerâncias, a função-perda é empregada para justificar o aumento de custos dos componentes de qualidade superior através de uma perda menor para a sociedade.

A Função-perda constitui um modo matemático de quantificar o custo como função da variação do produto. Desta forma a Função-perda reconhece o desejo do consumidor em adquirir produtos que sejam mais duradouros, em todos os aspectos, e o desejo do fabricante em fabricar produtos com custo menor. A perda para a sociedade é formada pelos custos ocorridos no processo de produção, assim como os custos sofridos pelos consumidores no decorrer da vida útil do produto. Minimizar a perda para a sociedade é a estratégia que irá incentivar produtos uniformes e reduzirá custos na hora da produção e do consumo.

Existem diversas relações de Função-perda (L), de acordo com o tipo de tolerância [10]; Quanto-menor-melhor, Nominal-é-melhor, ou Quanto-maior-melhor. E as equações para o cálculo das relações Função-perda para as tolerâncias são:

1. QUANTO-MENOR-MELHOR (TIPO S)

$$L_S = \frac{A}{\Delta^2} \left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r y_i^2 \right) \quad [2.12]$$

onde A = custo do produto não-conforme e 2Δ = limite de tolerância.

2. NOMINAL-E-MELHOR (TIPO N)

- Tolerâncias de mesmo valor:

$$L_{N_1} = \frac{A}{\Delta^2} \left[\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r (y_i - m)^2 \right] \quad [2.13]$$

onde m = valor nominal da tolerância

- Tolerâncias de valores diferentes:

$$L_{N_2} = \frac{1}{r} \left[\frac{A_1}{\Delta_1^2} \sum_{i=1}^r (y_i - m)^2 + \frac{A_2}{\Delta_2^2} \sum_{i=1}^r (y_i - m)^2 \right] \quad [2.14]$$

3. QUANTO-MAIOR-MELHOR (TIPO L)

$$L_L = A \Delta^2 \left[\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \frac{1}{y_i^2} \right] \quad [2.15]$$

- UM EXEMPLO DE FUNÇÃO-PERDA:

Um fabricante produz um filme de esmalte para recobrir pisos cerâmicos com uma espessura nominal m , utilizados na cobertura de áreas internas. Os consumidores querem que o filme seja espesso a ponto de resistir aos danos causados pelo uso, porém não tão espesso a ponto de impedir a liberação das bolhas provenientes do processo de fabricação, que reduzem o brilho e a durabilidade dos mesmos. Por outro lado, os fabricantes querem que o filme seja mais fino para que seja possível produzir mais área de material pelo mesmo custo. A figura 5 mostra um gráfico destes desejos contraditórios. Nessas condições, as especificações para a espessura do filme estabeleciam que este devia ser de $m \pm \Delta$. A Função-Perda, a perda para a sociedade, é a curva superior, que representa a somatória das curvas do fabricante e do consumidor. Esta curva mostra a espessura adequada para o filme que minimizará

a perda para a sociedade, e este é o ponto onde o valor nominal se encontra. Observando-se a Função-Perda pode-se ver facilmente que, no momento em que o filme se torna mais espesso do que o valor nominal, é o fabricante quem perde dinheiro. O fabricante é obrigado, por pertencer à sociedade, a produzir filmes dentro do valor nominal e reduzir a variação daquela espessura para um valor pequeno. Isto proporcionará economia à sociedade (perdas são menores para valores mais próximos do nominal). Se o fabricante não procura manter a espessura no valor nominal e causa perdas adicionais à sociedade, todos dentro desta sofrem, de certo modo, alguma perda. O fabricante, que economiza menos do que o consumidor gasta em reparos.

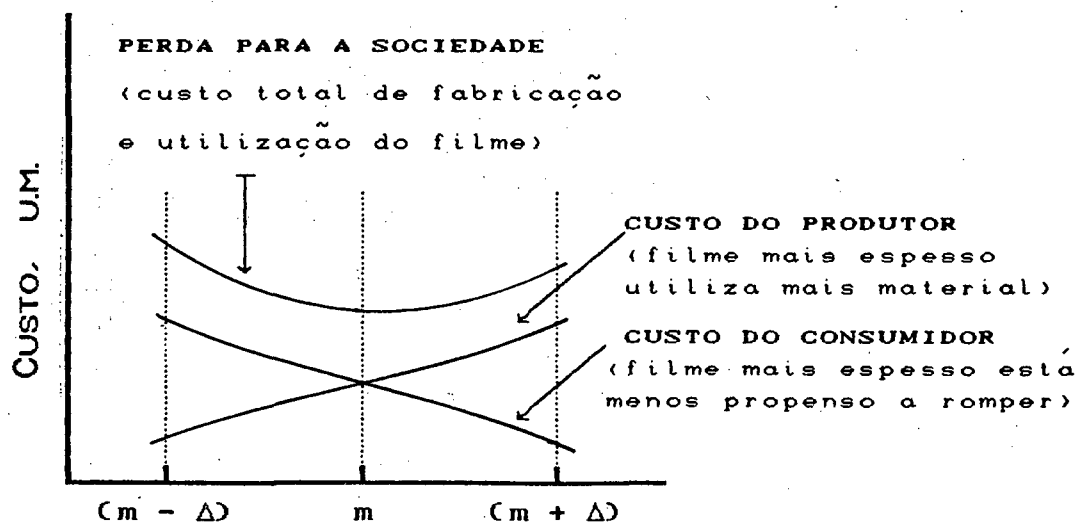


FIGURA 5 - Custo associado a cobertura de uma área com piso cerâmico.

II.2 PRODUÇÃO DE CERÂMICA GRÉS

- FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO:

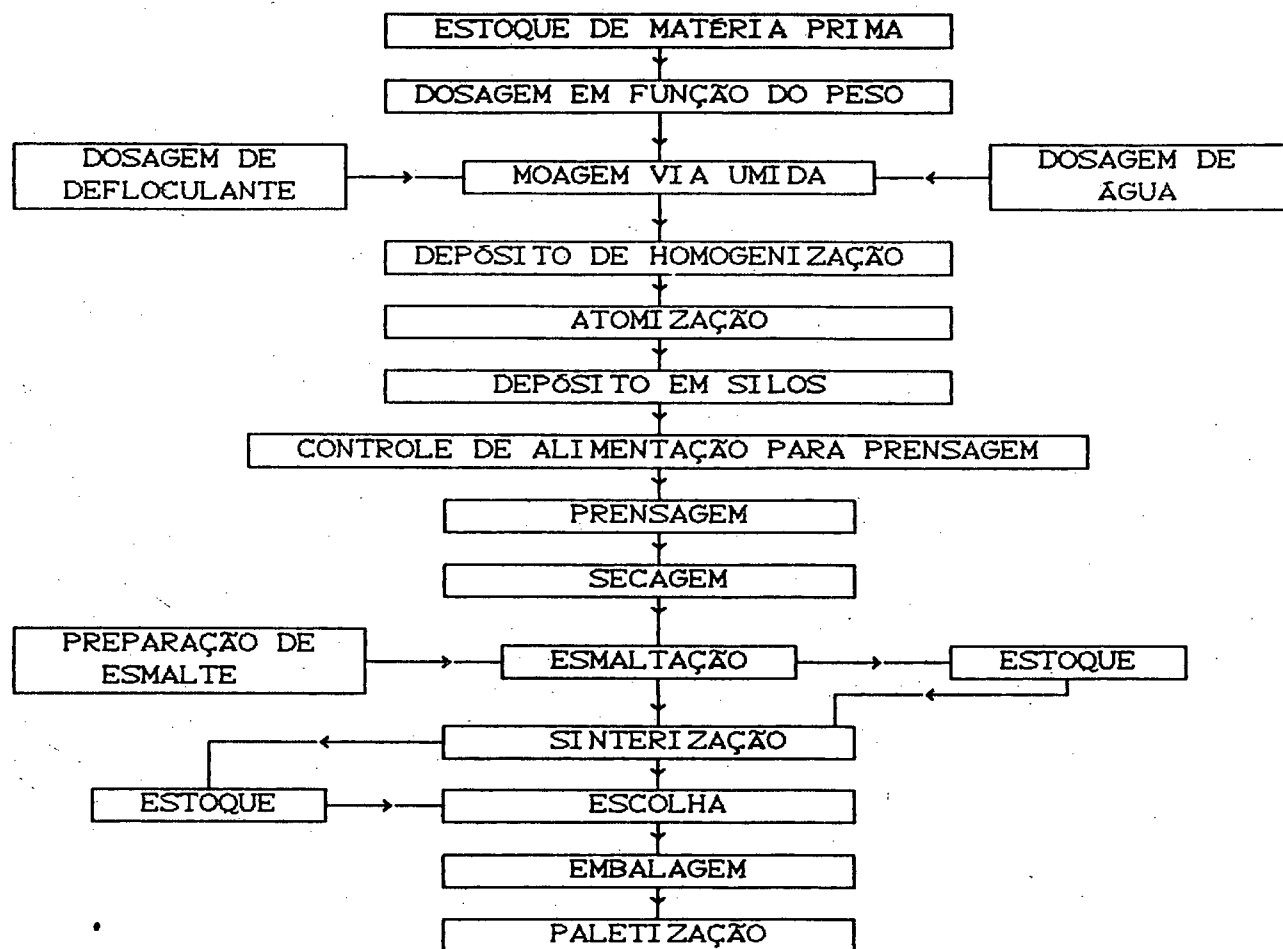


Figura 6 - Diagrama de Fluxo de uma Unidade de Produção

O processo de fabricação de cerâmica grés pode ser realizado pelas vias seca ou úmida. No processo por via seca pode-se recorrer a matérias primas mais baratas, e na úmida, simplifica-se a preparação da massa. As matérias primas que chegam à unidade fabril (silos de estocagem) devem ter a umidade e a composição química na sua forma mais homogênea possível [11], e para tal, cada matéria prima sofre, desde a sua extração na jazida até a sua colocação nos silos, um controle muito rígido das características exigidas para a

sua utilização na unidade de produção. Com a intenção de se ajustar estes parâmetros são realizados beneficiamentos de acordo com a necessidade de cada caso, tendo sempre em mente que o desejado é um material homogêneo e com características constantes.

Dos silos ou boxes de estocagem, por meio de equipamentos mecânicos de transporte, estas matérias primas são levadas a um sistema dosador, que deverá possuir o volume de carga necessário a um moinho completo. Caso não se possua um controle da granulometria destas matérias primas será necessária a utilização de mais uma etapa de beneficiamento, com a intenção de reduzir seu tamanho a um valor aceitável ao transporte e carregamento dos moinhos.

Neste ponto é feito o controle de peso de cada uma das matérias primas que constituirão a massa. Conhecendo-se o teor de umidade de cada uma delas, pode-se calcular a carga de água necessária ao complemento da mistura.

- PREPARAÇÃO DA BARBOTINA

Um sistema de correias transportadoras leva o material pesado até a boca dos moinhos de bolas, sendo este descarregado diretamente nos moinhos, adicionando-se a água necessária à mistura. Tal controle é feito volumetricamente por meio de um tanque ou medidor de vazão.

Quando as velocidades das bolas do moinho são baixas (menores do que a velocidade crítica) [12], as diferentes camadas de bolas entram em um verdadeiro movimento de circulação concêntrica em relação a uma certa zona interior praticamente imobilizada,

denominada de zona morta ou núcleo. Na camada externa, as bolas rolam a partir do alto sobre as mais baixas, como as correntes de uma cascata, motivo pelo qual qualifica-se como "regime de cascata" a este tipo de movimento. A ação das bolas se resume no esmigalhamento das partículas que se interpuserem entre elas.

Quando as velocidades das bolas do moinho forem mais altas (próximas da velocidade crítica), as bolas começam a projetar-se, a partir do alto da camada, por ação centrífuga, tendo um novo regime chamado de "catarata", por semelhança com as quedas d'água deste tipo. Esse regime se diferencia do anterior, não só pela forma da seção cheia, formada pelas camadas circulantes em torno de um núcleo morto menor, como pela presença das trajetórias parabólicas das bolas projetadas através da seção vazia e que vão cair na parte mais baixa ao longo de uma certa faixa, constituindo uma área de fragmentação por impacto, que se soma à ação revolvente da zona de circulação (impacto + atrito).

Finalmente, se a velocidade das bolas do moinho aumentar além de certos limites, uma, algumas ou todas as camadas de bolas são forçadas contra a carcaça pela força centrífuga, cessando, assim, parcialmente, ou totalmente, a circulação das camadas e toda a ação do moinho. A velocidade a partir da qual começa a haver a centrifugação do moinho, chama-se velocidade crítica (V.C.).

A barbotina (matérias primas + água + aditivos), depois de homogeneizada pelo processo de moagem, e com granulometria bem definida, é descarregada em peneiras vibratórias, que eliminam possíveis resíduos provenientes desta etapa. A barbotina é então bombeada para tanques providos de agitadores, onde permanece por um período de tempo para que seja verificada a eficiência da moagem. Pode-se realizar mais uma troca de tanque com a intenção de se

eliminar eventuais partículas ferrosas através de uma peneira vibratória provida de um separador magnético.

- PREPARAÇÃO DO ESMALTE

A matéria prima para a preparação do esmalte, a qual é constituída de fritas, é enviada pelo estoque, carregada em recipientes metálicos e pesada em uma balança fixa. Um transportador leva estes recipientes com as matérias primas dosadas e a descarrega em moinhos para que se realize o processo de cominuição das mesmas. Estes moinhos são providos de revestimento interno e a carga moedora é de cerâmica com alta densidade e dureza, que possui alto teor de óxido de alumínio.

A água para os moinhos também é controlada por meio de um tanque volumétrico ou medidor de vazão, e um moinho de pequena capacidade deve ser usado para a realização de provas de esmaltes.

O esmalte é descarregado dos moinhos por meio de uma bomba centrífuga, que o envia para um agitador de pás depois de passar pelo controle de uma peneira vibratória provida de um separador magnético. O esmalte é enviado para a máquina de esmaltação por meio de conetores de plástico.

II.21 ATOMIZAÇÃO E ESTOQUE

A barbotina depositada nos tanques agitadores é bombeada para o interior de um atomizador em forma de névoa ou gotículas, que entram em contato com ar quente em contra-fluxo, fazendo precipitar grânulos na parte inferior do atomizador com uma umidade residual muito pequena.

Através de um sistema de extração, este pó é retirado e levado por correias transportadoras para os silos de depósito, silos estes, providos de indicadores de nível, extratores vibrantes e com capacidade de aproximadamente 60 m³ cada um. O pó extraído dos silos é enviado, através de correias transportadoras, para o sistema de alimentação das prensas, depois de passar por uma peneira vibratória.

A atomização [13] é um processo bem conhecido que permite a retirada da água de uma solução ou suspensão. A evaporação do líquido começa após seu próprio aquecimento, e esta é tanto mais rápida quanto maior for a superfície na qual ocorre o processo. Nos atomizadores, este princípio é aplicado dispersando finamente o líquido por meio de dispositivos adequados. Quando este é atomizado, encontra uma corrente de gás quente, que provoca a evaporação rápida da água. O gás se mistura com o vapor e é retirado através de um sistema de exaustão adequado. Assim o material seco é separado do seu conteúdo líquido, e coletado sob a forma de pó ou de grãos de diferentes formas.

As vantagens da atomização estão na possibilidade de obter um material com características físico-químicas uniformes [13], e uma forma de grânulo que permita um bom escoamento, garantindo um bom preenchimento da matriz de compactação. Esse grânulo deverá ser um

portador provável de todas as características da massa.

Qualquer sistema de secagem a pulverização (atomização) dispõe das seguintes partes principais: sistema injetor de carga e atomizador, sistema de produção e de injeção de gás quente, câmara de secagem, sistema de separação sólido-gás e sistema de descarga do produto.

A maior parte da secagem ocorre a curta distância do bico atomizador. No instante em que uma partícula atinge a parede da câmara (se isto ocorrer) é preciso que esteja bem seca para evitar a sua aderência. Depois de saírem do bico atomizador, as gotículas de líquido passam em contra-fluxo através do gás quente da câmara de secagem. Se a carga fosse água pura, a gotícula seria evaporada na temperatura de bulbo úmido do ar de secagem, até desaparecer completamente. Na secagem de soluções ou de emulsões, a partícula secante atinge uma temperatura um tanto mais elevada que a temperatura de bulbo úmido, à medida que a secagem avança. Inicialmente o líquido evapora da superfície da gotícula. A superfície, relativamente seca, pode formar uma carapaça rígida através da qual deve haver a difusão do líquido interno. Esta difusão é um processo muito mais lento que o da transferência de calor através da carapaça, para o interior da gotícula, e por isto o líquido tem a possibilidade de evaporar-se no próprio interior do sistema. Desta maneira, a gotícula incha, a carapaça fica mais fina e a difusão através dela torna-se mais rápida. Se a carapaça externa for relativamente inelástica e impermeável, a evaporação interna será, em geral, suficientemente intensa para provocar a ruptura da casca, seja fragmentando-a, seja formando uma excrescência bulbosa lateral. Então, o produto típico de um processo de atomização é constituído por esferas ocas partidas e

esferas inteiriças.

O tempo de secagem vai depender da temperatura, da umidade e das condições de escoamento do gás de secagem, das dimensões das gotículas produzidas pelo atomizador e das propriedades do material que está sendo processado. Deste modo, as propriedades do produto acabado dependerão dos mesmos fatores.

Os pós produzidos por este processo devem ter características precisas para alcançar resultados satisfatórios na fase seguinte de prensagem, sendo mais importantes o teor de umidade e sua granulometria.

De fato, um teor de umidade demasiadamente baixo no pó causa defeitos de prensagem, tais como uma desaeração dificultosa do teor de ar do pó (provocando assim "exfoliação" e baixa resistência da peças às tensões), ao passo que um teor de umidade demasiadamente alto causa problemas na limpeza dos estampos e uma secagem posterior dificultosa. Os valores relacionados com o teor de umidade vão de 4 a 7% para a maioria dos pós a serem prensados, e quando se considera um único pó, o intervalo de tolerância é mais estreito ($1\%^{+0.5}$) [14].

Com relação à granulometria, o conteúdo de água na barbotina faz com que esta seja mais ou menos facilmente atomizada; desta forma o aumento do conteúdo de água melhora a atomização da barbotina, por produzir gotas menores. Assim, o pó atomizado apresenta tamanhos de grânulos mais finos, mas reduz a temperatura interna de trabalho do secador.

A influência da viscosidade da barbotina [15] é similar àquela da porcentagem de água. Altas viscosidades determinam tamanhos maiores de grânulos. É por outro lado, interessante evitar viscosidades muito baixas, pois a nuvem formada tenderia a mover-se

para fora da região ótima na câmara de atomização, chegando até as paredes laterais, ou até mesmo até o cone, misturada com o vórtice do ar descendente.

A pressão da bomba exerce uma influência sobre a atomização ou sobre o ângulo de saída das partículas atomizadas desde os orifícios. É evidente, também, que para uma mesma pressão de barbotina, o diâmetro do bocal irá determinar o tamanho do grânulo. A espiral, localizada logo abaixo do orifício de saída, define o movimento rotatório da barbotina, a trajetória das partículas, suas dimensões, assim como a altura da nuvem atomizada. Para um mesmo diâmetro do orifício de saída do bocal, maiores espessuras da espiral produzem um leque mais alto e mais definido, causando a formação de gotas de barbotina maiores e, conseqüentemente, tamanhos de grânulos maiores.

O conhecimento das granulometrias se faz pelo estabelecimento de uma série de aberturas [15], que guardem entre si uma dada relação constante, constituindo uma escala granulométrica. Uma análise granulométrica fornece a distribuição dos tamanhos de dada coleção de grânulos segundo uma certa escala granulométrica. Ela consiste em determinar as frações ponderais das partículas que ficam retidas nas sucessivas malhas da escala. A execução se faz em laboratório, segundo métodos padronizados, a fim de que os resultados sejam comparáveis. Obtidas as diferentes frações, organiza-se a respectiva tabela na qual figurem tanto as porcentagens das partículas retidas nesta malha, mas que passaram na anterior, assim como a soma de todas as porcentagens referentes às malhas anteriores à malha considerada, tendo-se, então, a porcentagem acumulada até esta dita malha.

As análises granulométricas se representam graficamente, de

diferentes modos, oferecendo então imagem mais objetiva da granulometria. A convenção usual é tomar as aberturas de malha como abcissas e as porcentagens como ordenadas. As escalas podem ser lineares ou logarítmicas e as porcentagens podem ser as simples ou as acumuladas.

Outra forma de análise da granulometria é a comparação do diâmetro médio da amostragem global (Dm.Global) de cada uma das massas. E para tal, realiza-se o somatório das quantidades em porcentagem que ficam retidas em cada peneira (Δm) em função do diâmetro médio (d_a) de cada classe (largura média entre as peneiras).

$$\text{Dm. Global} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta m_i * d_{a_i}}{100} \quad (\text{mm}) \quad [2.16]$$

Desta forma pode-se analisar o estado granulométrico de um conjunto de partículas. Considerando o caso de um conjunto de partículas de variados tamanhos, cujo estado granulométrico se expressa por uma tabela de análise granulométrica, pode-se considerar cada classe como sendo formada de um só diâmetro médio e que será a média das aberturas das malhas que a compreendem. Assim é possível determinar o inverso do diâmetro de cada classe, e, portanto, a superfície específica de cada uma e, conseqüentemente, a superfície específica do conjunto. Isto implica em supor, também, que as partículas sejam todas da mesma forma para que o fator de proporcionalidade seja o mesmo. Supõe-se, igualmente, que se trate de uma só espécie mineral e assim a porcentagem em peso é a mesma em volume.

Sendo Δm_i a porcentagem de partículas da classe i e d_{a_i} o seu diâmetro médio, a superfície relativa à classe i será $\Delta m_i/d_{a_i}$ e a sua superfície total será,

$$S_t = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta m_i}{d_{a_i}} \quad [2.17]$$

Sendo o volume total das partículas proporcional a 100 (soma das porcentagens de classes), o tamanho equivalente X_t dos tamanhos individuais das classes é aquele cujo inverso seja igual à superfície total, isto é, (superfície/volume) = $(1/X_t)$, ou:

$$\frac{S_t}{100} = \frac{1}{X_t} \quad [2.18]$$

ou

$$X_t = \frac{100}{S_t} \quad [2.19]$$

II.2.2 PRENSAGEM E SECAGEM

A alimentação do pó atomizado nas prensas é realizada automaticamente por meio de recipientes providos de indicador de nível de segurança mínima e máxima. Estes alimentam grelhas que auxiliam o preenchimento homogêneo da cavidade da matriz.

Com o aumento da pressão de carga, amplia-se a compactação da peça e reduz-se sua porosidade no estado cru. Esta redução causa uma diminuição da contração linear e da porosidade aberta durante a

sinterização, devido a uma menor porosidade inicial. Isto acarreta também uma variação mais suave destes efeitos com a temperatura, o que favorece a estabilidade dimensional, ocasionando uma ligeira diminuição da temperatura de vitrificação e da temperatura em que ocorre o inchamento da peça, uma vez que, com o aumento da pressão, aumenta o número de contatos superficiais entre as partículas, o que acelera as reações [16].

Uma das formas de se caracterizar o corpo prensado é a avaliação em função da sua densidade aparente. A variação desta densidade em uma mesma peça dará lugar a diferentes contrações dentro dela, e será a origem de deformações na peça sinterizada [17].

Quando se fala em compactação a seco, subentende-se que a massa contém um teor de umidade entre 1 e 7%, e a indústria o prefere, em função da diminuição do tempo de secagem das peças e da redução da contração na secagem, favorecendo a obtenção de boa precisão dimensional.

Os principais objetivos deste processo são:

- i) Distribuir uniformemente a massa no estampo;
- ii) Usar uma pressão suficientemente alta para compactar a massa e garantir um completo rompimento de todos os grãos atomizados;
- iii) Obter peças com as dimensões bem definidas, com fácil manipulação, sem quebrar.

Dentre os fatores que influenciam no processo de compactação, pode-se destacar dois grupos bem distintos [18]: (i) fatores que irão determinar efeitos marcantes sobre as características do

produto acabado, provenientes das operações que ocorreram antes da compactação, como a granulometria, a umidade e a preparação da massa; e (ii) fatores que são provenientes da própria operação de compactação, como a forma de preenchimento do estampo, a velocidade de aplicação da pressão e a direção de compactação. A falta de controle destes fatores acarretará defeitos na peça acabada.

Após a prensagem, os corpos são levados por meio de transportadores automáticos para o secador vertical, que evapora a umidade do corpo, conferindo-lhe resistência. O secador está conetado diretamente com a linha automática de esmaltação.

A secagem de corpos cerâmicos é efetuada em duas etapas [19]. Na primeira, vaporiza-se unicamente a água da superfície, e na segunda, vaporiza-se a água situada no interior dos poros, que chega à superfície na forma de vapor.

Na primeira etapa da secagem tem-se a formação de uma película de água sobre a superfície, na qual a velocidade de vaporização dependerá integralmente das condições atmosféricas presentes nesta etapa. À medida que esta se evapora da superfície, fluirá ou difundirá água do interior da peça, para compensar a perda superficial sofrida pela evaporação. Como esta não pode chegar até a superfície com a mesma taxa em que ocorre a evaporação superficial, então a taxa de secagem se reduz.

Na segunda etapa da secagem tem-se a difusão da umidade do interior da peça a secar, sendo esta uma função direta da temperatura do ambiente, como também uma consequência do número e do tamanho dos poros. A estrutura destes, por sua vez, depende do tamanho e da forma de aglomeração das partículas que constituem a massa cerâmica. Para uma determinada forma, a máxima velocidade de difusão da água até a superfície, está diretamente relacionada com

o teor de água da peça.

Como a água do interior não pode chegar a superfície com a mesma rapidez com que se evapora, esta começa a secar e, ao mesmo tempo, a retrair-se. Se a evaporação superficial for demasiadamente rápida, a retração superficial será excessiva, mantendo o interior da peça na sua forma original, o que provocará a sua ruptura.

As massas densas, preparadas com materiais finamente pulverizados e moldadas com altas pressões, tem uma velocidade de difusão mais lenta do que as massas porosas, formadas por partículas maiores. Essas massas deverão secar-se com mais cuidado, a fim de evitar trincas.

A velocidade de secagem tende para zero, quando se atinge a umidade de equilíbrio, que é a menor umidade possível que se pode atingir nas condições em que o sólido está secando. Nestas condições, o corpo cerâmico é considerado tecnicamente seco, possuindo ainda uma umidade residual de 1 a 2%. Neste estado o corpo cerâmico tem sua rigidez aumentada, o que facilita o manuseio. Essa rigidez é devida a coesão entre as partículas, ocasionada pelas forças de van der Waals.

