

Pozolanicidade dos resíduos industriais, lã de vidro e lã cerâmica

Pozzolanicity of the industrial wastes, glass and ceramic wools

Neuza Evangelista

Doutoranda em Engenharia de Materiais pela Rede Temática de Materiais - REDEMAT/UFOP. evangelista_neuza@yahoo.com.br

Jorge Alberto Soares Tenório

Doutor em Metalurgia e Materiais, Professor Titular do Departamento de Metalurgia e Materiais da Escola Politécnica da USP; Professor Convidado do Programa de Pós-graduação da REDEMAT. jtenorio@usp.br

José Roberto de Oliveira

Doutor em Metalurgia e Materiais, Professor do Programa de Pós-Graduação em Metalurgia e Materiais - PROPEMM - IFES. jroberto@ifes.edu.br

Resumo

As fibras cerâmicas se caracterizam por ser um material leve, com alto grau de pureza, baixo armazenamento de calor, baixa condutividade térmica, resistência a choque térmico e alta resistência à corrosão em altas temperaturas. Essas características levam a uma grande procura das indústrias minero-metalúrgicas e de outros setores para revestimentos de distribuidores, muflas, fornos de aquecimentos, entre outros. Após utilização no processo, por perderem sua capacidade de isolamento, os resíduos gerados precisam de destinação. Esse trabalho enfoca, especificamente, resíduos de lã cerâmica e lã de vidro. Pelo fato de a composição das fibras cerâmicas ser rica em sílica e alumina, efetuou-se uma investigação acerca da atividade pozolânica das mesmas com a cal e o cimento, especificamente CPV ARI, CPII E32 e CPIII 32RS, para avaliação da perspectiva de reciclagem em possível incorporação no concreto.

Palavras-chave: Resíduos industriais, lã cerâmica, lã de vidro, atividade pozolânica.

Abstract

Ceramic fibers are characterized by their light weight, high degree of purity, low heat storage, low thermal conductivity, thermal shock resistance and superior corrosion resistance in high-temperature environments. Such characteristics make them ideal in the coating of distributors, mufflers, heating ovens, inter alia, as highly demanded by the mining and metallurgical industries, among others. After use in the process of industrial production, generated waste will lose its insulation capacity and thus requires disposal. The present work focuses specifically on ceramic and glass wools. Due to the fact that ceramic fibers are aluminosilicate rich, we carried out an investigation relating to their pozzolanic activity with lime and cement, CPV ARI, CPII E32 and CPIII 32RS specifically, aiming at an evaluation of their recycling prospect for incorporation into concrete.

Keywords: Industrial wastes, ceramic wool, glass wool, pozzolanic activity.

1. Introdução

Shiskin (2009) apresenta as fibras cerâmicas como uma geração de materiais que combinam alta refratariedade, baixa condutividade térmica e baixa

inércia. Afirma que contribuem para reduzir o consumo de energia e enumerá-las, como suas principais características: material leve, alto grau de pureza, baixo

armazenamento de calor, baixa condutividade térmica, resistência a choque térmico e alta resistência a corrosão em altas temperaturas, além de não requirerem demanda significativa de manutenção e reparos nos revestimentos. As características termo-acústicas levam a uma grande procura por parte das indústrias minero-metalúrgicas para seu uso em revestimentos de distribuidores, mufas, fornos de aquecimentos e de outros setores como os mercados de construção civil, automotivo, eletro-eletrônico (Luo et al., 1998).

Após utilização no processo, por perder sua capacidade de isolamento, os resíduos gerados precisam de destinação segura, como aquela feita em aterros industriais ou outra destinação. A reciclagem/reaproveitamento é a melhor alternativa dentro de um programa de minimização de resíduos na perspectiva de gestão ambiental de uma empresa.

