

DESENVOLVIMENTO DE GEOPOLÍMEROS A PARTIR DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO COMO AGREGADO

Lucas Araújo¹ (llucasaraujoo@gmail.com), Rubia L. B. Meert¹ (rubia.meert@gmail.com), João A. Labrincha² (jal@ua.pt), Luciano Senff¹ (L.senff@ufsc.br)

1 Departamento de Engenharia da Mobilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville

2 Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica, Universidade de Aveiro, Portugal

RESUMO

Os resíduos sólidos da construção civil são produzidos em grandes volumes diariamente em todo o mundo. Achar uma aplicação ideal para esses rejeitos é de extrema valia tendo em vista as formas incorretas do descarte desses compostos. Os geopolímeros emergem como uma alternativa à utilização destes resíduos, devido as suas excelentes propriedades e aceitação a agregados inertes. Este trabalho tem como foco a produção de argamassa geopolimérica fazendo uso de resíduos de construção e demolição como agregado na mistura. Na produção do geopolímero, utilizou-se metacaulim como fonte de aluminossilicato e uma solução alcalina ativadora de hidróxido e silicato de sódio com proporções variáveis de silicato (em relação ao hidróxido) de 40, 45, 55 e 60% (este último para as duas formulações finais). O resíduo de construção e demolição foi introduzido parcialmente à mistura, substituindo gradativamente o agregado miúdo (0, 25, 50, 75 e 100% em massa). As amostras produzidas foram caracterizadas quanto a resistência à compressão, densidade aparente, absorção de água e porosidade aparente com 28 dias de cura. Os resultados da resistência à compressão das amostras com 100% RCD alcançou 14 MPa, enquanto a absorção de água e porosidade aparente permaneceram acima da formulação de referência (F1), onde há apenas agregado natural. Além disso, os resultados de densidade aparente permaneceram inferiores para a argamassa F1.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição; geopolímero; silicato de sódio.

DEVELOPMENT OF GEOPOLYMERS FROM CONSTRUCTION RESIDUE AS AGGREGATE

ABSTRACT

Solid waste from construction is produced in large volumes daily around the world. One ideal application for these wastes is extremely valuable in view of the incorrect ways of disposing of these compounds. Geopolymers emerge as an alternative to use of these wastes due to their excellent properties and acceptance to inert aggregates. This work will focus on the production of geopolymeric mortar making use of construction and demolition waste as aggregate in the mixture. In the production of the geopolymer, metakaolin was used as an aluminosilicate source and an alkaline solution for the activation of sodium hydroxide and silicate with variable proportions of silicate (in relation to the hydroxide) of 40, 45, 55 and 60% (the latter for the two final formulations). The build-up and demolition residue was partially introduced into the mixture, gradually replacing the sand (0, 25, 50, 75 and 100% wt%). The samples produced were characterized for compressive strength, apparent density, water absorption and apparent porosity with 28 days. The compressive results of samples with 100% RCD reached 14 MPa, while the water absorption and apparent porosity remained above the reference formulation (F1), where there is only natural aggregate. In addition, the apparent density results remained lower to the F1 mortar.

Keywords: Construction and demolition waste; Geopolymer; Sodium silicate.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos os geopolímeros vêm ganhando destaque a nível mundial devido a menor quantidade de dióxido de carbono (CO_2) produzido em relação ao cimento Portland. Além disso, os geopolímeros apresentam diversas vantagens técnicas, como resistência à alta temperatura, produção de baixo custo e baixo impacto ambiental (FELIZARDO et al., 2016). Os geopolímeros, introduzidos por Davidovits como polímeros inorgânicos, resultam de um processo denominado de polimerização e para que esse processo ocorra é necessário o uso de matérias primas ricas em alumina e sílica e de uma solução altamente alcalina como fonte ativadora (DAVIDOVITS, 1982). Sendo assim, esses componentes se apresentam como materiais alternativos aos concretos e argamassas tradicionais produzidos na construção civil.

Outra grande vantagem dos geopolímeros é a possibilidade da introdução de resíduos sólidos em sua formulação. Isso ocorre em prol de aspectos positivos à sua aplicação ou simplesmente, buscando utilizá-los sem causar efeitos negativos à aplicação desejada. A utilização destes resíduos é extremamente vantajosa e sustentável, pois este processo garante uma reutilização mais eficiente destas matérias primas que muitas vezes são descartadas de forma incorreta na natureza, causando impacto indesejável ao meio ambiente.

