

Reutilização dos Resíduos de Polimento de Porcelanato e Feldspato na Fabricação de Novo Produto Cerâmico

Larissa Kummer^a, Fátima de Jesus Bassetti^a, Humberto Gracher Riella^{b*},

Júlio César Rodrigues Azevedo^{a*}

^aDAQBI, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

^bLABMAC, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

*e-mail: jcravevedo@hotmail.com, riella@enq.ufsc.br

Resumo: As indústrias de revestimentos cerâmicos do tipo porcelanato geram aproximadamente 250 g.m⁻² de resíduo proveniente do seu polimento. Este resíduo é um transtorno para as indústrias, pois é classificado como resíduo sólido IIa. As indústrias beneficiadoras de feldspato também possuem materiais sem valor comercial. Para reaproveitamento destes resíduos, foram desenvolvidas pesquisas para a fabricação de um produto comercial. Após a caracterização físico-química das matérias-primas, foram preparadas diferentes massas cerâmicas, que foram produzidas em diferentes temperaturas de queima (1100, 1150 e 1200 °C) e com variações das proporções dos constituintes da massa cerâmica: misturando 1:1 (M₁); 1:3 (M₂) e 3:1 (M₃) de resíduo feldspato:porcelanato. Devido às baixas densidades e grande expansão do material acabado, concluiu-se que este material produzido pode ser aplicado como agregados leves (revestimentos internos). Após os testes de solubilização, verificou-se que existe a possibilidade de inertização do resíduo, mas em dois corpos de prova isto não foi possível, significando que são necessários critérios para a incorporação de resíduos em materiais cerâmicos.

Palavras-chave: *resíduos sólidos, feldspato, cerâmica, porcelanato.*

1. Introdução

O desenvolvimento tecnológico e o progresso produtivo trazem agressões ao meio ambiente podendo alterá-lo, afetando a saúde das pessoas e da biota que habitam. Nas últimas décadas as considerações ambientais começaram a ter um papel prioritário na maioria dos países, havendo maior preocupação em tratar, reduzir ou reaproveitar os resíduos gerados. Os bens minerais têm uma importância significativa para a sociedade, na qual nenhuma civilização pode prescindir do seu uso, principalmente, quando se pensa em qualidade de vida, uma vez que as necessidades básicas do ser humano são atendidas essencialmente por estes recursos. Outro fator importante, que é imposto a indústria cerâmica, é a exigência da melhoria da qualidade e eficiência produtiva, com a procura de novos métodos produtivos que proporcionem maior rentabilidade na produção e na qualidade dos produtos fabricados, ainda que impliquem em maior custo para a sua implantação¹⁸.

As cerâmicas porcelânicas sinterizadas, comercialmente conhecidas por grês porcelanato, são uma classe de produtos cerâmicos para revestimento, que se encontra no centro de uma revolução industrial, e principalmente, devido suas características químicas e físicas, esse material tem-se tornado uma alternativa real a outros produtos cerâmicos, ao granito e outras pedras naturais⁸. O grês porcelanato é atualmente a cerâmica para revestimentos que apresenta as melhores características técnicas e estéticas se comparadas com as demais encontradas no mercado. A massa cerâmica dos porcelanatos exige uma proporção de feldspato de até 50%¹⁰. Esta indústria cerâmica gera resíduos, alguns enquadrados na classificação de resíduo sólido IIa (não-inerte), que devem ter um tratamento especial, pois seu armazenamento inadequado pode apresentar sérios riscos à saúde humana e ao meio ambiente, necessitando de tratamento prévio antes de seu descarte⁶.

Feldspato é o grupo mineral mais abundante, constituído por silicato de alumínio que contém proporções variadas de potássio, sódio, cálcio e ocasionalmente bário. São encontrados em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, sendo que pegmatito granítico

é uma das principais fontes. Sua função no corpo cerâmico é a de promover a fusão a uma temperatura mais baixa e, para o vidro é a fonte principal de alumínio, além da função de fundente^{8,19}. O aumento na quantidade de feldspato na massa inicial da cerâmica tem agregado qualidade às porcelanas, transformando-as semelhantes às rochas ornamentais. O grês porcelanato, por exemplo, é um material mais denso que as cerâmicas brancas usuais, pode ser polido com facilidade e apresenta pequena absorção d'água devido a uma maior porcentagem de feldspato.

