

## Caracterização de Massas Cerâmicas Utilizadas na Indústria de Cerâmica Vermelha em São Domingos do Sul - RS

C. A. Samudio Pérez<sup>a\*</sup>, C. Paduan<sup>b</sup>, J. D. Ardisson<sup>c</sup>, D. Gobbi<sup>a</sup>, A. Thomé<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Instituto de Ciências Exatas e Geociências, Universidade de Passo Fundo – UPF, Campus I, Bairro São José, BR 285, CP 611, 99001-970, Passo Fundo - RS, Brasil

<sup>b</sup>Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 88040-900, Florianópolis - SC, Brasil

<sup>c</sup>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN, 30123-970, Belo Horizonte - MG, Brasil

<sup>d</sup>Faculdade de Engenharia, Universidade de Passo Fundo – UFP, Campus I, Bairro São José, BR 285, CP 611, 99001-970, Passo Fundo - RS, Brasil

\*e-mail: samudio@upf.br

**Resumo:** Este trabalho visa estudar as características e propriedades tecnológicas de massas cerâmicas utilizadas na indústria de cerâmica vermelha no município de São Domingos do Sul – região norte do Estado de Rio Grande do Sul. Para este fim foram obtidas amostras da massa cerâmica usada por sete olarias do município para a produção de tijolos e submetidas a ensaios de composição química, difração de raio X, espectroscopia Mössbauer, distribuição granulométrica e plasticidade. Foram confeccionados corpos de prova por prensagem uniaxial a 20 MPa e queimados nas temperaturas de 800 e 900 °C. As propriedades tecnológicas de queima avaliadas foram: contração linear, absorção de água, tensão de ruptura à flexão e massa específica aparente. Os resultados mostram que as massas cerâmicas apresentam composição química típica de matéria-prima argilosa, rica em sílica, alumina e com teores inferiores de óxidos de Fe, Mg, Na, K e Mn. A concentração de matérias fundentes ( $K_2O + Na_2O$ ) é baixa e varia de 0,75 até 2,52%. A mineralogia das massas é semelhante sendo formadas basicamente por caulinita, quartzo, óxidos e hidróxidos de Fe. Conforme critérios utilizados na mecânica dos solos, as massas cerâmicas são altamente plásticas (IP > 15%) e seis delas apresentam características apropriadas para moldagem por extrusão. A avaliação das propriedades tecnológicas após queima indica valores, principalmente para a tensão de ruptura à flexão das massas, que estão fora do intervalo de variação considerado adequado para cerâmica vermelha.

**Palavras-chave:** *matérias-primas, cerâmica estrutural, caracterização, propriedades tecnológicas.*

### 1. Introdução

Os materiais cerâmicos estão entre aqueles mais tradicionalmente utilizados na construção civil. A indústria da cerâmica estrutural ou vermelha é uma atividade de base ao possibilitar a construção civil, em geral, desde a mais simples à mais sofisticada. Este segmento que produz, principalmente, tijolos furados, tijolos maciços, componentes de lajes, blocos de vedação e estruturais, telhas, manilhas e pisos rústicos é muito importante na geração de renda do setor industrial brasileiro. De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica (ABC), em 2003 (dados 2002) o setor de cerâmica vermelha faturou cerca de R\$ 4,2 bilhões em quase 7.000 unidades produtoras<sup>1</sup>. Estas unidades produtoras de cerâmica vermelha estão distribuídas por todo o país e são constituídas, principalmente, por empresas de micro, pequeno e médio porte, que utilizam processos produtivos tradicionais. A grande maioria destas empresas apresenta organização simples e familiar e enfrenta uma série de problemas ambientais, econômicos e de qualidade de produtos fabricados, entre os quais podem ser destacados os seguintes: desconhecimento de técnicas modernas de produção de material cerâmico; desconhecimento de normas técnicas sobre a qualidade do produto cerâmico; dificuldade de obtenção de assistência técnica qualificada; gerenciamento da produção; desperdício de matérias-primas; desperdício de energia e inexistência de controle de qualidade racional.

Uma grande quantidade de indústrias de todos os segmentos cerâmicos se concentra nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. O Sindicato das Indústrias de Olarias e de Cerâmica para Construção no Estado do Rio Grande do Sul (SIOCERGS) estima que existam cerca de 1200 indústrias de cerâmica vermelha no Estado, das quais, somente, 729 estão cadastradas e apenas 131 são realmente associadas ao Sindicato<sup>2</sup>. Segundo o relatório de um estudo encomendado pelo SIOCERGS à UFRGS e entregue em outubro de 2004, o setor de cerâmica vermelha tem relevante importância na economia do Estado do Rio Grande do Sul, este segmento representou entre 0,4 e 0,6% dos totais arrecadados em ICMS no Estado nos anos de 2000 a 2003<sup>3</sup>. Mas, a realidade da maioria das indústrias do setor de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul não é diferente da dos demais outros estados do Brasil. Por exemplo, na Região Central do Estado constituída por 35 municípios estão distribuídas 84 indústrias de cerâmica vermelha, na maioria de pequeno porte, com estrutura familiar, baixa rentabilidade, pequena escala de produção e tempo médio de atividade de 22 anos<sup>4</sup>. A grande maioria das jazidas exploradas por estas indústrias são de várzea, sendo que em torno de 70% das mesmas são próprias e localizadas a pequenas distâncias das olarias. A produção total de cerâmica vermelha nesta região é da ordem de 9 bilhões de peças/mês e gera em torno de 750 empregos, podendo ser observado que as indústrias de grande