Segundo Cabral (2007), a indústria da construção civil é a maior consumidora de recursos naturais do planeta, consumindo cerca de 20 a 50% de recursos naturais em todo o mundo. Ainda segundo o autor, apenas no Brasil é gerado, em média, 0,52 tonelada de Resíduos da Construção Civil e Demolição (RCD) por habitante por ano, sendo que estes representam de 34% a 70% da massa total dos resíduos sólidos urbanos produzidos nas cidades. Dessa forma fica evidente a urgência de ações visando a diminuição da produção destes resíduos. Uma dessas saídas é justamente a sua reutilização eficiente, ponto crucial a ser buscado neste trabalho.

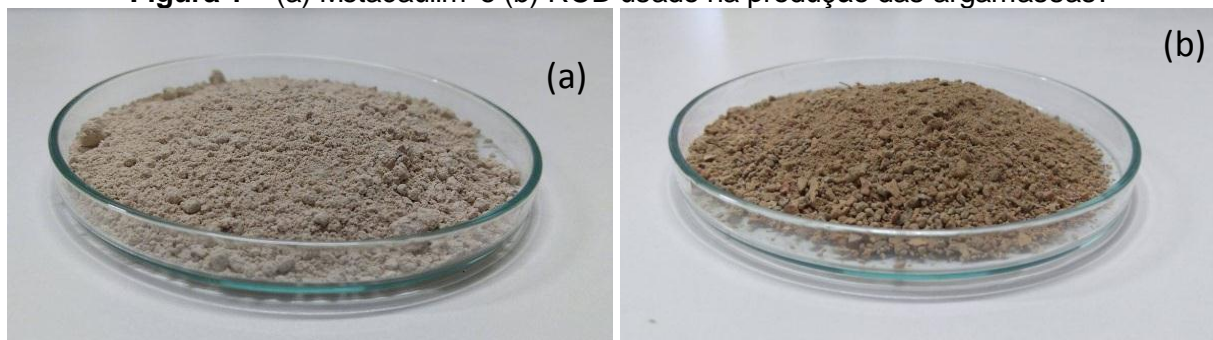
2. OBJETIVO

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo o desenvolvimento de argamassas geopoliméricas com emprego de Resíduos da Construção Civil e Demolição (RCD) visando à aplicação como blocos de revestimento. O RCD empregado é um resíduo misto contendo fragmentos de tijolos, concreto, argamassa entre outros. Teores distintos (0, 25, 50, 75 e 100% em massa) foram utilizados em substituição do agregado mineral (areia). O metacaulim foi utilizado como fonte de aluminossilicatos, enquanto a mistura de hidróxido de sódio (NaOH) com silicato de sódio (Na_2SiO_3) como fonte alcalina ativadora.

3. METODOLOGIA

Para a produção dos corpos de prova foi utilizado um metacaulim comercial (Metacaulim Brasil), com o nome Metacaulim HP Ultra (Figura 1), material obtido a partir do processo de calcinação do caulim. Além do metacaulim, foi utilizado também o hidróxido e silicato de sódio (NaOH e Na_2SiO_3) com proporções variáveis de silicato (em relação ao hidróxido) de 40, 45, 55 e 60%. O NaOH utilizado (Buschle & Lepper S/A), foi diluído em água visando uma solução alcalina de 10 M. O mesmo foi misturado com um silicato de sódio (Neutro Q-79, Buschle & Lepper S.A), formando a solução ativadora. As especificações técnicas do hidróxido e silicato de sódio estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Figura 1 – (a) Metacaulim e (b) RCD usado na produção das argamassas.



Fonte: Autoral, 2017.

Tabela 1 – Características do hidróxido de sódio.

Determinação	Especificação
Concentração (NaOH) (%)	97,0 - 100
Cloretos (NaCl) (%)	Máx. 0,03
Carbonatos (Na ₂ CO ₃) (%)	Máx. 0,60
Ferro (Fe) (ppm)	Máx. 0,60
Desnsidade (g/cm ³)	2,13 - 2,20
Aspecto visual	Escamas

Fonte: Departamento Técnico – Buschle & Lepper S/A, 2017.

Tabela 2 – Características do silicato de sódio.

Determinação	Especificação
Desnsidade a 25°C (g/cm ³)	1,390 - 1,420
Viscosidade (cP)	250 - 500
Óxido de sódio (%)	8,50 - 9,20
Óxido de silício (%)	27,80 - 30,50
Sólidos totais (%)	37,00 - 39,00
Relação (SiO ₂)/(Na ₂ O)	3,02 - 3,59
Água (%)	61,00 - 63,00

Fonte: Departamento Técnico – Buschle & Lepper S/A, 2017.