O gerenciamento de resíduos industriais tem especial destaque, considerando a ótica de um programa de minimização pautado essencialmente na redução na fonte, isto é, menor geração dos resíduos, e na reciclagem (Rocca et

al., 1993), o que repercute nos dois paradigmas elementares para garantia de qualidade de vida e do meio ambiente: preservação dos recursos naturais esgotáveis e mitigação de impactos ambientais, com a não deposição de resíduos no solo (aterros industriais) e a não geração de passivos ambientais.

Segundo o IARC (*International Agency for Research on Cancer*), tem-se que as fibras cerâmicas pertencem ao grupo IIB, de produtos cancerígenos, em função da biossolubilidade das partículas inaláveis das lâs (Baan, 2004; Wilson et al., 1999 apud Alves, 2008). Segundo a NBR10004 (ABNT, 2004), a toxicidade comprovada classifica os resíduos gerados como resíduos de classe I ou perigosos. Nesse grupo ainda se encontram também as fibras de amianto. Deve-se destiná-las, a princípio, por essa razão, em aterros industriais classe I.

Os resíduos de lâ de vidro já são classificados como de classe II-A, não perigosos e não inertes. Deve-se prever sua destinação em aterros industriais classe II (ISOVER, 2010).

O objetivo desse trabalho consiste em se buscar o reaproveitamento desses

resíduos a partir de sua incorporação em argamassas e concretos. Para tanto, considerando-se a composição química das fibras de origem (SAINT GOBAIN, 2007 e BRASCOTERM, 2009), efetuou-se uma investigação acerca da atividade pozolânica desses materiais com a cal e o cimento.

Peruzzi (2002), em estudos de utilização de fibras de vidro como aditivos ao concreto, acerca da hidratação do cimento, apresenta o cimento CP V ARI como o mais desfavorável à fibra de vidro, sob o ponto de vista de ataque alcalino às fibras (maior teor de C_3S), o CP III 32RS como o mais favorável e o CPII E32 como intermediário. O fato é que o hidróxido de cálcio, conhecido como portlandita, $Ca(OH)_2$ - CH, seria o maior responsável pelo meio alcalino, que, reagindo com as fibras de vidro, causaria a perda de resistência mecânica, de modo que um cimento com maior teor de C_3S seria o mais favorável à sua formação.

Nesse contexto, efetuou-se a investigação de atividade pozolânica dos resíduos com a cal e com 03 tipos de cimento, especificamente: CPII E32, CPIII32RS, CPV ARI.

2. Materiais e métodos

Materiais

Os resíduos foram cedidos por uma empresa siderúrgica (lã cerâmica) e por uma empresa mineradora (lã de vidro).

Para o estudo, processaram-se os resíduos em moinhos de bolas, em quantidades médias para cada moagem em torno de 600g, num período de tempo médio de 20 minutos. Realizaram-se moagens para obtenção de um total de 58,7kg de lâ cerâmica e de 56,7 kg de lâ de vidro (Borges, 2007).

Na caracterização de resíduos cominuídos, procederam-se análise granulométrica, a partir de granulômetro

a laser CILAS, análise química por Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma (Marca: Spectro/ Modelo: Ciros CCD/ICP-AES: *Inductively Coupled Plasm - Atomic Emission Spectroscopy*), análise de microestrutura por Microscopia Eletrônica de Varredura e determinação do tipo de estrutura por Difração de Raios X. Determinou-se, também, a área específica pelo Método Blaine e os índices de finura dos resíduos exigidos pela NBR12653 (ABNT, 1992) como foi o caso do resíduo retido na peneira de 45 μ m (325#), por peneirador ae-

rodinâmico - NBR12826 (ABNT, 1993). Determinou-se a massa específica dos resíduos a partir do ensaio definido pela NBR NM 23 (ABNT, 2000).

A composição química e a granulometria dos cimentos foram fornecidas pela empresa fabricante. A cal teve sua composição química e granulometria determinadas a partir das mesmas técnicas usadas para os resíduos.

Os materiais utilizados são especificados na Tabela 1. Os dados dos lotes de cimento foram fornecidos pelo fabricante e são apresentados na Tabela 2.