porte, mais produtivas devido à automatização, têm a menor taxa de emprego e as de médio porte são responsáveis pela maior parte dos empregos gerados. A grande maioria das indústrias desta região não tem conhecimento da qualidade dos produtos, pois não fazem controle tecnológico dos mesmos, poucos dos responsáveis pelas empresas tem conhecimento das normas Técnicas Brasileiras e operam com restrito conhecimento técnico.

São Domingos do Sul é um município localizado na região norte do Estado do Rio Grande do Sul, na microrregião de Passo Fundo, com área de 79 km<sup>2</sup> e população estimada de 2854 habitantes, segundo dados da Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul<sup>5</sup>. Sua economia esta centrada na extração de basalto, pecuária, agricultura, prestação de serviço, indústria e comércio. Neste município funcionam 13 olarias de pequeno ou médio porte que produzem, unicamente, tijolos maciços e/ou furados que são consumidos pelo mercado local e regional. A grande maioria destas empresas apresenta organização simples e familiar e utilizam processos produtivos tradicionais. As matérias-primas são retiradas de jazidas encontradas nas propriedades das olarias e normalmente são de morro. É comum que a escolha das matérias-primas e a formulação da massa cerâmica utilizada sejam feitas de forma empírica, sem conhecimento técnico, de modo a proporcionar determinadas características mecânicas antes e após o processo de queima para alcançar um aparentemente bom desempenho do produto acabado. Sendo que, o processo industrial para a fabricação de produtos cerâmicos estruturais compreende várias etapas que começam com a escolha das matérias-primas e a preparação da massa cerâmica - que ira sofrer diversas transformações físico-químicas até alcançar as propriedades finais - torna-se evidente que a qualidade do produto cerâmico depende, inicialmente, do conhecimento das propriedades e do controle tecnológico das matérias-primas utilizadas. As matérias-primas variam na sua composição sendo constituídas por misturas de diferentes tipos de matérias naturais, principalmente argilas, e/ou impurezas que lhes dão as mais variadas características. Dificilmente uma única matéria-prima fornecerá sozinha a melhor estrutura interna e qualidade possível à massa cerâmica, por tanto, o conhecimento das características de composição das matérias-primas pode permitir estabelecer a proporção, em peso ou volume, das mesmas para a preparação da massa. Por outro lado, duas massas cerâmicas com a mesma composição podem se comportar de modos diferentes se processados de formas distintas tornando-se necessária a caracterização tecnológica da mesma para avaliar o seu comportamento e poder diagnosticar se ela é indicada para a fabricação de um determinado produto cerâmico. Assim sendo, este trabalho objetiva caracterizar a massa cerâmica usada na produção de tijolos maciços e/ou furados por olarias do município de São Domingos do Sul visando fornecer dados técnico-científicos que orientem os ceramistas para a devida utilização e aplicação industrial das matérias-primas cerâmicas, bem como seu uso mais racional e otimizado. É importante destacar que, em relação ao número de olarias, o município de São Domingos do Sul ocupa a terceira colocação na região norte do RS, só perdendo para seu município limítrofe Vanini (com 17 olarias) e Passo Fundo (32 olarias). Por outro lado, estudos similares, realizados em matérias-primas cerâmicas da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, são escassos na literatura científica.

## 2. Materiais e Métodos

No presente trabalho foram caracterizadas amostras da massa cerâmica utilizada para a fabricação de tijolos por sete olarias localizadas no município de São Domingos do Sul. As massas serão identificadas pelos códigos SDS01, SDS02, SDS03, SDS04, SDS05, SDS06 e SDS07. As olarias que forneceram as amostras são de pequeno ou médio porte e características deste município. As massas

SDS04 e SDS07 são utilizadas em olarias que produzem até 200 mil tijolos de três ou seis furos por mês. As outras, SDS01, SDS02, SDS03, SDS05 e SDS06, representam a massa cerâmica usada por olarias que produzem até 50 mil peças de tijolos maciços por mês. As empresas possuem reservas e jazidas de matérias-primas próprias. Na prática a formulação granulométrica da massa cerâmica é realizada de forma empírica. Nenhuma das olarias tem realizado até a presente data caracterização das matérias primas utilizadas e os ceramistas informam que é difícil obter assistência técnica especializada.

