

**PROCESSO DE FRAGMENTAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS
VITRIFICADOS (RCV) VISANDO SUA INCORPORAÇÃO EM CONCRETO
REFRATÁRIO SÍLICO-ALUMINOSO**

L. B. Gomes (1)*; R. N. Brandalise (1); C. P. Bergmann (2); V. dos Santos (1)
(1) Universidade de Caxias do Sul (UCS); (2) Universidade Federal do Rio
Grande do Sul (UFRGS)

*Universidade de Caxias do Sul, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Rua
Francisco Getúlio Vargas, 1130. CEP 95070-560. Caxias do Sul – RS.
lbgomes@ucs.br

RESUMO

A indústria cerâmica gera muitos resíduos, comumente descartados em aterros. O reuso desses minimiza sua geração e proporciona soluções sustentáveis. Porém, o custo energético da moagem desses resíduos torna-se um empecilho ao seu reuso. Este trabalho visa à obtenção de faixas granulométricas de resíduo cerâmico vitrificado (RCV) empregando um processo de fragmentação rápido, eficiente e de baixo custo, bem como o seu uso em concreto refratário. Os resultados mostram a obtenção de uma ampla faixa granulométrica de RCV, que pode ser utilizado como uma promissora fonte de matéria-prima para a produção de concreto refratário.

Palavras-chave: isoladores cerâmicos, resíduos, concreto refratário, reciclagem.

INTRODUÇÃO

A indústria cerâmica gera uma grande quantidade de resíduos a cada ano, sendo a maior parte destes, descartados em aterros. Sua reutilização possibilitaria a minimização dos resíduos gerados pela indústria e ao mesmo tempo levaria a uma solução sustentável, na qual seria possível empregar fontes não renováveis na fabricação de artefatos, como no caso dos agregados utilizados para a produção de concreto ⁽¹⁾.

Aproximando-se do conceito de desenvolvimento sustentável, a indústria cerâmica carece de significativas transformações, tanto na redução de desperdício, quanto na otimização de processos, visando uma melhor qualidade e durabilidade de seus produtos, sendo a reutilização de seus resíduos, ações e projetos voltados a sustentabilidade ambiental, exemplos de preocupações no campo da pesquisa ⁽²⁾.

Os isoladores elétricos cerâmicos são materiais cerâmicos vitrificados e amplamente utilizados pelas concessionárias de energia de todo o país, estando presentes em subestações de energia e nos postes de condução da fiação elétrica. Após sua vida útil, são enterrados, por serem classificados como resíduos inertes Classe II – B, segundo NBR 10.004-04 (2004) ⁽³⁾.

Com a aprovação da Lei 12.305 (2010) ⁽⁴⁾, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os resíduos cerâmicos vitrificados estão proibidos de serem enterrados e sua reutilização, portanto, mostra-se uma promissora fonte de matéria-prima à produção de novos artefatos cerâmicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Na preparação das formulações foram utilizados resíduos cerâmicos vitrificados (RCV) obtidos após o desmantelamento de redes elétricas (Figura 1) e concreto refratário sílico-aluminoso marca IBAR, especificação Castibar-N.



Figura 1. RCV após desmantelamento de redes elétricas.

Métodos – Fragmentação dos RCV

A fragmentação dos RCV foi realizada com objetivo de minimizar e otimizar o tempo do processo de moagem quando comparado ao método convencional. Para tanto, foi proposto um novo método de fragmentação dos resíduos. Os RCV passaram por um choque térmico com a intenção de facilitar sua fragmentação.

O choque térmico consistiu em aquecer os RCV por 2 horas a 300°C seguido de banho de gelo até o resfriamento parcial dos isoladores. Após foi realizada a fragmentação dos RCV por meio de prensagem uniaxial em prensa modelo 282 SP, marca VEB Thüringer Industriewerk, com pressão exercida de 40 toneladas.

Métodos – Análise Granulométrica

Os RCV obtidos após fragmentação (Figura 2) e o concreto refratário sílico-aluminoso foram submetidos a análise granulométrica pelo método de peneiramento de acordo com a norma ASTM MNL 32 ⁽⁵⁾.

Foi realizado o peneiramento a seco dos materiais, em peneirador eletromecânico marca Pavitest com capacidade para oito peneiras com 160 mm de diâmetro. Esse processo foi pelo período de 25 minutos utilizando-se as peneiras de número 4, 6, 9, 10, 16, 28, 48, 60, 65, 100, 200 *mesh*.