O aquecimento deve ser suficientemente lento para permitir a homogeneização da temperatura ao longo de todo o corpo cerâmico. O perigo da secagem se manifesta quando ocorre um gradiente de temperaturas no corpo. Devido a este gradiente, a dilatação térmica poderá produzir tensões perigosas geradas pelas transformações físicas dos materiais no processo de secagem. Desta forma, um corpo cerâmico de grandes dimensões apresentará um gradiente de temperatura muito maior (particularmente no seu interior). Como é muito lenta a homogeneização da temperatura em um corpo cerâmico, o seu aquecimento não deve ser forçado, a fim de

preservar a sua integridade física.

O processo de secagem inicia-se no secador, quando a primeira água se vaporiza a 120°C (água higroscópica), a segunda entre 150 e 350°C (água interfoliar, lamelar) ocorre na região de pré-aquecimento do forno, e a terceira, que é a de constituição das matérias, vaporiza-se na zona de oxidação dos fornos, entre 450 e 650°C . A secagem dos dois primeiros estágios deve ser lenta, com o objetivo de se evitar rachaduras de pré-aquecimento.

A principal propriedade que devemos considerar para um produto seco é a sua resistência mecânica a verde. Essa garante o manuseio antes da queima. Seu mecanismo de resistência envolve tanto as forças de atração iônicas como as de van der Waals e considerável número de ligações primárias.

- ESMALTAÇÃO

A esmaltação é realizada por meio de esmaltadeiras, equipadas de tal forma que se obtenham vários efeitos na decoração de uma peça, podendo ser completada por máquinas decoradoras serigráficas. Na saída da linha de esmaltação tem-se uma máquina que coleta os corpos e os deposita em vagonetes, de forma automática. Esses realizam o transporte até a zona de alimentação automática do forno, ou então servem de depósito intermediário para os produtos.

II.2.3 SINTERIZAÇÃO E ESCOLHA

A sinterização, que é a principal fase deste processo, se caracteriza por uma gama de alterações físicas bastante complexas, e por reações químicas que, quando bem controladas e conhecidas, permitem o controle do processo.

As reações e mudanças que ocorrem durante o processo são sempre seguidas por liberação ou absorção de calor, assim como por variações no peso e no tamanho do corpo. Quase todos os defeitos se tornam evidentes após esta fase, mas somente alguns deles se devem a ela. Em todo o caso, é muito difícil fazer uma classificação dos defeitos com base na sua origem, já que são usualmente causados por mais de um fator.

Os principais fenômenos que ocorrem durante as diferentes etapas da sinterização, são resumidos no quadro (2.1) [20].

TEMPERATURA °C	REAÇÃO
Até 100	Perda de umidade
100~200°	Perda de água adsorvida
450°	Desintegração da estrutura da argila e aumento da porosidade
500°	Oxidação da matéria orgânica
573°	Inversão de quartzo α em β
950°	Formação da espinéla na argila
1100°	Formação da mullita
1100~1200	Funde-se o feldspato e dissolve-se a argila e a cristobalita, acelera a contração e diminui a porosidade

QUADRO 2.1 - Reações na sinterização de uma massa

A microestrutura, após a sinterização, compreende uma matriz predominantemente vítrea (formada a partir da sinterização por fluxo viscoso de uma mistura de óxidos fundidos) com eventual presença de fases cristalinas (por exemplo, mullita), uma segunda fase inerte (material de enchimento que controla o encolhimento) e,

evidentemente, poros:

A sinterização se realiza em fornos de rolos do tipo monoqueima, e a combustão é realizada por gás pobre. A carga e a descarga destes fornos é efetuada automaticamente. Uma máquina automática realiza a descarga dos corpos localizados nos vagonetes e os envia ao grupo de carga do forno. A descarga do forno está ligada à linha de seleção dos produtos acabados que, através de uma série de dispositivos específicos, identificam automaticamente defeitos particulares de forma e estrutura. As operações de codificação, embalagem e paletização são completamente mecanizadas.

CAPÍTULO III

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

III.1 CARACTERÍSTICAS DAS MATÉRIAS PRIMAS

A caracterização das matérias primas envolvidas no experimento projetado, que servem de base para o estudo, têm como origem uma massa cerâmica (tabela 3.1) utilizada na indústria, cujas características encontram-se tabeladas a seguir (tab. 3.2 a 3.7):

- MATÉRIAS PRIMAS:

ARGILA X	16.0 %
ARGILA Y	24.0 %
ARGILA Z	30.0 %
FILITO	25.0 %
TALCO	5.0 %
ADITIVO	0.8 %
ÁGUA	56.0 %

TABELA 3.1 - Composição da MASSA PORTOBELLO fornecida para o experimento projetado

	ARGILA X	ARGILA Y	ARGILA Z	FILITO	TALCO
PRESSÃO DE FORMA	100	100	100	100	---
RESISTÊNCIA VERDE	8~10	6~8	4~6	4~6	---
RESISTÊNCIA A SECO	20~25	18~22	10~15	8~10	---

TABELA 3.2 - Características das matérias primas (cPa)

	ARGILA X				ARGILA Y				ARGILA Z				FILITO			
T	115	116	118	119	108	112	116	120	115	117	118	119	115	117	118	119
R	8.0	8.2	9.0	9.5	0.7	1.8	3.1	4.4	5.5	4.5	5.2	5.5	6.5	7.0	7.5	8.0
A	5.5	5.0	3.5	3.0	18.	15.	13.	10.	6.8	6.0	5.0	4.5	14.	12.	8.8	8.2
C	N Ã O				N Ã O				N Ã O				N Ã O			

T * 10 => TEMPERATURA °C R => RETRAÇÃO % A => ABSORÇÃO DE H₂O %
C => CORAÇÃO PRETO

TABELA 3.3 - Características das matérias primas queimadas

	ARGILA X	ARGILA Y	ARGILA Z	FILITO	TALCO
CAULINITA	⊗	⊗	⊗	⊗	
QUARTZO	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
ILITA		⊗	⊗	⊗	
MICA	⊗				
TALCO					⊗
CLORITA					⊗

TABELA 3.4 - Análise mineralógica das matérias primas

	ARGILA X	ARGILA Y	ARGILA Z	FILITO	TALCO
Si. O ₂	62.20	63.01	72.87	73.50	64.31
Al ₂ . O ₃	23.50	23.78	15.64	15.80	5.68
Fe ₂ . O ₃	2.25	1.66	0.25	0.64	1.54
Ti. O ₂	0.95	6.67	2.95	1.08	0.15
Ca. O	----	1.19	0.10	0.01	0.41
Mg. O	0.43	0.26	1.18	1.51	21.89
Na ₂ . O	0.14	0.39	0.20	0.16	0.11
K ₂ . O	2.97	2.24	2.31	4.28	0.50
PERDA AO FOGO	7.53	6.56	4.12	2.82	5.28

TABELA 3.5 - Análise química das matérias primas

- PROCESSO:

MOAGEM	FACIL
REOLOGIA DA BARBOTINA	
DENSIDADE	1.66
VISCOSIDADE	28 s
PRENSABILIDADE	BOA
MODULO VERDE	785 Pa
MODULO SECO	2160 Pa
ESTABILIDADE DE QUEIMA	1160~1180 ^o C
CICLO DE QUEIMA	2400 s

TABELA 3.6 - Características do processo de fabricação

- PRODUTO:

COR	ESTÁVEL e CLARA
RETRAÇÃO	6.0 %
ABSORÇÃO DE ÁGUA	4.5 %
RESISTENCIA DO QUEIMADO	33360 Pa
RESISTENCIA DO PENSADO	
VERDE	690 Pa
A SECO	1470 Pa

TABELA 3.7 - Características do produto (MASSA PORTOBELLO)

III.2 ORGANIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Com o objetivo de melhorar a fabricação e a confiabilidade de um produto que apresente oscilações durante o processo produtivo, sem aumentar custos, utilizou-se o experimento projetado baseado na metodologia TAGUCHI. O mesmo tem a função de reduzir tais oscilações, pela alteração da sensibilidade do produto ao processo produtivo, minimizando-a através de uma investigação dirigida aos valores que otimizam a variação de desempenho.

O problema em questão é uma massa cerâmica que, devido às oscilações de temperatura ao longo do forno (processo produtivo), apresenta uma distribuição irregular nas dimensões do produto acabado. Esta massa será denominada MASSA PORTOBELLO (em função do auxílio prestado pela CERÂMICA PORTOBELLO, cedendo um produto de sua linha comercial para a realização do experimento projetado).

Quando se planeja um experimento (massa cerâmica), deve-se considerar sua influência no custo final do produto. Portanto, é necessário que se conheçam as argilas e as demais matérias primas, no tocante às suas propriedades, aos tratamentos prévios necessários, e aos custos envolvidos na extração e transporte, pois a falta de controle destas características implica em uma queda na qualidade do produto final.

Na decisão sobre qual tabela ortogonal utilizar no experimento projetado, levou-se em consideração o número de variáveis existentes no produto (massa) e a quantidade de experimentos que devem ser realizados, a fim de que a análise final seja suficientemente representativa para uma solução robusta e eficaz.

Como a massa possuía 5 (cinco) matérias primas na sua

constituição ou seja, 5 (cinco) variáveis, e não seria possível realizar um número excessivo de experimentos, optou-se pela tabela ortogonal do tipo $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ (tabela 3.8) [20], o que por si só já provocaria uma carga seca de 2.700 kg, em função da carga mínima do moinho (150 kg).

Col Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
01	1	1	1	1	1	1	1	1
02	1	1	2	2	2	2	2	2
03	1	1	3	3	3	3	3	3
04	1	2	1	1	2	2	3	3
05	1	2	2	2	3	3	1	1
06	1	2	3	3	1	1	2	2
07	1	3	1	2	1	3	2	3
08	1	3	2	3	2	1	3	1
09	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

TABELA 3.8-Tabela ortogonal do tipo $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ [20]

Usou-se a tabela (3.8) para o delineamento do experimento. Cada coluna foi preenchida por uma das variáveis definidas pela MASSA PORTOBELLO. Como o número de variáveis é menor do que o número de colunas, tem-se um projeto de experimento não-saturado. As colunas foram definidas da seguinte forma: coluna 1 - FILITO, coluna 2 - TALCO, coluna 3 - ARGILA X, coluna 4 - ARGILA Y e coluna 5 - ARGILA Z. Devido à falta de um elemento inerte (tipo chamote),

isto é, que não se altere nem interfira no processo de fabricação, optou-se por uma análise e montagem do problema de tal forma que cada nível representasse uma faixa de variação da composição da massa. Desta forma, recorreu-se à engenharia para avaliar de quanto cada componente poderia variar, sem colocar em risco a formulação e a ortogonalidade do experimento. Utilizou-se a ARGILA Z como elemento de totalização da formulação; isto é, ela passou a totalizar os 100% da mistura, uma vez que não foi utilizado nenhum outro artifício na totalização da mistura, com o objetivo de não alterar o resultado final de toda a experimentação.

Desta forma, foram definidas as faixas de variação de cada constituinte em função das características que impõem à massa final. O filito, que é um fundente, diminui consideravelmente a absorção de água do sinterizado e aumenta em muito a resistência mecânica do mesmo. Em contrapartida, aumenta substancialmente a retração do sinterizado e diminui a resistência mecânica do prensado a seco. Tem-se como interesse que, quanto menos ele estiver presente na formulação, melhor será, pois tem influência sobre o seu custo final. Optou-se, desta forma, pela variação entre 20 e 25% na montagem do experimento projetado para esta matéria prima.

O talco, que também é fundente, confere a massa característica de clareamento, em função de sua cor de queima, que é branca. Sendo as demais características similares às conferidas pelo filito, inclusive, com relação a sua influência sobre o custo final, optou-se por sua variação entre 4 e 10% na constituição da massa.

A argila X colabora na massa, conferindo-lhe como principal característica à resistência mecânica do corpo cerâmico prensado a seco. No entanto, devido ao problema da falta de garantia de

fornecimento desta argila com características constantes, o quanto menos desta for utilizado na formulação, melhor será. Optou-se por sua variação entre 10 e 20% na constituição da massa e, devido a todos os problemas por ela causados na produção, foi eleita como sendo o tema central de trabalho, e assim sendo, o tema central da tabela ortogonal experimental.

A argila Y, com cor de queima branca, confere à massa características de redução considerável na retração do sinterizado e aumento na resistência mecânica do prensado cru. Em contrapartida, produz um aumento considerável na absorção de água do sinterizado e uma redução da resistência mecânica do prensado e do sinterizado, por isso, quanto mais desta estiver presente na constituição da massa, melhor será. Seu teor foi variado entre 20 e 30%.

A argila Z diminui a absorção de água do sinterizado, aumenta a resistência mecânica do prensado cru e a seco, e aumenta em muito a resistência mecânica do sinterizado. Em contrapartida, aumenta a retração do sinterizado. Quando mais desta estiver presente, melhor será. Seu teor na constituição da massa foi variado entre 17 e 35%.

Desta forma, toda a montagem do arranjo ortogonal foi fundamentada na figura 4, tendo-se em mente que todo somatório inicia no elemento definido como 3_n (elemento central) e segue os caminhos superior em direção de 2_n e 1_n , e inferior em direção de 4_n e 5_n , sendo que o experimento de número $1_1 2_1 3_1 4_1 5_1$ é o definido como MASSA PORTOBELLO. Na tabela 3.9 encontram-se os valores percentuais adotados para cada matéria prima, seguindo o esquema da figura 7.

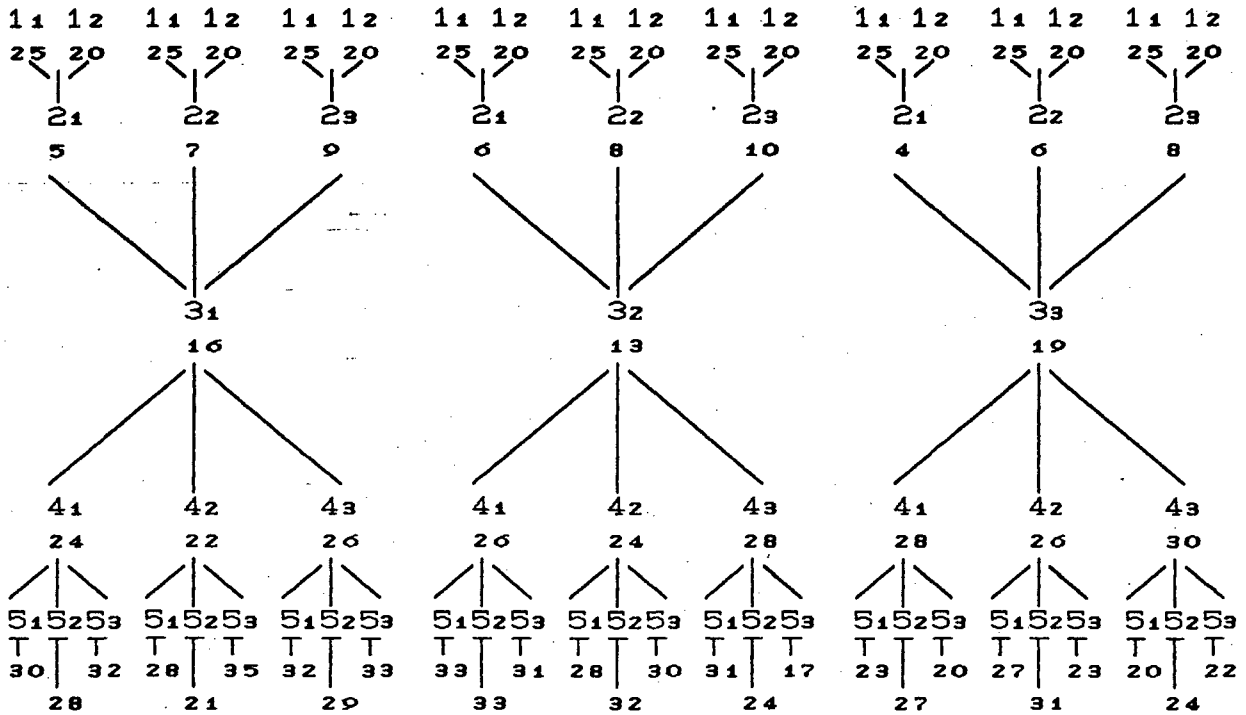


FIGURA 7 - Montagem para a tabela ortogonal experimental

Col Nº	1		2		3		4		5		TOTAL
	FILITO	TALCO	ARGILA X	ARGILA Y	ARGILA Z	TOTAL					
01	1	25	1	05	1	16	1	24	1	30	100
02	1	25	1	06	2	13	2	24	2	32	100
03	1	25	1	04	3	19	3	30	3	22	100
04	1	25	2	07	1	16	1	24	2	28	100
05	1	25	2	08	2	13	2	24	3	30	100
06	1	25	2	06	3	19	3	30	1	20	100
07	1	25	3	09	1	16	2	22	1	28	100
08	1	25	3	10	2	13	3	28	2	24	100
09	1	25	3	08	3	19	1	28	3	20	100
10	2	20	1	05	1	16	3	26	3	33	100
11	2	20	1	06	2	13	1	26	1	35	100
12	2	20	1	04	3	19	2	26	2	31	100
13	2	20	2	07	1	16	2	22	3	35	100
14	2	20	2	08	2	13	3	28	1	31	100
15	2	20	2	06	3	19	1	28	2	27	100
16	2	20	3	09	1	16	2	26	2	29	100
17	2	20	3	10	2	13	3	26	3	31	100
18	2	20	3	08	3	19	1	26	1	27	100

TABELA 3.9 - Tabela ortogonal para a fase experimental que expressa seus valores em porcentagem.

III.3 PROCESSAMENTO PILOTO

A etapa de preparação das matérias primas foi realizada junto à unidade de produção da Cerâmica Portobello. A preparação das massas, moagem e atomização foram realizadas na unidade piloto de produção cerâmica da Escola Técnica SENAI de Tijuca, S.C.. A compactação foi realizada no LABMAT - UFSC. E as etapas de secagem e sinterização foram realizadas nos laboratórios da Cerâmica Portobello.

III.3.1 PREPARAÇÃO DAS MATERIAS PRIMAS

Para que a fase experimental fosse levada a contento, garantindo-se que o lote de matérias primas estivesse completo para a fase de moagem e a sua homogeneidade garantida, realizou-se uma análise completa do teor de umidade de cada uma das matérias primas que já se encontravam nos boxes de armazenamento para consumo. Ou seja, utilizou-se somente material que já havia sido previamente tratado e homogeneizado, mas, assim mesmo, foi considerado o processo de redução de amostragem denominado de QUARTEAMENTO [21], com o objetivo de ter-se sempre uma amostragem homogênea e capaz de fornecer informações sobre as características da grande massa.

A secagem foi realizada em uma estufa, e a massa total da amostra úmida (M.u.) utilizada foi de 0.100 kg. Estas foram colocadas em cápsulas de vidro e levadas para a estufa a 110°C, até que seu peso se mantivesse constante, ou seja, até que toda a água higroscópica fosse eliminada. Para verificar se toda a água foi

eliminada, colocou-se uma placa de vidro sobre a cápsula, a fim de assegurar-se que a mesma não apresentava depósitos da água. Com o valor, em gramas, obtido da massa seca (M.s.) determinou-se o valor do teor de umidade (U%), utilizando-se a equação 3.1, a fim de corrigir o valor de matéria prima necessária para toda a experimentação, valores estes demonstrados na tabela 3.10.

$$U\% = \frac{(M.u. - M.s.)}{M.s.} \times 100 \quad [3.1]$$

	M. u. (kg)	M. s. (kg)	U. (%)	MASSA SECA (kg)	MASSA CORRIGIDA (kg)
FILITO	0.100	0.889	12.49	608.0	683.9
TALCO	0.100	0.943	6.04	189.0	200.4
ARGILA X	0.100	0.728	37.36	432.0	593.4
ARGILA Y	0.100	0.756	32.28	702.0	928.6
ARGILA Z	0.100	0.782	27.88	770.0	984.7

Tabela 3.10 - Cálculo da massa corrigida em função da umidade

Toda matéria prima citada na tabela 3.10 foi coletada e estocada em sacos plásticos de 50 kg para um futuro tratamento, com o objetivo de modificar as suas condições de forma, reduzindo a granulometria, tornando-a conveniente à aplicação.

Aos valores da coluna massa corrigida foram acrescentados mais 10 % com objetivo de prevenir as perdas que poderiam acontecer durante todo o processamento. Desta forma, foram coletados 753 kg de FILITO, 221 kg de TALCO, 653 kg de ARGILA X, 1022 kg de ARGILA Y e 1084 kg de ARGILA Z.

Toda a matéria prima estocada foi secada a uma temperatura de 110°C por uma hora, com a intenção de se eliminar grande parte da água higroscópica. Nestas condições, a matéria prima assume uma rigidez que permite o seu manuseio; esta rigidez é devida à coesão

entre as partículas, chamada de força de van der Waals. Este fenômeno é reversível, isto é, em presença de água a argila tornar-se deformável (retorna a plasticidade).

Durante o processo de secagem forma-se uma película de água sobre a superfície do material. A velocidade de evaporação vai depender da diferença da tensão de vapor dessa água e do ar circundante, assim como da velocidade e direção da corrente deste ar. Convém ressaltar neste momento que, como não se deseja alterações na quantidade de água interfoliar ou lamelar (que é eliminada somente na segunda etapa da secagem, ou seja, após ultrapassar o ponto crítico de secagem, onde a velocidade de evaporação perde o comportamento linear) manteve-se o ambiente da estufa bastante saturado com a intenção de reduzir a quantidade da água que evapora, uma vez que ela não poderá chegar à superfície com grande velocidade, mantendo assim o comportamento da velocidade de evaporação linear.

À medida que a matéria prima saía do secador, a mesma era levada para fragmentação em um granulador de impacto (moinho de martelos). Este consta de um curto tambor ou disco giratório ao qual se articulam martelos de aço cuja trajetória circular se inscreve numa câmara de fragmentação parcialmente aberta para cima. Por esta câmara entra o material a ser fragmentado, limitado por fortes paredes laterais e por uma grade de barras paralelas ao eixo do rotor na seção inferior, por onde o material moído é descarregado. O afastamento destas barras define a granulometria do produto. O fraturamento se dá pelo rompimento de suas forças de coesão ao longo das superfícies que se formam; portanto, o fraturamento importa na aplicação de uma certa quantidade de energia proporcional à energia de coesão rompida.

que estas ainda possuem, a fim de se corrigir a quantidade de água e de matéria prima que será adicionada para o processo de moagem subsequente, uma vez que este se dá por via úmida.

Como a carga seca do moinho deve ser de 150.0 kg, os valores da tabela 3.9 devem ser convertidos em quantidades expressas em quilogramas (tabela 3.11):

Col N ^o	1 FILITO		2 TALCO		3 ARGILA X		4 ARGILA Y		5 ARGILA Z		TOTAL
01	1	37.5	1	7.5	1	24.0	1	36.0	1	45.0	150
02	1	37.5	1	9.0	2	19.5	2	36.0	2	48.0	150
03	1	37.5	1	6.0	3	28.5	3	45.0	3	33.0	150
04	1	37.5	2	10.5	1	24.0	1	36.0	2	42.0	150
05	1	37.5	2	12.0	2	19.5	2	36.0	3	45.0	150
06	1	37.5	2	9.0	3	28.5	3	45.0	1	30.0	150
07	1	37.5	3	13.5	1	24.0	2	33.0	1	42.0	150
08	1	37.5	3	15.0	2	19.5	3	42.0	2	36.0	150
09	1	37.5	3	12.0	3	28.5	1	42.0	3	30.0	150
10	2	30.0	1	7.5	1	24.0	3	39.0	3	49.5	150
11	2	30.0	1	9.0	2	19.5	1	39.0	1	52.5	150
12	2	30.0	1	6.0	3	28.5	2	39.0	2	46.5	150
13	2	30.0	2	10.5	1	24.0	2	33.0	3	52.5	150
14	2	30.0	2	12.0	2	19.5	3	42.0	1	46.5	150
15	2	30.0	2	9.0	3	28.5	1	42.0	2	40.5	150
16	2	30.0	3	13.5	1	24.0	2	39.0	2	43.5	150
17	2	30.0	3	15.0	2	19.5	3	39.0	3	46.5	150
18	2	30.0	3	12.0	3	28.5	1	39.0	1	40.5	150

TABELA 3.11-Tabela ortogonal para a fase experimental que expressa seus valores em quilogramas.

Após a coleta de amostras de cada uma das matérias primas que compõem o experimento, estas foram levadas para uma estufa com a temperatura estabilizada em 110°C, Calculando-se a quantidade de água presente em cada uma delas, utilizando a equação (3.1). Determinou-se a massa de água (M.hzO) presente em cada matéria prima, e tal valor é utilizado para corrigir a sua massa (utilizando-se a própria matéria prima); o somatório destas massas deve ser subtraído do total de água (Mt.hzO) a ser ministrado no experimento (Mx.hzO) definindo a massa de água corrigida. Tais

valores encontram-se descritos no ANEXO A, nas tabelas (A.01.1) a (A.18.1).

$$M. h_2O = M. s. * U\% \quad [3.2]$$

$$\text{Massa Corrigida} = M. s. + M. h_2O \quad [3.3]$$

$$Mx. h_2O = \left[M. h_2O_{FI} + M. h_2O_{TA} + M. h_2O_{AL} + M. h_2O_{CF} + M. h_2O_{CA} \right] - Mt. h_2O \quad [3.4]$$

III.3.3 MOAGEM DAS MASSAS

A carga de um moinho é composta das matérias primas e da água definidas no item III.3.2 e de defloculantes, que são aditivos com a função de dispersar as partículas coloidais, de forma a se obter suspensões fluidas com o mínimo possível de água. O defloculante usado foi o silicato de sódio fornecido pela ICI Brasil S.A. sob o nome de silicato MEIA LUA - DEFLOCK.