As amostras foram caracterizadas sob diversos aspectos: composição química, difração de raio X e espectroscopia Mössbauer de <sup>57</sup>Fe.

Foram determinados os limites de Atterberg e a distribuição granulométrica das amostras in natura. Também foram preparados corpos de prova para a realização de ensaios tecnológicos.

Para análise química as amostras foram submetidas a digestão ácida para sua abertura. A concentração de SiO<sub>2</sub> foi determinada por diferença de peso, e, as porcentagens de óxidos de Al, Fe, Mn, Mg, K, Na, e Ca foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica.

A caracterização das amostras por difração de raio X foi efetuada em um difratômetro marca Philips PW1830/25, utilizando-se a radiação Cu-K $\alpha$ .

Os espectros Mössbauer das amostras em pó foram obtidos à temperatura ambiente numa geometria de transmissão no modo de aceleração constante, usando um espectrômetro convencional de 512 canais com uma fonte de <sup>57</sup>Co difundida em uma matriz de Rh. A calibração foi efetuada usando-se uma folha de ferro metálico  $\alpha$ -Fe. Os valores dos desvios isoméricos (IS) dos espectros são dados relativos ao centro do espectro de calibração.

As características de plasticidade: limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e o índice de plasticidade (IP); foram determinadas pelo ensaio de Casagrande, segundo as normas brasileiras NBR 6459-84 e 7180-84.

A caracterização granulométrica das amostras foi efetuada de acordo com a norma NBR 7181-84. Até o tamanho de 200 mesh, as amostras foram classificadas por peneiramento. Abaixo deste diâmetro, a técnica utilizada foi sedimentação.

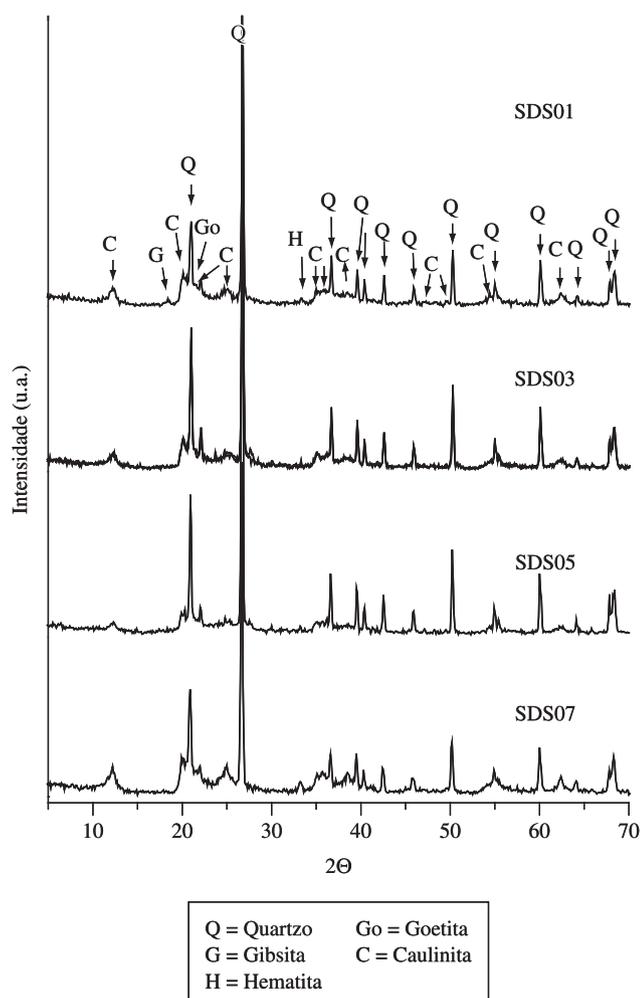
Para avaliar as propriedades tecnológicas das massas cerâmicas estudadas foram moldados seis corpos de prova, para cada uma das massas, através do processo de prensagem uniaxial usando-se uma matriz de aço retangular com as dimensões internas aproximadas de (60×20×5 mm<sup>3</sup>). A compactação foi realizada em uma prensa hidráulica com controle manual sob pressão de 20 MPa. Após a conformação, os corpos de prova foram submetidos a secagem e queimados em um forno tipo mufla, adotando um ciclo de queima lento até as temperaturas de 800 e 900 °C. Foram determinadas as seguintes propriedades físico-mecânicas: contração linear, absorção de água, tensão de ruptura à flexão e massa específica aparente; tudo seguindo as normas da Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (CIENTEC) e a metodologia descrita por Floss<sup>6</sup>.