Alguns estudos empregaram resíduos gerados nas indústrias cerâmicas ou a incorporação de resíduos de outras indústrias na fabricação de materiais cerâmicos. Sanchés et al.¹⁴ desenvolveram cerâmicas vermelhas com adições de resíduos provenientes do polimento de granitos. Torres et al. citado em Lorenzi¹¹, realizaram pesquisa para o reaproveitamento de resíduos de polimento de granitos em massas para a produção de porcelanato, substituindo feldspato. Os rejeitos de polimento de granitos também foram utilizados por Polivanov et al.¹² para a fabricação de blocos cerâmicos vazados. Rosa citado em Lorenzi¹¹, verificou a viabilidade de obtenção de placas cerâmicas para revestimentos a partir de resíduos de diversos setores industriais.

Visando soluções alternativas através da reciclagem e/ou reaproveitamento dos resíduos industriais, agregando a estes valor comercial ao produto final com pleno atendimento a legislação ambiental, foram realizados estudos com resíduos da indústria de grês porcelanato e de uma indústria beneficiadora de feldspato, que apresentam resíduos ainda com características de feldspato, porém rico em ferro, o qual escurece as cerâmicas.

2. Materiais e Métodos

Inicialmente foram realizadas análises de caracterização dos resíduos empregados na produção de materiais cerâmicos. Foram realizadas análises por fluorescência de raios X (FRX) nos resíduos de feldspato, do polimento de porcelanato e da bentonita no equipamento

Shimadzu, modelo EDX 900. As amostras de feldspato foram analisadas quantitativamente através do método por curva de calibração com padrões internacionais, sendo que os resultados obtidos são nas suas formas de óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , Fe_2O_3 , P_2O_5 , TiO_2 , CaO e MgO). O resíduo de polimento e a bentonita foram analisados pelo método semiquantitativo, visto a inexistência de padrões específicos para cada material. Para quantificação dos metais pesados no resíduo de polimento (Cu, Zn, Cr, Pb, Ni, Mn, Fe e Al), após abertura triácida à quente, foi analisado no espectrofotômetro de absorção atômica, marca GBC/Avanta. A composição mineralógica foi determinada por difração de raios X (DRX), utilizando o difratômetro Philips, modelo PW 1830.

Foram realizadas as análises para a determinação de perda ao fogo, do tamanho de partícula (a seco para o feldspato e úmida para a bentonita), da densidade real², do teor umidade¹⁵, e da cor de queima das matérias-primas.

Devido à formulação de massas para a fabricação de produtos cerâmicos ser uma etapa de pesquisa associada a muitos testes em escala de laboratório e posteriormente em escala semi-industrial, até o desenvolvimento de uma massa adequada para a produção industrial, esta etapa necessita de cuidados especiais para que a variação do teor de alguma matéria-prima não cause alterações nas características do produto²².

Em grande parte, a porosidade final do produto (volume total, tamanho, distribuição de tamanhos e morfologia), uma vez empregada uma composição adequada em sua formulação, será definida pelas características físicas da massa empregada, pelas condições em que são realizadas as operações de prensagem e queima das peças³.

Com esta finalidade, foram realizadas três massas cerâmicas com diferentes quantidades das matérias-primas (Tabela 1). As propriedades avaliadas nos materiais cerâmicos obtidos foram: densidade aparente a queimado, retração linear, solubilização⁷, absorção de água¹³, resistência mecânica à flexão⁴ e resistência ao manchar⁵.

Os componentes da massa foram homogeneizados, prensados (pressão de 10 t), obtendo uma pastilha redonda com diâmetro de 20 e 40 mm, as quais foram secadas a 100-110 °C, durante aproximadamente 24 horas até a obtenção de massas constantes. Após a secagem, as peças foram levadas para a queima em forno EDG, sobre placas refratárias, sendo queimadas em três temperaturas diferentes: 1100, 1150 e 1200 °C, com escala de permanência de 10 minutos à temperatura de 600 °C e velocidade de aquecimento de 20 °C.min⁻¹, com o tempo de permanência na máxima temperatura de 10 minutos.