Métodos

Estão entre os métodos de avaliação de atividade pozolânica de materiais os ensaios regulamentados pelas normas NBR 5751 (ABNT, 1992), Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica - Índice de atividade pozolânica com a cal; NBR 5752 (ABNT, 1992), Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland - Índice de atividade pozolâni-

ca com o cimento; NBR 12653 (ABNT, 1992), Materiais Pozolânicos, e NBR 7215 (ABNT, 1996), Cimento Portland - Determinação da Resistência à Compressão para determinação da resistência à compressão simples da argamassa. São considerados métodos indiretos de aferição, pois não quantificam o hidróxido de cálcio consumido pelos materiais pozolânicos avaliados, mas se estabelecem os

índices de atividade pozolânica a partir da resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos.

Os índices de avaliação, nesses métodos, são apresentados na Tabela 3.

Na investigação da atividade pozolânica, foram moldados, para cada cimento e/ou cal, nove corpos de prova, 50mmx100mm: 03 de referência, 03 com resíduos de lâ cerâmica e 03 com

Tabela 1

Materiais utilizados nos ensaios de investigação de atividade pozolânica.

Material	Especificação
Cimento	1. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial - CPV ARI Fácil HOLCIM. Fabricação Jan/2009 - Validade de 90 dias. 2. Apresenta altas resistências em curtas idades e sua aplicação gera economia de tempo. Cimento Portland CP III 32RS HOLCIM - Fabricação Mar/2009 - Validade 90 dias. 3. Apresenta em sua composição de 35 a 70 % de escória de alto-forno. Cimento CP II E32 HOLCIM - Fabricação Mar/2009 - Validade 90 dias. Apresenta em sua composição até 34% de escória de alto-forno.
Cal hidratada	Cal hidrat. especial ICAL (Massical) -Validade 2010.
Areia	Areia normalizada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo.
Água	Água do sistema de abastecimento público.

Tabela 2

Composição química (% em peso) dos cimentos.

Elementos	CP V ARI	CP II E 32	CP III 32RS
Perda ao Fogo (PF)	3,97	5,47	****
SiO ₂	19,19	22,52	36,43
Resíduo Insolúvel	0,48	1,61	****
Al ₂ O ₃	5,15	6,58	6,75
Fe ₂ O ₃	2,80	2,85	2,12
CaO	63,33	58,44	49,67
MgO	0,92	1,74	2,29
SO ₃	2,82	1,37	****
CO ₂	2,78	4,86	****
K ₂ O	0,77	0,73	0,71
P. F. 500°C	0,76	0,45	****
C ₃ A teórico	7,75	5,35	****

Obs.: (*****) - Dados não obtidos.

resíduos de lâ de vidro. A moldagem dos corpos de prova obedece à norma NBR 7215. No total, obtiveram-se 36 corpos de prova (03 tipos de cimento e a cal).

A cura dos corpos de prova difere

para a avaliação da atividade pozolânica com cal e com o cimento. Para a cal, a cura se processa em 07 dias, nas primeiras 24h em câmara úmida e nos 06 dias restantes à temperatura fixa de (55±5)°C.

Para o cimento, a cura processa-se em 28 dias, sendo as primeiras 24h em câmara úmida e os demais dias à temperatura fixa de (38 ± 2)°C, em recipiente hermeticamente fechado.

Tabela 3

Índices de atividade pozolânica com a cal e o cimento.

Com a cal	Resistência à compressão obtida, ≥ 6,0MPa, aos 7 dias (T= 55±5)°C (NBR 5751-1992).
Com o cimento	$f_{cB} / f_{cA} \times 100 \geq 75\%$, sendo que f_{cB} é a resistência média, aos 28 dias, dos cps moldados com cimento e material pozolânico, argamassa B, e f_{cA} é a resistência média aos 28 dias dos cps só com cimento, argamassa A. Ambos curados à temperatura T= (38 ± 2) °C, em recipientes hermeticamente fechados (NBR 5752-1992).