## 3. Resultados e Discussão

Os resultados da análise química quantitativa das massas cerâmicas estudadas são apresentados em termos de percentual em peso dos óxidos constituintes, mais a perda ao fogo, na Tabela 1. As massas apresentam uma composição típica de matéria-prima argilosa, ou seja, rica em sílica e alumina e com teores inferiores de óxidos de Fe, Mg, Na, K e Mn. Da Tabela 1 é possível inferir que a composição das massas é muito semelhante; a concentração de óxido de silício, SiO<sub>2</sub>, varia entre 55,26 e 65,51%. Os teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, componente que confere refratariedade aos materiais cerâmicos, variam de 19,37 a 27,76%. Observa-se, também, que a quantidade

**Tabela 1.** Composição química das massas cerâmicas (% em peso)

Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	PF
SDS01	55,26	25,46	4,02	2,50	0,29	0,04	0,02	-	11,62
SDS02	64,47	19,37	3,87	1,41	0,17	0,03	0,03	-	9,37
SDS03	64,85	22,38	2,83	1,30	0,25	-	0,02	-	6,37
SDS04	55,36	27,76	5,33	1,30	0,43	0,08	0,02	-	8,30
SDS05	65,51	19,60	3,67	1,20	0,28	0,09	0,02	-	8,56
SDS06	60,81	23,38	3,55	0,70	0,30	-	0,05	-	9,77
SDS07	58,14	25,60	3,94	1,15	0,30	0,06	0,04	-	9,16

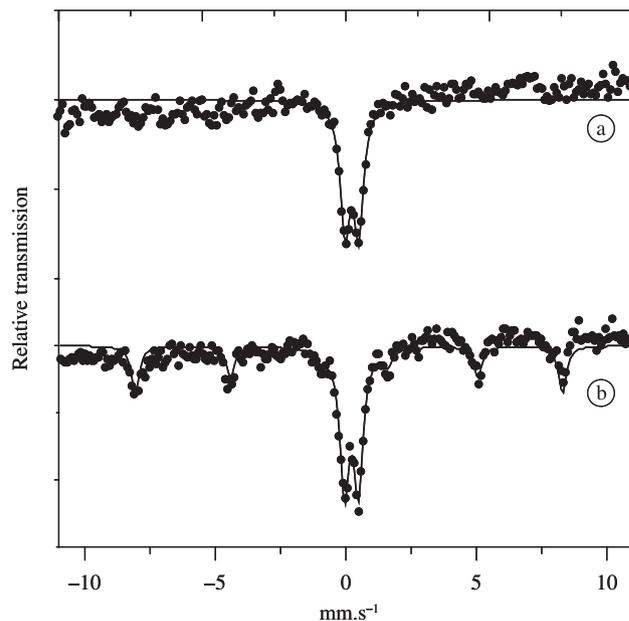


**Figura 1.** Difratomogramas de raio X característicos das massas cerâmicas.

de óxido de ferro, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, varia de 2,83 até 5,33%. A concentração de matérias fundentes (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O) que contribuem para a fase líquida é baixa e varia de 0,75 até 2,52%. Os baixos teores de MgO e a falta de CaO, sugerem que os minerais que formam as amostras não são do tipo carbonato.

A Figura 1 apresenta difratogramas de raio X típicos das massas cerâmicas estudadas. A análise dos difratogramas indica que a composição mineralógica delas é semelhante sendo dominada por minerais de argila e quartzo. O mineral de argila predominante em todas as massas é a caulinita. Nos difratogramas também são detectados picos de baixa intensidade que podem ser atribuídos à presença de óxido e hidróxido de ferro: hematita e goetita.

O espectro Mössbauer de <sup>57</sup>Fe característico das massas SDS01, SDS02, SDS03, SDS04, SDS05 e SDS06, tomados a temperatura



**Figura 2.** Espectros Mössbauer, a temperatura ambiente, característico das massas cerâmicas: a) SDS01- SDS06; e b) da massa SDS07.

ambiente, é apresentado na Figura 2a. O espectro é formado por um duplete simétrico característico de átomos Fe experimentando uma interação nuclear do tipo quadrupolar elétrica. O ajuste deste espectro foi efetuado utilizando um único duplete com largura de linha ( $\Gamma$ ) variando entre 0,36 e 0,40 mm.s<sup>-1</sup>. Os resultados dos ajustes indicam valores do desdobramento quadrupolar, EQ, que variam entre, 0,54 e 0,58 mm.s<sup>-1</sup>, e do deslocamento isomérico, IS, relativo ao  $\alpha$ -Fe, que variam entre 0,34 e 0,37 mm.s<sup>-1</sup>. Estes valores estão bem próximos dos valores característicos da presença de Fe<sup>3+</sup> como substituto de Al nos sítios octaédricos do mineral de argila caulinita; segundo<sup>7</sup>, EQ = 0,57 e IS = 0,35 mm.s<sup>-1</sup> e segundo<sup>8</sup>, EQ = 0,58 e IS = 0,37 mm.s<sup>-1</sup>. É bem conhecido o fato de que o Fe constitui uma das principais impurezas que podem ser encontradas nos minerais de argila, principalmente na caulinita, onde pode substituir, em grande quantidade, os átomos de Al que ocupam os sítios octaédricos da estrutura e, ocasionalmente os átomos de Si que ocupam os sítios tetraédricos. Também é conhecido que, a incorporação de Fe na estrutura da caulinita apresenta uma acentuada correlação inversa com o grau de cristalinidade do mineral.