O moinho de bolas utilizado no ensaio tem a capacidade nominal de 500 litros. Como o revestimento interno foi alterado, em função deste ter sido confeccionado para ser utilizado na moagem de esmaltes, e não para matérias primas, foi realizado um cálculo do seu volume total (V.T.), levando-se em conta que o seu comprimento (L) é de 0.79 m e o seu diâmetro (D) é de 0.72 m, definindo assim o seu volume útil (V.v.), que é 45% do volume total:

$$V. T. = \frac{\pi * D^2}{4} * L \quad [3.5]$$

$$V.T. = \frac{\pi * (0.72)^2}{4} * (0.79) = 0.322 \text{ m}^3 = 322 \text{ l.}$$

$$V.v. = 45 \% * V.T. \quad [3.6]$$

$$V.v. = 45 \% * 322 = 145 \text{ litros}$$

A velocidade de rotação (n) do moinho depende do aparato de transmissão e do motor, e a velocidade periférica (v) depende do diâmetro e da velocidade de rotação do moinho e é calculado pela relação:

$$v = \pi * D * n \quad (\text{m/min}) \quad [3.7]$$

A velocidade periférica crítica (v_c) de um moinho pode expressar-se em função do raio (R) ou do diâmetro (D) do mesmo:

$$v_c \cong 188 * \sqrt{R} \quad (\text{m/min}) \quad [3.8]$$

$$v_c \cong 133 * \sqrt{D} \quad (\text{m/min}) \quad [3.9]$$

Analogamente o número de giros crítico (n_c) será:

$$n_c \cong \frac{30}{\sqrt{R}} \quad (\text{rpm}) \quad [3.10]$$

$$n_c \cong \frac{42.3}{\sqrt{D}} \quad (\text{rpm}) \quad [3.11]$$

Desta forma:

- Número crítico de rotações $n_c = 42.3/\sqrt{D}$ (rpm)
- Velocidade crítica periférica $v_c = 133*\sqrt{D}$ (m/min)

A velocidade periférica (v_o) e o número de rotações otimizadas (n_o) correspondem a, aproximadamente, 70 % do número crítico de rotações e da velocidade crítica periférica [22].

$$v_o \cong 70\% * v_c \quad [3.12]$$

e

$$n_o \cong 70\% * n_c \quad [3.13]$$

Na prática, a moagem via úmida ocorre entre 50 e 65% dos valores críticos, pois devemos levar em consideração que a carga é composta das bolas e de produto, o que altera o ângulo de cascata, aumentando-o.

$$\text{Velocidade periférica prática: } v_p = (0.50 \sim 0.65) * v_c \quad [3.14]$$

$$\text{Número de rotações por minuto: } n_p = (0.50 \sim 0.65) * n_c \quad [3.15]$$

O moinho utilizado tem um acionamento que parte de um motor elétrico com 1750 rpm (n_1). Sua rotação é transferida por um sistema de polias distribuídas da seguinte maneira: a primeira polia está acoplada ao eixo do motor e tem um diâmetro de 7.0 cm (D_1); um segundo eixo, com duas polias, sendo que a primeira com diâmetro de 58.0 cm (D_2), recebe o acionamento e o transfere por um outro, de diâmetro 10.2 cm (D_3), para o moinho, que tem um diâmetro externo de 85.0 cm. (D_4). Desta forma, pode-se calcular a rotação periférica do moinho (n_4), através da fórmula:

$$n_4 = \frac{n_1 * D_1 * D_3}{D_2 * D_4} = 25.35 \quad (\text{rpm})$$

A rotação crítica para o moinho, com diâmetro interno (D) de 0.73 m, foi calculada pela equação 3.11; a rotação otimizada, pela equação 3.13, e a rotação prática de trabalho, pela equação 3.15:

$$n_c = 49.85 \text{ rpm}$$

$$n_o = 34.90 \text{ rpm}$$

$$n_p = (24.93 \sim 32.40) \text{ rpm}$$

Desta forma, a rotação calculada encontra-se dentro da faixa estipulada pela rotação prática de trabalho ($n_{p1} < n_4 < n_{p2}$), dentro de um regime em catarata, o melhor para o trabalho a ser realizado.

O grau de rompimento ótimo de um corpo a ser cominuído em um moinho corresponde à porcentagem de enchimento do mesmo, que deve ser de 50 a 55% de seu volume. Corresponde também ao volume, ao tipo e forma das bolas que se fazem presentes no processo, como agentes cominuidores. É usual utilizar-se 60% de bolas pequenas ($D \cong 0.04 \text{ m}$), 30% de bolas médias ($D \cong 0.065 \text{ m}$) e 10% de bolas grandes ($D \cong 0.075 \text{ m}$). O material das bolas é ágata com densidade de 2600 kg/m^3 .

A carga de bolas do moinho foi de 228.8 kg, distribuídas em 137.3 kg de pequenas, 68.62 kg de médias e 22.88 kg de grandes, isto representa um volume de 88.0 dm^3 de bolas, e um volume livre para carga de 234 dm^3 , onde 64.15% será de material sólido e 35.85% será de água.

A determinação do tempo necessário para obter-se uma moagem eficiente foi feita através de controle do resíduo que fica na peneira de malha 200 mesh. Pelos padrões de trabalho da Cerâmica Portobello estipulou-se que este deveria ser sempre menor do que

5.5 gramas para um tempo de moagem não inferior a 360 minutos. Para este controle, a cada 30 minutos era retirada uma amostra da barbotina para definir-se uma curva de moagem de cada massa [22]; tais curvas encontram-se no ANEXO A (figuras A.01 a A.18). Esta amostra de barbotina era então depositada em uma proveta previamente tarada de 100 ml até zerar o nível, em seguida o conjunto era pesado em uma balança com precisão de 0.1 grama. O resultado dividido por 100 fornece a densidade da barbotina em g/ml. Todo o volume de barbotina da proveta era peneirado na malha 200 mesh e o que não passava era definido como o resíduo na malha, que quando estiver totalmente seco define o peso do resíduo. Este valor deve ser corrigido, em função da densidade, para que se possa avaliar os diferentes valores obtidos entre eles mesmos. Para tal utiliza-se uma tabela de equivalência fornecida pela Cerâmica Portobello (tabela 3.12), na qual o valor do resíduo é multiplicado pelo fator correspondente a densidade em que este foi obtido. Estes valores encontram-se no ANEXO A, nas tabelas (A.01.2) a (A.18.2).

O controle de viscosidade realizou-se com o restante da barbotina, que para tal, foi introduzida em um COPO FORD com um orifício de saída de 7.0 mm. Na parte inferior foi colocada uma proveta de 100 ml. Com a ajuda de um cronômetro mediu-se o seu tempo de queda até o completo enchimento da proveta, e o resultado expresso em segundos necessários para encher-se os 100 ml da proveta. Tais resultados encontram-se no ANEXO A, sob o título VISCOSIDADE DA BARBOTINA.

DENSIDADE (g/cm ³)	FATOR DE CORREÇÃO
1.59	1.049
1.60	1.032
1.61	1.015
1.62	0.999
1.63	0.983
1.64	0.967
1.65	0.953
1.66	0.938
1.67	0.924
1.68	0.910
1.69	0.897
1.70	0.884
1.71	0.872

TABELA 3.4 - Fator de correção do resíduo

III.3.4 ATOMIZAÇÃO

Como o atomizador era novo e pequeno para os padrões industriais (atomizador fabricado para a usina piloto da escola SENAI em Tijucas, SC, pela Industrial Conventos S.A., com capacidade de produção de 300 kg/hora), o controle sobre o gerador de calor, com a intenção de regular a temperatura da câmara de secagem, mostrou-se ineficiente, e a bomba da barbotina não apresentava regulagem da pressão, o pó obtido após esta etapa apresentou variações acima das permitidas (máximo 7%) com relação à umidade. Portanto, foi necessária uma intervenção posterior, onde todas as massas foram levadas para uma umidade de $5.1\%^{+0.1}$ mediante um trabalho de secagem e reumidificação do pó atomizado. No seu cálculo utilizou-se a equação 3.1 e manteve-se as mesmas condições descritas para tal.

Como não se pretendia variar a granulometria dos pós atomizados, não se alterou em nada o processo de atomização com o

objetivo de que este fosse repetitivo. Era também esperado que a granulometria obtida fosse mais fina do que a da Cerâmica Portobello, uma vez que a câmara do atomizador é muito menor. No entanto, a granulometria obtida sofreu grandes variações, não se podendo, desta forma, considerar as diferenças na formulação das massas como parâmetro nas variações do tamanho dos grânulos, mas sim, a grande dificuldade de manter-se constantes os parâmetros de atomização, que variavam aleatoriamente ao longo do processo. Desta forma, optou-se por trabalhar somente com uma faixa de granulometria para a prensagem, evitando-se assim todos os problemas que seriam ocasionados em função desta variação. A faixa da granulometria de trabalho foi entre 35 e 65 mesh (entre 417 e 208 microns), o que tornou necessária a separação das demais faixas granulométricas, e para tal usou-se o processo de tamização (separação por peneiras).

A caracterização das massas atomizadas encontram-se no ANEXO A, nas tabelas (A.01.3) a (A.18.3).

III.3.5 COMPACTAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A decisão de se trabalhar com uma única faixa granulométrica e com uma umidade bem definida não acarreta maiores prejuízos, pois o método empregado na análise dos resultados não os qualifica em função de resultados padronizados, mas sim, em relação aos próprios dados obtidos durante o ensaio experimental, necessitando apenas que todo o desenrolar do processamento permaneça constante, ou seja, que os padrões adotados para cada etapa permaneçam fixos.

A massa permaneceu em repouso durante 48 horas após a umidificação, para logo após sofrer o processo de compactação em uma prensa de laboratório, unidirecional e de dupla ação. Sua matriz rígida de aço tinha 0.035 m de diâmetro e trabalhou-se com uma pressão de carga de 29.500 Pa, usando-se como padrão uma massa de pó com 10 gramas para se regular a altura de enchimento da matriz.

III.3.6 SECAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Os ensaios de resistência mecânica foram realizados no Laboratório de Materiais da UFSC em uma máquina WOLPERT. Devido à forma redonda das peças, submeteu-se as mesmas a uma força de compressão (segundo a norma NB -7222/83- ensaio de compressão diametral), o que provoca tensões normais que atuam perpendicularmente à linha de ação da força, tendo como resultante um efeito de tração, em função de uma força de compressão que é aplicada sobre um único ponto (linha) do corpo. A velocidade de aplicação da carga foi de 1.0 mm/min. Os resultados encontram-se no ANEXO B, nas tabelas (01.a) a (18.a).

Determinou-se igualmente a densidade e o volume aparente das pastilhas prensadas e secas [23], com o objetivo de evitar peças fora de esquadro e de mapeá-las para controlar a distribuição do material (uniformidade de alimentação das cavidades da matriz de compactação). Os equipamentos para este trabalho foram: uma balança eletrônica com precisão de 0.1 gramas para uma carga máxima de 4.0 kg, um aparelho para medição de densidade aparente e 2 kg de

mercúrio metal líquido.

A densidade aparente da amostra foi calculada pela fórmula

$$D. Ap. = (P1/P3) * d \quad (g/cm^3) \quad [3.16]$$

onde P1 é o peso da amostra e P3 é o empuxo da amostra submergida em mercúrio.

O volume aparente da amostra é calculado pela fórmula

$$V. Ap. = \frac{P3}{d} \quad (g/cm^3) \quad [3.17]$$

Onde d é a densidade do mercúrio, devendo ser calculada de acordo com a temperatura no local de trabalho, que era de 21°C [24]. Os resultados obtidos encontram-se no ANEXO B, nas tabelas (01.b) a (18.b).

III.3.7 SINTERIZAÇÃO DAS PASTILHAS

A sinterização dos corpos de prova foi realizada no laboratório da Cerâmica Portobello, em um forno de laboratório com aquecimento elétrico. Antes, porém, as pastilhas foram colocadas durante 2 horas em uma estufa a 120°C para se realizar a secagem. O ciclo de sinterização (ou queima) utilizado nos testes das massas é o mesmo definido para os ensaios padrão da Cerâmica Portobello e sua representação é feita na figura 8.

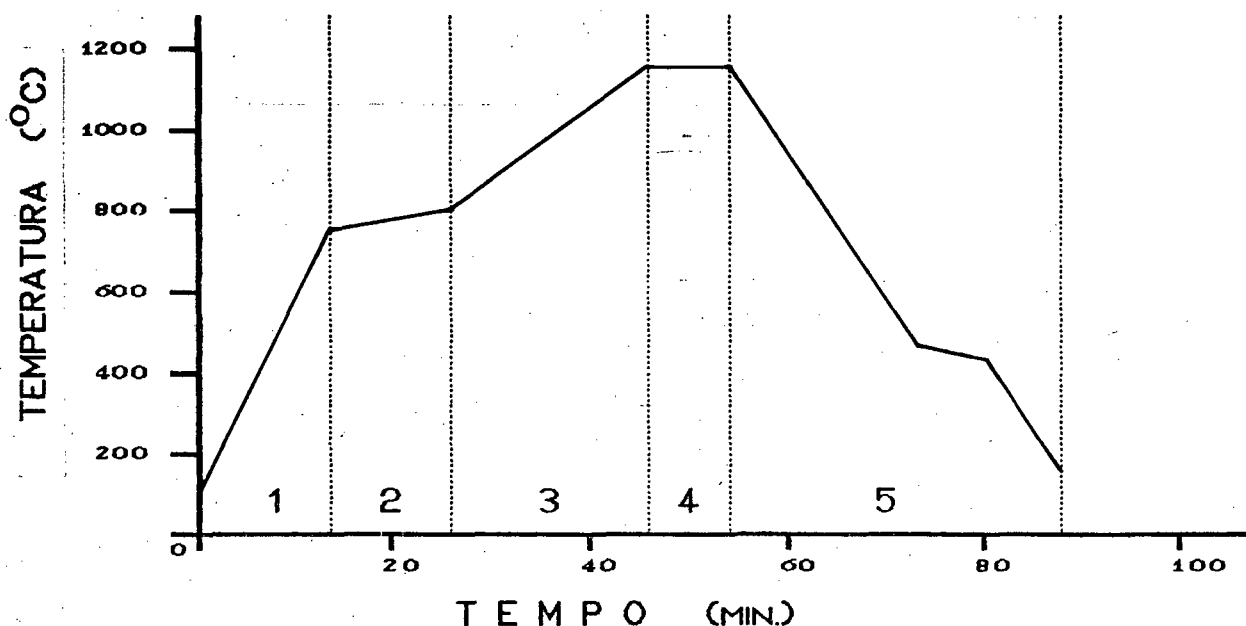


FIGURA 8 - CURVA DE SINTERIZAÇÃO DO FORNO DE LABORATÓRIO

- ZONA 1 - Uma elevação muito rápida da temperatura durante a fase de pré-aquecimento. De fato, alcança os 700°C em apenas 15 minutos após ter sido introduzida no forno, ou seja com uma taxa de aquecimento de $38.7^{\circ}\text{C}/\text{min}$.
- ZONA 2 - Permanência do material a temperaturas que variam entre 700 e 830°C , durante 8 minutos, para assim alcançar uma temperatura uniforme em cada ponto da pastilha (patamar de coração preto) e permitir uma completa saída dos gases.
- ZONA 3 - Elevação da temperatura para alcançar o patamar de gresificação, de 830 a 1180°C em 26 minutos, com precisão.
- ZONA 4 - Permanência do material à mais alta temperatura, por aproximadamente 2 minutos (1180°C).
- ZONA 5 - Resfriamento dentro do forno por 40 minutos, com uma permanência de 5 minutos na faixa de temperatura de 578 a 565°C , para garantir total transformação do quartzo β em quartzo α .

Após o processo de sinterização verificou-se a densidade e o volume aparente do corpo. Esses cálculos foram realizados como foi descrito anteriormente na seção III.3.6, e estão no ANEXO B, nas tabelas (01.c) a (18.c).

Foi realizado também o controle da retração linear, que é basicamente um método de medida das peças com um micrômetro. Ele é efetuado antes de se colocar as peças no forno, sendo determinado o comprimento inicial da peça (L_i). Depois da saída do forno mede-se novamente, obtendo assim o comprimento final da peça (L_f), determinando-se assim, a retração em valores (C_v) e em porcentagem ($C_{\%}$); no cálculo foram utilizadas as equações (3.18) e (3.19) e os resultados encontram-se no ANEXO B, nas tabelas (01.d) a (18.d).

$$C_v = L_i - L_f \quad [3.18]$$

$$C_{\%} = \frac{[L_i - L_f]}{L_i} * 100 \quad [3.19]$$

O último ensaio realizado determinou a absorção de água do corpo sinterizado. Para tal utilizou-se um recipiente metálico com água em ebulição, no qual as peças foram introduzidas, previamente pesadas (P.Seco) e manteve-se o conjunto em ebulição por 2 horas, deixando as peças com a maior superfície livre possível, e separadas umas das outras. No término de duas horas, interrompe-se o aquecimento e deixa-se o conjunto resfriar até aproximadamente uns 35~40°C; logo após, seca-se, uma a uma, para realizar-se a pesagem das mesmas (P.Umido). O valor da absorção de água se obtém em valor (A_v) e em porcentagem ($A_{\%}$) pelas equações (3.19) e (3.20), e os resultados encontram-se no ANEXO B, nas tabelas (01.e) a (18.e).

$$A_v = P. Umido - P. Seco \quad [3.19]$$

$$A_{\%} = \frac{P. Umido - P. Seco}{P. Seco} * 100 \quad [3.20]$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

IV.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DESEMPENHO

ANÁLISE DOS EFEITOS DOS FATORES - TRANSFORMAÇÃO SINAL/RUÍDO

Os efeitos dos fatores, ou seja, os efeitos de cada um dos constituintes das massas, foram analisados através dos resultados obtidos durante a fase experimental. Os mesmos serão apreciados de forma conjunta, com a intenção de avaliar a influência de cada um dos fatores sobre todo o conjunto de resultados. Para tal, adotar-se-á uma única unidade, de forma que se possa compará-las mutuamente. A análise estatística pela metodologia Taguchi adota o sinal/ruído em decibéis como padrão.

A transformação dos resultados em sinal/ruído vai depender de como se deseja que este se apresente, na forma de um valor nominal, na do menor valor ou na do maior valor. Desta forma, cada valor deverá ser avaliado conforme as características que se impõem ao produto final, lembrando sempre que os valores utilizados para o cálculo do sinal/ruído deverão estar na forma de unidades de grandeza e não em percentagem.

Para os resultados, em que se deseja o maior efeito do sinal/ruído, utiliza-se a equação [2.11], sendo necessário realizar algumas alterações que têm como objetivo ampliar e melhorar a

visualização dos efeitos. Assim, o cálculo será:

- i- Para a resistência mecânica das pastilhas prensadas após a secagem :

$$Z(\theta) = -10 * \log \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \frac{[(\text{Resist}_i - 2) * 1000]^2}{n} \right) \quad [4.1]$$

Todos os valores referentes a este cálculo estão escritos no ANEXO B, na coluna de sinal/ruído das tabelas de resistência mecânica das pastilhas após secagem (tabelas 01.a a 18.a) e, de forma concentrada na tabela (4.01) na coluna de Resistência a Seco.

- ii- Para a densidade aparente das pastilhas prensadas após a secagem:

$$Z(\theta) = -10 * \log \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \frac{[(\text{D. Ap}_i - 1.92) * 1000]^2}{n} \right) \quad [4.2]$$

Todos os valores referentes a estes cálculos estão escritos no ANEXO B, na coluna de sinal/ruído das tabelas de densidade e volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem (tabelas 01.b a 18.b) e, de forma concentrada na coluna Den.Ap.Seco da tabela [4.01].

- iii- Para a densidade aparente das pastilhas sinterizadas:

$$Z(\theta) = -10 * \log \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \frac{[(\text{D. Ap}_i - 2.22) * 1000]^2}{n} \right) \quad [4.3]$$

Todos os valores referentes a estes cálculos estão escritos no ANEXO B, na coluna de sinal/ruído da tabela de densidade e volume aparente das pastilhas sinterizadas (tabelas 01.c a 18.c) e, de forma concentrada, na coluna Den.Ap.Sinter da tabela [4.01].

Para os resultados em que se deseja o menor efeito do sinal/ruído, utiliza-se a equação [2.8], sendo necessário realizar algumas alterações, que também tem como objetivo ampliar e melhorar a visualização dos efeitos. Assim o cálculo será:

i)-Para o volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem:

$$Z(\theta) = -10 * \log \left(\sum_{i=1}^n \frac{[(V. Ap_i - 5.38)/100]^2}{n} \right) \quad [4.4]$$

Todos os valores referentes a estes cálculos estão escritos no ANEXO B, na coluna de sinal/ruído das tabelas de densidade e volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem (tabelas 01.b a 18.b) e, de forma concentrada na coluna Vol.Ap.Seco da tabela [4.01].

ii- Para o volume aparente das pastilhas sinterizadas:

$$Z(\theta) = -10 * \log \left(\sum_{i=1}^n \frac{[(V. Ap_i - 4.38)/100]^2}{n} \right) \quad [4.5]$$

Todos os valores referentes a estes cálculos estão escritos no ANEXO B, na coluna de sinal/ruído da tabela de densidade e volume aparente das pastilhas sinterizadas (tabelas 01.c a 18.c) e, de forma concentrada, na coluna Vol.Ap.Sinter na tabela [4.01].

iii- Para a retração linear das pastilhas após a sinterização:

$$Z(\theta) = -10 * \log \left(\sum_{i=1}^n \frac{[Retra_i - 2]^2}{100n} \right) \quad [4.6]$$

Todos os valores referentes a este cálculo estão escritos no

ANEXO B, na coluna de sinal/ruído da tabela de retração linear das pastilhas após sinterização (tabelas 01.d a 18.d) e, de forma concentrada, na tabela [4.01] na coluna de Retração.

iiii)-Para a absorção de água das pastilhas sinterizadas :

$$Z(\theta) = -10 * \log \left(\sum_{i=1}^n \frac{(\text{Absor}_i - 2)^2}{100} \right) \quad [4.7]$$

Todos os valores referentes a este cálculo estão escritos no ANEXO B, na coluna de sinal/ruído da tabela de absorção de água das pastilhas sinterizadas (tabelas 01.e a 18.e) e, de forma concentrada, na tabela [4.01] na coluna de Absorção.

IV.2 MONTAGEM DA TABELA DE SINAL/RUÍDO

Com os valores obtidos na etapa anterior elaborou-se uma tabela de sinal/ruído, levando-se em consideração os fatores que a geraram e seus respectivos níveis.

A partir da tabela [4.01], elaborou-se uma nova tabela que representa os níveis em que os valores de sinal/ruído irão atuar. Esta é a representação das médias de cada um dos níveis (Ni). Assim, todas as características de desempenho tornam-se bem definidas, possibilitando, desta forma, a análise das características do produto. Sabe-se também, que este irá desempenhar melhor quando todas suas características estiverem em seus valores ideais.

CP Nº	A	B	C	D	E	Resist. Seco	Den. Ap Seco	Vol. Ap Seco	Den. Ap Sinter	Vol. Ap Sinter	Retr.	Abs.
01	1	1	1	1	1	57.73	32.10	51.85	35.60	54.40	51.91	63.80
02	1	1	2	2	2	36.27	28.17	48.91	44.46	52.20	49.73	61.37
03	1	1	3	3	3	52.79	31.17	50.49	34.22	51.24	55.41	56.80
04	1	2	1	1	2	35.37	27.35	53.27	23.38	49.48	50.12	54.28
05	1	2	2	2	3	44.38	31.08	50.00	35.78	53.36	48.16	64.81
06	1	2	3	3	1	44.56	32.89	58.37	30.32	55.17	53.76	58.28
07	1	3	1	2	1	52.46	34.42	57.91	36.83	59.07	50.72	61.08
08	1	3	2	3	2	34.01	33.48	59.54	37.36	58.08	49.43	62.37
09	1	3	3	1	3	33.93	27.77	57.87	32.71	56.27	48.78	56.48
10	2	1	1	3	3	50.34	18.83	48.28	29.97	48.93	51.26	60.33
11	2	1	2	1	1	55.23	35.72	63.34	33.84	64.11	54.42	61.15
12	2	1	3	2	2	48.25	36.37	49.86	32.33	48.14	55.32	57.28
13	2	2	1	2	3	43.73	31.43	64.62	35.25	60.34	48.60	63.60
14	2	2	2	3	1	45.17	31.02	49.72	31.68	49.84	49.20	55.32
15	2	2	3	1	2	38.75	36.68	49.35	34.26	50.13	54.81	58.65
16	2	3	1	3	2	36.87	36.05	51.95	34.79	51.11	53.65	62.24
17	2	3	2	1	3	25.67	34.58	57.06	35.51	54.23	49.29	63.25
18	2	3	3	2	1	46.96	38.23	53.22	26.51	48.74	68.27	56.98
Média						43.47	32.06	54.20	33.60	53.60	52.38	59.89

TABELA 4.01 - Tabela ortogonal com resultados em sinal/ruído

FORMULAS PARA DETERMINAR AS MÉDIAS DOS NÍVEIS:

$$A_1 = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_7 + N_8 + N_9) / 9 \quad [4.08]$$

$$A_2 = (N_{10} + N_{11} + N_{12} + N_{13} + N_{14} + N_{15} + N_{16} + N_{17} + N_{18}) / 9 \quad [4.09]$$

$$B_1 = (N_1 + N_2 + N_3 + N_{10} + N_{11} + N_{12}) / 6 \quad [4.10]$$

$$B_2 = (N_4 + N_5 + N_6 + N_{13} + N_{14} + N_{15}) / 6 \quad [4.11]$$

$$B_3 = (N_7 + N_8 + N_9 + N_{16} + N_{17} + N_{18}) / 6 \quad [4.12]$$

$$C_1 = (N_1 + N_4 + N_7 + N_{10} + N_{13} + N_{16}) / 6 \quad [4.13]$$

$$C_2 = (N_2 + N_5 + N_8 + N_{11} + N_{14} + N_{17}) / 6 \quad [4.14]$$

$$C_3 = (N_3 + N_6 + N_9 + N_{12} + N_{15} + N_{18}) / 6 \quad [4.15]$$

$$D_1 = (N_1 + N_4 + N_7 + N_{11} + N_{15} + N_{17}) / 6 \quad [4.16]$$

$$D_2 = (N_2 + N_5 + N_7 + N_{12} + N_{13} + N_{18}) / 6 \quad [4.17]$$

$$D_3 = (N_3 + N_6 + N_8 + N_{10} + N_{14} + N_{16}) / 6 \quad [4.18]$$

$$E_1 = (N_1 + N_6 + N_7 + N_{11} + N_{14} + N_{18}) / 6 \quad [4.19]$$

$$E_2 = (N_2 + N_4 + N_8 + N_{12} + N_{15} + N_{16}) / 6 \quad [4.20]$$

$$E_3 = (N_3 + N_5 + N_9 + N_{10} + N_{13} + N_{17}) / 6 \quad [4.21]$$

MATÉRIAS PRIMAS	Resist. Seco	Den. Ap Seco	Vol. Ap Seco	Den. Ap Sinter	Vol. Ap Sinter	Retr.	Abs.
A ₁ ==>	43.50	30.94	54.25	34.52	54.36	50.89	59.92
A ₂ ==>	43.44	33.18	54.16	32.68	52.84	53.87	59.87
B ₁ ==>	50.10	30.39	52.12	35.07	53.17	53.01	60.12
B ₂ ==>	41.99	31.69	54.22	31.78	53.05	50.77	59.16
B ₃ ==>	38.32	34.09	56.26	33.95	54.58	53.36	60.40
C ₁ ==>	46.08	30.03	54.65	32.64	53.89	51.05	60.89
C ₂ ==>	40.12	32.34	54.76	36.44	55.30	50.04	61.38
C ₃ ==>	44.21	33.80	53.19	31.73	51.62	56.06	57.41
D ₁ ==>	41.11	32.32	55.46	32.55	54.77	51.55	59.60
D ₂ ==>	45.34	33.28	54.09	35.19	53.64	53.47	60.85
D ₃ ==>	43.96	30.57	53.06	33.06	52.40	52.12	59.22
E ₁ ==>	50.35	34.06	55.73	32.46	55.22	54.71	59.43
E ₂ ==>	38.25	32.97	52.15	34.43	51.52	52.18	59.36
E ₃ ==>	41.81	29.14	54.72	33.91	54.06	50.25	60.88

TABELA 4.02 - Representação das médias dos respectivos níveis

A partir dos resultados obtidos na tabela 4.02, foram elaboradas as tabelas 4.03 a 4.09 para ressaltar os efeitos dos fatores. Os valores em negrito nas colunas dos níveis ressaltam os maiores efeitos, que ficam bem caracterizados nas figuras 9 a 15.