3. Resultados e Discussão

3.1. Caracterização da matéria-prima

Na Tabela 2 constam as percentagens de óxidos (análise por fluorescência de raios X) e da perda ao fogo dos materiais empregados na formulação das massas cerâmicas. Verifica-se que estes materiais apresentam aproximadamente 80%, em massa, de óxidos de alumínio e de silício, a qual é favorável para a formação de materiais cerâmicos. Outro aspecto importante é a percentagem de óxido de silício, que é formador de rede. Além disso, o elevado teor de álcalis no resíduo de feldspato, cerca de 7% em massa, confere a este característica de material fundente¹. Os óxidos de Cr_2O_3 e ZrO_2 foram encontrados, principalmente, no resíduo de polimento, os quais são oriundos do processo de fabricação de porcelanatos¹¹. Na Tabela 2, observar-se o elevado teor de perda ao fogo para o resíduo de porcelanato e para a bentonita, o que significa que estes materiais possuem grande quantidade de hidróxidos, como o $\text{Al}(\text{OH})_3$ e $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e componentes voláteis de matéria orgânica, sulfatos e carbonatos¹⁵.

Os resultados, semiquantitativos, dos óxidos (fluorescência de raios X) foram comparados com os resultados quantitativos,

Tabela 1. Percentuais dos componentes utilizados na composição da massa cerâmica.

Matérias-primas	Massa usada formulação (%)		
	M ₁	M ₂	M ₃
Feldspato*	46	23	68
Polimento Porcelanato*	46	69	23
Água	5	5	5
Argila-Bentonita	3	3	3

*Resíduo.

Tabela 2. Quantidade de óxidos (%) e perda ao fogo do resíduo de feldspato, porcelanato e da argila bentonita.

Óxidos	Materiais (% peso)		
	Feldspato*	Porcelanato*	Bentonita
SiO_2	66,08	62,87	56,73
Al_2O_3	13,64	19,79	21,86
K_2O	3,44	2,66	2,39
Fe_2O_3	0,74	1,09	6,79
TiO_2	0,05	0,28	1,30
CaO	<LL	0,68	0,64
MnO	-	0,05	0,11
MgO	0,04	8,84	0,91
ZrO_2	-	1,66	0,08
Na_2O	3,66	0,55	1,74
P_2O_5	0,07	0,38	-
SnO_2	-	0,14	-
ZnO	-	0,10	0,02
Cr_2O_3	-	0,08	-
PbO	-	0,01	-
CuO	-	0,01	-
Perda ao fogo	1,22	5,62	7,36

* Resíduos.

(espectrofotometria de absorção atômica) após abertura das amostras. Verificou-se que as concentrações de Cr e Pb, pela análise por absorção atômica, estiveram abaixo do limite de detecção. Para o Ni, foi a técnica de fluorescência de raios X que não o detectou. Após os cálculos de conversão matemática de óxidos em metais, pode-se concluir que os resultados apresentados pelas duas técnicas analíticas foram equivalentes para os metais Al, Cu, Fe, Mn e Zn.

As características mineralógicas do material foram determinadas através da técnica de difração de raios X. Pelo difratograma do resíduo de feldspato, foi observado que o mesmo é constituído, basicamente, por quatro fases cristalinas: o quartzo, a albita, o microclínio e a muscovita. O difratograma, do resíduo de polimento de porcelanato, indica a presença dos minerais quartzo, periclásio, brucita, dolomita ferrosa, cloromagnesita e halóisita. Já a argila bentonita apresenta os minerais: esmectita, ilita, caolinita, feldspato alcalino e quartzo (Figura 1).

Pela análise granulométrica (Tabela 3) verificou-se a necessidade de moagem do resíduo de feldspato para sua utilização na produção da massa cerâmica. Este resíduo apresentou 86,75% da sua granulometria superior a malha 325 mesh, necessitando moagem para sua adequação. Foram feitos testes com moinho tipo gira-jarros, com tempos e cargas de bolas adequadas à obtenção da granulometria exigida para a preparação da massa. Já o resíduo de polimento apresentou a vantagem de não precisar de moagem, pois já apresentava 99,58% com granulometria inferior a 325 mesh, o que diminui custos no processo. A argila utilizada como ligante, apresentou granulometria quase no limite aceitável (13,77%), porém esta também foi moída.