É importante ressaltar que o valor, relativamente grande, da largura de linha dos espectros pode ser indicativo da presença de outros minerais que contém Fe nas amostras. Minerais tais como os óxidos e hidróxidos contendo Fe<sup>3+</sup> encontram-se freqüentemente associados a argilominerais nos solos e massas cerâmicas. Entre estes minerais os mais comumente encontrados são a hematita ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e a goetita ( $\alpha$ -FeOOH) que normalmente se apresentam na forma de

partículas muito pequenas, na ordem dos nanômetros, que exibem o fenômeno denominado superparamagnetismo. Este fenômeno se caracteriza por uma reversão espontânea da direção de magnetização das partículas e está diretamente associado ao tamanho das mesmas. O superparamagnetismo ocorre à temperatura ambiente para partículas de hematita com tamanho inferior a 8 nm e para as de goetita com tamanho inferior a 20 nm.<sup>9</sup> Por exemplo, o espectro Mössbauer a 300 K da hematita pura, bem cristalizada, caracteriza-se por um desdobramento magnético hiperfino (espectro de seis linhas: sexteto) com campo magnético  $B_{hf}$  de 52 T, EQ de -0,20 e IS de 0,26 mm.s<sup>-1</sup>. Nesta temperatura, com a diminuição do tamanho das partículas o espectro Mössbauer colapsa para um dubleto. Tanto para a hematita quanto para a goetita, em estado superparamagnético, o EQ é em torno de 0,50 mm.s<sup>-1</sup> isto dificulta diferenciar estas partículas entre si ou de argilominerais contendo Fe<sup>3+</sup> como a caulinita<sup>10</sup>. Assim sendo, e com a ajuda dos resultados da difração de raio X, podemos inferir que as amostras de SDS01, SDS02, SDS03, SDS04, SDS05 e SDS06, contem o mineral de argila caulinita mal cristalizada e goetita e/ou hematita na forma de nanopartículas.

O espectro Mössbauer da massa cerâmica SDS07 é formado pela superposição de dois sub-espectros: um dubleto simétrico e um sexteto. Os parâmetros hiperfinos obtidos do ajuste indicam um dubleto com parâmetros hiperfinos ( $\Gamma = 0,40$  mm.s<sup>-1</sup>, EQ = 0,54 mm.s<sup>-1</sup> e IS = 0,35 mm.s<sup>-1</sup>) similares aos obtidos nas outras massas. Isto confirma a presença de caulinita mal cristalizada e pode indicar a presença de goetita e/ou hematita em estado superparamagnético nesta massa. Por outro lado, os valores dos parâmetros hiperfinos do sexteto ( $\Gamma=0,33$ mm.s<sup>-1</sup>,  $B_{hf} = 51,8$  T, EQ = -0,20 mm.s<sup>-1</sup> e IS = 0,26 mm.s<sup>-1</sup>) são os valores característicos da hematita com tamanho de partícula superior a 8 nm isto vem a confirmar a presença deste mineral na massa.

A Tabela 2 mostra as características de plasticidade das massas cerâmicas estudadas através dos limites de Atterberg. Pode-se observar que o limite de plasticidade (LP) das massas varia entre 16 e 32%, o limite de liquidez (LL) entre 37 e 47% e o índice de plasticidade (IP) entre 15 e 25%. Conforme critérios utilizados na mecânica dos solos, as amostras podem ser classificadas como altamente plásticas (IP > 15%)<sup>11</sup>. As características de plasticidades das massas cerâmicas são de grande importância para a cerâmica vermelha, pois indicam a adequação para moldagem por extrusão ou prensagem. Valores adequados para moldagem por extrusão são: 15% ≤ LP ≤ 25% e 10 ≤ IP ≤ 35%.<sup>12</sup> A Tabela 2 mostra que, com exceção da SDS04, todas as massas apresentam as características de plasticidade apropriadas para moldagem por extrusão. A massa SDS04 apresenta o valor do LP ligeiramente acima do valor máximo recomendado. Isto indica a necessidade de utilizar uma quantidade de água maior para extrudar peças com esta massa cerâmica o que pode levar a que a etapa de secagem das peças seja mais prolongada aumentando o gasto energético e o risco de defeitos.