Figura 2. RCV após processo de fragmentação.

A análise granulométrica das partículas do RCV menores que 200 *mesh* foi realizada de acordo com a norma ASTM E2651-10 ⁽⁶⁾ em um granulômetro por dispersão a laser CILAS, modelo 1180 LIQUID, com faixa de análise de 0,04 µm a 2500 µm.

Métodos – Caracterização Química

A fim de se verificar a compatibilidade química dos RCV com o concreto refratário sílico-aluminoso, foi realizada a caracterização química dos RCV após fragmentação por meio da técnica de fluorescência de raios-X, com o auxílio de um espectrômetro Shimadzu, modelo EDX-800HS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição Granulométrica Diferencial

A Distribuição Granulométrica Diferencial dos RCV é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição Granulométrica Diferencial dos RCV

Peneira (mesh tyler)	Aberturas D_i (mm)	Diâmetro D_i (mm)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Massa retida (g)	Fração acumulada retida (%)
4	4,699	$\geq 4,699$	605	1100	495	49,5
6	3,327	4,013	535	630	95	9,5
9	2,362	2,844	470	590	120	12
10	1,651	2,006	500	560	60	6
16	1,168	1,410	435	485	50	5
28	0,589	0,878	375	425	50	5
48	0,295	0,442	360	405	45	4,5
60	0,251	0,273	415	425	10	1
65	0,208	0,229	400	430	30	3
100	0,147	0,177	400	435	35	3,5
200	0,075	0,111	415	420	5	0,5
panela	< 0,074	< 0,111	415	420	5	0,5

A Distribuição Granulométrica Diferencial do concreto refratário sílico-aluminoso é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Distribuição Granulométrica Diferencial do concreto refratário sílico-aluminoso

Peneira (mesh tyler)	Aberturas D_i (mm)	Diâmetro D_i (mm)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Massa retida (g)	Fração acumulada retida (%)
4	4,699	$\geq 4,699$	600	635	35	3,5
6	3,327	4,013	530	595	65	6,5
9	2,362	2,844	470	530	60	6,0
10	1,651	2,006	500	530	30	3,0
16	1,168	1,410	435	520	85	8,5
28	0,589	0,878	375	470	95	9,5
48	0,295	0,442	360	515	155	15,5
60	0,251	0,273	415	445	30	3,0
65	0,208	0,229	395	440	45	4,5
100	0,147	0,177	400	480	80	8,0
200	0,075	0,111	415	530	115	11,5
panela	< 0,074	< 0,111	415	620	205	20,5

De acordo com os dados da Tabela 1, a Distribuição Granulométrica Diferencial dos RCV sugere que, após o processo de fragmentação, aproximadamente 50% dos resíduos obtidos apresentam um tamanho de partícula de 4,75 mm, encontrando-se, portanto, no limite da classificação de agregado graúdo e miúdo ⁽⁷⁾.

Entretanto, deve-se ser considerado que um único processo de fragmentação dos resíduos possibilitou uma ampla faixa de distribuição granulométrica, retidas em todas as peneiras utilizadas.

As menores concentrações de resíduo retido foram encontradas na peneira de 200 *mesh* e na panela, na faixa de 0,5%. O tamanho de partícula dos resíduos retidos nesta faixa foi investigado, porém usando o método de análise de tamanho de partícula a *laser*. Os resultados obtidos foram de $D_{10} = 3,38 \mu\text{m}$, $D_{50} = 27,94 \mu\text{m}$, $D_{90} = 67,88 \mu\text{m}$.

Com relação a Distribuição Granulométrica Diferencial do concreto refratário sílico-aluminoso, apresentada na Tabela 2, verificou-se um pico inicial de aproximadamente 20% na fração acumulada retida do material, com tamanho de partícula variando de 0,11 a 0,25 mm.

O comportamento da Distribuição Granulométrica Diferencial do concreto refratário sílico-aluminoso foi o oposto ao observado para os RCV, ou seja, com maiores concentrações de material retido nas peneiras com menores aberturas, enquanto que para o RCV, as maiores concentrações de material retido foram nas peneiras com maiores aberturas.

Caracterização Química

A Tabela 3 apresenta a caracterização química dos RCV obtida por meio de fluorescência de raios-X, com os elementos mais estáveis.