F A T O R		N Í V E I S			Gr.	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADOS MÉDI OS	F	
		1	2	3					
FILITO	A	43.50	43.44	---	1	0.003	0.003	---	
TALCO	B	50.10	41.99	38.32	2	218.200	109.100	12.12	‡
ARGILA X	C	46.08	40.12	44.21	2	55.749	27.875	3.10	*
ARGILA Y	D	41.11	45.34	43.96	2	27.859	13.930	1.55	
ARGILA Z	E	50.35	38.25	41.81	2	231.991	115.995	12.89	‡
E R R O					8	743.155	92.894		
T O T A L					17	1276.960	75.115		
[E R R O]					9	743.159	82.573		

‡ - 99% DE CONFIANÇA † - 95% DE CONFIANÇA * - 90% DE CONFIANÇA

TABELA 4.03 - Resistência mecânica das pastilhas prensadas após a secagem.

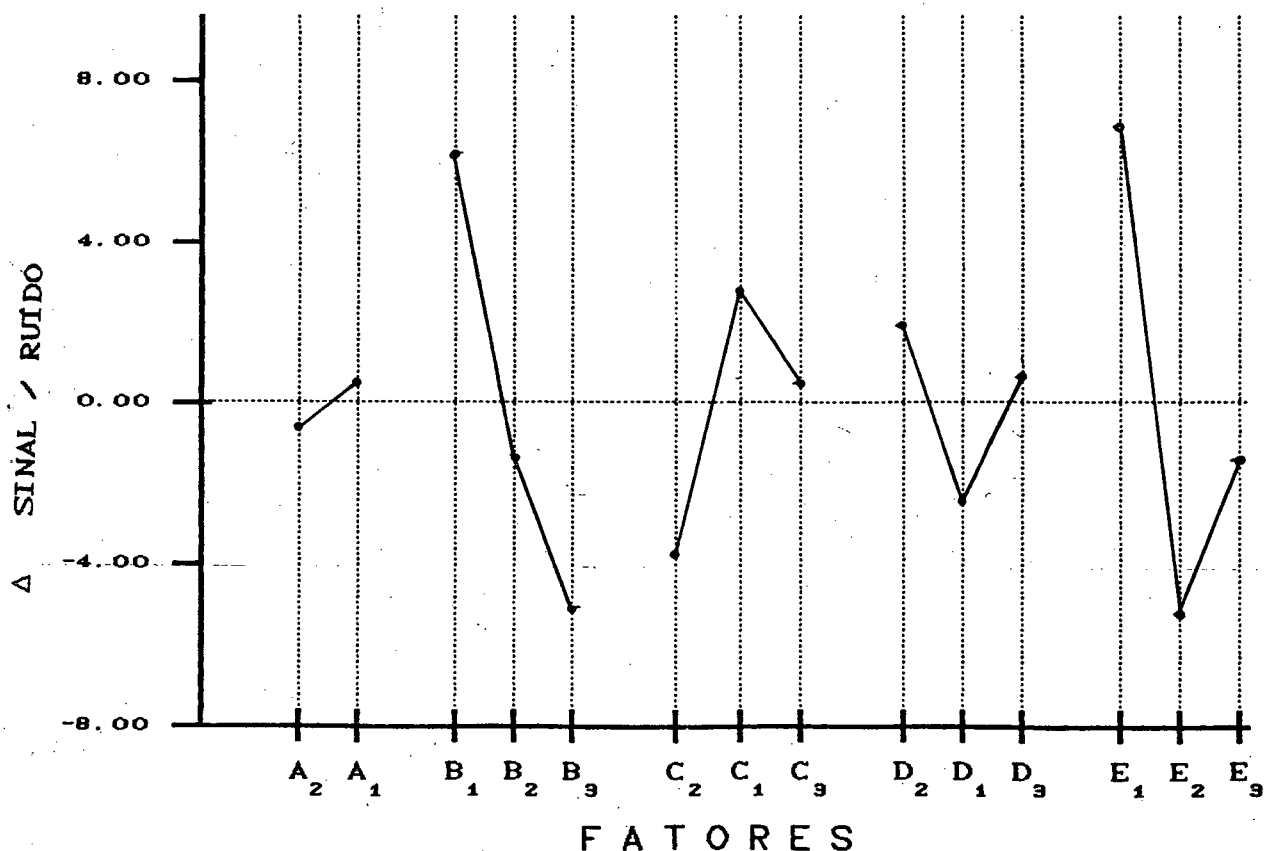


FIGURA 9 - Variação da resposta S/R em termos de resistência mecânica das pastilhas prensadas após a secagem para os diferentes fatores em seus respectivos níveis.

F A T O R		N Í V E I S			Gr. Lb.	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADOS MÉDIOS	F
		1	2	3				
FILITO	A	30.94	33.18	---	1	5.025	5.025	0.63
TALCO	B	30.39	31.69	34.09	2	21.074	10.537	1.32
ARGILA X	C	30.03	32.34	33.80	2	21.673	10.837	1.36
ARGILA Y	D	32.32	33.28	30.57	2	11.283	5.641	0.71
ARGILA Z	E	34.06	32.97	29.14	2	40.001	20.000	2.50 *
E R R O					8	253.945	31.743	
T O T A L					17	353.001	20.765	

‡ - 99% DE CONFIANÇA † - 95% DE CONFIANÇA * - 90% DE CONFIANÇA

TABELA 4.04 - Densidade aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

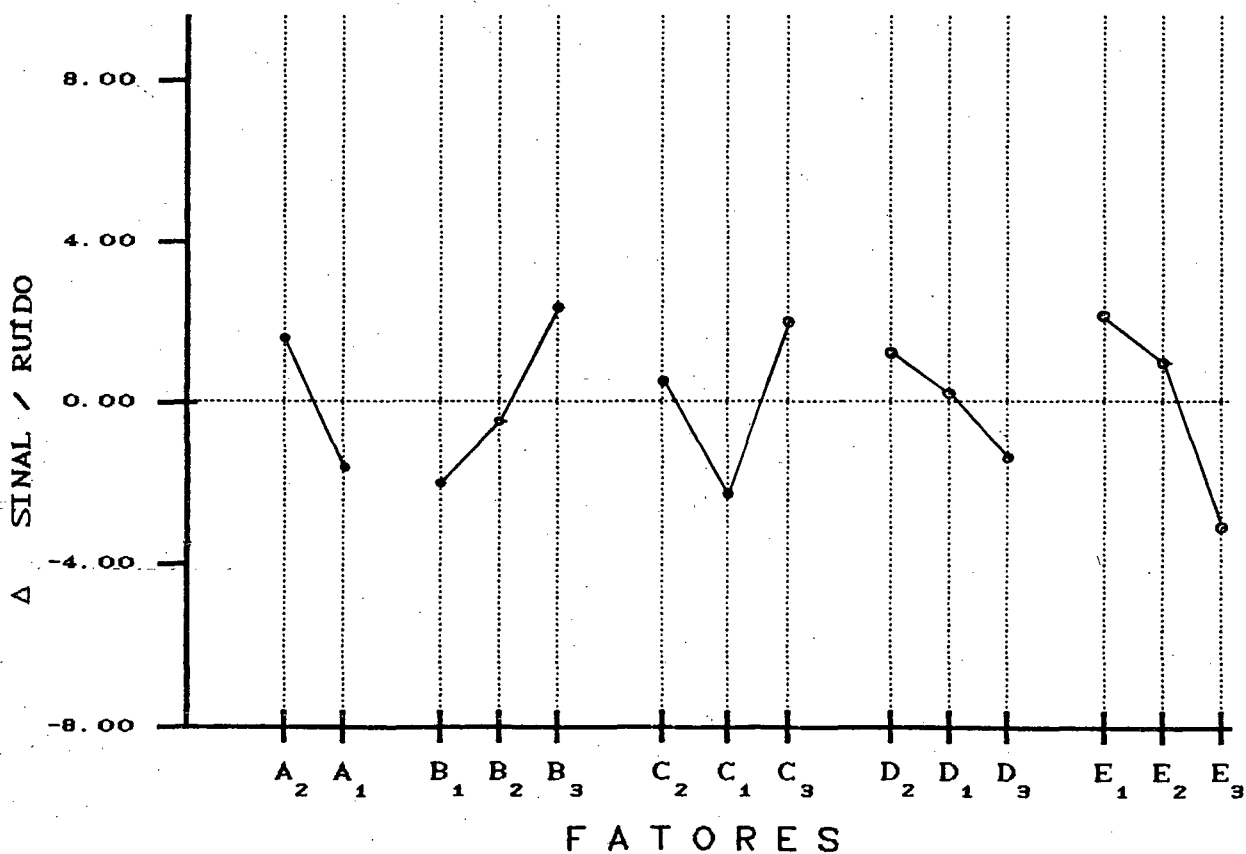


FIGURA 10 - Variação da resposta S/R em termos de densidade aparente das pastilhas prensadas após a secagem para os diferentes fatores em seus respectivos níveis.

F A T O R		N I V E I S			Gr. Lb.	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADOS MÉDI OS	F
		1	2	3				
FILITO	A	54.25	54.16	---	1	0.008	0.008	---
TALCO	B	52.12	54.22	56.26	2	25.670	12.835	1.43
ARGILA X	C	54.65	54.76	53.19	2	4.585	2.293	0.26
ARGILA Y	D	55.46	54.09	53.06	2	8.686	4.343	0.48
ARGILA Z	E	55.73	52.15	54.72	2	20.528	10.264	1.14
E R R O					8	383.230	47.904	
T O T A L					17	442.710	26.042	
[E R R O]					9	383.237	42.582	

‡ - 99% DE CONFIANÇA † - 95% DE CONFIANÇA * - 90% DE CONFIANÇA

TABELA 4.05 - Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

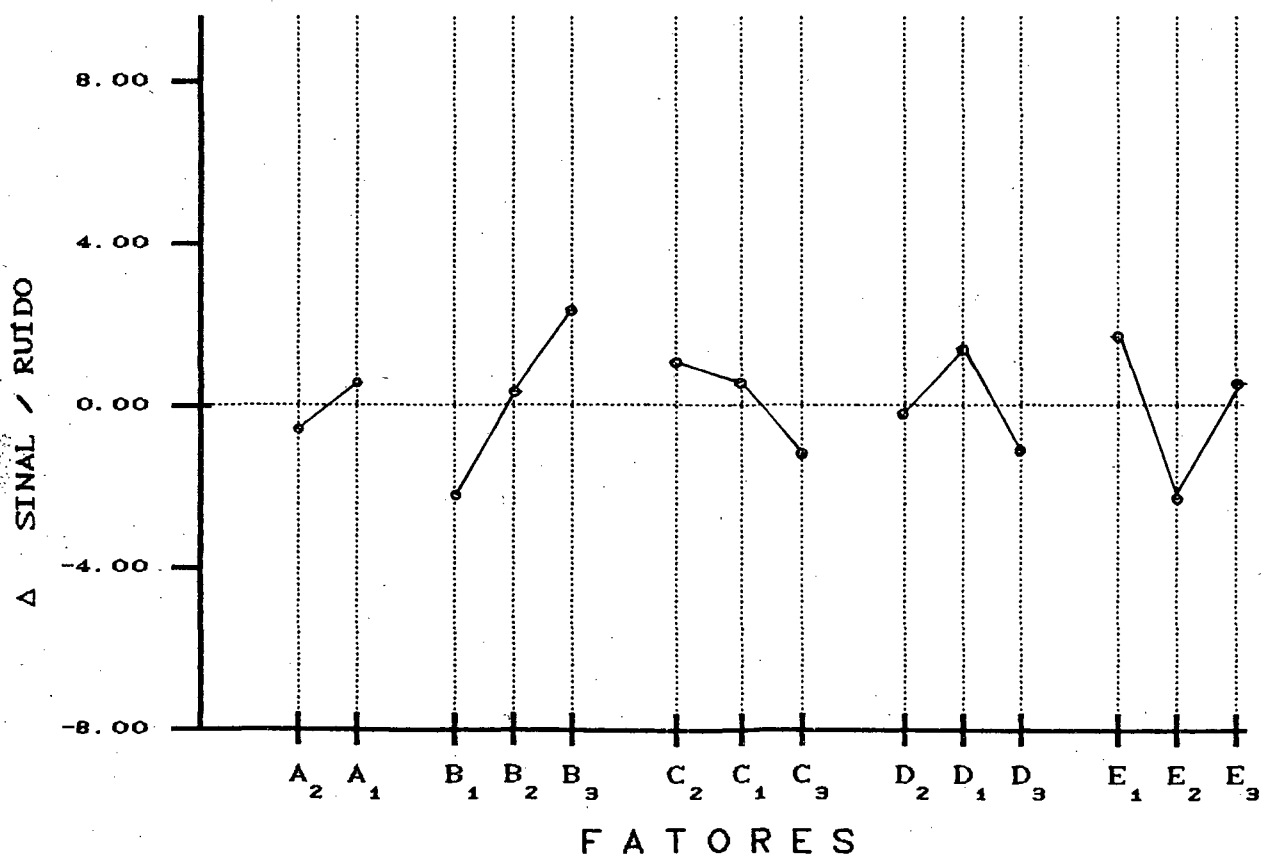


FIGURA 11 - Variação da resposta S/R em termos de volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem para os diferentes fatores em seus respectivos níveis.

F A T O R		N Í V E I S			Gr. Lb.	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADOS MÉDI OS	F
		1	2	3				
FILITO	A	34.52	32.68	---	1	3.369	3.369	---
TALCO	B	35.07	31.78	33.95	2	16.825	8.413	0.84
ARGILA X	C	32.64	36.44	31.73	2	37.522	18.761	1.88
ARGILA Y	D	32.55	35.19	33.06	2	11.799	5.900	---
ARGILA Z	E	32.46	34.43	33.91	2	6.212	3.106	0.31
E R R O					8	269.164	33.645	
T O T A L					17	344.890	20.288	
[E R R O]					10	284.332	28.433	

TABELA 4.06 - Densidade aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

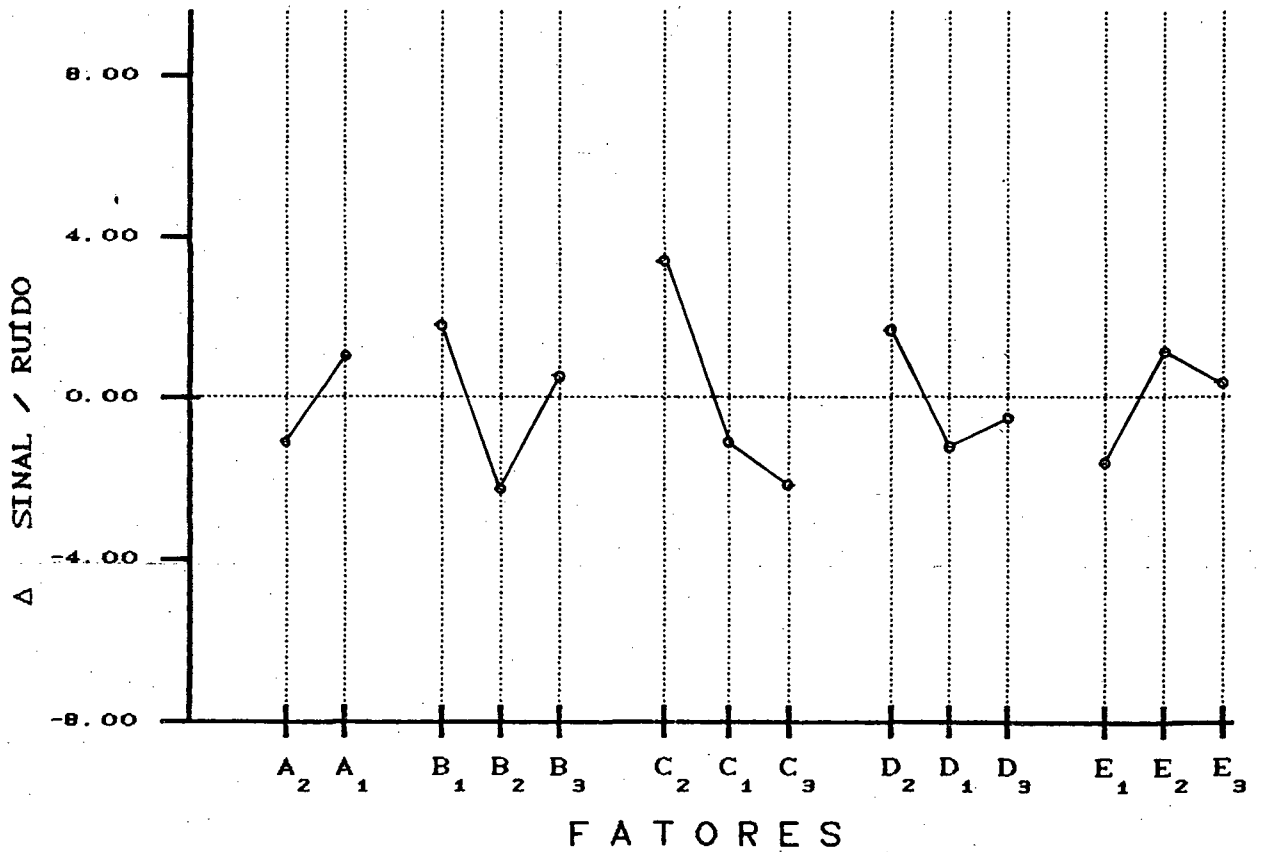


FIGURA 12 - Variação da resposta S/R em termos de densidade aparente das pastilhas prensadas após a sinterização para os diferentes fatores em seus respectivos níveis.

F A T O R		N I V E I S			Gr. Lb.	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADOS MÉDIOS	F
		1	2	3				
FILITO	A	54.36	52.84	---	1	2.317	2.317	0.29
TALCO	B	53.17	53.05	54.58	2	4.352	2.176	0.27
ARGILA X	C	53.89	55.30	51.62	2	20.774	10.387	1.30
ARGILA Y	D	54.77	53.64	52.40	2	8.468	4.234	0.53
ARGILA Z	E	55.22	51.52	54.06	2	21.466	10.733	1.34
E R R O					8	291.312	36.414	
T O T A L					17	348.690	20.511	

‡ - 99% DE CONFIANÇA † - 95% DE CONFIANÇA * - DE CONFIANÇA

TABELA 4.07 - Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

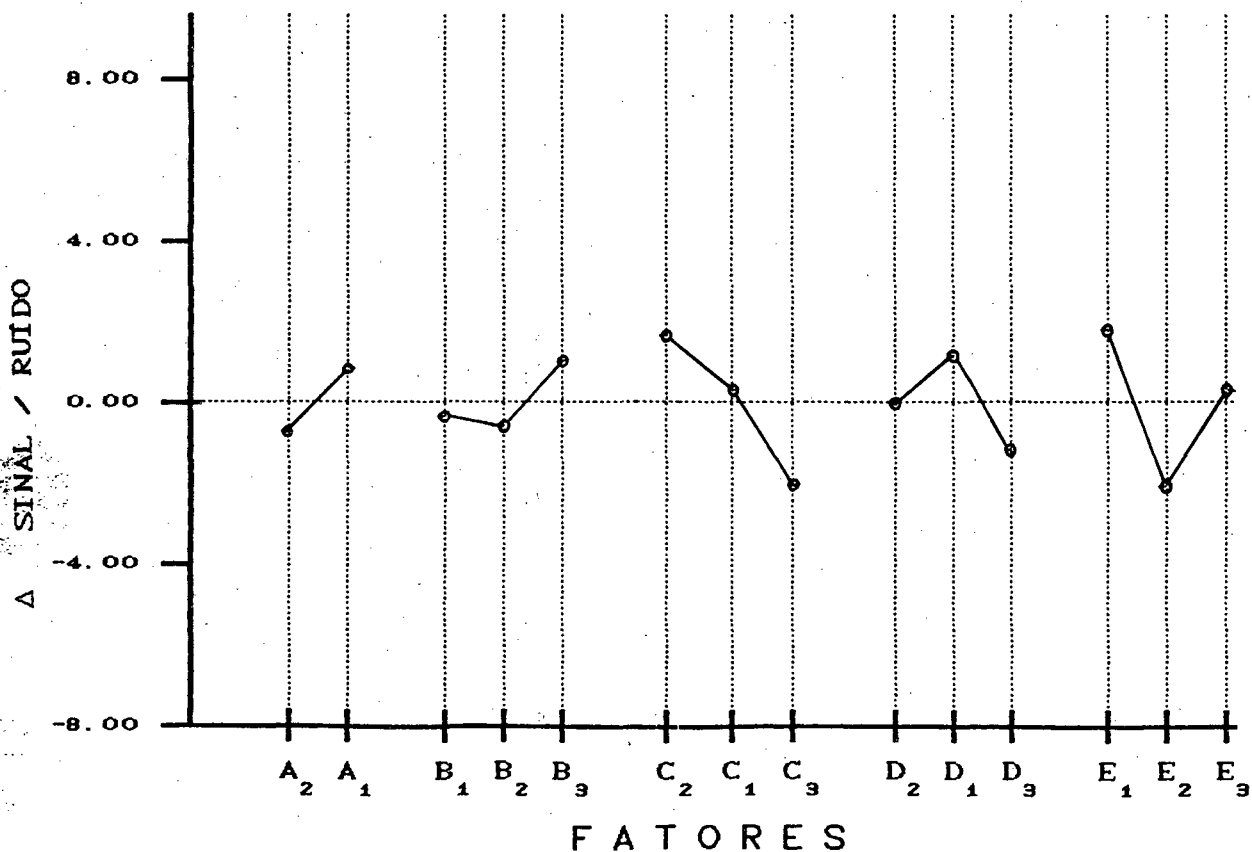


FIGURA 13 - Variação da resposta S/R em termos de volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização para os diferentes fatores em seus respectivos níveis.

F A T O R		N Í V E I S			Gr. Lb.	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADOS MÉDIOS	F
		1	2	3				
FILITO	A	50.89	53.87	---	1	8.877	8.877	1.11
TALCO	B	53.01	50.77	53.36	2	11.796	5.898	0.74
ARGILA X	C	51.05	50.04	56.06	2	62.360	31.180	3.90 *
ARGILA Y	D	51.55	53.47	52.12	2	5.800	2.900	0.36
ARGILA Z	E	54.71	52.18	50.25	2	30.052	15.026	1.88
E R R O					8	254.631	31.829	
T O T A L					17	373.515	21.971	

‡ - 99% DE CONFIANÇA † - 95% DE CONFIANÇA * - 90% DE CONFIANÇA

TABELA 4.08 - Retração linear das pastilhas após a sinterização.

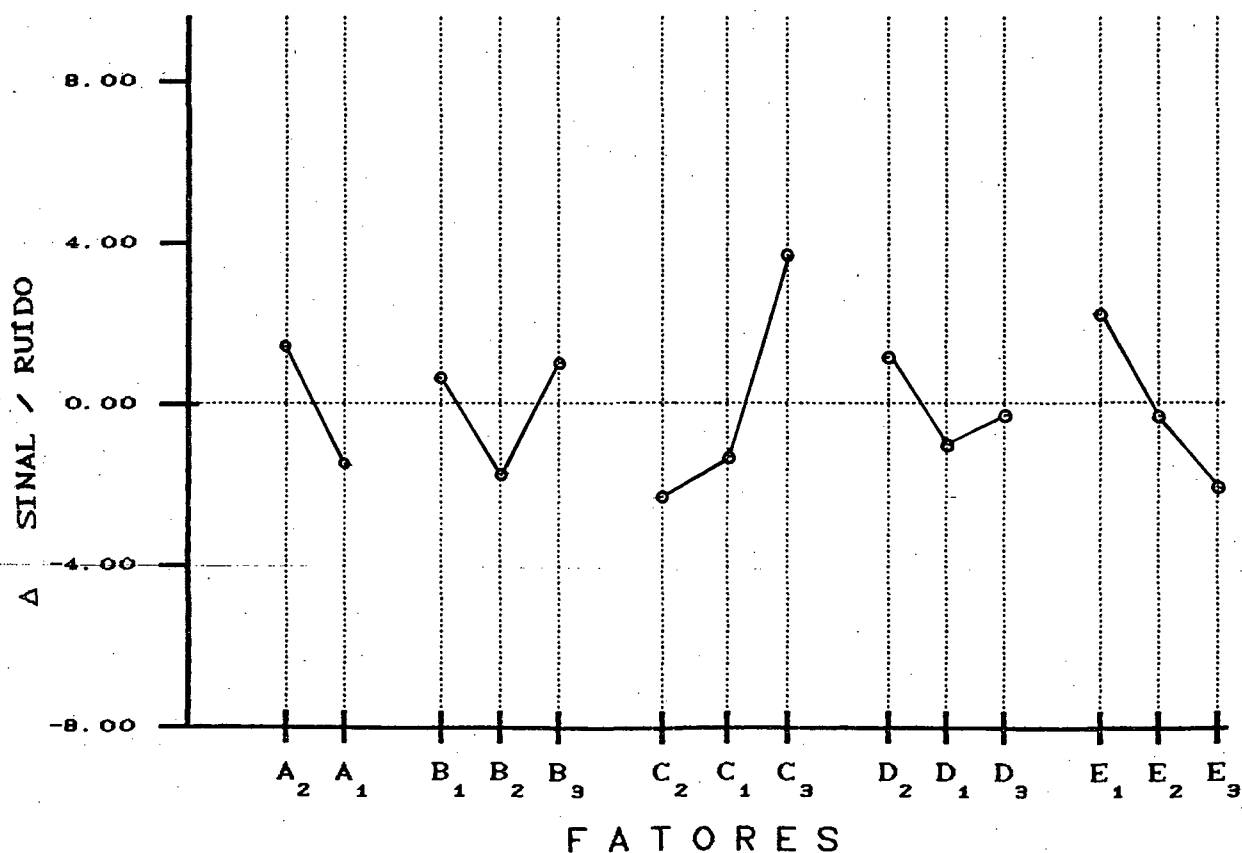


FIGURA 14 - Variação da resposta S/R em termos de retração linear das pastilhas após a sinterização para os diferentes fatores em seus respectivos níveis.

