

INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS E TEXTURAIS NO PROCESSO DE MICROGRANULAÇÃO DE ARGILAS MOÍDAS A SECO

L. B. Bernrades¹; M. M. T. Moreno²

¹Aluna de doutorado em Geologia Regional, laura_bernardes@uol.com.br;

²Docente, mmoreno@rc.unesp.br

Departamento de Petrologia e Metalogenia, UNESP, Av. 24ª, 1515, CEP – 13506-900, Rio Claro (SP)

RESUMO

Foram estudados os efeitos da granulação, via seca, em revestimentos cerâmicos, BIIb, mediante a utilização de um granulador de alta intensidade, visando obter informações sobre a viabilidade técnica e econômica na linha de produção e as possíveis contribuições para a melhoria do processo. Foram utilizadas composições de argilas prontas de uso industrial, avaliadas da forma tradicional e granuladas em diferentes condições, processadas em bancada de laboratório para obtenção de corpos cerâmicos prensados. Os resultados indicam que o uso de granuladores de alta intensidade, com ou sem modificações na granulometria da massa, podem diminuir o ciclo de queima e/ou a temperatura de sinterização dos revestimentos cerâmicos, acarretando ganhos econômicos.

Palavras chave: granulação, revestimento cerâmico, ciclo de queima, BIIb, via seca

INTRODUÇÃO

O Polo Cerâmico de Santa Gertrudes está situado na região centro-norte do Estado de São Paulo e é considerado o maior centro produtor de revestimentos cerâmicos do país, responsável por cerca de 60% da produção nacional (1). O processo produtivo utilizado por estas indústrias é, na grande maioria, o de via seca, oferecendo algumas vantagens sobre o processo via úmida, esse utilizado pelo Polo Cerâmico de Criciúma, no Estado de Santa Catarina, e demais indústrias instaladas em outras regiões do país. Na via seca o consumo é de uma única matéria prima local (Formação Corumbataí) sendo, naturalmente, uma massa cerâmica pronta. O menor custo de produção e a proximidade do maior polo consumidor do Brasil, a grande São Paulo, são fatores favoráveis.

O procedimento via seca já sofreu várias inovações, com o decorrer dos anos, em inúmeros setores. Porém, na etapa do processo industrial, onde é realizada a microgranulação do pó moído a seco, ocorreu pouca ou nenhuma inovação tecnológica. O sistema de umidificação na indústria ocorre quando o pó cai por gravidade através do equipamento de umidificação, onde ocorre a aspersão de água contra a corrente do pó seco. O produto final é um pó umidificado, com presença de grânulos irregulares, de baixa densidade e mal formados, embora permitindo condições prensagem e conformação.

Granulação é o processo pelo qual partículas de pó muito finas se aderem entre si para a formação de um aglomerado maior, formando multipartículas denominadas de grânulos e, dependendo da aplicação, esses grânulos podem se situar em tamanhos que variam de 0,2 mm até 20 mm ou mais (2).

Os granuladores de alta intensidade são compostos, basicamente, por uma cuba (recipiente) que possui um eixo central rotativo, que providencia a agitação central da massa e, na lateral da cuba, um ou mais pequenos agitadores (com três lâminas ou mais) que imprimem uma agitação muito intensa. O líquido é injetado dentro do equipamento, diretamente na massa. O agitador central providencia a dispersão do líquido dentro da massa seca e o agitador lateral tem a função de desagregar essa massa úmida para a formação de uma massa granulada (3).

Este trabalho apresenta um estudo dos efeitos da granulação nos produtos cerâmicos via seca mediante o uso de granuladores visando obter informações sobre a viabilidade econômica de seu uso e as possíveis contribuições para a melhoria do aproveitamento da matéria prima, das condições de processamento e dos produtos, ganhos estes que também contribuem para reduzir os impactos ambientais gerados pela industrialização desse bem mineral. Para a realização da pesquisa foram utilizadas composições de argilas prontas de uso industrial, avaliadas da forma tradicional e granuladas em diferentes condições, sendo posteriormente processadas em laboratório para obter corpos cerâmicos. Todas as etapas do processo foram acompanhadas de ensaios pertinentes, além da caracterização individual das massas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionadas duas massas cerâmicas prontas, oriundas em indústrias de revestimentos cerâmicos que possuem o sistema de preparação de massas por via seca, identificadas como Massa D e Massa R, coletadas antes dos respectivos umidificadores e Massa D_F e Massa R_F, coletadas após os umidificadores (massas "granuladas" na fábrica).