O RCD fornecido pela empresa Vitacilio S.A – Logística Reversa é composto por fragmentos de tijolo, argamassa, concreto, madeira e isopor. A fim de manter sua granulometria o mais próximo possível da areia, todo resíduo não-passante na peneira 2,36 mm foi descartado (Figura 1b). Segue abaixo a composição química do metacaulim e o do RCD, determinada por fluorescência de raio-X (Tabela 3 e 4). Vale destacar o alto teor de sílica e alumina presente no metacaulim e no RCD.

Tabela 3 – Composição química do metacaulim.

METACAULIM										
Óxidos	Al ₂ O ₃	CaO	F ₂ O ₃	K ₂ O	Mgn	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₆	SiO ₂	TiO ₂
Teor (%)	32,6	0,08	2,26	2,13	0,59	<0,05	<0,05	0,06	57,12	1,51
Perda ao Fogo	2,62%									
Área específica	32700 m ² /kg									

Fonte: Autoral, 2017.

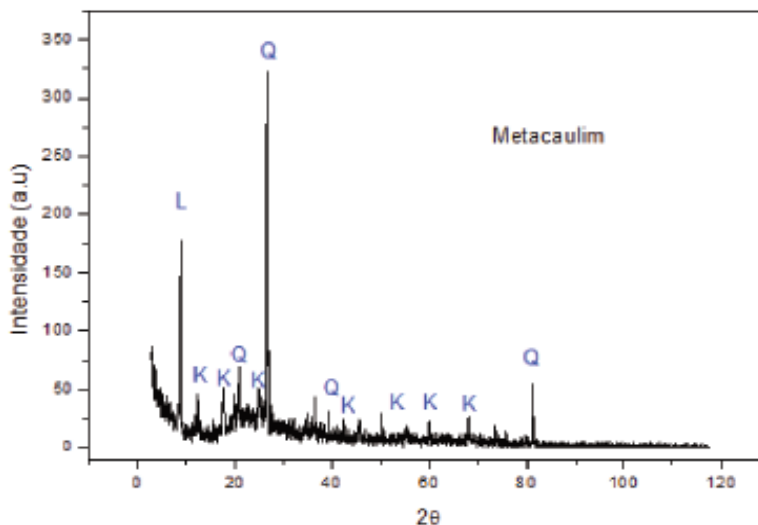
Tabela 4 – Composição química do RCD.

RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO DE DEMOLIÇÃO										
Óxidos	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	SO ₃
Teor (%)	15,79	11,85	5,80	2,20	1,65	0,06	0,33	0,17	53,28	1,11
Perda ao fogo (%)	6,02									

Fonte: Autoral, 2017.

Outro resultado de grande relevância obtido pela difração de raio-X é a cristalinidade dos componentes do metacaulim. Foram identificadas fases cristalinas de caulinita (K), quartzo (Q) e mica (L) (Figura 2).

Figura 2 – Difração de raios-X do Metacaulim.



Fonte: Núcleo de Pesquisas CERMAT, 2015.

A formulação de referência (F1) foi feita a partir de uma relação metacaulim:areia de 1:2 (em massa) e relação sólido/líquido de 1,7 (Tabela 5). Os valores de massa foram determinados seguindo os parâmetros teóricos de Davidovits (Tabela 6) de modo a evitar o surgimento de eflorescência (depósitos cristalinos de cor branca que surgem na superfície do corpo de prova, resultantes da evaporação da solução alcalina).

Tabela 5 – Formulação da amostra de referência.

Nome	S/L	Traço	Areia (g)	Resíduo (g)	Metacaulim (g)	Solução (g)	Silicato (g)
F1	1,7	1:2	333,33	0	166,67	79,06	64,1

Fonte: Autoral, 2017.

Tabela 6 - Parâmetros teóricos de Davidovits.

3,3	< $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ <	4,5
0,8	< $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ <	1,6
0,2	< $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ <	0,48
10	< $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ <	25

Fonte: Autoral, 2017.

As relações (ou parâmetros) alcançados pela amostra de referência estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros teóricos da amostra de referência.

Formulação	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$	$\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$
F1	3,54	0,79	0,22	12,89

Fonte: Autoral, 2017.

Na primeira etapa de preparação das amostras, foi realizada a mistura do hidróxido de sódio com o silicato de sódio no agitador magnético. Em seguida, foram misturados num misturador mecânico o metacaulim com os ativadores (NaOH e Na_2SiO_3) por 10 minutos. Terminados os 10 minutos de mistura, adicionou-se o agregado miúdo (areia/resíduo) por mais 2 minutos, finalizando a argamassa. A mistura foi colocada em moldes cilíndricos com 27 mm de diâmetro e 54 mm de altura. Na sequência, as amostras mantiveram-se por 24 h no interior de uma estufa a 40°C. Após esse período, as mesmas foram desmoldadas e expostas a temperatura e umidade ambiente até finalizar o processo de cura (28 dias).