F A T O R		N Í V E I S			Gr. Lb.	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADOS MÉDI OS	F
		1	2	3				
FILITO	A	59.92	59.87	---	1	0.003	0.003	---
TALCO	B	60.12	59.16	60.40	2	2.552	1.276	0.14
ARGILA X	C	60.89	61.38	57.41	2	28.057	14.029	1.56
ARGILA Y	D	59.60	60.85	59.22	2	4.363	2.181	0.24
ARGILA Z	E	59.43	59.36	60.88	2	4.386	2.193	0.24
E R R O					8	135.259	16.907	
T O T A L					17	174.620	10.272	
[E R R O]					9	135.261	15.029	

TABELA 4.09 - Absorção de água das pastilhas após a sinterização.

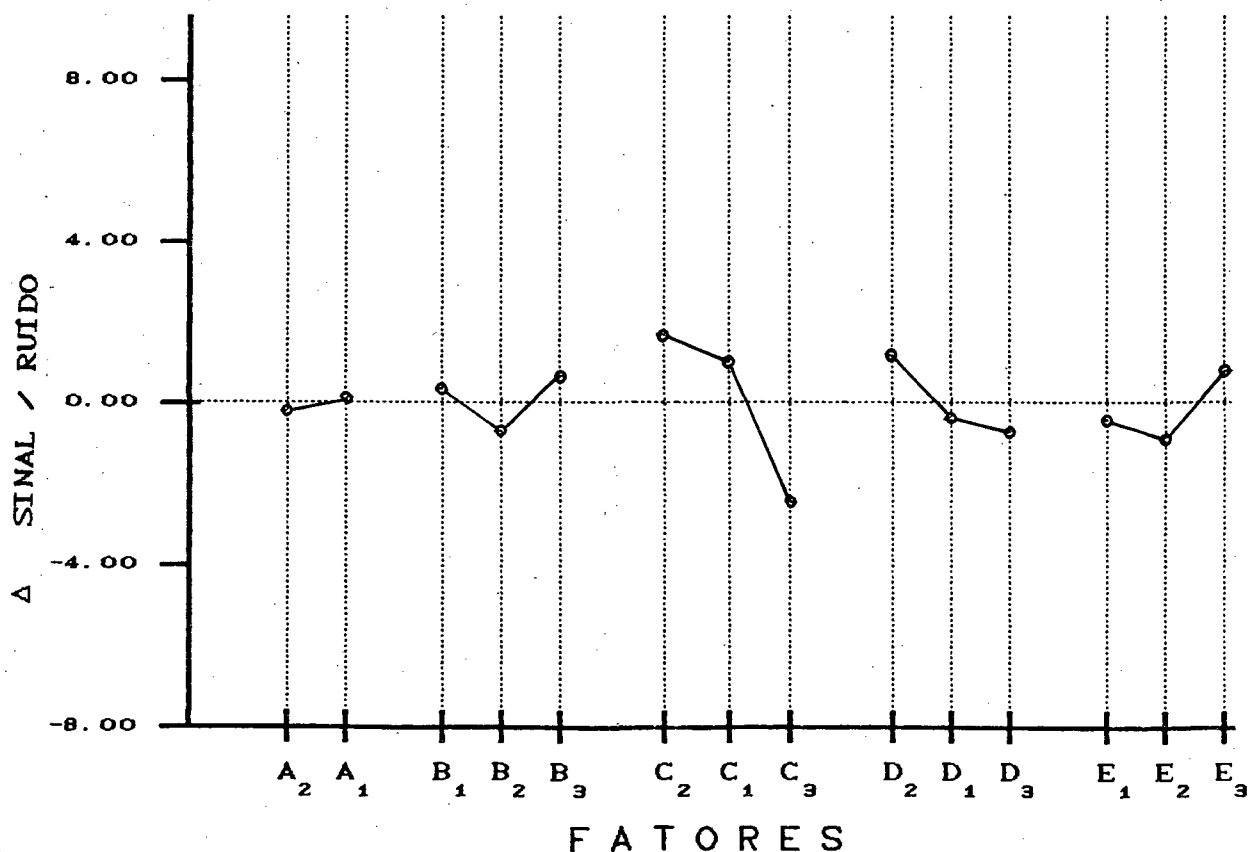


FIGURA 15 - Variação da resposta S/R em termos de absorção de água das pastilhas após a sinterização para os diferentes fatores em seus respectivos níveis.

IV.3 EFEITOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DESEMPENHO

Com a determinação de cada um dos valores máximos em termos de Sinal/Ruído, assinalados em negrito nas tabelas 4.03 a 4.09, montou-se a tabela 4.10. Optou-se também por representar nesta somente os níveis de maior desempenho associados a cada característica do produto em termos de desempenho. Isto foi feito com a intenção de simplificar a análise dos resultados.

VALORES MÁXIMOS	MATÉRIAS PRIMAS				
	A	B	C	D	E
Resistência a Seco	1	1	1	2	1
Densidade Aparente a Seco	2	3	3	2	1
Volume Aparente a Seco	1	3	2	1	1
Densidade Aparente do Sinterizado	1	3	2	2	2
Volume Aparente do Sinterizado	1	3	2	1	1
Retração do Sinterizado	2	3	3	2	1
Absorção do Sinterizado	1	3	2	2	3

TABELA 4.10 - Totalização dos resultados da análise estatística de desempenho em termos de Sinal/Ruído

Através de um somatório realizado em função da presença ou não de um resultado em um nível, pode-se avaliar em qual deles estará situado o melhor resultado. Os mesmos foram agrupados na tabela 4.11.

SOMATÓRIO DOS NÍVEIS	MATÉRIAS PRIMAS				
	A	B	C	D	E
NÍVEL 1	5	1	1	2	5
NÍVEL 2	2	0	4	5	1
NÍVEL 3	---	6	2	0	1

TABELA 4.11 - Somatório dos níveis da análise de desempenho.

Desta forma, determinamos a massa de maior desempenho para o experimento projetado:

MASSA ESCOLHIDA	→	A ₁	B ₃	C ₂	D ₂	E ₁
-----------------	---	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

IV.4 ANÁLISE ATRAVÉS DA FUNÇÃO-PERDA

Neste ponto analisa-se o efeito do custo sobre as massas testadas experimentalmente, introduzindo-se a avaliação monetária da qualidade das massas, supondo que todas as tolerâncias estejam corretas. Para isso, adota-se o valor de custo para cada uma das matérias primas, em dólares, colocadas na unidade de produção e pronta para uso. Desta forma:

FILITO	Us\$ 21,00 p/ton.
TALCO	Us\$ 25,00 p/ton.
ARGILA X	Us\$ 25,00 p/ton.
ARGILA Y	Us\$ 11,00 p/ton.
ARGILA Z	Us\$ 11,00 p/ton.

* - dados fornecidos pela Cerâmica Portobello

Considera-se também que exista uma perda mínima constante de 10% (limite de tolerância - Δ) na unidade de produção.

Na tabela 4.12 demonstra-se o custo de produção (A) de cada uma das massas em Dólares/tonelada:

Col N ^o	A FILITO		B TALCO		C ARGILA X		D ARGILA Y		E ARGILA Z		CUSTO US\$/T
01	1	37.5	1	7.5	1	24.0	1	36.0	1	45.0	16.44
02	1	37.5	1	9.0	2	19.5	2	36.0	2	48.0	16.16
03	1	37.5	1	6.0	3	28.5	3	45.0	3	33.0	16.72
04	1	37.5	2	10.5	1	24.0	1	36.0	2	42.0	16.72
05	1	37.5	2	12.0	2	19.5	2	36.0	3	45.0	16.44
06	1	37.5	2	9.0	3	28.5	3	45.0	1	30.0	17.00
07	1	37.5	3	13.5	1	24.0	2	33.0	1	42.0	17.00
08	1	37.5	3	15.0	2	19.5	3	42.0	2	36.0	16.72
09	1	37.5	3	12.0	3	28.5	1	42.0	3	30.0	17.28
10	2	30.0	1	7.5	1	24.0	3	39.0	3	49.5	15.94
11	2	30.0	1	9.0	2	19.5	1	39.0	1	52.5	15.66
12	2	30.0	1	6.0	3	28.5	2	39.0	2	46.5	16.22
13	2	30.0	2	10.5	1	24.0	2	33.0	3	52.5	16.22
14	2	30.0	2	12.0	2	19.5	3	42.0	1	46.5	15.94
15	2	30.0	2	9.0	3	28.5	1	42.0	2	40.5	16.50
16	2	30.0	3	13.5	1	24.0	2	39.0	2	43.5	16.50
17	2	30.0	3	15.0	2	19.5	3	39.0	3	46.5	16.22
18	2	30.0	3	12.0	3	28.5	1	39.0	1	40.5	16.78

TABELA 4.12 - Tabela ortogonal para definição do custo das massas.

Desta forma, com os resultados da coluna de custos da tabela (4.12), determina-se o limite de tolerância para cada uma das massas com a intenção de se obter o custo de cada um dos fatores sobre a mesma.

Para os resultados nos quais se deseja o maior efeito da perda esperada, utiliza-se a equação [2.15]. Assim, o cálculo será:

- Para a resistência mecânica das pastilhas prensadas após a secagem, definadas nas tabelas (01.a a 18.a) do Anexo B:

$$L = A * \Delta^2 * \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{(Resist._i)^2} \right) \quad [4.22]$$

Todos os valores referentes a este cálculo estão escritos na coluna de resistência mecânica das pastilhas após a secagem, tabela (4.13).

- Para a densidade aparente das pastilhas prensadas após a secagem, definida nas tabelas (01.b a 18.b) do Anexo B:

$$L = A * \Delta^2 * \left(\sum_{i=1}^n \frac{\left[\frac{1}{(D. Ap_i)^2} \right]}{n} \right) \quad [4.23]$$

Todos os valores referentes a estes cálculos estão escritos na coluna de densidade aparente das pastilhas prensadas após a secagem, tabela (4.13).

- Para a densidade aparente das pastilhas após a sinterização, definida nas tabelas (01.c a 18.c) do Anexo B:

$$L = A * \Delta^2 * \left(\sum_{i=1}^n \frac{\left[\frac{1}{(D. Ap_i)^2} \right]}{n} \right) \quad [4.24]$$

Todos os valores referentes a estes cálculos estão escritos na coluna de densidade aparente das pastilhas prensadas após a sinterização, tabela (4.13).

Para os resultados em que se deseja o menor efeito da perda esperada, utiliza-se a equação [2.12]. Assim o cálculo será:

- Para o volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem, definido nas tabelas (01.b a 18.b) do Anexo B:

$$L = \frac{A}{\Delta^2} * \left(\sum_{i=1}^n \frac{\left[\frac{V. Ap_i}{n} \right]^2}{n} \right) \quad [4.25]$$

Todos os valores referentes a estes cálculos estão escritos na coluna de volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem, tabela (4.13).

- Para o volume aparente das pastilhas após a sinterização, definido nas tabelas (01.c a 18.c) do Anexo B:

$$L = \frac{A}{\Delta^2} * \left(\sum_{i=1}^n \frac{[V. Ap_i]^2}{n} \right) \quad [4.26]$$

Todos os valores referentes a estes cálculos estão escritos na coluna de volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização, tabela (4.13).

- Para a retração linear das pastilhas após a sinterização, definidas nas tabelas (01.d a 18.d) do Anexo B:

$$L = \frac{A}{\Delta^2} * \left(\sum_{i=1}^n \frac{[Retra_i -]^2}{n} \right) \quad [4.27]$$

Todos os valores referentes a este cálculo estão escritos na coluna de retração linear pastilhas após sinterização da tabela (4.13).

Para a porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas definidas nas tabelas (01.e a 18.e) do Anexo B:

$$L = \frac{A}{\Delta^2} * \left(\sum_{i=1}^n \frac{[Absor_i]^2}{n} \right) \quad [4.28]$$

Todos os valores referentes a este cálculo estão escritos na coluna de porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas, tabela (4.13).

IV.5 MONTAGEM DA TABELA DE RESULTADOS DA FUNÇÃO-PERDA

Com os valores obtidos na etapa anterior, montou-se uma tabela de perdas esperadas (tabela 4.13), levando-se em consideração os fatores que a geraram e seus respectivos níveis. Utilizando-se estes resultados, montou-se uma nova tabela que representa os níveis em que os valores de perda esperada irão atuar. Esta é a representação das médias de cada um dos níveis (N_i). Assim, todas as características de desempenho tornam-se bem definidas, possibilitando, desta forma, a análise das características do produto. Sabe-se também que este irá desempenhar melhor quando todas suas características estiverem em seus valores ideais.

CP N ^o	A	B	C	D	E	Resist. Seco	Den. Ap Seco	Vol. Ap Seco	Den. Ap Sinter	Vol. Ap Sinter	Retr.	Abs.
01	1	1	1	1	1	5.73	11.53	19.27	8.54	12.69	30.83	0.423
02	1	1	2	2	2	9.24	11.12	20.37	7.40	13.24	33.46	0.499
03	1	1	3	3	3	7.57	12.18	19.28	9.06	12.98	28.01	0.707
04	1	2	1	1	2	14.35	12.34	18.74	9.33	13.28	31.87	0.917
05	1	2	2	2	3	10.04	11.58	19.59	8.53	12.77	34.73	0.401
06	1	2	3	3	1	10.12	12.70	17.66	9.62	12.06	28.51	0.605
07	1	3	1	2	1	8.30	12.63	17.75	9.36	11.88	30.83	0.485
08	1	3	2	3	2	10.52	12.06	17.98	8.88	12.08	32.60	0.449
09	1	3	3	1	3	11.51	13.64	17.54	10.07	11.81	32.25	0.701
10	2	1	1	3	3	7.21	10.65	20.71	7.93	14.05	32.29	0.543
11	2	1	2	1	1	5.65	9.79	18.83	7.46	12.52	30.49	0.526
12	2	1	3	2	2	8.28	10.81	20.03	8.34	13.99	28.92	0.699
13	2	2	1	2	3	9.00	11.10	18.13	8.21	12.34	34.61	0.430
14	2	2	2	3	1	12.51	10.58	20.42	7.91	13.86	34.51	0.862
15	2	2	3	1	2	9.75	11.36	19.83	8.70	13.32	28.83	0.608
16	2	3	1	3	2	10.96	11.41	19.20	8.67	13.13	29.46	0.464
17	2	3	2	1	3	11.22	10.95	18.74	8.51	12.87	33.73	0.440
18	2	3	3	2	1	9.40	11.79	18.65	9.38	13.42	24.24	0.692
Média						9.52	11.57	19.04	8.64	12.91	31.20	0.581

TABELA 4.13 - Tabela ortogonal com resultados em função perda

MATÉRIAS PRIMAS	Resist. Seco	Den. Ap Seco	Vol. Ap Seco	Den. Ap Sinter	Vol. Ap Sinter	Retr.	Abs.
A ₁ ==>	9.71	12.20	18.69	8.98	12.53	31.45	0.576
A ₂ ==>	9.33	10.94	19.39	8.31	13.28	30.79	0.585
B ₁ ==>	7.28	11.01	19.75	8.12	13.25	30.67	0.566
B ₂ ==>	10.96	11.61	19.06	8.72	12.94	32.18	0.637
B ₃ ==>	10.32	12.08	18.31	9.09	12.53	30.52	0.539
C ₁ ==>	9.26	11.61	18.97	8.67	12.90	31.65	0.544
C ₂ ==>	9.86	11.01	19.32	8.07	12.89	33.25	0.530
C ₃ ==>	9.44	12.08	18.83	9.19	12.93	28.46	0.669
D ₁ ==>	9.70	11.60	18.83	8.72	12.75	31.33	0.602
D ₂ ==>	9.05	11.51	19.09	8.54	12.94	31.13	0.534
D ₃ ==>	9.82	11.60	19.21	8.68	13.03	30.89	0.605
E ₁ ==>	8.62	11.50	18.76	8.71	12.74	29.90	0.599
E ₂ ==>	10.52	11.52	19.36	8.55	13.18	30.86	0.606
E ₃ ==>	9.43	11.68	19.00	8.67	12.80	32.60	0.537

TABELA 4.14 - Representação das médias dos respectivos níveis

IV.6 ANÁLISE DOS EFEITOS EM SEUS RESPECTIVOS NÍVEIS

Os valores em negrito nas colunas dos níveis ressaltam os seus valores de menor efeito. Estes cálculos foram realizados para cada um dos valores que caracterizam as massas, e estão descritos nas tabelas (4.15 a 4.21).

F A T O R		N Í V E I S		
		1	2	3
A	FILITO	9.71	9.33	---
B	TALCO	7.28	10.96	10.32
C	ARGILA X	9.26	9.86	9.44
D	ARGILA Y	9.70	9.05	9.82
E	ARGILA Z	8.62	10.52	9.43

TABELA 4.15 - Resistência mecânica das pastilhas prensadas após a secagem.

F A T O R		N I V E I S		
		1	2	3
A	FILITO	12.20	10.94	---
B	TALCO	11.01	11.61	12.08
C	ARGILA X	11.61	11.01	12.08
D	ARGILA Y	11.60	11.51	11.60
E	ARGILA Z	11.50	11.52	11.68

TABELA 4.16 - Densidade aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

F A T O R		N I V E I S		
		1	2	3
A	FILITO	18.69	19.39	---
B	TALCO	19.75	19.06	18.31
C	ARGILA X	18.97	19.32	18.83
D	ARGILA Y	18.83	19.09	19.21
E	ARGILA Z	18.76	19.36	19.00

TABELA 4.17 - Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

F A T O R		N I V E I S		
		1	2	3
A	FILITO	8.98	8.31	---
B	TALCO	8.12	8.72	9.09
C	ARGILA X	8.67	8.07	9.19
D	ARGILA Y	8.72	8.54	8.68
E	ARGILA Z	8.71	8.55	8.67

TABELA 4.18 - Densidade aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

F A T O R		N I V E I S		
		1	2	3
A	FILITO	12.53	13.28	---
B	TALCO	13.25	12.94	12.53
C	ARGILA X	12.90	12.89	12.93
D	ARGILA Y	12.75	12.94	13.03
E	ARGILA Z	12.74	13.18	12.80

TABELA 4.19 - Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

F A T O R		N Í V E I S		
		1	2	3
A	FILITO	31.45	30.79	---
B	TALCO	30.67	32.18	30.52
C	ARGILA X	31.65	33.25	28.46
D	ARGILA Y	31.33	31.13	30.89
E	ARGILA Z	29.90	30.86	32.60

TABELA 4.20 - Retração linear das pastilhas após a sinterização.

F A T O R		N Í V E I S		
		1	2	3
A	FILITO	0.576	0.585	---
B	TALCO	0.566	0.637	0.539
C	ARGILA X	0.544	0.530	0.669
D	ARGILA Y	0.602	0.534	0.605
E	ARGILA Z	0.599	0.606	0.537

TABELA 4.21 - Absorção de água das pastilhas após a sinterização.

IV.7 OS EFEITOS DA ANÁLISE EM FUNÇÃO-PERDA

Com a determinação de cada um dos valores mínimos, assinalados nas tabelas 4.15 a 4.21 em negrito, montou-se a tabela 4.22. Optou-se, da mesma forma, por representar nesta somente os níveis associados a cada valor, com a intenção de simplificar a análise dos resultados.

V A L O R E S M Í N I M O S	A	B	C	D	E
Resistência a Seco	2	1	1	1	3
Densidade Aparente a Seco	2	1	1	1	2
Volume Aparente a Seco	1	3	3	1	1
Densidade Aparente do Sinterizado	2	1	2	2	3
Volume Aparente do Sinterizado	1	3	2	1	1
Retração do Sinterizado	2	3	3	1	2
Absorção do Sinterizado	1	3	2	3	1

TABELA 4.22 - Totalização dos resultados obtidos por Função-Perda

Através de um somatório realizado em função da presença ou não de um resultado em um nível, pode-se avaliar em qual deles estará situado o melhor resultado. E estes foram agrupados na tabela 4.23.

SOMATÓRIO DOS NÍVEIS	A	B	C	D	E
NÍVEL 1	3	3	2	5	3
NÍVEL 2	4	0	3	1	2
NÍVEL 3	---	4	2	1	2

TABELA 4.23 - Somatório dos níveis da Função-Perda

Desta forma, determina-se a massa de menor custo associada a um bom desempenho para o experimento projetado:

MASSA ESCOLHIDA → A ₂ B ₂ C ₂ D ₁ E ₁
--

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A utilização da estatística de desempenho, para solucionar problemas de robustez do produto, é a alternativa mais barata e rápida de alcançar soluções para a qualidade dos produtos acabados.

A melhor massa em termos de características de desempenho é a que contém 25% de FILITO, 10% de TALCO, 13% de ARGILA X, 24% de ARGILA Y e 28% de ARGILA Z.

A utilização de função-perda, no auxílio a tomada de decisões, relacionando o caminho de menor custo com uma boa resposta de desempenho é a alternativa mais segura para obter qualidade a baixo custo.

A massa que apresenta as melhores características sob o ponto de vista de custo e qualidade é a que contém 20% de FILITO, 8% de TALCO, 13% de ARGILA X, 26% de ARGILA Y e 33% de ARGILA Z.

- Sugestões:

Novos experimentos projetados deverão ser definidos a partir destas conclusões, gerando uma massa com melhores características a cada repetição. Deve-se avaliar também o número de vezes que é conveniente realizar estas repetições, pois o custo/benefício deste poderá deixar de ser interessante.

Para a implantação da metodologia experimental de G. Taguchi na indústria deverá ser desenvolvido um software com a finalidade de agilizar os cálculos de desempenho do produto. Isto deverá também ser feito com acompanhamento de pessoal especializado na metodologia, junto com ceramistas da indústria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Taguchi, G.. Introduction to Quality Engineering. Asian Productivity Organization, Tokyo, pp 1-13, 1986.
- [2] Box, G., Bisgaard, S.. Statistical Tools for Improving Designs. Mechanical Engineering, pp 32-40, January 1988.
- [3] Ross, P.J.. Taguchi Techniques for Quality Engineering. McGraw-Hill, Inc., pp 63-98, 1988.
- [4] Ishikawa, K.. QC Circle Activities. Union of Japanese Scientists & Engineers, Tokyo, pp 11-33, 1968.
- [5] Barker, T.G.. Quality by Experimental Design. Marcel Dekker, Inc., New York, N.Y., pp 98-108, 1985.
- [6] Phadke, M.S., Dehnad, K.. Optimization of Product and Process Design for Quality and Cost. AT&T Bell laboratories, Holmdel, N.J.. Journal of Quality Technology, Received 17, October 1987.
- [7] Kacker, R.N.. Off-Line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method. AT&T Bell Laboratories, Holmdel, N.J.. Journal of Quality Technology, Vol. 17, No. 4, pp 176-188, October 1985.

- [8] Taguchi, G., Elsayed, E.A., Hsiang, T.C.. Engenharia da Qualidade em Sistemas de Produção. Editora McGraw-Hill, Ltda., pp 34-50, 1990.
- [9] Ross, P.J.. Taguchi techniques for Quality Engineering. McGraw-Hill, Inc., pp 167-204, 1988.
- [10] Taguchi, G.. On-line Quality Control during Production, Japanese Standards Association, Tokyo, pp 9-53. 1981.
- [11] Fuster, M.M., Navarro, J.E., De La Torre Edo, J.. Defectos del Bizcocho de Revestimientos Cerámicos por Bicocción. Técnica Cerámica No 157, pp 442-446. AICE.
- [12] Ferrari, R. Manuale della Macinazione con i Mulini a Tamburo Rotante. Faenza Editrice, Spa., pp 45-73, Cannara, Italy 1985.
- [13] Foust, A.S., Wenzel, L.A., Clump, C.W., Maus, L., Andersen, L.B.. Princípios das Operações Unitárias. Editora Guanabara Dois, S.A., pp 424-432, Rio de Janeiro 1982.
- [14] Fuster, M.M., Martinez, A., Navarro, J.E.. Estudio de las Propriedades Reológicas de Pastas Cerámicas para Atomización. Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr. Vol. 18 Num 4, pp 239-241, 1979.
- [15] Manual "S A C M I". ATOMIZADOR. Intratec - São Paulo, S.P..
- [16] Fuentes, A.B., Navarro, J.E., Jimenez, C.A.. Los Defloculantes y su Acción en las Pastas Cerámicas para Atomización. Técnica

Ceramica No 106, pp 834-847. AICE.

- [17] Da Silva, A.T.. Curso de Tratamento de Minérios. Univ. Fed. de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Volume 1, pp 16-25, Belo Horizonte 1973.
- [18] Benlloch, A.E., Albaro, J.L.A., Navarro, J.E.. Estudio de Pastas de Gres para Pavimentos. Bol.Soc.Esp.Ceram.Vidr. Vol. 20 - Num. 1, pp 17-24.
- [19] Albaro, J.L.A., Fuentes, A.B., Navarro, J.E., Medall, F.N.. Características de Polvos Ceramicos para Prensado. Bol.Soc.Esp.Ceram.Vidr.Vol. 26 - Num. 1, pp 31-37. 1987.
- [20] Fuster, M.M., Navarro, J.E., De La Torre Edo, J.. Defectos de los Productos de Monococción (II). Tecnica Ceramica No 165, pp 328- 334. 1988.
- [21] Santos, P.S.. Ciência e Tecnologia de Argilas - Volume 1. Editora Edgard Blücher, Ltda., 2ª Ed.rev., pp 163-164, São Paulo - 1989.
- [22] Norton,F.H.. Cerámica Fina, Tecnologia y Aplicaciones. Ediciones Omega, S.A., pp 255-274, Barcelona - 1975.
- [23] Escardino, A., Gallego, M., Ibañez, M.J., Negre, F.. Secado de Materiales Ceramicos. I. Factores que Afectan a la Humedad de Equilibrio. Bol.Soc.Esp.Ceram.Vidr.Vol. 26 - Num. 6, pp 367-373, 1987.

[24] Smithsonian Physical Tables. 9^a Ed.rev., Tabela 291.
Washington, D.C. - 1954.

A N E X O - A

TESTES DE CONTROLE DE QUALIDADE

M A S S A 0 1

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	25.0	37.5	100.0	99.66	0.34	127	37.627
TALCO	5.0	7.5	100.0	99.45	0.55	41	7.541
ARGILA X	16.0	24.0	100.0	98.45	1.57	376	24.376
ARGILA Y	24.0	36.0	100.0	98.45	1.57	563	36.563
ARGILA Z	30.0	45.0	100.0	97.58	2.48	1116	46.116
ÁGUA	56.0	84.0	Mt. h ₂ O			2223	81.777
ADITIVO	0.8	1.2					1.200

TABELA A.01.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDIDO (g)
120	1.67	14.90	13.77
150	1.67	11.50	10.63
180	1.67	10.90	10.07
210	1.67	9.40	8.69
240	1.67	8.10	7.48
270	1.67	6.90	6.38
300	1.67	6.30	5.82
330	1.67	5.20	4.81
360	1.67	4.90	4.53

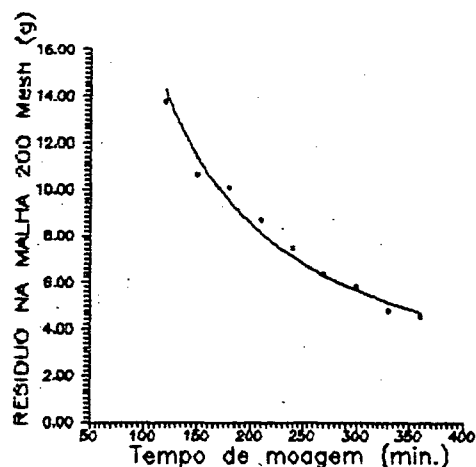


TABELA A.01.2 - Ensaio de moagem.