Atividade pozolânica com a cal

A NBR 5751 preconiza a utilização dos materiais na proporção 1:2:9 (cimento, cal, areia), a seguir, correspondentes às quantidades cal-

culadas para a moldagem dos 03 corpos de prova:

- **Cal hidratada:** 1 → 104g.
- **Areia normal:** 9 → 234g de cada fra-

ção das malhas 15, 30, 60 e 120µm - 936g.

- **Material pozolânico:** igual ao dobro de volume da cal hidratada.

$$Q = 2 \times \frac{\delta_{\text{poz}}}{\delta_{\text{cal}}} \times 104g \quad (1)$$

em que δ_{poz} e δ_{cal} representam as massas específicas do material pozolânico e da cal, respectivamente.

Obtiveram-se os quantitativos $Q_{LC} = 258,37g$ e $Q_{LV} = 265,83g$ (quan-

tidades em massa do resíduo de lâ cerâmica e lâ de vidro), sendo as massas específicas dos resíduos iguais a 2,77 e 2,89 g/cm³, lâ cerâmica e lâ de vidro, respectivamente.

- **Água:** quantidade correspondente ao índice de consistência obtido no ensaio na mesa de abatimento de (225±5)mm (NBR 7215).

Atividade pozolânica com o cimento

Segundo a NBR 5752, a inves-

tigação de atividade pozolânica com o cimento é feita a partir de 02 ar-

gamassas, nos traço 1:3:0,48 (sendo uma de referência A, e outra de refe-

rência B, com 35% de seu volume absoluto substituído - vide Equação 2,

$$Mat_{poz} = 109,2 \times \frac{\rho_{poz}}{\rho_{cim}} \quad (2)$$

em que ρ_{poz} e ρ_{cim} são as massas específicas do material pozolânico e cimento, respectivamente.

Dessa forma, definiram-se as quantidades, conforme Tabela 4. Após garantir-se a constância de peso dos resíduos,

pelo material pozolânico:

iniciou-se a avaliação de consistência a partir da quantidade de 150g de água (0,48 no traço de referência).

Cimento (g) e massas específicas δ (g/cm ³)	CP VARI ($\delta_1 = 3,06\text{g/cm}^3$)		CP II E 32 ($\delta_2 = 3,01\text{g/cm}^3$)		CP III 32 RS ($\delta_3 = 2,89\text{g/cm}^3$)	
	202,8	202,8	202,8	202,8	202,8	202,8
Materiais (g)	Lã cerâmica	Lã de vidro	Lã cerâmica	Lã de vidro	Lã cerâmica	Lã de vidro
Resíduo (g)	98,8	101,7	100,5	103,4	104,7	107,7
Areia normal (g)	936	936	936	936	936	936

Obs. Água definida a partir de ensaio de consistência, abatimento (225±5)mm (NBR7215).

Tabela 4
Quantidades de materiais na investigação de atividade pozolânica com o cimento.

3. Resultados e discussão

No processamento dos resíduos (moagem), os diâmetros médios obtidos dos resíduos pulverizados foram da ordem de 30,79µm e 30,38µm, para a lâ cerâmica e lâ de vidro, respectivamente, Parâmetros dimensionais são apresentados na Tabela 5.

Os índices de finura para os resíduos de lâ cerâmica e lâ de vidro obtidos foram 25,72 e 14,20%, respectivamente, atendendo à seguinte exigência normativa: < 34% (NBR 12653).

As composições químicas da cal e dos resíduos obtidas constam nas Tabelas 6 e 7. Na composição química dos resíduos, observam-se, para a lâ de vidro, teores expressivos de sílica e alumina, mas destacam-se, também, altos teores

dos óxidos de ferro, de cálcio e de magnésio. Para a lâ cerâmica, além dos expressivos teores de sílica e alumina, o teor de zircônia (15,9%) configura a fibra de origem como do tipo H (BRASCOTERM, 2009).