As amostras D e R foram caracterizadas quanto à composição mineralógica analisando a amostra total e a fração menor que 2µm por difratometria de raios X. A fração fina foi tratada com etilenoglicol para verificar a existência de minerais expansivos e aquecida a 500°C para identificar mudanças com a temperatura.

A análise química dos elementos maiores da massa D e R foi obtida por Espectrometria de Fluorescência de Raios X e a distribuição granulométrica por difração a laser.

O processo de granulação da massa cerâmica foi realizado em um granulador de alta intensidade (volume de 6 litros, marca WAM do Brasil, Laboratório GranTec, Piracicaba), utilizando somente água como ligante. Para a caracterização do granulado obtido em diferentes etapas, conforme descrito abaixo, foi determinada a densidade aparente, densidade de empacotamento, Índice de Hausner e distribuição granulométrica dos granulados utilizando peneiras 1000, 700, 500, 250 e 106µm.

Em todas as etapas, descritas abaixo, foram realizados ensaios tecnológicos cerâmicos segundo a NBR 13.818:1997 (4) em corpos de prova prensados com área de 3x10cm e 8 tons de força (240kgf/cm²), os quais foram queimados na primeira etapa em 1020°C e 1050°C para a massa D e 1020°C para a massa R, na segunda etapa foi de 990°C, 1005°C e 1020°C para a massa D_B (massa beneficiada em moinho periquito, corpo e bolas de alumina para a redução do tamanho das partículas) e na terceira etapa 1020°C para as massas compostas, e submetidos a ensaios de resistência mecânica à flexão, absorção de água, porosidade aparente e retração linear de queima.

Obtenção e comparação de granulados nos diversos processos:

Primeira etapa - comparou-se as massas "granuladas" na fábrica (D_F e R_F) e as processadas em granuladores de alta intensidade (D e R), operação realizada em

duas condições de aglomeração, utilizando-se somente água como ligante, em quantidades diferentes: 12 e 16% de umidade na massa (D_{12} , D_{16} , R_{12} e R_{16}).

Segunda etapa- fez-se um beneficiamento de redução do tamanho das partículas da massa D (coletada depois do sistema de moagem da fábrica e antes do umidificador) em moinho periquito, corpo e bolas de alumina, com o objetivo de aumentar a reatividade da massa, esperando reduzir a temperatura e/ou tempo de sinterização, no produto classificado como B11b; essa massa foi processada no granulador de alta intensidade, com 12%, 14% e 16% de umidade (D_{B12} , D_{B14} , D_{B16});

Terceira etapa- comparou-se, através da preparação de corpos de prova, a massa original da fábrica (D e R), uma mistura de 80% da massa da fábrica e 20% da massa beneficiada ($D_{80/20}$ e $R_{80/20}$), uma mistura de 50% da massa da fábrica e 50% da massa beneficiada ($D_{50/50}$ e $R_{50/50}$) e a massa beneficiada (D_B e R_B). Todas as massas foram granuladas no granulador de alta intensidade com 14% de umidade.

Em todas as etapas, cada massa granulada foi separada em duas porções, para reduzir a umidade a valores próximos aos usados nas fábricas, 7% e 9% e denominadas D_{127} e D_{129} , $D_{80/207}$ e $D_{80/209}$, etc.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização das massas cerâmicas

As massas D e R são similares quanto a distribuições granulométricas, porém, com o beneficiamento a massa R apresenta maior resistência à moagem, enquanto a D se torna mais fina (figura 1), o que pode ser devido a maior teor de quartzo em D.

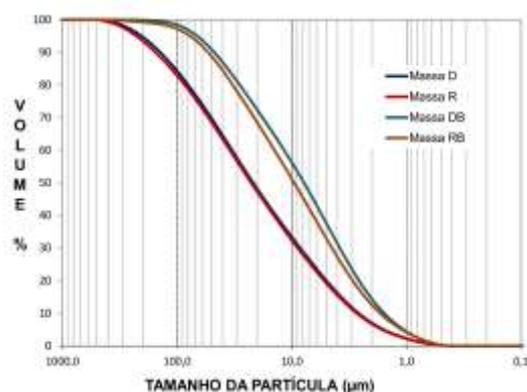


Figura 1 – Distribuição granulométrica de frequência.