FIGURA A.01 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 26 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g)
TYLER	mm						151.4
20	0.883	0.20	0.20	0.20	99.80	0.942	M. s. (g)
32	0.495	1.10	1.10	1.30	98.70	0.689	146.2
35	0.417	1.00	1.00	2.30	97.70	0.456	UMIDADE
65	0.208	63.40	63.53	65.83	34.17	0.312	
115	0.124	22.90	22.95	88.78	11.22	0.166	3.56 %
200	0.074	7.10	7.11	95.89	4.11	0.099	Dm Global
PRATO	0.000	4.10	4.11	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.01.3 - Caracterização da massa atomizada.

M A S S A 0 2

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)	
FILITO	25.0	37.5	100.0	99.66	0.34	127	37.627	
TALCO	6.0	9.0	100.0	99.45	0.55	49	9.049	
ARGILA X	13.0	19.5	100.0	98.45	1.57	306	19.806	
ARGILA Y	24.0	36.0	100.0	98.45	1.57	563	36.563	
ARGILA Z	32.0	48.0	100.0	97.58	2.48	1190	49.190	
ÁGUA	56.0	84.0	Mt. h ₂ O			2235		81.765
ADITIVO	0.8	1.2						1.200

TABELA A.02.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDO (g)
120	1.68	15.00	13.65
150	1.67	12.30	11.37
180	1.66	11.00	10.32
210	1.67	9.40	8.69
240	1.67	8.70	8.04
270	1.67	7.70	7.12
300	1.67	6.80	6.28
330	1.67	6.20	5.73
360	1.68	4.90	4.46

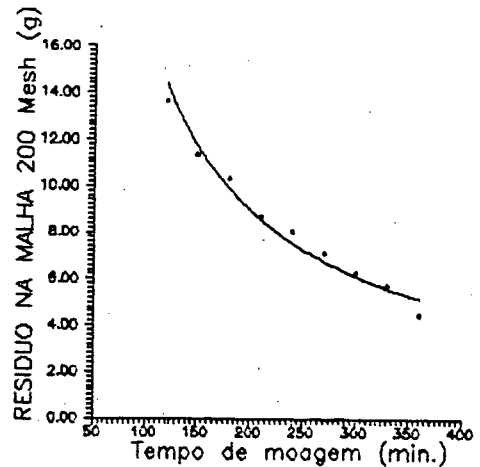


TABELA A.02.2 - Ensaio de moagem.

FIGURA A.02 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 26 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g) 100.0
TYLER	mm						
20	0.883	0.50	0.50	0.50	99.50	0.942	M. s. (g)
32	0.495	4.50	4.51	5.01	94.99	0.689	97.5
35	0.417	2.50	2.51	7.52	92.48	0.456	
65	0.208	75.70	75.93	83.45	16.55	0.312	<u>UMIDADE</u>
115	0.124	14.40	14.44	97.89	2.11	0.166	2.56 %
200	0.074	2.00	2.01	99.90	0.10	0.099	
PRATO	0.000	0.10	0.10	100.00	0.00	0.037	<u>Dm Global</u> 0.311mm

TABELA A.02.3 - Caracterização da massa atomizada.

M A S S A 0 3

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)	
FILITO	25.0	37.5	100.0	99.66	0.34	127	37.627	
TALCO	4.0	6.0	100.0	99.45	0.55	33	6.033	
ARGILA X	19.0	28.5	100.0	98.45	1.57	447	28.947	
ARGILA Y	30.0	45.0	100.0	98.45	1.57	704	45.704	
ARGILA Z	22.0	33.0	100.0	97.58	2.48	818	33.818	
ÁGUA ADITIVO	56.0 0.8	84.0 1.2	Mt. h ₂ O				2129	81.871 1.200

TABELA A.03.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDIDO (g)
120	1.68	12.90	11.74
150	1.67	12.60	11.64
180	1.68	10.80	9.83
210	1.66	9.40	8.82
240	1.68	8.80	8.01
270	1.68	7.50	6.83
300	1.68	6.50	5.92
330	1.67	6.00	5.54
360	1.68	5.30	4.82

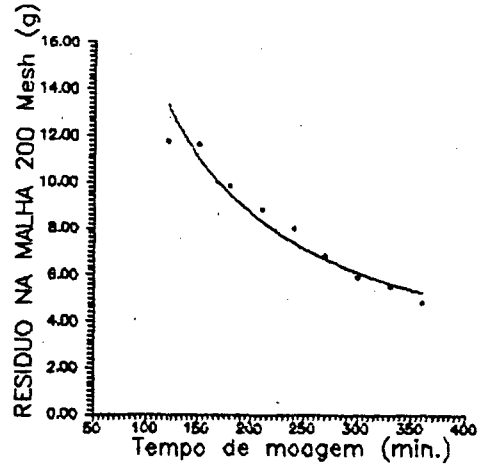


TABELA A.03.2 - Ensaio de moagem.

FIGURA A.03 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 26 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g)
TYLER	mm						281.6
20	0.883	1.10	1.10	1.10	98.90	0.942	M. s. (g) 272.1
32	0.495	6.60	6.62	7.72	92.28	0.689	
35	0.417	3.40	3.41	11.13	88.87	0.456	UMIDADE 3.49 %
65	0.208	60.20	60.38	71.51	28.49	0.312	
115	0.124	19.90	19.96	91.47	8.53	0.166	Dm Global 0.300mm
200	0.074	6.20	6.22	97.69	2.31	0.099	
PRATO	0.000	2.30	2.31	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.03.3 - Caracterização da massa atomizada.

M A S S A 0 4

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)	
FILITO	25.0	37.5	100.0	99.66	0.34	127	37.627	
TALCO	7.0	10.5	100.0	99.45	0.55	58	10.558	
ARGILA X	16.0	24.0	100.0	98.45	1.57	376	24.376	
ARGILA Y	24.0	36.0	100.0	98.45	1.57	563	36.563	
ARGILA Z	28.0	42.0	100.0	97.58	2.48	1041	43.041	
AGUA	56.0	84.0	Mt. h ₂ O			2165		81.835
ADITIVO	0.8	1.2						1.200

TABELA A. 04.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDIDO (g)
120	1.67	14.70	13.58
150	1.67	12.40	11.46
180	1.67	10.90	10.07
210	1.67	9.40	8.69
240	1.67	8.20	7.58
270	1.67	6.90	6.38
300	1.67	6.30	5.82
330	1.67	5.20	4.81
360	1.68	4.50	4.10

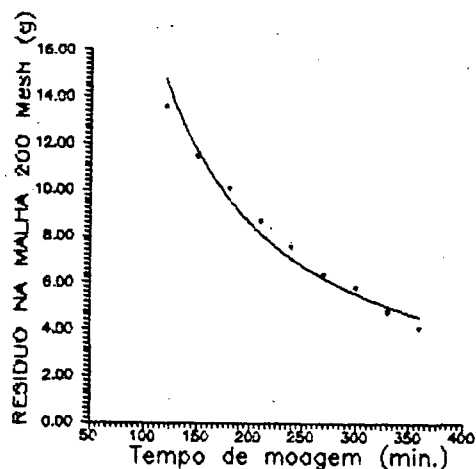


TABELA A. 04.2 - Ensaio de moagem.

FIGURA A. 04 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 26 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g) 283.8
TYLER	mm						
20	0.883	0.60	0.60	0.60	99.40	0.942	M. s. (g) 270.5
32	0.495	12.00	12.04	12.64	87.36	0.689	UMIDADE 4.92 %
35	0.417	6.10	6.12	18.76	81.24	0.456	
65	0.208	54.00	54.16	72.92	27.08	0.312	Dm Global 0.324mm
115	0.124	19.20	19.26	92.18	7.82	0.166	
200	0.074	5.80	5.82	97.99	2.01	0.099	
PRATO	0.000	2.00	2.01	100.00	0.00	0.037	

TABELA A. 04.3 - Caracterização da massa atomizada.

M A S S A 0 5

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	25.0	37.5	100.0	99.64	0.36	135	37.635
TALCO	8.0	12.0	100.0	99.14	0.87	104	12.104
ARGILA X	13.0	19.5	100.0	98.16	1.87	365	19.865
ARGILA Y	24.0	36.0	100.0	98.32	1.71	615	36.615
ARGILA Z	30.0	45.0	100.0	98.68	1.34	601	45.601
ÁGUA	56.0	84.0	Mt. h ₂ O			1820	82.180
ADITIVO	0.8	1.2					1.200

TABELA A.05.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIGIDO (g)
120	1.66	14.00	13.77
150	1.67	12.10	10.63
180	1.67	11.20	10.07
210	1.67	10.40	8.69
240	1.67	9.00	7.48
270	1.67	8.50	6.38
300	1.66	6.50	5.82
330	1.67	5.20	4.81
360	1.67	4.80	4.53

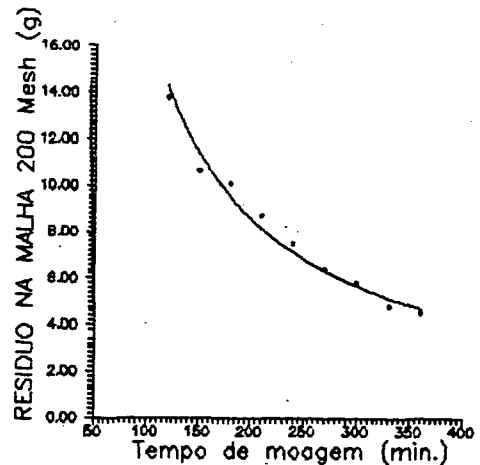


TABELA A.05.2 - Ensaio de moagem.

FIGURA A.05 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 26 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g) 224.8
TYLER	mm						
20	0.883	0.30	0.30	0.30	99.70	0.942	M. s. (g) 216.7
32	0.495	3.40	3.40	3.70	96.30	0.689	UMIDADE 3.74 %
35	0.417	4.50	4.50	8.21	91.79	0.456	
65	0.208	69.80	69.87	78.08	21.92	0.312	Dm Global 0.297mm
115	0.124	15.80	15.82	93.89	6.11	0.166	
200	0.074	5.40	5.41	99.30	0.70	0.099	
PRATO	0.000	0.70	0.70	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.01.5 - Caracterização da massa atomizada.

M A S S A 0 6

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	25.0	37.5	100.0	99.64	0.36	135	37.635
TALCO	6.0	9.0	100.0	99.14	0.87	78	9.078
ARGILA X	19.0	28.5	100.0	98.16	1.87	534	29.034
ARGILA Y	30.0	45.0	100.0	98.32	1.71	768	45.768
ARGILA Z	20.0	30.0	100.0	98.68	1.34	401	30.401
ÁGUA ADITIVO	56.0 0.8	84.0 1.2			Mt. h ₂ O	1916	82.084 1.200

TABELA A.06.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDO (g)
120	1.67	14.00	12.94
210	1.68	8.80	8.01
250	1.68	7.60	6.92
280	1.68	7.00	6.37
315	1.67	6.30	5.82
360	1.68	5.60	5.09

TABELA A.06.2 - Ensaio de moagem.

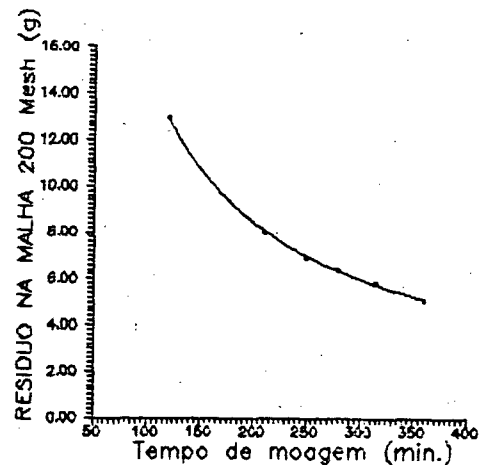


FIGURA A.06 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 26 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g)
TYLER	mm						169.8
20	0.883	0.20	0.20	0.20	99.80	0.942	M. s. (g) 161.9
32	0.495	7.40	7.41	7.61	92.39	0.689	
35	0.417	10.50	10.51	18.12	81.88	0.456	<u>UMIDADE</u> 4.88 %
65	0.208	65.10	65.17	83.28	16.72	0.312	
115	0.124	13.60	13.61	96.90	3.10	0.166	<u>Dm Global</u> 0.330mm
200	0.074	2.80	2.80	99.70	0.30	0.099	
PRATO	0.000	0.30	0.30	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.06.3 - Caracterização da massa atomizada.

MASSA 07

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	25.0	37.5	100.0	99.54	0.46	173	37.673
TALCO	9.0	13.5	100.0	99.22	0.79	106	13.606
ARGILA X	16.0	24.0	100.0	98.04	2.00	479	24.479
ARGILA Y	22.0	33.0	100.0	98.30	1.73	570	33.570
ARGILA Z	28.0	42.0	100.0	97.40	2.67	1121	43.121
ÁGUA	56.0	84.0	Mt. h ₂ O			2449	81.551
ADITIVO	0.8	1.2					1.200

TABELA A. 07.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDO (g)
135	1.67	13.90	12.84
165	1.68	12.40	11.28
195	1.68	11.10	10.10
225	1.68	10.70	9.74
255	1.68	9.90	9.01
285	1.67	8.60	7.95
315	1.68	7.70	7.01
345	1.68	6.40	5.82
360	1.69	5.90	5.29

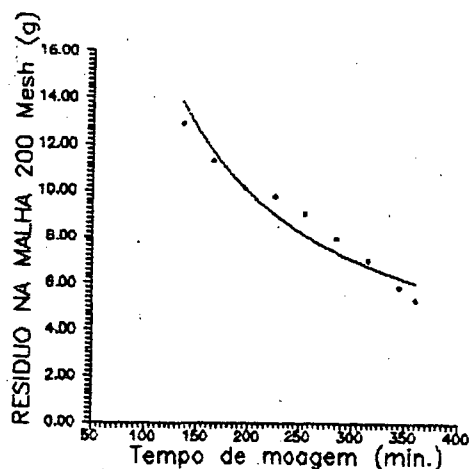


TABELA A. 07.2 - Ensaio de moagem.

FIGURA A. 07 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 26 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M.u. (g)	
TYLER	mm						149.7	
20	0.883	0.20	0.20	0.20	99.80	0.942	M.s. (g)	
32	0.495	3.20	3.21	3.41	96.59	0.689		141.8
35	0.417	3.90	3.91	7.31	92.69	0.456	UMIDADE	
65	0.208	73.00	73.15	80.46	19.54	0.312		5.57 %
115	0.124	16.80	16.83	97.29	2.71	0.166		Dm Global
200	0.074	2.20	2.20	99.50	0.50	0.099	0.301 mm	
PRATO	0.000	0.50	0.50	100.00	0.00	0.037		

TABELA A. 07.3 - Caracterização da massa atomizada.

MASSA 08

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	25.0	37.5	100.0	99.54	0.46	173	37.673
TALCO	10.0	15.0	100.0	99.22	0.79	117	15.117
ARGILA X	13.0	19.5	100.0	98.04	2.00	389	19.889
ARGILA Y	28.0	42.0	100.0	98.30	1.73	726	42.726
ARGILA Z	24.0	36.0	100.0	97.40	2.67	960	36.960
ÁGUA	56.0	84.0	Mt. h ₂ O			2365	81.635
ADITIVO	0.8	1.2					1.200

TABELA A.08.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIGIDO (g)
120	1.67	14.70	13.58
150	1.67	12.40	11.46
180	1.67	10.50	9.70
210	1.67	9.50	8.78
240	1.67	8.20	7.58
270	1.67	7.30	6.75
300	1.68	6.50	5.92
330	1.69	6.10	5.47
360	1.67	4.70	4.28

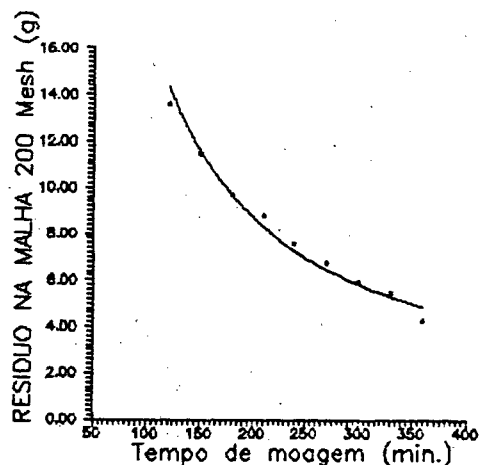


TABELA A.08.2 - Ensaio de moagem.

FIGURA A.08 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 26 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g)
TYLER	mm						149.7
20	0.883	0.30	0.30	0.30	99.70	0.942	M. s. (g) 143.5
32	0.495	3.70	3.71	4.01	95.99	0.689	
35	0.417	7.30	7.31	11.32	88.68	0.456	UMIDADE 4.32 %
65	0.208	72.80	72.95	84.27	15.73	0.312	
115	0.124	13.30	13.33	97.59	2.41	0.166	Dm Global 0.314mm
200	0.074	2.00	2.00	99.60	0.40	0.099	
PRATO	0.000	0.40	0.40	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.08.3 - Caracterização da massa atomizada.

M A S S A 0 9

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	25.0	37.5	100.0	99.64	0.36	135	37.635
TALCO	8.0	12.0	100.0	99.26	0.75	89	12.089
ARGILA X	19.0	28.5	100.0	97.42	2.65	754	29.254
ARGILA Y	28.0	42.0	100.0	98.44	1.58	665	42.665
ARGILA Z	20.0	30.0	100.0	98.28	1.75	525	30.525
AGUA	56.0	84.0	Mt. h ₂ O			2168	81.832
ADITIVO	0.8	1.2					1.200

TABELA A.09.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDIDO (g)
120	1.66	10.30	9.66
150	1.65	9.60	9.15
180	1.67	9.00	8.32
210	1.68	8.10	7.37
240	1.68	7.40	6.73
270	1.68	6.60	6.01
300	1.69	5.70	5.11
330	1.69	4.60	4.13
360	1.69	3.90	3.50

TABELA A.09.2 - Ensaio de moagem.

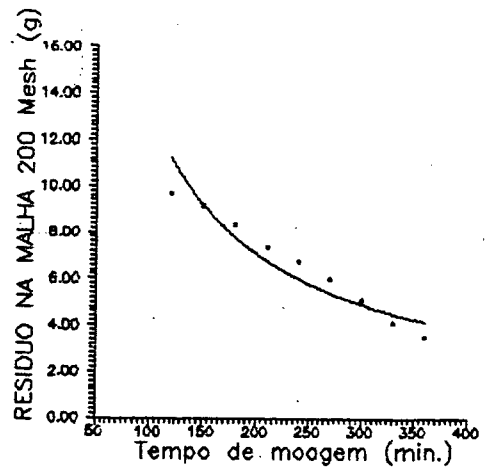


FIGURA A.09 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 26 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g) 100.0
TYLER	mm						M. s. (g) 93.9
20	0.883	0.20	0.20	0.20	99.80	0.942	UMIDADE 6.50 %
32	0.495	1.70	1.70	1.90	98.10	0.689	
35	0.417	2.50	2.50	4.41	95.59	0.456	Dm Global 0.302mm
65	0.208	81.40	81.56	85.97	14.03	0.312	
115	0.124	12.00	12.02	98.00	2.00	0.166	
200	0.074	1.60	1.60	99.60	0.40	0.099	
PRATO	0.000	0.40	0.40	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.09.3 - Caracterização da massa atomizada.

MASSA 10

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	20.0	30.0	100.0	99.74	0.26	78	30.078
TALCO	5.0	7.5	100.0	99.50	0.50	37	7.537
ARGILA X	16.0	24.0	100.0	98.48	1.54	370	24.370
ARGILA Y	26.0	39.0	100.0	98.28	1.75	682	39.682
ARGILA Z	33.0	49.5	100.0	98.04	2.00	989	50.489
ÁGUA	56.0	84.0	Mt. h ₂ O			2156	81.844
ADITIVO	0.8	1.2					1.200

TABELA A.10.1 - Determinação da unidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDIDO (g)
120	1.67	13.70	12.66
150	1.67	11.30	10.44
180	1.66	9.60	9.01
210	1.67	9.30	8.59
240	1.67	8.70	8.04
270	1.67	8.30	7.67
300	1.67	7.50	6.93
330	1.67	6.40	5.91
360	1.67	4.70	4.34

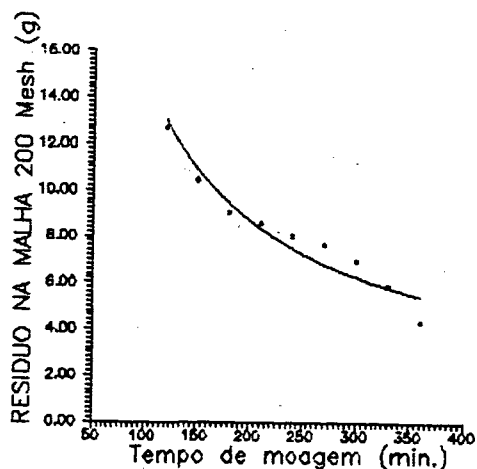


TABELA A.10.2 - Ensaio de moagem.

FIGURA A.10 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 26 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g) 100.0
TYLER	mm						M. s. (g) 90.9
20	0.883	0.30	0.30	0.30	99.70	0.942	UMIDADE 10.01 %
32	0.495	4.90	4.90	5.21	94.79	0.689	
35	0.417	10.90	10.91	16.12	83.88	0.456	Dm Global 0.329mm
65	0.208	72.20	72.27	88.39	11.61	0.312	
115	0.124	9.00	9.01	97.40	2.60	0.166	
200	0.074	2.00	2.00	99.40	0.60	0.099	
PRATO	0.000	0.60	0.60	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.10.3 - Caracterização da massa atomizada.

M A S S A 1 1

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	20.0	30.0	100.0	99.62	0.38	114	30.114
TALCO	6.0	9.0	100.0	99.18	0.83	74	9.074
ARGILA X	13.0	19.5	100.0	97.30	2.77	541	20.041
ARGILA Y	26.0	39.0	100.0	98.34	1.69	658	39.658
ARGILA Z	35.0	52.5	100.0	97.74	2.31	1213	53.713
ÁGUA	56.0	84.0	Mt. h ₂ O			2600	81.400
ADITIVO	0.8	1.2					1.200

TABELA A.11.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDIDO (g)
120	1.68	15.90	14.47
150	1.67	14.00	12.94
180	1.68	12.80	11.65
210	1.67	11.70	10.81
240	1.68	10.40	9.46
270	1.68	8.90	8.10
300	1.68	7.10	6.46
330	1.67	6.90	6.38
360	1.68	5.30	4.82

TABELA A.11.2 - Ensaio de moagem.

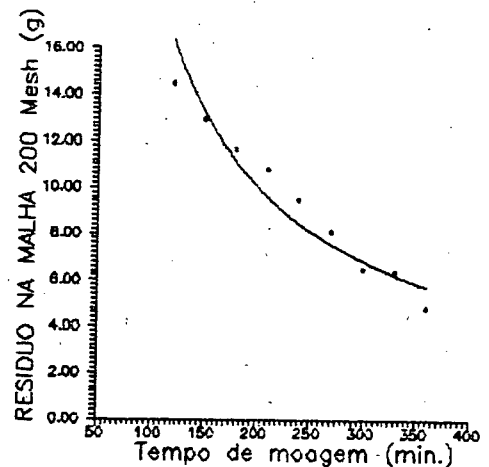


FIGURA A.11 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 24 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g)
TYLER	mm						150.6
20	0.883	0.20	0.20	0.20	99.80	0.942	M. s. (g) 143.2
32	0.495	7.10	7.10	7.30	92.70	0.689	
35	0.417	11.10	11.10	18.40	81.60	0.456	UMIDADE 5.17 %
65	0.208	75.00	75.00	93.40	6.60	0.312	
115	0.124	6.00	6.00	99.40	0.60	0.166	Dm Global 0.346mm
200	0.074	0.50	0.50	99.90	0.10	0.099	
PRATO	0.000	0.10	0.10	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.11.3 - Caracterização da massa atomizada.

MASSA 1 2

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	20.0	30.0	100.0	99.68	0.32	96	30.096
TALCO	4.0	6.0	100.0	99.44	0.56	33	6.033
ARGILA X	19.0	28.5	100.0	97.08	3.01	857	29.357
ARGILA Y	26.0	39.0	100.0	98.46	1.56	609	39.609
ARGILA Z	31.0	46.5	100.0	97.46	2.61	1211	47.711
ÁGUA ADITIVO	56.0 0.8	84.0 1.2			Mt. h ₂ O	2806	81.194 1.200

TABELA A.12.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDO (g)
130	1.69	15.90	14.26
200	1.68	11.00	10.01
240	1.68	8.90	8.10
270	1.68	7.40	6.73
300	1.69	7.20	6.46
330	1.68	6.60	6.01
360	1.69	6.10	5.47

TABELA A.12.2 - Ensaio de moagem.

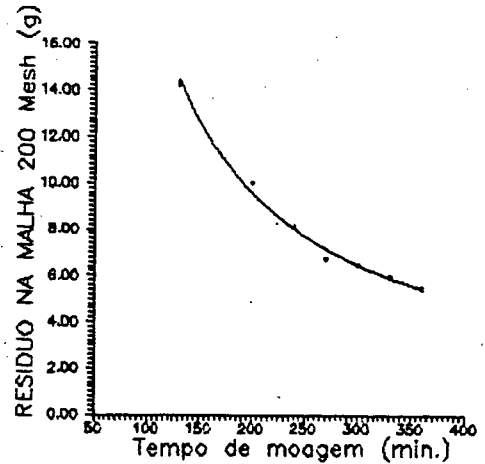


FIGURA A.12 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 23 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA	%MASSA RETIDA	%MASSA RETIDA	% QUE PASSA	DIAMETRO MÉDIO DA	M. u. (g)
TYLER	mm	(%)	CORRIGD.	ACUMULD.	ACUMULD.	ABERTURA	100.0
20	0.883	2.40	2.40	2.40	97.60	0.942	M. s. (g)
32	0.495	16.20	16.22	18.62	81.38	0.689	94.0
35	0.417	13.40	13.41	32.03	67.97	0.456	
65	0.208	55.60	55.66	87.69	12.31	0.312	<u>UMIDADE</u>
115	0.124	10.30	10.31	98.00	2.00	0.166	6.38 %
200	0.074	1.80	1.80	99.80	0.20	0.099	
PRATO	0.000	0.20	0.20	100.00	0.00	0.037	<u>Dm Global</u>
							0.388mm

TABELA A.12.3 - Caracterização da massa atomizada.