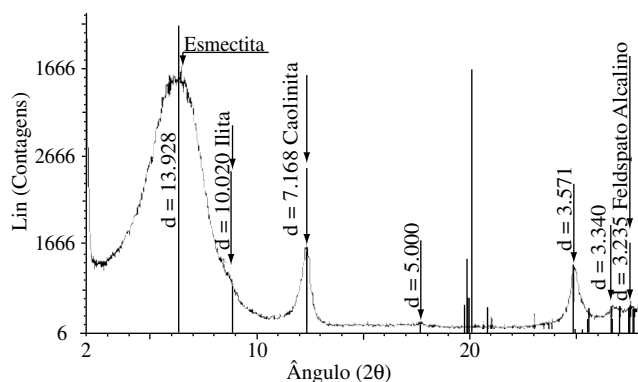


Figura 1. Difratograma de raios X da argila bentonita.

Tabela 3. Resultado das análises granulométricas (%), densidade ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) e umidade (%) dos materiais utilizados na formulação das massas cerâmicas.

Análise	Resíduo feldspato	Resíduo porcelanato	Argila
Granul. retida em 325 mesh	86,75	<1	13,77
Densidade	2,60	2,18	2,44
Umidade	0,99	3,14	8,75

Na Tabela 3, constam também os resultados das densidades reais e o teor de umidade, na qual as três matérias-primas empregadas apresentam resultados muito próximos. Segundo Sengik¹⁶ o minério feldspato possui como densidade real o valor em torno de $2,65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, o que indica que este resíduo ainda possui características do minério.

Pela análise de umidade, verificou-se que o resíduo de feldspato e o de polimento de porcelanato apresentaram os menores teores de umidade em relação à argila bruta. Porém o porcelanato apresentou valor de 3,14%, o que pode ser resultante da umidade proveniente do processo em filtro prensa, nas estações de tratamento que descartam este material. Os valores das umidades naturais, de cada matéria-prima, foram úteis para a determinação das formulações, preparando-se assim, massas com nível apropriado de umidade para a formação das peças, que deve estar entre 4 e 6%.

3.2. Caracterização do produto acabado

Na Tabela 4 constam os resultados da composição percentual dos óxidos, obtidos através da análise química por fluorescência de raios X, e da perda ao fogo, das três cerâmicas obtidas através das variações de massas dos resíduos de feldspato e de porcelanato (Tabela 1), onde se observa a manutenção percentual na composição dos óxidos, confirmando que os constituintes da massa são favoráveis na formação da cerâmica.

O grande desafio da fabricação de produtos cerâmicos tradicionais é produzir uma grande quantidade de peças praticamente idênticas, ou seja, com as mesmas características técnicas e estéticas, a partir de matérias-primas naturais com características variáveis²⁰. Após a queima das diferentes composições em massas (M_1 , M_2 e M_3) e temperaturas (1100, 1150 e 1200 °C), foram determinadas algumas características físicas e químicas no material acabado, verificando-se algumas alterações (Tabela 5).

Através do resultado da cor de queima (análise visual), verificou-se que houve pequena variação da tonalidade (cinza e rosa) para as misturas queimadas a diferentes temperaturas (Tabela 5, Figura 2). Nas matérias-primas, o resíduo de feldspato é o que apresentou maior diferença de cor nas três temperaturas de queima, com tonalidades em 1100 e à 1150 °C próximas ao rosa e em 1200 °C, coloração escura, intensificando e provando que o óxido de ferro escurece a massa. A mesma característica é observada para a argila bentonita