A análise do carbono orgânico resultou em um valor muito baixo (>0,1%) para as amostras, e dificilmente ocorrerão defeitos cerâmicos devido a este fator.

A mineralogia obtida por Difração de Raios X é semelhante qualitativamente, consiste basicamente de quartzo, hematita, calcita e feldspato (albita), além dos argilominerais como illita, clorita e montmorilonita (figura 2a), sendo estes melhor visualizadas na fração menores que 2 µm (figura 2b e 2c). A massa D tem uma maior quantidade de clorita, já a R tem uma maior quantidade de illita contribuindo com K que é um fundente mais eficiente que Mg da clorita, por outro lado a concentração de albita (que fornece Na) é maior em R, o que mostra que a D tem menor poder de fusão.

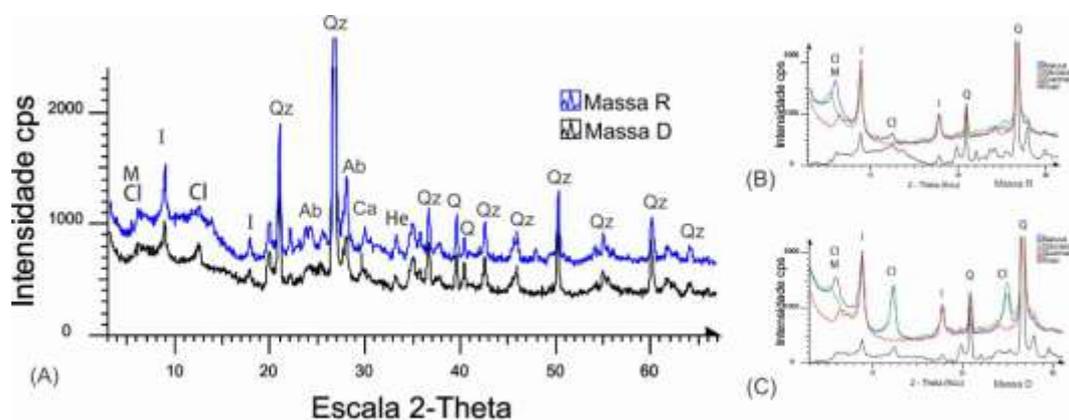


Figura 2a - Difratoformas de raios X das amostras total para R e D, mostrando posições clorita (Cl), caulinita (Ca), quartzo (Q), hematita (He), albita (Ab), montmorilonita (M) e illita (I); 2b - Difratoformas de raios X das amostras menores que 2µm e totais para massa R; e 2c - Difratoformas de raios X das amostras menores que 2µm e totais para massa D.

Tabela 1: Composição química das amostras de argila em % de óxidos.

Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI*	Soma
MASSA-D	66,83	0,65	14,30	5,17	0,09	2,02	0,96	0,98	3,05	0,17	5,78	99,99
MASSA-R	66,48	0,65	14,18	5,52	0,08	1,94	0,82	1,60	3,51	0,18	5,05	100,00

*Perda ao fogo

Caracterização das massas cerâmicas

Primeira Etapa: Comparação entre massa granulada na fábrica e a massa granulada em granuladores

A distribuição de tamanho de grãos das massas cerâmicas granuladas e as que resultam do processo da fábrica foram comparadas nas figuras 3 e 4, mostram uma diminuição da porção de granulado abaixo da malha 106 µ e um aumento dos

grãos maiores da D_F e R_F para D_{16} e R_{16} , essa fração fina pode ocasionar uma deficiência de fluidez.