A microscopia eletrônica de varredura revelou, para ambos os resíduos, grãos no formato de bastonetes alongados, quase aciculares (Figuras 1 e 2), bem diferentes da estrutura flocular da cal e do cimento. Essa diferença pode dificultar sua adição às matrizes cerâmicas de cimento Portland. Os quantitativos parciais obtidos (Tabela 8 e 9), através do microanalisador EDS, ratificaram, com certa aproximação, a composição química determinada a partir do espectrofotô-

metro ICP-AES.

Pela difração de raios X, conforme Figuras 3 e 4, obteve-se estado amorfo para o resíduo de lâ de vidro, ratificando registros anteriores (BORGES, 2007), e foi obtida estrutura cristalina para a lâ cerâmica, na qual se identificaram as fases mulita, hematita, goetita e zircolonita.

Chegou-se à quantidade de água necessária conforme resultados apresentados na Tabela 10. Tem-se que a água requerida não pode ter índices superiores a 115% (NBR 12653), valores que foram observados em todos os ensaios.

Respeitados os tempos de cura para a cal e para os cimentos, obtiveram-se os resultados para a resistência à compressão simples, segundo as Tabelas 11 e 12,

Item	Resíduo de lâ cerâmica	Resíduo de lâ de vidro	Cimento CPVARI	Cimento CPII E32	Cimento CPIII 32RS	Cal hidratada
Área Específ. (m ² /kg)	217,4	171,1	453,0	419,9	356,5	781,7
Diâmetro das partículas (µm) - Percentis						
D(10%)	2,25	3,25	1,054	1,291	2,5	2,14
D(50%)	18,79	21,71	8,898	11,568	18,99	12,96
D(90%)	78,93	70,46	34,150	40,323	51,94	43,04

Tabela 5
Características dimensionais dos materiais (área específica e granulometria).

Componentes	Composição (%)	LQ
Al ₂ O ₃	0,250	0,00676
CaO	62,600	0,00232
Fe ₂ O ₃	0,115	0,0105
MgO	0,347	0,000760
K ₂ O	0,070	4,62E-05
Na ₂ O	0,067	0,000527
PPC	36,552	-----

Obs.: PPC: Perda por Calcinação. LQ: Limite de Quantificação.

Tabela 6
Composição química (% em peso) da cal.

Componentes	Resíduo de lâ de vidro	Resíduo de lâ cerâmica	LQ*
Al ₂ O ₃	11,6	35,6	0,00676
CaO	23,6	0,0420	0,00232
Fe ₂ O ₃	10,2	1,14	0,0105
K ₂ O	0,784	0,0823	0,000760
MgO	9,56	0,273	4,62E-05
Na ₂ O	1,54	0,160	0,000527
TiO ₂	1,29	0,0636	0,000212
ZrO ₂	0,0200	15,9	5,11E-05
PPC**	1,31	0,11	-
SiO ₂	32,7	32,9	***

* LQ: Limite de Quantificação - valor abaixo do qual não é possível detectar o elemento.

**PPC: Perda por Calcinação - detecção de elementos voláteis, matéria orgânica carbonácea ou água de estrutura (realizada em mufla a 1000°C).

***SiO₂: A sílica não é detectável no espectrofotômetro. Foi determinada por análise via úmida que consiste na adição de ácido fluorídrico para volatilização da sílica seguida de ensaio de gravimetria.

Tabela 7
Composição química percentual dos resíduos.

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO
Lã de vidro_6a_pt1	-	2.92	5.59	18.31	0.40	20.64	-	-	0.93
Lã de vidro_6a_pt2	-	2.76	5.18	19.75	0.35	24.28	0.75	0.98	-
Lã de vidro_6a_pt3	1.68	8.16	6.68	24.00	0.34	4.96	0.92	-	3.49
Lã de vidro_6a_pt4	0.93	4.64	3.71	13.14	0.31	3.70	0.75	-	14.87
Lã de vidro_6a_pt5	2.68	14.75	9.75	35.38	0.40	6.24	0.89	-	2.94

Tabela 8
Quantitativos percentuais em peso obtidos pelo Microanalisador EDS / Resíduos de lâ de vidro.