As formulações foram testadas com valores distintos de silicato de sódio, conforme mostrado na Tabela 8, de modo a compensar a perda da fluidez causada pela presença do RCD. Desta forma, evitou-se o uso adicional de água para além daquela usada nos ativadores para o ajuste do espalhamento.

Os espalhamentos na mesa (220 mm \pm 15 mm) foram definidos através do flow-table test, seguindo a NBR 13276 (ABNT, 2002), enquanto que a resistência à compressão e as propriedades físicas (densidade aparente, absorção de água e porosidade aparente), seguindo a metodologia definida na NBR 7215 (ABNT, 1996) e a adotada por Hartmann (2016) respectivamente, foram definidas aos 28 dias de cura.

Tabela 8 - Formulações das argamassas geopoliméricas.

Nome	S/L	Traço	Areia (g)	Resíduo (g)	Metacaulim (g)	Solução (g)	Silicato (g)
F1	1,7	1:2	333,33	0	166,67	79,06	64,1
F2	1,58	1:2	250	83,33	166,67	77,98	77,59
F3	1,48	1:2	166,67	166,67	166,67	68,11	101,24
F4	1,35	1:2	83,33	250	166,67	66,37	121,08
F5	1,25	1:2	0	333,33	166,67	71,68	130,76

Fonte: Autoral, 2017.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Flow Table test – Teste de consistência

Em geral, a presença do RCD afetou significativamente a trabalhabilidade das amostras. Este fato está atribuído a característica mais porosa dos resíduos e formato mais anguloso das partículas quando comparadas com as de areia substituída. Porém, o uso de teores distintos de silicato facilmente permitiu o ajuste da fluidez e a manutenção constante do espalhamento.

Tabela 9 – Abertura do teste de consistência.

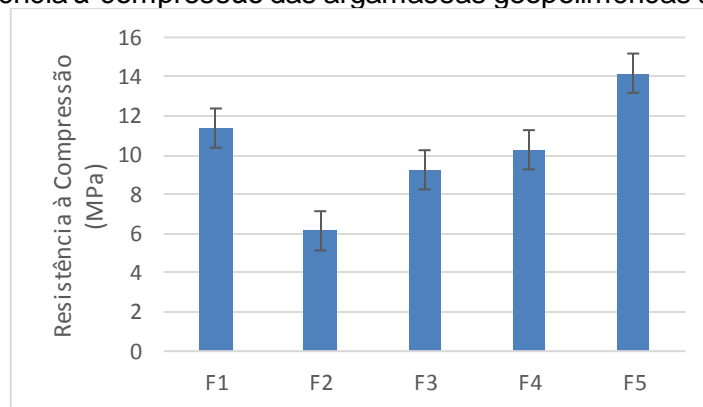
Nome	Abertura (mm)
F1	207
F2	220
F3	222
F4	212
F5	212

Fonte: Autoral, 2017.

4.2. Resistência a compressão

A Figura 3 apresenta os resultados de resistência à compressão das argamassas geopoliméricas aos 28 dias de cura. Em geral, apresentaram comportamento distintos dependendo dos teores de RCDs e de silicato. A formulação F5 foi a que mostrou o melhor desempenho, inclusive superior a amostra de referência, certamente indicando que a presença do silicato de sódio sobrepôs eventuais efeitos negativos causados pela presença dos resíduos.

Figura 3 – Resistência à compressão das argamassas geopoliméricas aos 28 dias de cura.