MASSA 13

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	20.0	30.0	100.0	99.56	0.44	132	30.132
TALCO	7.0	10.5	100.0	99.20	0.81	84	10.584
ARGILA X	16.0	24.0	100.0	97.34	2.73	655	24.655
ARGILA Y	22.0	33.0	100.0	97.88	2.17	714	33.714
ARGILA Z	35.0	52.5	100.0	97.68	2.38	1246	53.746
ÁGUA ADITIVO	56.0	84.0	Mt. h ₂ O			2831	81.169
	0.8	1.2					1.200

TABELA A.13.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDIDO (g)
120	1.67	14.00	12.94
150	1.68	12.80	11.65
180	1.68	12.30	11.19
210	1.68	10.60	9.65
240	1.68	9.60	8.74
270	1.70	8.80	7.78
300	1.69	7.90	7.09
330	1.68	7.00	6.37
360	1.68	6.20	5.64
390	1.68	4.20	3.82

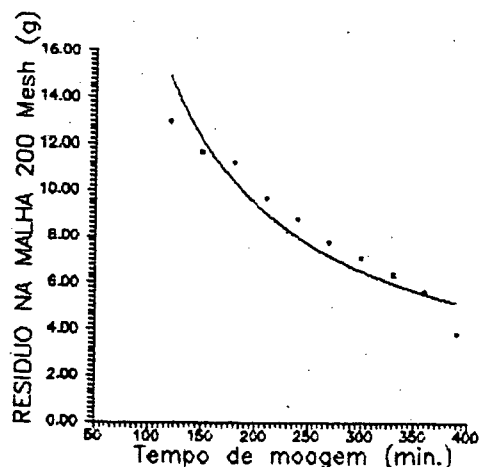


TABELA A.13.2 - Ensaio de moagem.

FIGURA A.13 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 23 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA	%MASSA RETIDA	%MASSA RETIDA	% QUE PASSA	DIAMETRO MÉDIO DA	M. u. (g)
TYLER	mm	(%)	CORRIGD.	ACUMULD.	ACUMULD.	ABERTURA	150.0
20	0.883	1.20	1.20	1.20	98.80	0.942	M. s. (g) 142.5
32	0.495	18.70	18.72	19.92	80.08	0.689	
35	0.417	11.30	11.31	31.23	68.77	0.456	UMIDADE 5.26 %
65	0.208	57.80	57.86	89.09	10.91	0.312	
115	0.124	8.20	8.21	97.30	2.70	0.166	Dm Global 0.388mm
200	0.074	1.70	1.70	99.00	1.00	0.099	
PRATO	0.000	1.00	1.00	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.13.3 - Caracterização da massa atomizada.

M A S S A 1 4

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	20.0	30.0	100.0	99.58	0.42	126	30.126
TALCO	8.0	12.0	100.0	99.32	0.68	82	12.082
ARGILA X	13.0	19.5	100.0	97.24	2.84	553	20.053
ARGILA Y	28.0	42.0	100.0	98.14	1.90	796	42.796
ARGILA Z	31.0	46.5	100.0	97.92	2.12	987	47.487
ÁGUA	56.0	84.0	Mt. h ₂ O			2544	81.456
ADITIVO	0.8	1.2					1.200

TABELA A.14.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDO (g)
120	1.67	13.10	12.10
150	1.67	11.80	10.90
180	1.68	10.00	9.10
210	1.66	9.20	8.63
240	1.66	8.90	8.35
270	1.69	7.10	6.37
300	1.68	6.70	6.10
330	1.67	6.10	5.64
390	1.69	4.60	4.13

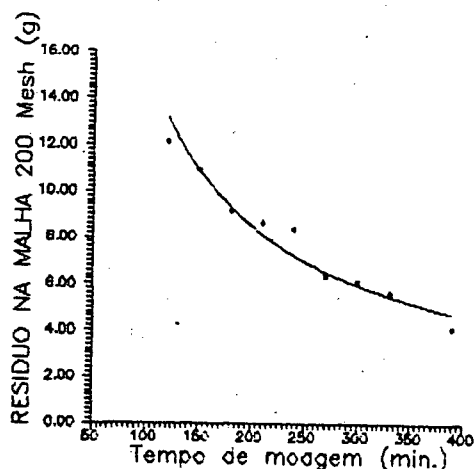


TABELA A.14.2 - Ensaio de moagem.

FIGURA A.14 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 23 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g) 100.0
TYLER	mm						M. s. (g) 94.2
20	0.883	0.60	0.60	0.60	99.40	0.942	UMIDADE 6.16 %
32	0.495	6.80	6.81	7.41	92.59	0.689	
35	0.417	7.30	7.31	14.73	85.27	0.456	Dm Global 0.329mm
65	0.208	70.60	70.74	85.47	14.53	0.312	
115	0.124	11.60	11.62	97.09	2.91	0.166	
200	0.074	2.10	2.10	99.20	0.80	0.099	
PRATO	0.000	0.80	0.80	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.14.3 - Caracterização da massa atomizada.

M A S S A 1 5

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	20.0	30.0	100.0	99.82	0.18	54	30.054
TALCO	6.0	9.0	100.0	99.62	0.38	34	9.034
ARGILA X	19.0	28.5	100.0	98.08	1.96	557	29.057
ARGILA Y	28.0	42.0	100.0	98.86	1.15	484	42.484
ARGILA Z	27.0	40.5	100.0	98.30	1.73	700	41.200
ÁGUA	56.0	84.0	Mt. h ₂ O			1829	82.171
ADITIVO	0.8	1.2					

TABELA A.15.1 - Determinação da umidade das matérias primas.

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDIDO (g)
120	1.67	13.40	12.38
150	1.66	11.90	11.16
180	1.66	10.40	9.76
210	1.66	9.00	8.44
240	1.67	7.60	7.02
270	1.67	6.80	6.28
300	1.66	6.50	6.09
330	1.66	5.40	5.07
360	1.67	4.40	4.07

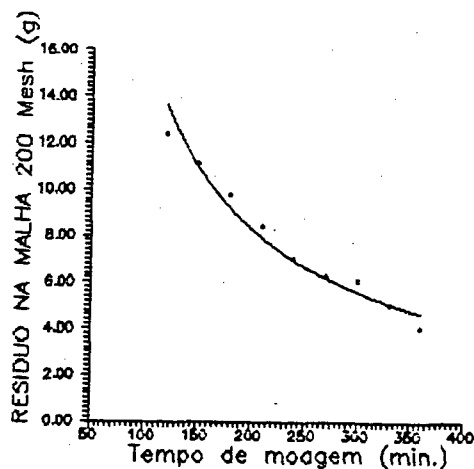


TABELA A.15.2 - Ensaio de moagem.

FIGURA A.15 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 22 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g)
TYLER	mm						100.0
20	0.883	0.30	0.30	0.30	99.70	0.942	M. s. (g)
32	0.495	5.50	5.51	5.81	94.19	0.689	
35	0.417	9.10	9.12	14.93	85.07	0.456	UMIDADE
65	0.208	72.60	72.75	87.67	12.33	0.312	
115	0.124	10.20	10.22	97.90	2.10	0.166	Dm Global
200	0.074	1.60	1.60	99.50	0.50	0.099	
PRATO	0.000	0.50	0.50	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.15.3 - Caracterização da massa atomizada.

M A S S A 1 6

	%	PESO (kg)	MASSA UMI DA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	20.0	30.0	100.0	99.58	0.42	126	30.126
TALCO	9.0	13.5	100.0	99.12	0.89	119	13.619
ARGILA X	16.0	24.0	100.0	97.20	2.88	691	24.691
ARGILA Y	26.0	39.0	100.0	98.04	2.00	779	39.779
ARGILA Z	29.0	43.5	100.0	97.20	2.88	1253	44.753
ÁGUA	56.0	84.0	Mt. h ₂ O			2968	81.032
ADI TIVO	0.8	1.2				1.200	

TABELA A.16.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIDIDO (g)
120	1.68	13.80	12.56
150	1.69	12.70	11.39
180	1.68	11.20	10.19
210	1.68	10.60	9.65
240	1.69	8.90	7.98
270	1.69	7.10	6.37
300	1.69	6.30	5.65
330	1.69	5.90	5.29
360	1.69	4.70	4.22

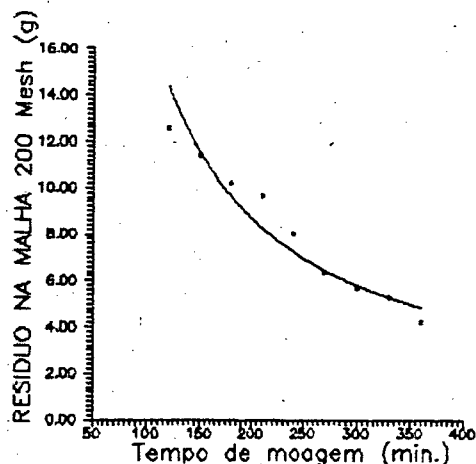


TABELA A.16.2 - Ensaio de moagem.

FIGURA A.16 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 25 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g) 181.1
TYLER	mm						
20	0.883	0.90	0.90	0.90	99.10	0.942	M. s. (g) 174.3
32	0.495	5.50	5.51	6.41	93.59	0.689	
35	0.417	3.50	3.51	9.92	90.08	0.456	UMIDADE 3.90 %
65	0.208	59.80	59.92	69.84	30.16	0.312	
115	0.124	22.40	22.44	92.28	7.72	0.166	Dm Global 0.294mm
200	0.074	6.90	6.91	99.20	0.80	0.099	
PRATO	0.000	0.80	0.80	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.16.3 - Caracterização da massa atomizada.

MASSA 17

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)
FILITO	20.0	30.0	100.0	99.60	0.40	120	30.120
TALCO	10.0	15.0	100.0	99.16	0.85	127	15.127
ARGILA X	13.0	19.5	100.0	96.74	3.37	657	20.157
ARGILA Y	26.0	39.0	100.0	97.74	2.31	901	39.901
ARGILA Z	31.0	46.5	100.0	97.38	2.69	1251	47.751
ÁGUA ADITIVO	56.0 0.8	84.0 1.2	Mt. h ₂ O			3056	80.944 1.200

TABELA A.17.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIGIDO (g)
120	1.66	10.30	9.66
150	1.66	9.60	9.15
180	1.67	9.00	8.32
210	1.68	8.10	7.37
240	1.68	5.80	5.28
270	1.68	5.40	4.91
300	1.68	4.80	4.37
330	1.68	4.30	3.91
360	1.68	3.90	3.55

TABELA A.17.2 - Ensaio de moagem.

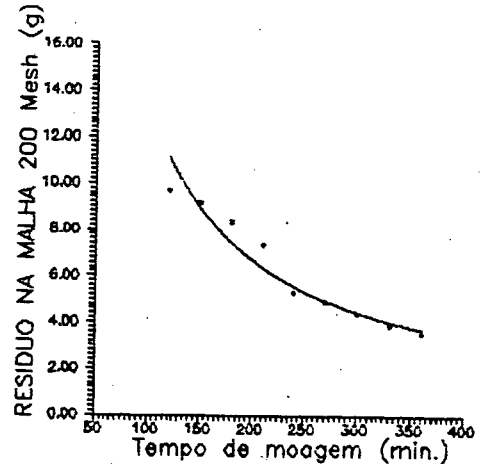


FIGURA A.17 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 26 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g)
TYLER	mm						120.5
20	0.883	1.40	1.40	1.40	98.60	0.942	M. s. (g)
32	0.495	13.60	13.61	15.02	84.98	0.689	114.6
35	0.417	7.00	7.01	22.02	77.98	0.456	UMIDADE
65	0.208	59.10	59.16	81.18	18.82	0.312	
115	0.124	14.80	14.81	96.00	4.00	0.166	Dm Global
200	0.074	2.90	2.90	98.90	1.10	0.099	
PRATO	0.000	1.10	1.10	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.17.3 - Caracterização da massa atomizada.

MASSA 18

	%	PESO (kg)	MASSA UMIDA (g)	MASSA SECA (g)	U%	M. h ₂ O (g)	MASSA CORRIGD. (g)	
FILITO	20.0	30.0	100.0	99.52	0.48	144	30.144	
TALCO	8.0	12.0	100.0	99.22	0.79	94	12.094	
ARGILA X	19.0	28.5	100.0	97.04	3.05	869	29.369	
ARGILA Y	26.0	39.0	100.0	97.26	2.82	1098	40.098	
ARGILA Z	27.0	40.5	100.0	97.50	2.56	1038	41.538	
ÁGUA	56.0	84.0	Mt. h ₂ O				3243	80.757
ADITIVO	0.8	1.2						1.200

TABELA A.18.1 - Determinação da umidade das matérias primas

TEMPO (min)	DENSIDADE (g/ml)	RESÍDUO 200Mesh (g)	RESÍDUO CORRIGIDO (g)
120	1.67	13.70	12.66
150	1.68	13.70	12.47
180	1.67	11.90	10.99
210	1.67	9.90	9.15
240	1.67	8.90	8.22
270	1.67	8.20	7.58
300	1.66	7.30	6.85
330	1.66	6.60	6.19
360	1.67	5.40	4.99

TABELA A.18.2 - Ensaio de moagem.

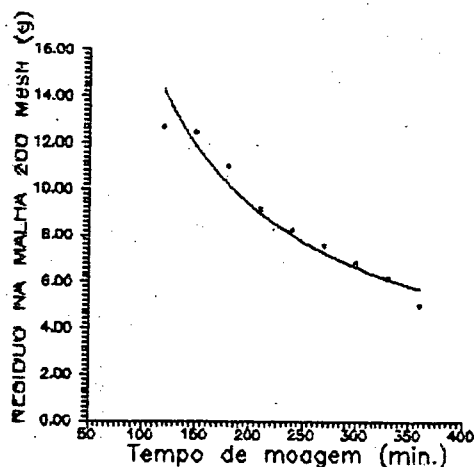


FIGURA A.18 - Moagem x Tempo

VISCOSIDADE DA BARBOTINA → 26 seg.

ABERTURA		MASSA RETIDA (%)	%MASSA RETIDA CORRIGD.	%MASSA RETIDA ACUMULD.	% QUE PASSA ACUMULD.	DIAMETRO MÉDIO DA ABERTURA	M. u. (g)
TYLER	mm						146.5
20	0.883	0.20	0.20	0.20	99.80	0.942	M. s. (g)
32	0.495	1.10	1.10	1.30	98.70	0.689	140.9
35	0.417	1.00	1.00	2.30	97.70	0.456	<u>UMIDADE</u> 3.97 %
65	0.208	63.40	63.53	65.83	34.17	0.312	
115	0.124	22.90	22.95	88.78	11.22	0.166	<u>Dm Global</u> 0.259mm
200	0.074	7.10	7.11	95.89	4.11	0.099	
PRATO	0.000	4.10	4.11	100.00	0.00	0.037	

TABELA A.18.3 - Caracterização da massa atomizada.

A N E X O - B

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

M A S S A - 0 1

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruído (Db)
1	0.573	2.0055	560.0	2.792	0.128	
2	0.575	2.0125	555.0	2.758	0.132	
3	0.573	2.0055	585.0	2.917	0.118	
4	0.583	2.0405	545.0	2.671	0.140	
Média	0.576	2.0160	561.3	2.784	0.129	57.731

Tabela B.01.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
16	11.20	77.3	1.95	5.71	0.2620	3.2576	D. Ap.
17	11.00	76.0	1.96	5.61	0.2602	3.1489	32.101
18	11.00	75.4	1.97	5.57	0.2566	3.0995	
Média	11.07	76.2	1.96	5.63	0.2596	3.1687	V. Ap. 51.848

Tabela B.01.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
1	10.48	62.30	2.28	4.60	0.19266	2.1160	D. Ap.
2	10.33	61.30	2.28	4.53	0.19198	2.0486	35.6040
3	10.44	62.00	2.28	4.58	0.19228	2.0957	
Méd.	10.42	61.87	2.28	4.57	0.19231	2.0868	V. Ap. 54.3994

Tabela B.01.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	35.06	32.80	2.26	6.45	5.10760	
2	35.05	32.79	2.26	6.45	5.10760	
3	35.05	32.80	2.25	6.42	5.06250	
4	35.06	32.76	2.30	6.56	5.29000	
5	35.06	32.74	2.32	6.62	5.38240	
7	35.07	32.79	2.28	6.50	5.19840	
11	35.05	32.83	2.22	6.33	4.92840	
12	35.08	32.88	2.20	6.27	4.84000	
13	35.07	32.89	2.18	6.22	4.75240	
14	35.07	32.83	2.24	6.39	5.01760	
15	35.08	32.83	2.25	6.41	5.06250	
Média	35.06	32.81	2.25	6.42	5.06813	51.90502

Tabela B.01.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruido (Db)
4	10.48	10.73	0.25	2.39	0.06250	
5	10.57	10.83	0.26	2.46	0.06760	
7	10.55	10.83	0.28	2.65	0.07840	
Média	10.53	10.80	0.26	2.50	0.06950	63.80211

Tabela B.01.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 0 2

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruido (Db)
1	0.590	2.0650	455.0	2.203	0.206	
2	0.582	2.0370	415.0	2.037	0.241	
3	0.528	1.9530	405.0	2.074	0.233	
4	0.592	2.0720	465.0	2.244	0.199	
Média	0.581	2.0318	435.0	2.140	0.219	36.274

Tabela B.02.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
16	11.30	78.2	1.96	5.77	0.2611	3.3339	D. Ap. 28.166
17	11.10	77.2	1.95	5.70	0.2637	3.2492	
18	11.10	77.7	1.94	5.74	0.2657	3.2915	
Média	11.17	77.7	1.95	5.74	0.2635	3.2916	V. Ap. 48.912

Tabela B.02.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
2	11.05	62.80	2.38	4.64	0.17609	2.1501	D. Ap. 44.4630
3	11.03	62.20	2.40	4.59	0.17337	2.1092	
8	11.05	62.90	2.38	4.64	0.17665	2.1570	
Méd.	11.04	62.63	2.39	4.62	0.17537	2.1388	V. Ap. 52.1919

Tabela B.02.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruído (Db)
2	35.06	32.69	2.37	6.76	5.61690	
3	35.07	32.79	2.28	6.50	5.19840	
8	35.08	32.75	2.33	6.64	5.42890	
9	35.08	32.74	2.34	6.67	5.47560	
10	35.08	32.77	2.31	6.59	5.33610	
11	35.09	32.76	2.33	6.64	5.42890	
12	35.08	32.80	2.28	6.50	5.19840	
13	35.08	32.75	2.33	6.64	5.42890	
14	35.11	32.77	2.34	6.67	5.47560	
15	35.09	32.75	2.34	6.67	5.47560	
Média	35.06	32.81	2.25	6.63	5.40633	

Tabela B.02.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruido (Db)
9	10.53	10.80	0.27	2.56	0.07290	
10	10.40	10.67	0.27	2.60	0.07290	
11	10.64	10.95	0.31	2.91	0.09610	
Média	10.52	10.81	0.28	2.69	0.08063	61.36677

Tabela B.02.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 0 3

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruido (Db)
1	0.588	2.0580	485.0	2.357	0.180	
2	0.582	2.0370	515.0	2.528	0.156	
3	0.582	2.0370	480.0	2.356	0.180	
4	0.549	1.9215	530.0	2.758	0.131	
Média	0.575	2.0134	502.5	2.500	0.162	52.787

Tabela B.03.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruido (Db)
15	11.10	76.5	1.96	5.65	0.2608	3.1906	D. Ap. 31.170
16	11.10	77.0	1.95	5.69	0.2633	3.2324	
17	11.20	77.2	1.97	5.70	0.2576	3.2492	
Média	11.13	76.9	1.96	5.68	0.2606	3.2241	V. Ap. 50.491

Tabela B.03.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
7	10.58	63.20	2.27	4.67	0.19454	2.1776	D. Ap. 34.2245
8	10.57	62.90	2.28	4.64	0.19306	2.1570	
9	10.57	63.00	2.27	4.65	0.19368	2.1638	
Méd.	10.57	63.03	2.27	4.65	0.19376	2.1661	V. Ap. 51.2346

Tabela B.03.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruído (Db)	
4	35.05	32.93	2.12	6.05	4.49440		
5	35.05	32.89	2.16	6.16	4.66560		
6	35.06	32.85	2.21	6.30	4.88410		
7	35.04	32.86	2.18	6.22	4.75240		
8	35.05	32.87	2.18	6.22	4.75240		
9	35.05	32.85	2.20	6.28	4.84000		
10	35.06	32.83	2.23	6.36	4.97290		
11	35.05	32.92	2.13	6.08	4.53690		
12	35.06	33.00	2.06	5.88	4.24360		
13	35.06	32.90	2.16	6.16	4.66560		
14	35.07	32.90	2.17	6.19	4.70890		
Média	35.06	32.89	2.16	6.17	4.68335		55.40608

Tabela B.03.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruído (Db)
4	10.54	10.87	0.33	3.13	0.10890	
5	10.64	11.01	0.37	3.48	0.13690	
6	10.55	10.88	0.33	3.13	0.10890	
Média	10.58	10.92	0.34	3.25	0.11823	56.79854

Tabela B.03.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 0 4

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruído (Db)
1	0.613	2.1455	340.0	1.585	0.398	
2	0.596	2.0860	395.0	1.894	0.279	
3	0.595	2.0825	410.0	1.969	0.258	
4	0.581	2.0335	375.0	1.844	0.294	
Média	0.596	2.0869	380.0	1.823	0.307	35.370

Tabela B.04.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
11	10.90	75.8	1.94	5.60	0.2656	3.1327	D. Ap. 27.352
12	11.00	75.8	1.96	5.60	0.2608	3.1324	
13	10.90	75.8	1.94	5.60	0.2656	3.1324	
Média	10.94	75.8	1.95	5.60	0.2640	3.1325	V. Ap. 53.274

Tabela B.04.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
4	10.62	64.00	2.25	4.73	0.19800	2.2331	D. Ap. 23.3754
5	10.49	63.70	2.23	4.70	0.20104	2.2122	
6	10.56	63.90	2.24	4.72	0.19963	2.2261	
Méd.	10.56	63.87	2.24	4.72	0.19955	2.2238	V. Ap. 49.4776

Tabela B.04.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	35.07	32.76	2.31	6.59	5.33610	
2	35.11	32.75	2.36	6.72	5.56960	
3	35.10	32.83	2.27	6.47	5.15290	
4	35.09	32.77	2.32	6.61	5.38240	
5	35.09	32.72	2.37	6.75	5.61690	
6	35.10	32.76	2.34	6.68	5.47560	
7	35.09	32.80	2.29	6.53	5.24410	
8	35.09	32.86	2.23	6.36	4.97290	
9	35.08	32.85	2.23	6.36	4.97290	
10	35.11	32.75	2.36	6.72	5.56960	
Média	35.09	32.79	2.31	6.58	5.32930	50.11887

Tabela B.04.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	10.54	10.90	0.36	3.42	0.12960	
2	10.52	10.96	0.44	4.18	0.19360	
3	10.46	10.83	0.37	3.54	0.13690	
Média	10.51	10.90	0.39	3.71	0.15337	54.27516

Tabela B.04.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 0 5

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruido (Db)
1	0.582	2.0370	432.0	2.121	0.222	
2	0.593	2.0755	475.0	2.289	0.191	
3	0.575	2.0125	450.0	2.236	0.200	
4	0.593	2.0755	385.0	1.855	0.291	
Média	0.586	2.0501	435.5	2.125	0.226	44.375

Tabela B.05.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruido (Db)
14	11.40	78.6	1.97	5.80	0.2587	3.3681	D. Ap. 31.076
15	11.10	77.2	1.95	5.70	0.2637	3.2492	
16	10.80	74.7	1.96	5.52	0.2594	3.0422	
Média	11.10	76.8	1.96	5.67	0.2606	3.2198	V. Ap. 49.995

Tabela B.05.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruido (Db)
4	10.62	63.20	2.28	4.67	0.19308	2.1776	D. Ap. 35.7788
5	10.46	62.00	2.28	4.58	0.19154	2.0957	
6	10.31	61.10	2.29	4.51	0.19147	2.0353	
Méd.	10.46	62.10	2.28	4.59	0.19203	2.1029	V. Ap. 53.3568

Tabela B.05.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruido (Db)	
1	35.08	32.67	2.41	6.87	5.80810		
2	35.08	32.69	2.39	6.81	5.71210		
3	35.08	32.67	2.41	6.87	5.80810		
4	35.07	32.65	2.42	6.90	5.85640		
5	35.09	32.65	2.44	6.95	5.95360		
6	35.07	32.66	2.41	6.87	5.80810		
7	35.09	32.72	2.37	6.75	5.61690		
8	35.07	32.64	2.43	6.93	5.90490		
11	35.06	32.74	2.32	6.62	5.38240		
12	35.06	32.73	2.33	6.65	5.42890		
13	35.05	32.70	2.35	6.71	5.52250		
Média	35.07	32.68	2.39	6.81	5.70927		48.15567

Tabela B.05.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruído (Db)
1	10.59	10.84	0.25	2.36	0.06250	
2	10.56	10.81	0.25	2.37	0.06250	
3	10.54	10.81	0.27	2.56	0.07290	
Média	10.56	10.82	0.26	2.43	0.06597	64.81486

Tabela B.05.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 0 6

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruído (Db)
1	0.592	2.0720	395.0	1.906	0.275	
2	0.559	1.9565	455.0	2.326	0.185	
3	0.576	2.0160	475.0	2.356	0.180	
4	0.562	1.9670	460.0	2.339	0.183	
Média	0.572	2.0029	446.3	2.232	0.206	44.556

Tabela B.06.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
15	10.60	72.9	1.97	5.38	0.2579	2.8973	D. Ap. 32.891
16	10.90	74.6	1.98	5.51	0.2558	3.0341	
17	10.80	75.1	1.95	5.55	0.2617	3.0748	
Média	10.77	74.2	1.97	5.48	0.2585	3.0021	V. Ap. 58.365

Tabela B.06.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
4	9.99	59.70	2.27	4.41	0.19470	1.9431	D. Ap. 30.3181
13	10.43	62.20	2.27	4.59	0.19389	2.1092	
14	10.30	62.20	2.24	4.59	0.19882	2.1092	
Méd.	10.24	61.37	2.26	4.53	0.19580	2.0539	V. Ap. 55.1703