Os resultados da análise granulométrica das massas cerâmicas são apresentados na Tabela 2. A concentração de partículas com diâmetro menor que 2 µm varia de 30 até 70%, entre 2 e 20 µm varia de 7 até 37%, e com diâmetro maior que 20 µm varia de 20 até 43%. Conforme critérios utilizados na mecânica dos solos, seguindo os resultados da distribuição granulométrica junto com os resultados dos limites de Atterberg, as massas poderiam ser classificadas como pertencentes ao grupo CL: argila inorgânica de baixa compressibilidade<sup>11</sup>.

A Tabela 3 apresenta as composições granulométricas dos produtos cerâmicos de acordo com o diagrama de Winkler. Em geral, uma massa cerâmica não pode ser constituída somente de argilas plásticas, porque apresenta grandes dificuldades no processamento, desde a conformação das peças, incluindo ainda a secagem e a queima. A solução destes problemas é fazer uma composição granulométrica

adequada, dosando-se grãos finos, médios e grossos. Neste caso, o diagrama de Winkler é a ferramenta ideal para se fazer este estudo<sup>13</sup>. Comparando os dados da Tabela 2 com os da Tabela 3 pode ser observado que três das massas cerâmicas: SDS02, SDS04 e SDS05, apresentam distribuição de tamanho de partículas que corresponde com aquela sugerida como adequada para a fabricação de telhas (região B do diagrama de Winkler). A massa SDS03 enquadra-se na região C considerada apropriada para a fabricação de tijolos furados. As massas SDS01 e SDS06 apresentam teores de partículas com diâmetro de 2 a 20 µm e > 20 µm dentro da faixa ideal para a produção de materiais cerâmicos de qualidade, contudo a fração com diâmetro < 2 µm está ligeiramente acima (2 e 7% a mais, respectivamente) do indicado pelo diagrama. A distribuição granulométrica da massa SDS07 apresenta uma concentração da fração < 2 µm muito acima do considerado adequado para a faixa A ou B do diagrama de Winkler, podendo ser reduzida esta fração até 20% para a fabricação de produtos cerâmicos de qualidade ou 30% para a fabricação de telhas. Isto pode acarretar uma maior facilidade de secagem, com menos tempo, menor gasto energético e menor risco de aparecimento de defeitos nas peças.

Os resultados mostram que a maioria das massas cerâmicas apresentam distribuição de tamanho de partículas com quantidades de grão finos (< 20 µm) acima da necessária para a fabricação de tijolos maciços e/ou furados como bem sendo usadas. Isto por sua vez pode indicar o uso irracional de matéria-prima que poderia ser adaptada para a formulação de produtos com maior valor agregado.

A Tabela 4 apresenta os resultados da caracterização de propriedades tecnológicas das massas cerâmicas sinterizadas a 800 e 900 °C. Os valores representam as médias aritméticas obtidas dos testes em seis corpos de prova para cada massa. As propriedades analisadas foram: contração linear (Cl), absorção de água (Aa), tensão de ruptura à flexão (Trf) e a massa específica aparente (Mea). Da Tabela 4 é possível observar que as massas cerâmicas SDS03, SDS04, SDS05 e SDS07 apresentam valores de contração linear que variam de 0,2 a 3,5% quando sinterizadas a 800 °C. Estes valores não sofrem

**Tabela 2.** Limites de Atterberg e distribuição de tamanho de partículas das massas cerâmicas.

Amostra	Limites de Atterberg (%)			Composição granulométrica (%)		
	L.L.	L.P.	I.P.	< 2 µm	2 – 20 µm	> 20 µm
SDS01	43	26	17	52	26	22
SDS02	37	18	19	35	30	35
SDS03	39	20	19	30	27	43
SDS04	47	32	15	30	35	35
SDS05	41	16	25	33	37	30
SDS06	42	21	21	57	23	20
SDS07	40	22	18	70	7	23

L.L.=limite de Liquidez; L.P.= limite de plasticidade; I.P.= índice de plasticidade.

**Tabela 3.** Composição granulométrica dos produtos da cerâmica vermelha de acordo com o diagrama de Winkler<sup>13</sup>.