Tabela 3. Caracterização química dos RCV

Elemento Químico	Média (% m/m)
Si	67,81 ($\pm 0,12$)
Al	18,01 ($\pm 0,05$)
K	10,32 ($\pm 0,12$)
Fe	2,12 ($\pm 0,03$)
Ca	1,12 ($\pm 0,32$)
Ti	0,39 ($\pm 0,06$)
Cr	0,13 ($\pm 0,02$)
Mn	0,11 ($\pm 0,01$)

A caracterização química do concreto refratário sílico-aluminoso fornecida pelo fabricante IBAR pode ser observada na Tabela 4, pelos óxidos mais estáveis.

Tabela 4. Caracterização química do concreto refratário sílico-aluminoso.

Óxido mais Estável	Média (% m/m)
SiO ₂	42,9
Al ₂ O ₃	46,6
Fe ₂ O ₃	1,2
CaO	6

De acordo com a caracterização química dos RCV (Tabela 3) foram detectadas maiores concentrações dos elementos Si, Al e K, decorrente da presença dos óxidos mais estáveis, tais como o dióxido de silício (SiO₂) e óxido de alumínio, alumina (Al₂O₃), constituintes das fases feldspáticas e quartzosas⁽⁷⁾. Em relação a caracterização química do concreto refratário sílico-aluminoso (Tabela 4), verificou-se maiores concentrações de SiO₂ e Al₂O₃, valores coerentes e esperados para o tipo de material.

CONCLUSÕES

Comparado-se as Distribuições Granulométricas Diferenciais dos RCV após fragmentação e do concreto refratário sílico-aluminoso, foi possível verificar padrões diferentes de distribuições, porém analisando-se a amplitude das mesmas, considera-se que a incorporação de RCV ao concreto refratário, torna-se viável do ponto de vista granulométrico, uma vez que após o processo

de fragmentação, os RCV contemplam uma ampla faixa granulométrica (entre 6,699 mm a 67,88 µm). A caracterização química dos materiais auxilia na comprovação da viabilidade em incorporar RCV ao concreto refratário sílico-aluminoso, uma vez que as composições químicas dos materiais analisados são muito semelhantes, possibilitando sua utilização. Em relação ao processo de fragmentação dos RCV, foi possível triturá-los usando um processo rápido, eficiente e de baixo custo, quando comparado com as técnicas usuais de moagem para materiais cerâmicos vitrificados. Além disso, foi observada uma ampla faixa granulométrica de resíduos, com tamanhos de partículas que variam de $\geq 6,699$ mm a 67,88 µm possibilitando, desta forma, sua utilização como matéria-prima para a fabricação de novos artefatos cerâmicos, principalmente aqueles que utilizam fontes não renováveis em seu processo de fabricação, tais como o concreto refratário sílico-aluminoso.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade de Caxias do Sul (UCS), à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UCS) e à Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) pelo financiamento do Projeto.

REFERÊNCIAS

1. TORGAL, F. P.; JALALI, S. **Reusing ceramic waste in concrete.** Construction and Building Materials, 24, 2010, p. 832 – 838.
2. ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, São Paulo, 2000, 155 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: resíduos sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro, 2004, 71 p.
4. BRASIL. Lei n.º 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, n.º 147, 03 ago., 2010. Seção 1. pt 3.

5. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **MNL 32: Manual on Test Sieving Methods**. Lawrence R. Pope; Charles W. Ward. Comitê ASTM E-29, 1998, 43 p.
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E2651-10: Standard Guide for Powder Particle Size Analysis**. 2010, 7 p.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.935: agregados – Terminologia**. Rio de Janeiro, 1987, 6 p.
8. MAMEDE FILHO, J. **Manual de equipamentos elétricos**. Editora: LTC - Livros Técnicos e Científicos. 2ª. Ed. Rio de Janeiro, 1994. 456 p. v. 2.

**FRAGMENTATION PROCESS OF VITRIFIED CERAMIC WASTE (VCW)
AIMING ITS INCORPORATION IN SILICO-ALUMINOUS REFRACTORY
CONCRETE FOR PRODUCTION OF REFRACTORY BRICKS**

ABSTRACT

Ceramic industry generates large amounts of waste, usually disposed in landfills. Reuse could minimize their generation and provides sustainable solutions. However, the energy cost of grinding these waste becomes a hindrance to their reuse. This work aims to obtain particle sizes of vitrified ceramic waste (VCW) using a fast, efficient and low cost fragmentation process as well as its use in refractory concrete. The results shows a wide range of particle size of VCW, which can be used as a promising source of raw material for production of refractory concrete.

Keywords: ceramic insulators, waste, refractory concrete, recycling.