	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Cu ₂ O	ZrO ₂
Lã cerâmica_6_pt1	35.85	49.19	-	-	14.95
Lã cerâmica_6_pt2	35.28	34.85	6.24	23.63	-
Lã cerâmica_6_pt3	24.43	28.79	-	-	7.58
Lã cerâmica_6_pt4	29.96	39.14	-	-	11.30
Lã cerâmica_6_pt5	27.72	38.29	-	-	10.45

Tabela 9
Quantitativos percentuais em peso obtidos pelo Microanalisador EDS / Resíduos de lâ cerâmica.

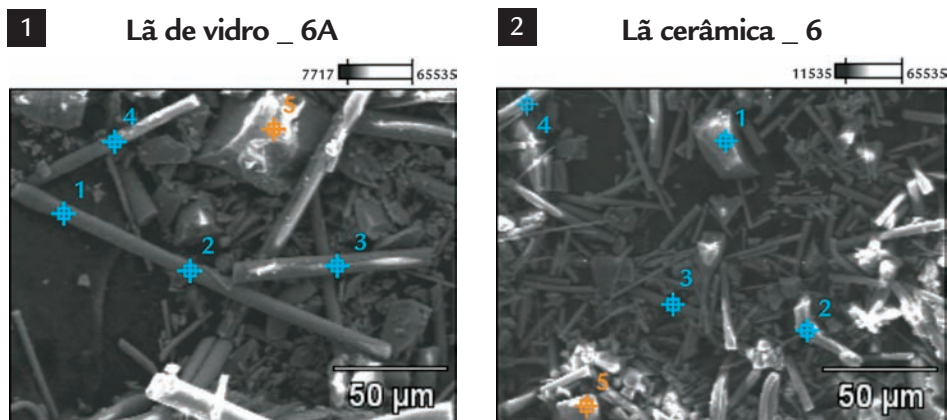


Figura 1
Micrografia de resíduos pulverizados de lâ de vidro obtida por microsc. eletrônica de varredura.

Figura 2
Micrografia de resíduos pulverizados de lâ cerâmica obtida por microsc. eletrônica de varredura.

No cimento (A)	Quantidade de água (g)		Água requerida (%) (B/A x 100)		Ensaio de consistência média dos diâmetros ortogonais (mm)		
	Lã cerâmica (B)	Lã de vidro (B)	Lã cerâmica	Lã de vidro	Cimento	Lã cerâmica	Lã de vidro
CPVARI - 180 g	190g	200g	105	111	220,75	226,5	228,9
CPIII32RS - 170g	180g	170g	106	100	227,05	220,75	229,7
CPIIE32 - 165g	165g	170g	100	103	221,17	228,77	221,17

Tabela 10
Água requerida - atividade pozolânica com os cimentos e a cal.

Obs.: Argamassa A: de referência.

Argamassa B: com substituição de 35% em peso do cimento por mat. pozolânico.