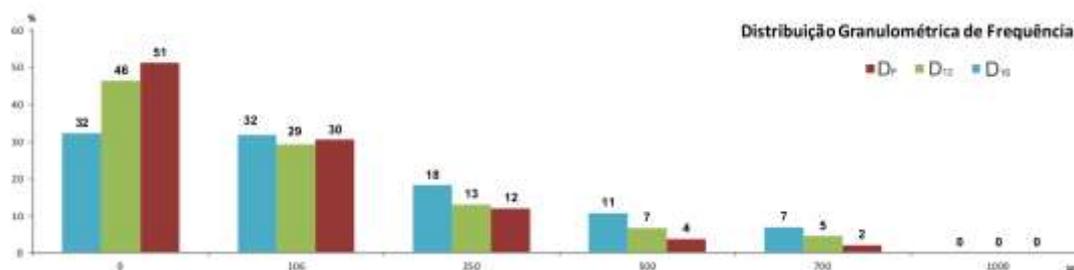


Figura 3 – Distribuição granulométrica de frequência da massa D granulada com 12 e 16% umidade e do processo da fábrica atual.

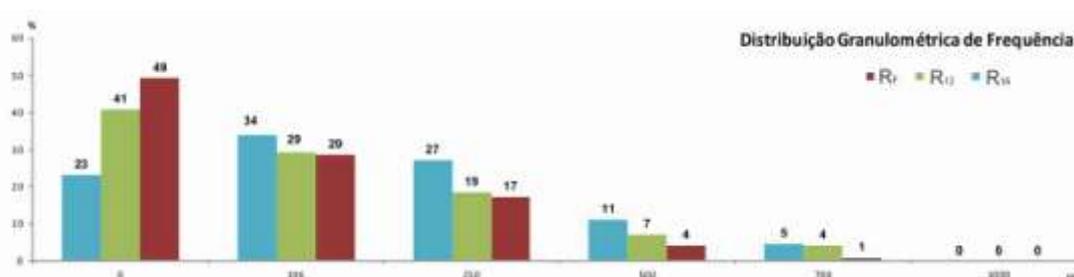


Figura 4 – Distribuição granulométrica de frequência da massa R granulada com 12 e 16% umidade e do processo fábrica atual.

As amostras submetidas ao processo de granulação foram tratadas de maneira a obter 7 e 9% de umidade (D_{127} , D_{129} , D_{167} , D_{169} , R_{127} , R_{129} , R_{167} e R_{169}) para comparar com a massa original (D_F e R_F), nestas condições a fluidez dos granulados foi medida pelo Índice de Hausner, que consiste na razão entre a densidade de compactação e a densidade aparente. O índice de Hausner pode ser relacionado com o efeito das forças coesivas de sólido particulado. Materiais que possuem valores para o índice de Hausner superiores a 1,4 são classificados como coesivos, enquanto que os que apresentam valores inferiores a 1,25 são enquadrados como de fácil escoamento (5).

Esse índice, para todas as massas cerâmicas, diminuiu com o aumento da proporção de grãos maiores, tanto para umidade de 7% como para 9%, resultando que as massas processadas em granuladores tem um melhor desempenho. Esse processo permite um preenchimento mais homogêneo dos estampos e resulta em peças mais uniformes. O processo da fábrica é muito deficiente em relação à fluidez do granulado, devido à irregularidade do formato dos grânulos, atingindo em torno de 1,60 para a umidade 7 e 9%, já a massa granulada foi de 1,27 e 1,22 para R_{167} e R_{169} , respectivamente. Isso ocorre porque no processo de granulação de alta

intensidade a adesão das partículas acontece por causa da pressão aplicada, deixando o grânulo mais denso e esférico (2).

A densidade aparente da massa varia conforme a granulometria, ocorrendo um aumento a partir do processo da fábrica (D_F e R_F) para D_{16} e R_{16} . Maior densidade aparente auxilia no momento de expulsão do ar durante a compactação.

Segunda Etapa: Variação das propriedades com a redução do tamanho de partícula da massa D

A distribuição granulométrica obtida depois da granulação (figura 5) mostra um aumento apreciável somente na porção do granulado abaixo da malha 106 μ a partir da D_{B16} para D_{B12} , isso ocorre, devido que a quantidade de água adicionada no momento da granulação é diferente, ocasionando granulometrias diferentes (mais água implica em uma menor quantidade de grãos abaixo de 106 μ m e vice versa).

O Índice de Hausner da D_{B127} e D_{B129} para a D_{B167} e D_{B169} diminuiu de 1,50 e 1,40, tendo somente uma diminuição de 0,10 pontos, porque as partículas são mais finas e tem dificuldade de união e adensamento.