Regiões Tipos de Produtos	Composição granulométrica		
	< 2µm	2 a 20 µm	> 2µm
Materiais de qualidade com dificuldade de produção	40 a 50	20 a 40	20 a 30
Telhas, capas	30 a 40	20 a 50	20 a 40
Tijolos furados	20 a 30	20 a 55	20 a 50
Tijolos maciços	15 a 20	20 a 55	25 a 55

**Tabela 4.** Propriedades tecnológicas das massas cerâmicas sinterizadas a 800 e 900 °C.

Amostra	Cl (%)		Aa (%)		Trf (MPa)		Mea (g.cm <sup>-3</sup> )	
	800 °C	900 °C	800 °C	900 °C	800 °C	900 °C	800 °C	900 °C
SDS01	15,8	15,4	28,4	27,7	0,27	0,53	1,49	1,56
SDS02	10,5	15,5	28,6	27,1	0,44	0,51	1,48	1,56
SDS03	0,2	0,2	25,9	22,6	0,25	0,61	1,53	1,55
SDS04	0,5	0,6	27,9	28,3	0,70	0,80	1,52	1,55
SDS05	3,5	4,2	27,5	28,5	0,33	0,44	1,52	1,53
SDS06	15,8	15,4	28,2	28,4	0,53	0,88	1,48	1,52
SDS07	0,8	0,8	27,7	29,5	0,45	0,50	1,51	1,53

Cl = contração linear; Aa = absorção de água; Trf = tensão de ruptura a flexão; Mea = massa específica aparente.

alterações significantes quando a temperatura de queima aumenta para 900 °C e encontram-se abaixo do limite máximo recomendado para cerâmica vermelha estrutural: Cl ≤ 8% para tijolos e blocos<sup>6</sup>. As massas SDS01, SDS02 e SDS06 apresentam valores de contração linear relativamente elevados que variam de 10,5 a 15,8% para corpos queimados a 800 °C e em torno de 15,5% para 900 °C. Peças manufaturadas com estas massas correm um maior risco de trincas de aquecimento. Um detalhe importante a ser destacado é que as massas SDS01, SDS02 e SDS06 também apresentam os mais altos valores de perda ao fogo (Tabela 1).

Os corpos de prova de todas as massas cerâmicas queimados a 800 °C apresentam valores de absorção de água (Tabela 4) acima do recomendado para produtos de cerâmica vermelha: AA < 25% para tijolos e blocos. A massa cerâmica SDS03 alcança valor inferior a 25% de absorção de água à temperatura de queima de 900 °C, enquanto que, as outras massas continuam apresentando valores relativamente superiores.

Os valores da tensão de ruptura à flexão das massas cerâmicas variam de 0,25 a 0,70 MPa para a temperatura de queima de 800 °C (Tabela 4). Quando a temperatura de queima aumenta para 900 °C os valores Trf apresentam um ligeiro acréscimo. A tensão de ruptura à flexão é um parâmetro indicativo da resistência mecânica de um produto cerâmico. Ela indica a capacidade da peça suportar esforços exercidos por cargas que possam levar a rupturas, esmagamentos ou quebra. Os valores limites de tensão de ruptura à flexão indicados para uso em cerâmica vermelha no Brasil são: Trf ≥ 1,5 MPa para tijolos, Trf ≥ 2 MPa para blocos e Trf ≥ 6,5 MPa para telhas. Os resultados mostram (Tabela 4) que todas as massas cerâmicas estudadas apresentam valores de tensão de ruptura a flexão, nas duas temperaturas de queima utilizadas, que estão abaixo dos limites indicados pelas normas brasileiras para produtos de cerâmica.

A massa específica aparente das massas varia entre 1,48 e 1,53 g.cm<sup>-3</sup> para os corpos queimados a 800 °C (Tabela 4). O incremento na temperatura de sinterização provoca um ligeiro aumento da massa específica aparente de todas as massas, mas os valores alcançados a 900 °C são baixos em relação a aqueles indicados por Santos (massa específica aparente entre 1,7 e 2,1 g.cm<sup>-3</sup>) para a utilização de argilas em cerâmica vermelha.

Como mencionado anteriormente, com o incremento da temperatura de sinterização, a tensão de ruptura à flexão e a massa específica aparente das massas aumentam. Este fato parece estar associado a uma maior sinterização da matéria com o aumento da temperatura, o que causa um maior nível de densificação e coesão das partículas. Isto pode sugerir que, quanto mais lento o ciclo de queima e mais elevada a temperatura de queima maior será a formação da fase líquida, resultando em uma melhoria das propriedades tecnológicas dos produtos, mas com a desvantagem de elevar o tempo e os custos de produção.

Os resultados indicam que a maioria das massas cerâmicas estudadas (SDS02, SDS03, SDS04 e SDS05) apresentam características de distribuição de tamanho de partículas, conforme o diagrama de Winkler, que as caracterizariam como adequadas para a fabricação de produtos de cerâmica vermelha, embora tenham sido preparadas de forma empírica. As massas SDS02 e SDS05, por exemplo, apresentam-se como adequadas para a produção de telhas. No entanto, ao analisar os resultados da avaliação das propriedades tecnológicas é possível observar principalmente que, para as temperaturas de sinterização utilizadas, os valores da tensão de ruptura à flexão das massas são baixos em relação ao limite indicado para cerâmica vermelha. Isto parece evidenciar a necessidade de efetuar a caracterização tecnológica de matérias-primas e massas cerâmicas utilizadas por olarias do Município de São Domingos do Sul de forma a avaliar a adequação das mesmas para ser utilizadas na fabricação de um determinado produto de cerâmica vermelha.