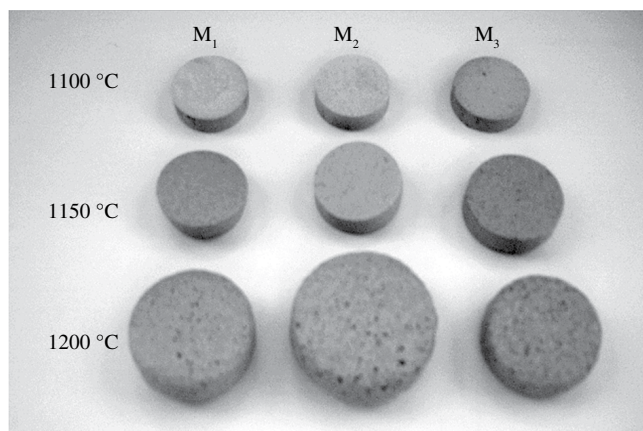


Figura 2. Imagem comparativa dos materiais cerâmicos obtidos após a queima em diferentes temperaturas.

Tabela 4. Composição percentual dos óxidos e da perda ao fogo das três cerâmicas obtidas.

Óxidos	Misturas (% peso)		
	M_1	M_2	M_3
SiO_2	66,61	63,30	68,64
Al_2O_3	20,26	19,41	20,31
K_2O	3,61	3,27	4,00
Fe_2O_3	1,32	1,31	1,28
TiO_2	0,18	0,54	0,26
CaO	0,89	0,77	1,09
MnO	0,04	0,05	0,04
MgO	3,56	6,39	1,05
ZrO	0,89	1,31	0,42
Na_2O	1,46	2,83	2,14
P_2O_5	0,11	0,14	-
Perda ao fogo	4,11	5,97	3,22

(6,79% de Fe_2O_3). Já o resíduo de porcelanato, apresentou coloração em tons de cinza para todas as temperaturas de queima. A cor de queima ideal seria o mais branco possível, mas com os resultados apresentados por todas as composições, julgamos que estas tonalidades não interferiam no valor comercial do produto, de acordo com a sua aplicação comercial. Como exemplo podemos citar a aplicação em forro e paredes internas, de acordo com a sua densidade.

Na Tabela 5, pode-se também observar que para as três misturas, a densidade aparente reduziu após a queima na temperatura de 1200 °C. Isto pode ser explicado pela grande expansão e conseqüente aumento de volume que ocorreu a esta temperatura (Figura 2). Durante a queima ocorre a dissolução do carbeto de silício (SiC) na fase líquida e conseqüentemente há formação de gás carbônico (CO_2). A diminuição da densidade foi inversamente proporcional ao aumento de temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura de queima, menor a densidade aparente do corpo de prova.

Os resultados da alteração dimensional linear estão também apresentados na Tabela 5, na qual pode ser visto que ocorreu retração para as formulações queimadas somente a 1100 °C. Dentre estas, a formulação M_2 é que apresentou maior retração, 5,41%. Nas temperaturas 1150 e 1200 °C ocorreu expansão em todas as peças, o que significa que a partir de 1150 °C, o resíduo de polimento apresenta características de expansão, proveniente da formação de bolhas e gases no interior das peças.

De acordo com Arantes et al.³, estes gases são produzidos/eliminados durante o ciclo térmico, onde o gás existente no interior do

Tabela 5. Densidade aparente, alteração dimensional linear, resistência à flexão, cor de queima e adsorção de água das matérias-primas e dos materiais cerâmicos produzidos.