Para processar as massas nestas condições de moagem será necessário a incorporação do equipamento granulador para evitar outros problemas tais como homogeneidade, formação de aglomerados durante o peneiramento prévio à umidificação, entre outros.

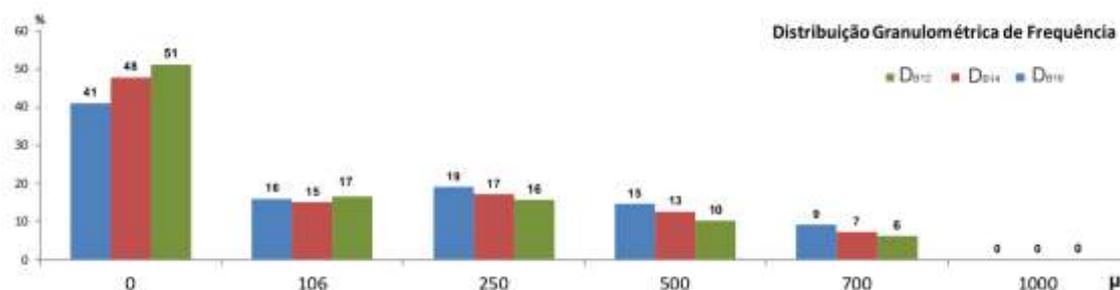


Figura 5 – Distribuição granulométrica de frequência da massa D_B granulada com 12, 14 e 16% umidade.

Terceira Etapa: Comparação entre as massas originais da fábrica, massas beneficiadas e massas compostas

As distribuições granulométricas obtidas depois da granulação e o índice de hausner das massas granuladas se assemelham, pois foram granuladas com a mesma umidade de 14%. O tamanho dos grãos abaixo da malha 106 μ m teve um

leve aumento quando ao adicionar a massa beneficiada, provocando um aumento do o índice de hausner.

Caracterização dos corpos de prova

Primeira Etapa: Comparação entre massa granulada na fábrica e a massa granulada em granuladores

Os materiais coletados para este trabalho são destinados à produção de revestimento cerâmico BIIb (absorção de água (AA) entre 6 e 10% e a tensão de ruptura à flexão (TRF) acima de 18MPa), os resultados mostram que o melhor desempenho é das massas processadas em granuladores em relação à absorção de água (figura 6 e 7), porém em relação ao módulo de ruptura à flexão se mantém iguais, não sendo possível detectar eventuais diferenças, devido a que o desvio padrão de TRF é maior que para AA. A tendência para valores menores de AA é manifestada nas duas umidades de prensagem (7 e 9%), com melhoria da sinterização na temperatura mais alta. Isto significa uma variação de aproximadamente um ponto porcentual na AA, sendo a escolha do uso do granulador dependente dos custos energéticos de secagem para atingir a umidade de prensagem na rotina da fábrica.

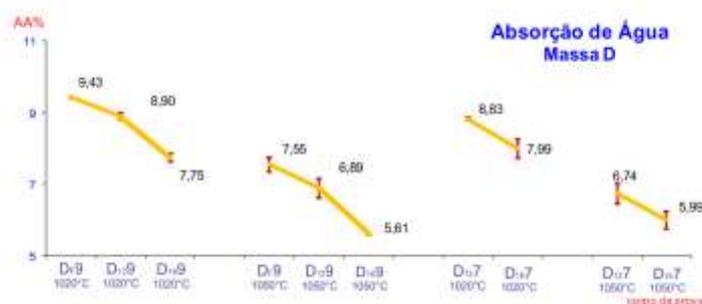


Figura 6 – Absorção de água da massa D com 7% e 9% de umidade.

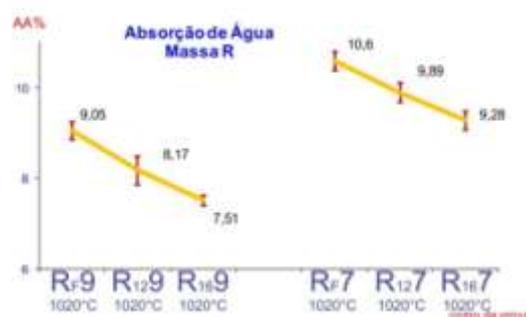


Figura 7 – Absorção de água da massa R com 7% e 9% de umidade.