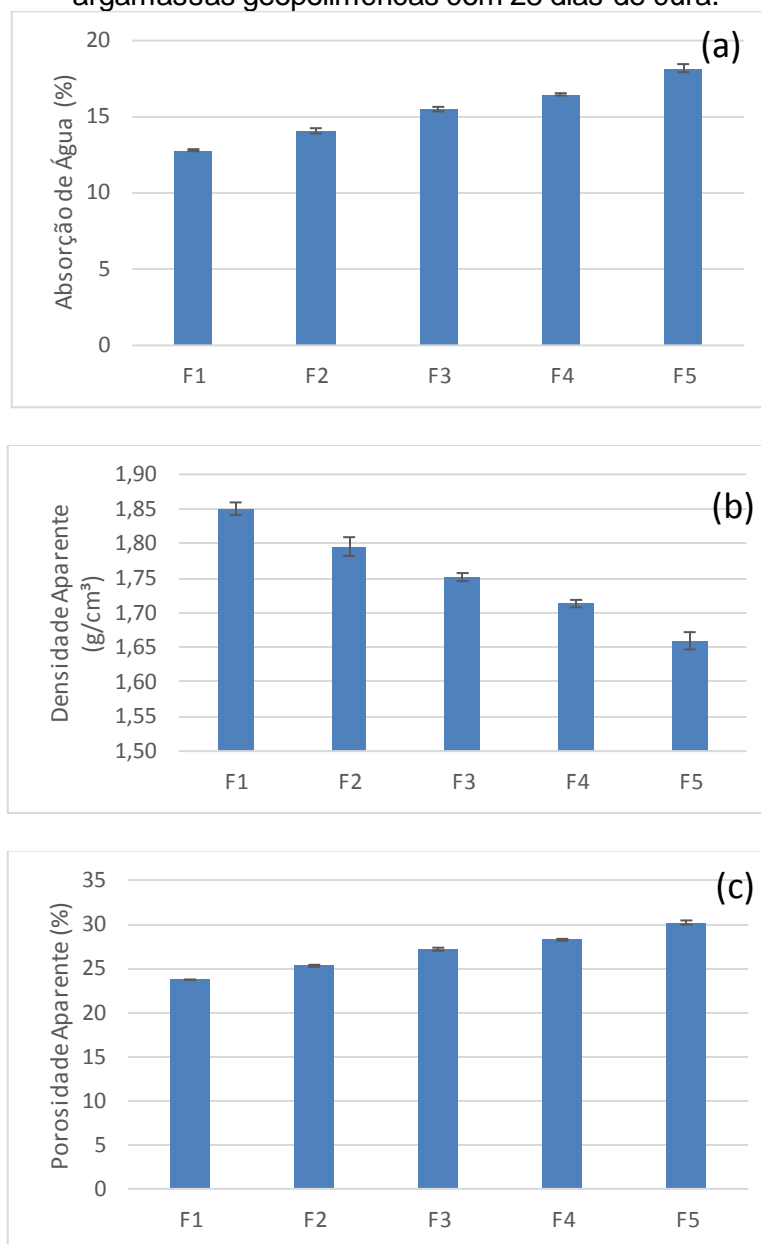


Fonte: Autoral, 2017.

4.3. Absorção de água, densidade e porosidade aparente das argamassas geopoliméricas

Os resultados da absorção de água, da densidade e da porosidade aparente das argamassas com 28 dias de cura são indicados na Figura 4. Analisando os gráficos é possível observar uma certa linearidade no comportamento das amostras. Visto que o resíduo é um material leve, as formulações com maiores proporções de RCD apresentam menor densidade aparente. Além disso, o resíduo requer maior quantidade de água para manter sua fluidez, fazendo aumentar a porosidade aparente e absorção de água das amostras curadas.

Figura 4 - (a) Absorção de água, (b) Densidade aparente e (c) Porosidade aparente das argamassas geopoliméricas com 28 dias de cura.



Fonte: Autoral, 2017.

5. CONCLUSÃO

Através deste trabalho experimental, foram produzidas argamassas geopoliméricas usando teores distintos de RCD. Manipulando a quantidade de silicato de sódio foi possível ajustar o espalhamento das misturas na mesa evitando a necessidade de adição extra de água na mistura. A resistência à compressão alcançou 14 Mpa na formulação F5, sendo superior as demais amostras, indicando a importância da correta proporção entre RCD e de silicato. O RCD incrementa a porosidade dos corpos tornando menos denso. Devido a adição do silicato, a resistência no corpo de prova com 100% de RCD é alta. Logo, com a junção destas propriedades, a amostra F5 pode ser considerado ideal à aplicação em blocos de revestimento.

Portanto, de forma geral, ficou evidente a possibilidade da utilização do RCD em argamassas geopoliméricas, valorizando estes rejeitos frente a minimização dos impactos ambientais que esta aplicação acarreta.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007. 280 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007.

DAVIDOVITS, J. **INORGANIC POLYMERS AND METHODS OF MAKING THEM**. US Patent 4349386 (1982).

FELIZARDO, Vanderlei et al. Desenvolvimento de geopolímeros de baixa condutividade térmica. **Revista Matéria**, Cocal do Sul, v. 21, n. 2, p.429-436, 2016.

HARTMANN, Eduardo André. **ARGAMASSA GEOPOLIMÉRICA UTILIZANDO PÓ DE ALUMÍNIO COMO AGENTE FORMADOR DE POROS**. 2016. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

SCHACKOW, Adilson. **Efeito das características pozolânicas de rejeitos de tijolos nas propriedades de argamassas schackow**. 2015. 287 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Udesc, Joinville, 2015.