Material	Temperatura (°C)	Densidade aparente	Alteração dimensional linear (%)*	Resistência à flexão (kgf.cm ⁻²)	Cor de queima	Adsorção de água	
						(%)	Classe
M ₁	1100	1,96 ± 0,04	5,02 ^r	185,3	Rosa	9,75	Iib
	1150	1,42 ± 0,05	5,25 ^e	668,7	Cinza/marrom	22,10	III
	1200	0,43 ± 0,04	33,56 ^e	345,7	Cinza/marrom	7,86	Iib
M ₂	1100	1,70 ± 0,11	5,41 ^r	96,7	Rosa claro	15,24	III
	1150	1,56 ± 0,36	6,80 ^e	385,3	Cinza claro	34,01	III
	1200	0,43 ± 0,06	46,60 ^e	357,5	Cinza claro/bege	33,30	III
M ₃	1100	1,70 ± 0,09	4,73 ^r	74,7	Rosa/marrom	15,27	III
	1150	1,30 ± 0,04	11,37 ^e	295,0	Cinza médio	11,84	III
	1200	0,71 ± 0,02	26,89 ^e	408,0	Cinza escuro	4,34	Iia
Resíduo de feldspato	1100	1,88 ± 0,03	2,05 ^r	-	Rosa	13,88	III
	1150	1,90 ± 0,01	2,97 ^r	-	Rosa/marrom	7,99	Iib
	1200	1,94 ± 0,01	8,68 ^r	-	Marrom chocolate	0,01	Ia
Resíduo de porcelanato	1100	1,90 ± 0,02	8,22 ^r	-	Cinza claro	13,17	III
	1150	1,72 ± 0,01	6,39 ^r	-	Cinza claro	8,34	Iib
	1200	0,63 ± 0,01	21,92 ^e	-	Cinza claro	77,75	III
Argila bentonita	1100	2,15 ± 0,01	1,83 ^r	-	Marrom	0,77	Ib
	1150	1,85 ± 0,04	5,02 ^e	-	Marrom escuro	0,55	Ib
	1200	1,54 ± 0,01	2,51 ^r	-	Marrom bem escuro	3,23	Iia

Alteração dimensional linear* r: retração e e: expansão.

compacto, disperso ao longo de todo seu volume, bem como os gases eventualmente formados em razão das reações que vão ocorrendo entre os componentes da massa (oxidação de material orgânico, decomposição de minerais) devem ser eliminados, ou seja, transportados ao meio externo, a medida em que avança o processo de sinterização. Foi observado também, que quanto maior a temperatura, maior a expansão. Este fato pode ser confirmado através da Figura 2, onde se observa, visualmente, a variação dimensional entre as peças (todas as pastilhas mostradas tiveram o mesmo tamanho inicial).

Os resultados de absorção de água indicam que a absorção de água está relacionada com a proporção de resíduo de porcelanato aplicado na preparação da massa, como no caso de M₂, onde foram adicionados 66% da massa total, indicando que a mesma não é adequada para a produção de revestimentos cerâmicos, visto que os valores máximos permitidos para a produção são de 20% de absorção de água¹⁷. Já os corpos queimados a 1200 °C, obtiveram os melhores resultados de absorção de água, com exceção da Mistura M₂. A mistura M₃ obteve a melhor absorção de água (4,34%) o que a faz se encaixar na classificação de material Classe Iia, semi-grês, conforme a norma NBR 13817/1997⁴. Já a mistura M₁ também teve baixa absorção, 7,86%, enquadrando-se como semiporoso, Classe Iib. A temperatura de 1100 °C, a mistura M₁ apresentou o melhor resultado de absorção de água (9,75%). Este valor é considerado aceito para a fabricação de revestimentos cerâmicos tipo semiporoso, Classe Iib. Já para a temperatura de queima de 1150 °C, as três massas começaram a expandir (Figura 2), porém não atingiram a temperatura de fusão do feldspato, o que gerou a formação de bolhas, conseqüentemente, não ocorrendo a vitrificação do material, o que acarretou em maior absorção de água.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5, pode-se afirmar que os materiais obtidos tiveram uma boa resistência à flexão. A temperatura de 1100 °C é a que obteve os menores valores de resistência, já os materiais queimados a 1200 °C podem ser enquadrados como a tipologia "Porcelanato" devido a sua resistência, que é maior que 350 kgf.cm⁻², de acordo com a NBR 13817/1997⁴.

Nos testes de solubilização, a formulação M₁, queimada a 1200 °C e na formulação M₂, queimada a 1100 °C não ocorreu inertização,

o que significa dizer que estes materiais foram classificados como Classe Iia (não-inerte), conforme NBR 10004/2004⁶. O parâmetro que enquadrou a formulação nesta classificação foi os valores da concentração de alumínio, que ficaram acima do limite estabelecido pela norma. Nas demais formulações queimadas, nas três temperaturas distintas, observa-se que ocorreu a inertização do resíduo de polimento, o que significa enquadrar estes materiais como Classe Iib (inerte). Em todas as formulações e temperaturas, ocorreu a presença de cloretos e sulfatos, porém em concentrações muito abaixo dos valores estabelecidos pela norma, com boa margem de segurança. Em nenhuma das formulações foi observado a presença de outros metais, ficando todos abaixo do limite de detecção.