Segunda Etapa: Variação das propriedades cerâmicas com a redução do tamanho de partícula da massa D

A distribuição granulométrica depois da moagem das amostras (D_B e R_B) (figura 1) mostrou que houve uma diminuição significativa no tamanho das partículas em relação à moagem da fábrica. Com estas massas microgranuladas foram confeccionados corpos de prova, tendo como variáveis a umidade de prensagem (7% e 9%), a temperatura de queima (990°C, 1005°C e 1020°C) e a distribuição granulométrica dos granulados (figura 5) para fins de comparação.

Tentou-se enquadrar todos os corpos de provas como revestimento cerâmico BIIb (AA entre 6 e 10% e a TRF ≥ 18 MPa). As temperaturas de queima de 1005°C e 1020°C se classificaram no tipo BIIb, a temperatura de 990°C não se enquadrava na absorção de água (figura 8 e 9), porque não se conseguiu obter a fase líquida na sinterização. O módulo de ruptura à flexão, em todas as amostras, se manteve no tipo de BIIa (AA entre 3,0 e 6,0 e a TRF ≥ 22 MPa), mais resistente do que o revestimento BIIb. A absorção de água, figura 8 e 9, não mostrou diferença no sistema de produção de grânulos.



Figura 8 – Absorção de água da massa D_B com 9% de umidade.



Figura 9 – Absorção de água da massa D_B com 7% de umidade.

Terceira Etapa: Comparação entre as massas originais da fábrica, massas beneficiadas e massas compostas

Com as massas microgranuladas foram confeccionados corpos de prova, tendo como variável a umidade de prensagem (7% e 9%), a temperatura de queima foi de 1020°C.

Todos os corpos de prova confeccionados com a umidade de 9% se enquadram no tipo BIIb, tanto para a absorção de água (figura 10) como para o módulo de ruptura à flexão. As massas cerâmicas D7 não se classificou no revestimento BIIb (figura 11), pois sua AA foi maior que o permitido pela norma, e se enquadraram no BIII (AA acima de 10% e TRF \geq 15 Mpa).

A medida que se aumenta a porcentagem da massa beneficiada, a AA diminui e, conseqüentemente, a retração linear total aumenta. Isso é indicativo de que é possível uma diminuição do ciclo de queima, ou mesmo da temperatura, para a obtenção de uma mesma absorção de água no produto acabado.

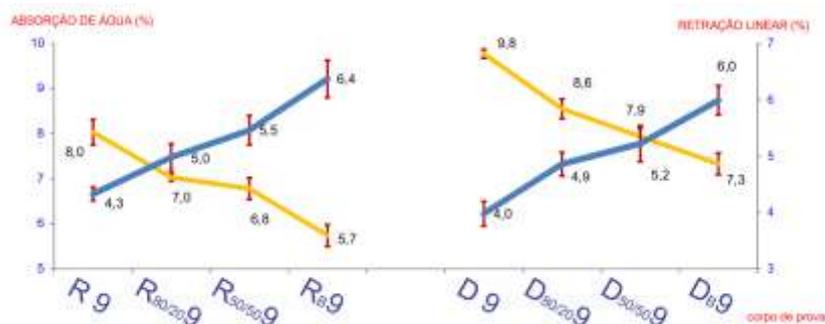


Figura 10 – Curva de gresificação para as massas com 9% de umidade e queimadas a uma temperatura de 1020°C. As linhas amarelas definem a AA e as linhas azuis definem a RLT.

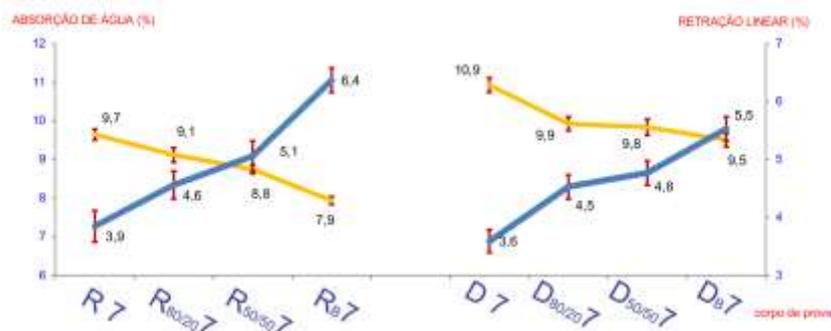


Figura 11 – Curva de gresificação para as massas com 7% de umidade e queimadas a uma temperatura de 1020°C. As linhas amarelas definem a AA e as linhas azuis definem a RLT.