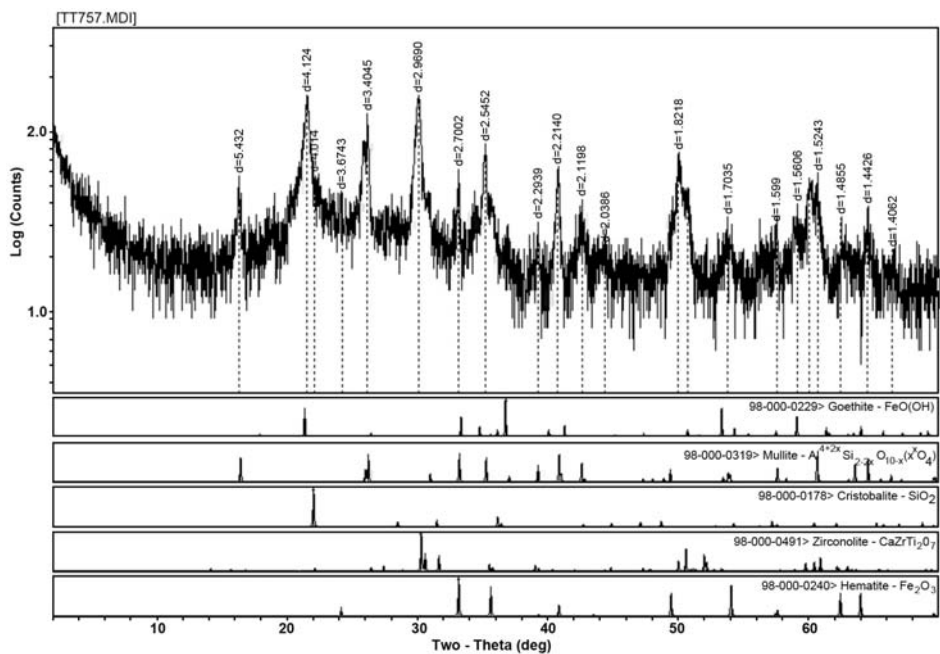


Figura 3
Difratograma do resíduo de lâ cerâmica.

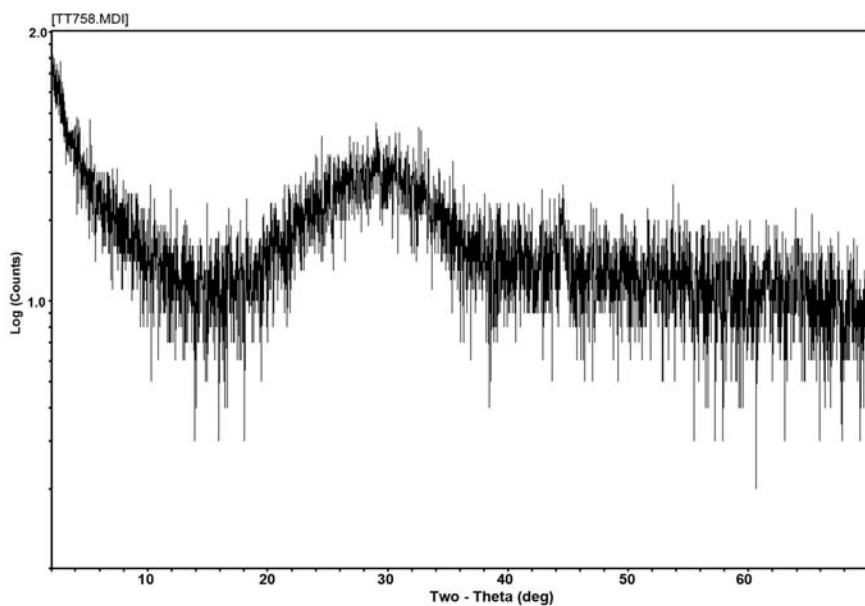


Figura 4
Difratograma do resíduo de lâ de vidro.

Indicadores	Referência	Lã cerâmica	Lã de vidro
Resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)	26,23	12,87	14,82
(Índice normativo 75%) fcres/fccim.	CPV ARI	49%	57%
Resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)	20,26	10,91	9,73
(Índice normativo 75%) fcres/fccim.	CPIII 32RS	54%	48%
Resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)	15,01	9,38	8,81
(Índice normativo 75%) fcres/fccim	CPII E32	62%	59%

Tabela 11
Valores de resistência à compressão e índices de atividade pozolânica dos resíduos com os cimentos-referência.

Corpos de prova	Resistência à compressão - Índice Normativo 6MPa
Lã cerâmica	4,48 kgf/cm ² = 0,45MPa (< 6MPa)
Lã de vidro	4,53 kgf/cm ² = 0,45MPa (< 6MPa)

Tabela 12
Índices de atividade pozolânica dos resíduos com a cal.

e os correspondentes índices de atividade pozolânica.