Os testes de resistência ao manchamento indicaram que os materiais cerâmicos obtidos em 1150 e 1200 °C tiveram maior facilidade na remoção dos agentes empregados no manchamento, óleo e café. Para estes agentes, as amostras foram enquadradas na Classe 5⁵. Os corpos de prova queimados a 1100 °C tiveram maior dificuldade de remoção, em especial as composições M₁ e M₃, enquadrando na Classe 3. Para o azul de metileno os materiais foram enquadrados como mancha não removida (Classe 1), onde o poder penetrante deste agente foi muito forte, pois nem a limpeza com ácido diluído, este foi removido das peças. Ocorreu somente diminuição da tonalidade do azul após a aplicação do abrasivo, porém não foi suficiente para a remoção. Uma das alternativas para se contornar o problema do manchamento é a aplicação de ceras ou de selantes poliméricos, sendo que essa alternativa é vista com certa desconfiança pelos consumidores, pois contrasta com a imagem de durabilidade do referido produto⁸.

O fenômeno do manchamento está diretamente relacionado com a presença de poros na superfície do revestimento. A estrutura de poros de um compacto cerâmico começa a ser definida, no caso de uma massa cerâmica para prensagem, a partir das características dos grânulos que compõe a massa. Como os grânulos são, na verdade, aglomerados de partículas primárias unidas entre si por ligações secundárias, apresentam uma certa quantidade de poros em seu volume³. A existência de irregularidades na superfície de um corpo faz com que seja facilitada a adesão de partículas à superfície, bem como torna mais difícil a respectiva remoção⁸. Uma maior ou menor

susceptibilidade ao problema vai ser definida pelas características destas irregularidades, que vão ser determinadas, notavelmente, pelo tamanho, forma e textura dos poros responsáveis por elas, além da quantidade de irregularidades (poros) existentes por unidade de área²¹.

Segundo Beltrán et al. citado em Lorenzi¹¹, existe uma certa relação entre o tamanho dos poros e sua susceptibilidade ao manchamento. Para que o problema do manchamento seja evitado, o ideal seria eliminar totalmente a porosidade presente na superfície do revestimento. Mas, considerando que isto dificilmente é alcançado, busca-se então, produzir peças que apresentem um número mínimo de poros, pequenos e isolados¹. O efeito do manchamento também está relacionado com a expansão das peças, pois ocorreu aumento da porosidade.

4. Conclusão

O conhecimento do papel das matérias-primas nas propriedades finais do produto cerâmico é fator determinante para obtenção de progressos em toda a cadeia produtiva (pesquisa geológica, lavra, formulação de massa, processo, especificações e tecnologia construtiva), que se refletem no meio ambiente. Com este trabalho, pode-se concluir que os corpos de prova queimados a temperatura de 1100 °C podem ser utilizados pela indústria de revestimento cerâmico para a fabricação de revestimento de paredes. Para os corpos queimados às temperaturas de 1150 e 1200 °C, devido à ocorrência de expansão do material, seria necessário maior tratamento e retificação na peça final. A aplicação desse último material seria em diferentes tipos de revestimentos, como, por exemplo, placas de isolamento térmico e acústico, agregados leves, divisórias ou forros de telhados. Este tipo de aplicação seria interessante devido ao material ter estrutura leve, resultando em economia nas estruturas das edificações⁹.

Do ponto de vista ambiental, a aplicação de resíduos em produtos cerâmicos é uma prática muito estudada e difundida. Neste estudo, verificamos que a formação de materiais cerâmicos com estes resíduos é uma alternativa viável da sua reciclagem, mas que esta incorporação deve ser realizada de forma muito criteriosa, visto que existe a possibilidade dos resíduos sofrerem lixiviação e/ou solubilização, como é o caso das misturas M₁ (1200 °C) e M₂ (1100 °C), onde ocorreu a solubilização do alumínio, acima do limite permitido pela norma NBR 10004. Para se garantir que não ocorrerão problemas com o produto obtido, devem ser realizados todos os testes para a verificação da qualidade do produto e sua real inertização e estabilização.