#### 4. Conclusões

A caracterização de massas cerâmicas usadas na produção de tijolos maciços e/ou furados por sete olarias do município de São Domingos do Sul via difração de raio X, demonstrou que as matérias primas utilizadas tem composição mineralógica semelhante. O mineral de argila predominante é a caulinita. Também contém quartzo, óxidos e hidróxidos de ferro na forma de finas partículas como evidenciado pela espectroscopia Mössbauer. As massas apresentam características de plasticidade que indicam que as matérias-primas são altamente plásticas (IP > 15%). Quatro das massas SDS02, SDS03, SDS04, e SDS05, apresentam distribuição granulométrica que as classifica, conforme o diagrama de Winkler, como adequadas para a cerâmica vermelha (tijolos ou telhas). As outras três massas apresentam uma quantidade de grãos finos < 2 µm maior que a recomendada pelo diagrama. A avaliação das propriedades tecnológicas das massas cerâmicas após sinterizadas a 800 e 900 °C indica que: a absorção de água de seis das massas está acima do recomendado para tijolos maciços e furados (< 25%); a tensão de ruptura à flexão das massas é muito baixa (valor máximo de 0,8 MPa entre as sete massas) em relação aos valores limites de tensão de ruptura à flexão estabelecidos para uso em cerâmica vermelha no Brasil (Trf ≥ 1,5 MPa); três das massas apresentam valores de contração linear relativamente elevados (acima de 10%); e a massa específica aparente apresenta-se muito baixa variando de 1,48 a 1,53 g.cm<sup>-3</sup>. Considerando que a maioria das unidades produtoras de cerâmica vermelha no município de São Domingos do Sul com baixo conhecimento sobre as características tecnológicas das matérias-primas que utilizam, os resultados deste estudo vem evidenciar a importância e necessidade que tem a adequada caracterização de matérias-primas usadas para aplicação em cerâmica vermelha e seu reflexo na qualidade dos produtos finais.

## Referências

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA - ABC. **Anuário brasileiro de cerâmica**. São Paulo, 2003. p. 5-8. (v. 1)
2. MANFREDINI, C.; SATTler, M. A. Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 1, p. 23-37, 2005.
3. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS. **Avaliação da indústria cerâmica de blocos e telhas do RS e SC e seus impactos na economia do RS**. Rio Grande do Sul, 2004. 30 p. Disponível em: <[http://www.sindicerr.org.br/arquivos/Relat\\_SIOCERGS\\_4a-Revisao.doc](http://www.sindicerr.org.br/arquivos/Relat_SIOCERGS_4a-Revisao.doc)>. Access in: fevereiro de 2008.
4. SOARES, J. M. D. et al. Panorama sócio-econômico das indústrias de cerâmica vermelha da região central do Estado do Rio Grande do Sul. **Cerâmica Industrial**, v. 9, n. 3, p. 39-46, 2004.
5. FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA - FEE. Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: <<http://www.fee.tche.br>>. Access in: dezembro de 2008
6. FLOSS, M. F.; THOMÉ, A. Adição de resíduo proveniente do corte e polimento de rochas basálticas em blocos de cerâmica vermelha. **Ciência & Engenharia**, v. 15, n. 1-2, p. 1-7, 2006.
7. CASTELEIN, O. et al.  $^{57}\text{Fe}$  Mossbauer study of iron distribution in a kaolin raw material: influence of the temperature and the heating rate **Journal of the European Ceramic Society**, v. 22, n. 1, p. 1767-1773, 2002.
8. PETIT, S.; DECARREAU, A. Hydrothermal (200 degrees C) synthesis and crystal chemistry of iron-rich kaolinites. **Clay Minerals**, v. 25, n. 2, p. 181-196, 1990.
9. MURAD, E. The characterization of soils, clays, and clay firing products. **Hyperfine Interactions**, v. 111, n. 1-4, p. 251-259, 1998.
10. WAGNER, F. E.; WAGNER, U. Mössbauer spectra of clays and ceramics. **Hyperfine Interactions**, v. 151, no. 1-4, p. 35-82, 2004.
11. CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994. 234 p.
12. VIEIRA, C. M. F.; HOLANDA, J. N. F.; PINATTI, D. G. Characterization of red ceramic body used in the production of bricks in the region of Campos dos Goytacazes, RJ. **Cerâmica**, v. 46, n. 297, p. 14-17, 2000.
13. PRACIDELLI, S.; MELCHIADES, F. G. Importância da composição granulométrica de massa para cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 1-2, p. 31-35, 1997.