Observa-se que, para a avaliação da atividade pozolânica com a cal, não se atingiu a resistência 6,0 MPa, previsto

em norma, e os valores obtidos ficaram muito abaixo (0,4MPa). Também, para os cimentos, para nenhum dos tipos, atingiu-se o índice normativo de 75% (Tabela 9), embora tenham sido obtidos

valores da ordem de 60%. O melhor resultado observou-se para o CP II E32, com percentuais de 62% para os resíduos de lâ cerâmica e 59% para os de lâ de vidro.

4. Conclusão

Os resíduos de lã cerâmica e lã de vidro atenderam as exigências normativas da atividade pozolânica no que se refere ao índice de finura, à água requerida e composição química, mas não apresentaram índices satisfatórios de atividade pozolânica, nem com a cal, nem com o cimento.

Contudo, para se verificar um efeito pozolânico real, ou em outras pala-

avras, para se avaliar a variação efetiva em termos de resistência mecânica, principalmente no que se refere à atividade pozolânica com o cimento, com o qual se obtiveram valores mais próximos ao índice percentual de referência, há que se verificar essa resistência em ensaios de argamassas normalizadas em períodos de cura maiores, como, por exemplo, 63

e 91 dias, ou maiores, pois o efeito pozolânico se desenvolve ao longo do tempo. Pode-se alcançar algum resultado que justifique a utilização desses resíduos incorporados em concretos e argamassas, com valores de resistência mecânica próximos aos de referência, os quais possam recomendar sua aplicação ainda que em usos menos nobres.

5. Referências bibliográficas

- ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NM 23 - *Cimento Portland e outros materiais em pó - determinação da massa específica*. 2000.
- ____ *NBR 5751 - Materiais pozolânicos - determinação de atividade pozolânica - índice de atividade pozolânica com a cal*. 1992.
- ____ *NBR 5752. Materiais pozolânicos - determinação de atividade pozolânica com cimento Portland - Índice de atividade pozolânica com o cimento*. 1992
- ____ *NBR 7215 - Cimento Portland - determinação da resistência à compressão*. 1996.
- ____ *NBR 10004 - Resíduos Sólidos - classificação*. Rio de Janeiro. 2004.
- ____ *NBR 12653 - Materiais pozolânicos*. 1992.
- ____ *NBR 12826 - Cimento Portland e outros materiais em pó - determinação do índice de finura por meio de peneirador aerodinâmico - método de ensaio*. 1993.
- ALVES, J. O. *Processo de reciclagem da escória de aciaria e do resíduo de corte do granito visando à produção de lã mineral*. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto/REDEMAT, 2008. (Dissertação de Mestrado).
- BAAN, R. A., GROSSE, Y. Man-made mineral (vitreous) fibers: evaluations of cancer hazards by the IARC Monographs Programme. *Mutation research*, v.81, p. 43-58, 2004.
- BORGES, P. R. *Utilização de lã de vidro em fabricação de concreto*. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto/REDEMAT, 2007. (Dissertação de Mestrado).
- ISOVER, site www.isover.com.br/isover/sigi_residuos.htm, acesso em 08/04/2010.
- LUOTO, K., HOLOPAINEN, M., KANGAS, J., KALLIOKOSKI, P., SAVOLAINEN, K. Dissolution of short and long rockwool and glasswool fibers by macrophages in flowthrough cell culture. *Environ. Res. Sect. A* 78, 1998.
- PERUZZI, A. P. *Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento Portland modificada com látex e adição de sílica ativa*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2002. 96p. (Dissertação de Mestrado).
- ROCCA, A. C. et al. *Resíduos sólidos industriais*. 2ed. São Paulo: CETESB. 1993. 233p.
- SHISKIN, V. F. Increase in the operating efficiency of heating units using ceramic fibers and objects based on them. *Refractories and industrial ceramics*, v. 50. 2009.
- WILSON, R., LANGER, A. M., NOLAN R. P. A risk assessment for exposure to glass wool. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, v. 30, Issue 2, p. 96-10, October, 1999.

Artigo recebido em 05 de outubro de 2010. Aprovado em 05 de setembro de 2011.