Referências

1. Alves, H. J. **Uso da rocha agalmatolito na formulação de aditivos para tratamento superficial de grês porcelanato**. 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
2. Amorós, J. L. et al. **Manual para el control de la calidad de materias primas arcillosas**. 2. ed. Castellón: Instituto de Tecnología Cerámica, 2004. 178 p.
3. Arantes, F. J. S. et al. O Manchamento e a Porosidade Fechada de Grês Porcelanato. *Cerâmica Industrial*, v. 6, n. 3, p. 18-25, 2001.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13817**: Placas cerâmicas para revestimento. Classificação. Rio de Janeiro, 1997, 3 p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818**: Placas cerâmicas para revestimento. Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997, 78 p.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004, 71 p.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004, 3 p.
8. Cavalcante, P. M. T. et al. Uma Abordagem sobre a Indústria de Feldspato no Brasil. *Cerâmica Industrial*, v. 5, n. 1, p. 37-42, 2000.
9. Dantas, G. F.; Voittle, N. **Aplicações do Porcelanato**: Curso de Arquitetura e Urbanismo. Curitiba: Editora da UFPR, 2005. Disponível em <<http://burle.arquit.ufpr.br/~alschmid/porcelanato.doc>>. Acesso em: 20 abril 2006.
10. Jesus, C. A. G. **Feldspato**. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/portal/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2004/su-mariomineral2004.htm>>. Acesso em: 05 novembro 2005.
11. Lorenzi, V. **Reaproveitamento do Resíduo Sólido Proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria Cerâmica de Grês Porcelanato**. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul de Santa Catarinense, Criciúma, 2005.
12. Polivanov, H. et al. O uso do resíduo do mármore e granito para indústria da cerâmica vermelha. In: 46° CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Editora da USP, v. 1, p. 1-8.
13. RECESA PISOS E AZULEJOS. Disponível em: <http://www.recesa.com.br/site_novo/menu13.htm>. Acesso em: 11 setembro 2005.
14. Sanchés, R. et al. Incorporation of granite waste in red ceramics. **Materials Science and Engineering A**, v. 1-2, n. 373, p. 115-121, 2004.
15. Santos, P. S. **Tecnologia de Argilas**. v. 1, 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1989. 408 p.
16. Sengik, E. **Curso de Zootecnia: Solos e Adubação**. Roteiros de Aulas Práticas. Maringá, 2005. Disponível em: <<http://www.dzo.uem.br/disciplinas/Solos/pratica.doc>>. Acesso em: 20 janeiro 2006.
17. Soares, S. R. et al. Análise do Ciclo de Vida de Produtos (revestimento, blocos e telhas) do Setor Cerâmico da Indústria de Construção Civil. **Relatório parcial I/IV**. Florianópolis, fev. 2002. Disponível em: <<http://www.ciclodevida.ufsc.br/relatorio1.pdf>>. Acesso em: 24 agosto 2005.
18. Souza, P. E. C. et al. Proposta de Controle da Matéria-Prima Mineral Utilizada na Indústria de Revestimento Cerâmico. *Cerâmica Industrial*, v. 5, n. 1, p. 51-54, 2000.
19. Tavares, S. T. P.; Castañeda, C.; Soares, A. C. P. A Importância da Caracterização Química e Mineralógica do Feldspato para a sua Utilização na Indústria Cerâmica e Vidreira. *Cerâmica Industrial*, v. 10, n. 4, p. 22-27, 2005.
20. Teixeira, R. A.; Melchiades, F. G.; Boschi, A. O. A Variação das Características das Argilas e o Processo Cerâmico. *Cerâmica Industrial*, v. 7, n. 3, p. 29-32, 2002.
21. Timerllini, G.; Carani, G. Limpabilidade e higiene das superfícies de pavimentos e revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, v. 2, n. 5/6, p. 16-28, 1997.
22. Zauberas, R. T.; Boschi, A. O. Avaliação de uma Metodologia para a Formulação de Massas para Produtos Cerâmicos – Parte I. *Cerâmica Industrial*, v. 9, n. 5/6, p. 25-28, 2004.