Considerando este como único fator, se ocorrer a diminuição do ciclo de queima haverá um aumento na produtividade, por exemplo, uma fábrica que produz

em média 2 milhões de m² de revestimento, por mês, com ciclo de queima de 25 minutos, diminuindo o ciclo para 22 minutos a produtividade aumenta para 2,27 milhões m² de revestimento. O revestimento é vendido por um preço médio de R\$ 6,00/m², com isso tem um aumento de R\$ 1,6 milhões por mês (tabela 2). Isso tudo mantendo a retração linear total e TRF iguais.

Tabela 2: Ganho mensal com a diminuição do ciclo de queima.

Duração do ciclo de queima (minutos)	Produção (m ² /mês)	Faturamento Mensal* (R\$)	Ganho Mensal (R\$)
25	2.000.000	12.000.000	0
24	2.083.333	12.500.000	500.000
23	2.173.913	13.043.478	1.043.478
22	2.272.727	13.636.364	1.636.364

* Preço do m² = R\$ 6,00

CONCLUSÃO

Comparando a massa granulada, sem beneficiamento, em um equipamento granulador com 16% de umidade e a massa umidificada no processo da fábrica obteve-se uma diminuição da AA em 1,0% e melhorou a fluidez. Essa massa umidificada no processo da fábrica teve o maior Índice de Hausner resultando em menor fluidez e um empacotamento menos eficiente das partículas, significando que a substituição da sistema de umidificação da fábrica por um equipamento granulador tem potencial para melhorar o processo.

A diminuição da granulometria da massa foi estudada para conseguir maiores ganhos econômicos para a indústria. Todas as massas beneficiadas granuladas, independentemente da quantidade de água utilizada na granulação, se manifestaram similares, tanto na caracterização do granulado como na caracterização tecnológica do corpo de prova cerâmico. Isso mostra que pode-se utilizar a menor quantidade de água para o processo significando menor energia para a secagem.

A massa beneficiada granulada teve uma diminuição de 25% da AA em relação a massa granulada sem o beneficiamento. Com isso é provável uma diminuição no ciclo e/ou temperatura de sinterização dos revestimentos cerâmicos, acarretando ganhos significativos de produtividade.

As modificações a serem implantadas, para o estabelecimento do procedimento relatado, contemplam a instalação de equipamentos mais eficientes

para a granulação da massa e moagem. Futuramente para o melhor aproveitamento da matéria prima será necessário incorporar avanços no sistema de moagem para qual este trabalho contribui.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IPT inicia estudos para elaboração do primeiro plano diretor de mineração a ser instituído no País, Notícia de 02.09.2011. Disponível em: http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=399; Acesso em: 21.03.2012.
2. BERNARDES, L. J. B., Granulação de Materiais, Cerâmica Industrial, São Paulo, v. 11, n. 3, pag 17-22, maio/junho 2006.
3. BERNARDES, L. J. L., Granulação de Materiais: razões e principais métodos. Disponível em: http://www.granula.com.br/images/stories/granulacao/granulacao_materiais_parte_1.pdf; Acesso em: 04 de Abril de 2012
4. ABNT - NBR – 13.818:1997 – Placas Cerâmicas para Revestimentos – Especificações e métodos de ensaios. 78pag
5. MARTINS, P. C., 2006. Estudo da influência de uma fase lipídica na aglomeração de pós alimentícios. Tese de Doutorado. Campinas/SP.

ABSTRACT

We studied the effects of the granulation in ceramic dry process classified as BIIb. For this we used a high intensity granulator to obtain information on the technical and economic viability in the production line and the possible contributions to the improvement of the process. Industrial compositions of clays were used. These materials were processed under different conditions and subsequently processed for obtaining the ceramic bodies pressed. The results indicate that the use of high intensity granulator, with or without modifications to the particle size distribution of mass, can decrease the firing cycle and / or sintering temperature of the ceramic, causing economic gain.

Keywords: granulation, ceramic tiles, ceramic dry process.