Tabela B.06.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruído (Db)	
1	35.05	32.87	2.18	6.22	4.75240		
2	35.04	32.88	2.16	6.16	4.66560		
3	35.05	32.84	2.21	6.31	4.88410		
4	35.04	32.86	2.18	6.22	4.75240		
9	35.04	32.88	2.16	6.16	4.66560		
10	35.05	32.84	2.21	6.31	4.88410		
11	35.06	32.87	2.19	6.25	4.79610		
12	35.03	32.86	2.17	6.20	4.70890		
13	35.03	32.77	2.26	6.45	5.10760		
14	35.06	32.77	2.29	6.53	5.24410		
Média	35.05	32.84	2.20	6.63	4.84609		53.75821

Tabela B.06.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruído (Db)
3	10.25	10.59	0.34	3.32	0.11560	
11	10.19	10.52	0.33	3.24	0.10890	
12	10.09	10.38	0.29	2.87	0.08410	
Média	10.18	10.50	0.32	3.14	0.10287	58.27786

Tabela B.06.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 0 7

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruído (Db)
1	0.558	1.9530	480.0	2.458	0.166	
2	0.564	1.9740	475.0	2.406	0.173	
3	0.571	1.9985	505.0	2.527	0.157	
4	0.566	1.9810	465.0	2.347	0.181	
Média	0.565	1.9766	481.3	2.435	0.169	52.456

Tabela B.07.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
11	11.00	75.4	1.97	5.57	0.2566	3.0995	D. Ap. 34.416
12	10.80	74.3	1.97	5.49	0.2576	3.0097	
13	10.70	73.5	1.97	5.43	0.2568	2.9452	
Média	10.83	74.4	1.97	5.49	0.2570	3.0181	V. Ap. 57.911

Tabela B.07.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
4	10.33	61.20	2.29	4.52	0.19136	2.0420	D. Ap. 36.8314
5	10.22	60.60	2.28	4.47	0.19168	2.0021	
6	10.30	60.60	2.30	4.47	0.18872	2.0021	
Méd.	10.28	60.80	2.29	4.49	0.19059	2.0154	V. Ap. 59.0741

Tabela B.07.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	35.05	32.72	2.33	6.65	5.42890	
2	35.05	32.73	2.32	6.62	5.38240	
3	35.05	32.74	2.31	6.59	5.33610	
4	35.04	32.77	2.27	6.48	5.15290	
5	35.05	32.81	2.24	6.39	5.01760	
6	35.06	32.77	2.29	6.53	5.24410	
7	35.05	32.74	2.31	6.59	5.33610	
8	35.06	32.83	2.23	6.36	4.97290	
9	35.06	32.79	2.27	5.48	5.15290	
10	35.05	32.73	2.32	6.62	5.38240	
Média	35.05	32.89	2.29	6.53	5.24063	50.72476

Tabela B.07.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	10.24	10.55	0.31	3.03	0.09610	
2	10.39	11.66	0.27	2.60	0.07290	
3	10.19	10.47	0.28	2.75	0.07840	
Média	10.27	10.56	0.29	2.79	0.08247	61.07905

Tabela B.07.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 0 8

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruido (Db)
1	0.571	1.9985	430.0	2.152	0.216	
2	0.583	2.0405	435.0	2.132	0.220	
3	0.574	2.0090	440.0	2.190	0.208	
4	0.579	2.0265	400.0	1.974	0.257	
Média	0.596	2.0186	426.3	2.112	0.225	34.005

Tabela B.08.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
11	10.80	74.4	1.96	5.49	0.2602	3.0178	D. Ap. 33.483
12	10.80	74.5	1.97	5.50	0.2575	3.0259	
13	10.80	73.9	1.97	5.46	0.2567	2.9774	
Média	10.80	74.3	1.97	5.48	0.2581	3.0070	V. Ap. 59.543

Tabela B.08.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
4	10.18	60.20	2.29	4.44	0.19065	1.9758	D. Ap. 37.3581
5	10.49	61.80	2.30	4.56	0.18922	2.0822	
6	10.26	60.60	2.29	4.47	0.19019	2.0021	
Méd.	10.31	60.87	2.29	4.49	0.19002	2.0200	V. Ap. 58.0798

Tabela B.08.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruído (Db)
1	35.06	32.70	2.36	6.73	5.56960	
2	35.07	32.65	2.42	6.90	5.85640	
3	35.07	32.77	2.30	6.56	5.29000	
4	35.07	32.75	2.32	6.62	5.38240	
5	35.06	32.73	2.33	6.65	5.42890	
6	35.06	32.69	2.37	6.76	5.61690	
7	35.06	32.68	2.38	6.79	5.66440	
8	35.05	32.82	2.23	6.36	4.97290	
9	35.05	32.76	2.29	6.53	5.24410	
10	35.06	32.72	2.34	6.67	5.47560	
Média	35.06	32.73	2.33	6.66	5.45012	49.42638

Tabela B.08.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruído (Db)
1	10.16	10.43	0.27	2.66	0.07290	
2	10.46	10.71	0.25	2.39	0.06250	
3	10.43	10.73	0.30	2.88	0.09000	
Média	10.35	10.62	0.27	2.64	0.07513	62.36572

Tabela B.08.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 0 9

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruído (Db)
1	0.566	1.9810	390.0	1.969	0.258	
2	0.557	1.9495	445.0	2.283	0.192	
3	0.591	2.0685	485.0	2.345	0.182	
4	0.569	1.9915	390.0	1.958	0.261	
Média	0.571	1.9976	427.5	2.139	0.223	33.932

Tabela B.09.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
11	10.80	75.0	1.95	5.54	0.2634	3.0668	D. Ap. 27.769
12	10.70	74.4	1.94	5.49	0.2656	3.0178	
13	10.70	74.3	1.95	5.49	0.2639	3.0097	
Média	10.73	74.6	1.95	5.51	0.2643	3.0314	V. Ap. 57.869

Tabela B.09.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruido (Db)
4	10.24	61.10	2.27	4.51	0.19410	2.0353	D. Ap. 32.7106
5	10.02	59.90	2.27	4.42	0.19483	1.9561	
6	10.40	62.40	2.26	4.61	0.19627	2.1228	
Méd.	10.22	61.13	2.26	4.51	0.19507	2.0381	V. Ap. 56.2696

Tabela B.09.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	35.09	32.69	2.40	6.84	5.76000	
2	35.10	32.66	2.44	6.95	5.95360	
3	35.09	32.67	2.42	6.90	5.85640	
4	35.10	32.73	2.37	6.75	5.61690	
5	35.09	32.71	2.38	6.78	5.66440	
6	35.09	32.77	2.32	6.61	5.38240	
7	35.08	32.75	2.33	6.64	5.42890	
8	35.10	32.73	2.37	6.75	5.61690	
9	35.10	32.79	2.31	6.58	5.33610	
10	35.08	32.81	2.26	6.44	5.10760	
Média	35.09	32.73	2.36	6.73	5.57232	48.78375

Tabela B.09.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	10.22	10.55	0.33	3.23	0.10890	
2	10.24	10.56	0.32	3.13	0.10240	
3	10.37	10.76	0.39	3.76	0.15210	
Média	10.28	10.62	0.35	3.37	0.12113	56.48461

Tabela B.09.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

MASSA - 10

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruído (Db)
1	0.593	2.0755	475.0	2.289	0.191	
2	0.580	2.0300	525.0	2.586	0.150	
3	0.569	1.9915	475.0	2.385	0.176	
4	0.589	2.0615	465.0	2.256	0.197	
Média	0.583	2.0396	485.0	2.379	0.178	50.343

Tabela B.10.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
11	11.40	80.2	1.93	5.92	0.2698	3.5067	D. Ap. 18.835
12	11.10	76.8	1.96	5.67	0.2591	3.2156	
13	11.10	76.4	1.96	5.64	0.2601	3.1822	
Média	11.20	77.8	1.95	5.74	0.2630	3.3015	V. Ap. 48.277

Tabela B.10.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
4	10.89	65.20	2.26	4.81	0.19543	2.3176	D. Ap. 29.9655
5	10.51	63.50	2.24	4.69	0.19902	2.1983	
6	10.69	63.60	2.28	4.70	0.19298	2.2053	
Méd.	10.70	64.10	2.26	4.73	0.19581	2.2404	V. Ap. 48.9324

Tabela B.10.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	35.06	32.83	2.23	6.36	4.97290	
2	35.06	32.82	2.24	6.39	5.01760	
3	35.07	32.86	2.21	6.30	4.88410	
4	35.06	32.72	2.34	6.67	5.47560	
5	35.06	32.70	2.36	6.73	5.56960	
6	35.05	32.86	2.19	6.25	4.79610	
7	35.06	32.77	2.29	6.53	5.24410	
8	35.06	32.83	2.23	6.36	4.97290	
9	35.07	32.76	2.31	6.59	5.33610	
10	35.08	32.80	2.28	6.50	5.19840	
Média	35.06	32.80	2.27	6.47	5.14676	51.26447

Tabela B.10.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	10.75	11.06	0.31	2.88	0.09610	
2	10.47	10.73	0.26	2.48	0.06760	
3	10.51	10.82	0.31	2.95	0.09610	
Média	10.58	10.87	0.29	2.77	0.08660	60.33076

Tabela B.10.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 1 1

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruido (Db)
1	0.571	1.9985	490.0	2.452	0.166	
2	0.562	1.9670	500.0	2.542	0.155	
3	0.577	2.0195	560.0	2.773	0.130	
4	0.555	1.9425	525.0	2.703	0.137	
Média	0.566	1.9819	518.8	2.617	0.147	55.228

Tabela B.11.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruido (Db)
13	10.70	72.9	1.98	5.38	0.2554	2.8973	D. Ap. 35.717
14	10.90	74.4	1.98	5.49	0.2545	3.0178	
15	10.70	73.3	1.98	5.41	0.2544	2.9292	
Média	10.77	73.5	1.98	5.43	0.2548	2.9481	V. Ap. 63.336

Tabela B.11.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruido (Db)
4	10.14	60.40	2.27	4.46	0.19344	1.9889	D. Ap. 33.8431
6	10.10	60.30	2.27	4.45	0.19433	1.9823	
7	9.94	59.40	2.27	4.39	0.19469	1.9236	
Méd.	10.06	60.03	2.27	4.43	0.19415	1.9650	V. Ap. 64.1163

Tabela B.11.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	35.05	32.82	2.23	6.36	4.97290	
2	35.05	32.90	2.15	6.13	4.62250	
3	35.06	32.88	2.18	6.22	4.75240	
4	35.05	32.86	2.19	6.25	4.79610	
6	35.06	32.87	2.19	6.25	4.79610	
7	35.05	32.82	2.23	6.36	4.97290	
8	35.05	32.84	2.21	6.31	4.88410	
9	35.04	32.80	2.24	6.39	5.01760	
10	35.06	32.86	2.20	6.28	4.84000	
11	35.04	32.95	2.09	5.97	4.36810	
12	35.04	32.92	2.12	6.05	4.49440	
Média	35.05	32.87	2.18	6.23	4.77428	

Tabela B.11.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	10.21	10.51	0.30	2.94	0.09000	
2	10.07	10.36	0.29	2.88	0.08410	
3	10.28	10.55	0.27	2.63	0.07290	
Média	10.19	10.47	0.29	2.81	0.08233	61.15393

Tabela B.11.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 1 2

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruido (Db)
1	0.599	2.0965	470.0	2.242	0.199	
2	0.595	2.0825	495.0	2.377	0.177	
3	0.585	2.0475	455.0	2.222	0.202	
4	0.583	2.0405	460.0	2.254	0.197	
Média	0.575	2.0667	470.0	2.274	0.194	48.250

Tabela B.12.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruido (Db)
16	11.20	76.9	1.98	5.68	0.2552	3.2240	D. Ap. 36.367
17	11.30	77.0	1.99	5.69	0.2531	3.2324	
18	11.40	77.7	1.99	5.74	0.2519	3.2915	
Média	11.30	77.2	1.99	5.70	0.2534	3.2493	V. Ap. 49.863

Tabela B.12.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
5	10.84	64.90	2.26	4.79	0.19542	2.2963	D. Ap. 32.3259
7	10.86	65.00	2.26	4.80	0.19530	2.3034	
8	10.66	63.90	2.26	4.72	0.19590	2.2261	
Méd.	10.79	64.60	2.26	4.77	0.19554	2.2753	V. Ap. 48.1438

Tabela B.12.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruído (Db)	
2	35.05	32.82	2.23	6.36	4.97290		
3	35.04	32.86	2.18	6.22	4.75240		
4	35.06	32.80	2.26	6.45	5.10760		
5	35.04	32.86	2.18	6.22	4.75240		
7	35.03	32.90	2.13	6.08	4.53690		
8	35.04	32.88	2.16	6.16	4.66560		
9	35.02	32.87	2.15	6.14	4.62250		
11	35.02	32.89	2.13	6.08	4.53690		
12	35.02	32.92	2.10	6.00	4.41000		
14	35.03	32.90	2.13	6.08	4.53690		
15	35.07	32.90	2.17	6.19	4.70890		
Média	35.04	32.87	2.17	6.18	4.69118		55.32190

Tabela B.12.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruído (Db)
2	10.79	11.13	0.34	3.15	0.11560	
3	10.82	11.15	0.33	3.05	0.10890	
4	10.61	10.95	0.34	3.20	0.11560	
Média	10.74	11.08	0.34	3.14	0.11337	57.28158

Tabela B.12.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

MASSA - 13

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruído (Db)
1	0.570	1.9950	440.0	2.206	0.206	
2	0.564	1.9740	415.0	2.102	0.226	
3	0.568	1.9880	435.0	2.188	0.209	
4	0.581	2.0335	450.0	2.213	0.204	
Média	0.571	1.9976	435.0	2.177	0.211	43.729

Tabela B.13.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
11	10.70	73.2	1.97	5.40	0.2576	2.9212	D. Ap.
12	10.80	74.2	1.96	5.48	0.2597	3.0016	31.430
13	10.50	72.9	1.95	5.38	0.2633	2.8973	
Média	10.67	73.4	1.96	5.42	0.2602	2.9401	V. Ap. 64.616

Tabela B.13.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
4	10.32	60.90	2.30	4.50	0.18985	2.0220	D. Ap.
5	10.11	60.30	2.27	4.45	0.19394	1.9823	35.2495
6	10.18	60.60	2.28	4.47	0.19319	2.0021	
Méd.	10.20	60.60	2.28	4.47	0.19233	2.0022	V. Ap. 60.3348

Tabela B.13.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	35.04	32.69	2.35	6.71	5.52250	
2	35.06	32.67	2.39	6.82	5.71210	
3	35.06	32.67	2.39	6.82	5.71210	
4	35.05	32.64	2.41	6.88	5.80810	
5	35.05	32.63	2.42	6.90	5.85640	
6	35.05	32.73	2.32	6.62	5.38240	
7	35.04	32.69	2.35	6.71	5.52250	
8	35.04	32.64	2.40	6.85	5.76000	
9	35.05	32.67	2.38	6.79	5.66440	
10	35.04	32.76	2.28	6.51	5.19840	
Média	35.05	32.68	2.37	6.76	5.61389	48.60467

Tabela B.13.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	10.08	10.33	0.25	2.48	0.06250	
2	10.18	10.43	0.25	2.46	0.06250	
3	10.35	10.64	0.29	2.80	0.08410	
Média	10.20	10.47	0.26	2.58	0.06970	63.59850

Tabela B.13.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 1 4

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruido (Db)
1	0.581	2.0335	380.0	1.869	0.286	
2	0.580	2.0300	355.0	1.749	0.327	
3	0.587	2.0545	365.0	1.777	0.317	
4	0.592	2.0720	375.0	1.810	0.305	
Média	0.585	2.0475	368.8	1.801	0.309	45.173

Tabela B.14.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
11	11.20	77.6	1.96	5.73	0.2613	3.2830	D. Ap. 31.019
12	11.20	77.5	1.95	5.72	0.2629	3.2745	
13	11.10	76.7	1.96	5.66	0.2594	3.2073	
Média	11.17	77.3	1.96	5.71	0.2612	3.2549	V. Ap. 49.723

Tabela B.14.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
4	10.56	63.10	2.27	4.66	0.19466	2.1707	D. Ap. 31.6811
5	10.76	64.80	2.25	4.78	0.19773	2.2893	
6	10.55	62.90	2.27	4.64	0.19379	2.1570	
Méd.	10.62	63.60	2.26	4.70	0.19539	2.2057	V. Ap. 49.8369

Tabela B.14.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruído (Db)
1	35.08	32.75	2.33	6.64	5.42890	
2	35.05	32.70	2.35	6.71	5.52250	
3	35.08	32.70	2.38	6.78	5.66440	
4	35.05	32.73	2.32	6.62	5.38240	
5	35.06	32.78	2.28	6.50	5.19840	
6	35.08	32.73	2.35	6.70	5.52250	
7	35.05	32.66	2.39	6.82	5.71210	
8	35.06	32.70	2.36	6.73	5.56960	
9	35.08	32.69	2.39	6.81	5.71210	
10	35.05	32.75	2.30	6.56	5.29000	
Média	35.06	32.72	2.34	6.69	5.50029	49.19770

Tabela B.14.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruído (Db)
1	10.70	11.08	0.38	3.55	0.14440	
2	10.46	10.80	0.34	3.25	0.11560	
3	10.70	11.09	0.39	3.64	0.15210	
Média	10.62	10.99	0.37	3.48	0.13737	55.32145

Tabela B.14.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 1 5

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruído (Db)
1	0.593	2.0755	425.0	2.048	0.238	
2	0.593	2.0755	450.0	2.168	0.213	
3	0.578	2.0230	450.0	2.224	0.202	
4	0.595	2.0825	450.0	2.161	0.214	
Média	0.590	2.0641	443.8	2.150	0.217	38.750

Tabela B.15.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
11	11.30	77.0	1.99	5.69	0.2523	3.2324	D. Ap.
12	11.40	77.6	1.99	5.73	0.2526	3.2830	36.678
13	11.40	77.8	1.98	5.74	0.2539	3.2999	
Média	11.37	77.5	1.99	5.72	0.2529	3.2718	V. Ap. 49.350

Tabela B.15.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
4	10.62	63.20	2.28	4.67	0.19308	2.1776	D. Ap. 34.2640
5	10.76	64.30	2.27	4.75	0.19469	2.2541	
6	10.58	63.00	2.27	4.65	0.19331	2.1638	
Méd.	10.65	63.50	2.27	4.69	0.19369	2.1985	V. Ap. 50.1308

Tabela B.15.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruído (Db)
1	35.03	32.88	2.15	6.14	4.62250	
2	35.05	32.87	2.18	6.22	4.75240	
3	35.05	32.88	2.17	6.19	4.70890	
4	35.04	32.85	2.19	6.25	4.79610	
5	35.04	32.84	2.20	6.28	4.84000	
6	35.04	32.87	2.17	6.19	4.70890	
7	35.05	32.84	2.21	6.31	4.88410	
8	35.04	32.87	2.17	6.19	4.70890	
9	35.04	32.84	2.20	6.28	4.84000	
10	35.04	32.87	2.17	6.19	4.70890	
Média	35.04	32.86	2.18	6.22	4.75707	54.80566

Tabela B.15.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruído (Db)
1	10.54	10.85	0.31	2.94	0.09610	
2	10.57	10.89	0.32	3.03	0.10240	
3	10.54	10.86	0.32	3.04	0.10240	
Média	10.55	10.87	0.32	3.00	0.10030	58.65398

Tabela B.15.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 1 6

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruído (Db)
1	0.589	2.0615	435.0	2.110	0.225	
2	0.581	2.0335	415.0	2.041	0.240	
3	0.576	2.0160	425.0	2.108	0.225	
4	0.590	2.0650	385.0	1.864	0.288	
Média	0.584	2.0440	415.0	2.031	0.244	36.869

Tabela B.16.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
16	11.20	76.6	1.98	5.66	0.2555	3.1989	D. Ap.
17	11.10	75.4	1.99	5.57	0.2529	3.0995	36.050
18	11.20	76.7	1.98	5.66	0.2539	3.2073	
Média	11.17	76.2	1.98	5.63	0.2541	3.1686	V. Ap. 51.951

Tabela B.16.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruído (Db)
10	10.65	63.10	2.29	4.66	0.19138	2.1707	D. Ap.
11	10.69	63.80	2.27	4.71	0.19419	2.2191	34.7887
12	10.44	62.20	2.27	4.59	0.19352	2.1092	
Méd.	10.59	63.03	2.28	4.65	0.19303	2.1664	V. Ap. 51.1065

Tabela B.16.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	35.05	32.89	2.16	6.16	4.66560	
5	35.04	32.87	2.17	6.19	4.70890	
6	35.05	32.86	2.19	6.25	4.79610	
10	35.05	32.84	2.21	6.31	4.88410	
11	35.04	32.77	2.27	6.48	5.15290	
12	35.05	32.82	2.23	6.36	4.97290	
13	35.05	32.86	2.19	6.25	4.79610	
14	35.04	32.87	2.17	6.19	4.70890	
15	35.05	32.80	2.25	6.42	5.06250	
Média	35.05	32.84	2.20	6.29	4.86089	53.65411

Tabela B.16.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	10.65	10.94	0.29	2.72	0.08410	
5	10.50	10.77	0.27	2.57	0.07290	
6	10.40	10.67	0.27	2.60	0.07290	
Média	10.52	10.79	0.28	2.63	0.07663	62.24268

Tabela B.16.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 1 7

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruido (Db)
1	0.568	1.9880	375.0	1.886	0.281	
2	0.564	1.9740	380.0	1.925	0.270	
3	0.575	2.0125	400.0	1.988	0.253	
4	0.567	1.9845	400.0	2.016	0.246	
Média	0.569	1.9897	388.8	1.954	0.263	25.673

Tabela B.17.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1	P3	D. Ap.	V. Ap.	Variância	Variância	Sinal/Ruído (Db)
	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g/cm ³)	D. Ap.	V. Ap.	
16	10.90	74.6	1.98	5.51	0.2549	3.0341	D. Ap. 34.579
17	10.90	75.2	1.97	5.55	0.2576	3.0831	
18	10.80	74.4	1.97	5.49	0.2573	3.0178	
Média	10.90	74.7	1.97	5.52	0.2566	3.0450	V. Ap. 57.057

Tabela B.17.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1	P3	D. Ap.	V. Ap.	Variância	Variância	Sinal/Ruído (Db)
	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g/cm ³)	D. Ap.	V. Ap.	
5	10.54	62.80	2.27	4.64	0.19355	2.1501	D. Ap. 35.5149
6	10.37	61.50	2.28	4.54	0.19175	2.0620	
10	10.34	61.30	2.28	4.53	0.19161	2.0486	
Méd.	10.42	61.87	2.28	4.57	0.19230	2.0869	V. Ap. 54.2289

Tabela B.17.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic.	Comp. Final	Retra.	Retra.	Variância	Sinal/Ruído (Db)	
	(cm)	(cm)	(cm)	(%)	(cm ²)		
1	35.05	32.76	2.29	6.53	5.24410		
2	35.05	32.76	2.29	6.53	5.24410		
4	35.06	32.81	2.25	6.42	5.06250		
5	35.05	32.73	2.32	6.62	5.38240		
6	35.05	32.75	2.30	6.56	5.29000		
10	35.05	32.71	2.34	6.68	5.47560		
11	35.05	32.70	2.35	6.71	5.52250		
12	35.06	32.58	2.48	7.07	4.15040		
13	35.05	32.70	2.35	6.71	5.52250		
14	35.05	32.69	2.36	6.73	5.56960		
15	35.04	32.65	2.39	6.82	5.71210		
Média	35.05	32.69	2.34	6.67	5.47053		49.28855

Tabela B.17.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	10.34	10.59	0.25	2.42	0.06250	
2	10.30	10.56	0.26	2.52	0.06760	
4	10.31	10.60	0.29	2.81	0.08410	
Média	10.32	10.58	0.27	2.58	0.07140	63.24833

Tabela B.17.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.

M A S S A - 1 8

CP. n ^o	Espessura (cm)	Área (cm ²)	Força (N)	Resistência (MPa)	Variância (MPa ⁻²)	Sinal/Ruido (Db)
1	0.582	2.0370	445.0	2.185	0.210	
2	0.560	1.9600	440.0	2.245	0.198	
3	0.579	2.0265	445.0	2.196	0.207	
4	0.579	2.0265	475.0	2.344	0.182	
Média	0.575	2.0125	451.3	2.242	0.199	46.961

Tabela B.18.1 - Resistência mecânica das pastilhas após a secagem

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruido (Db)
16	11.20	75.6	2.00	5.58	0.2488	3.1159	D. Ap.
17	11.20	75.5	2.00	5.57	0.2491	3.1077	38.225
18	11.30	76.3	2.00	5.63	0.2508	3.1739	
Média	11.23	75.8	2.00	5.60	0.2496	3.1325	V. Ap. 53.215

Tabela B.18.2 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a secagem.

CP. n ^o	P1 (g)	P3 (g)	D. Ap. (g/cm ³)	V. Ap. (g/cm ³)	Variância D. Ap.	Variância V. Ap.	Sinal/Ruido (Db)
7	10.74	64.60	2.25	4.77	0.19724	2.2751	D. Ap. 26.5115
8	10.58	64.10	2.24	4.73	0.20012	2.2401	
9	10.63	64.10	2.25	4.73	0.19824	2.2401	
Méd.	10.65	64.27	2.24	4.75	0.19853	2.2518	V. Ap. 48.7386

Tabela B.18.3 - Densidade e Volume aparente das pastilhas prensadas após a sinterização.

CP. n ^o	Comp. Inic. (cm)	Comp. Final (cm)	Retra. (cm)	Retra. (%)	Variância (cm ²)	Sinal/Ruido (Db)	
1	35.02	32.95	2.07	5.91	4.28490		
5	35.03	32.97	2.06	5.88	4.24360		
6	35.02	33.01	2.01	5.74	4.04010		
7	35.02	33.04	1.98	5.65	3.92040		
8	35.02	33.05	1.97	5.63	3.88090		
9	35.02	33.05	1.97	5.63	3.88090		
10	35.02	32.98	2.04	5.83	4.16160		
11	35.02	32.98	2.04	5.83	4.16160		
12	35.02	33.00	2.02	5.77	4.08040		
13	35.02	33.04	1.98	5.65	3.92040		
15	35.02	32.98	2.04	5.83	4.16160		
Média	35.02	33.01	2.02	5.76	4.06695		68.26549

Tabela B.18.4 - Retração linear das pastilhas após sinterização.

CP. n ^o	P. Seco (g)	P. Umido (g)	Absorção (g)	Absorção (%)	Variância (g ²)	Sinal/Ruido (Db)
1	10.63	10.99	0.36	3.39	0.12960	
5	10.57	10.88	0.31	2.93	0.09610	
6	10.73	11.08	0.35	3.26	0.12250	
Média	10.64	10.98	0.34	3.19	0.11607	56.97525

Tabela B.18.5 - Porcentagem de absorção de água das pastilhas sinterizadas.