

ESTUDO DE PASTAS DE CIMENTO PORTLAND COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL POR GEOPOLÍMERO PARA IMOBILIZAR CORANTE TÊXTIL

P. H. Apolonio, T. S. Bertulino, E. P. Marinho, A. C. Nóbrega, F. A. Santos
Universidade Federal de Pernambuco – Centro Acadêmico do Agreste
Rodovia BR-104, Km 59, s/n - Nova Caruaru, Caruaru - PE, CEP: 55002-970
apolonio.priscila@gmail.com

RESUMO

A pasta de cimento Portland foi substituída parcialmente em 20% por geopolímero à base de metacaulim. Os resultados de resistência à compressão das pastas de cimento Portland (23,8 MPa), e suas misturas com corante têxtil a 1% (18,6 MPa) e 5% (0 MPa) sugerem que a presença de corante interfere na formação dos produtos de hidratação responsável pelo desempenho do cimento, verificando o não endurecimento a 5% do corante. A substituição de 20% de pasta por geopolímero a 1% (20,8 MPa) e 5% (13,9 MPa) também apresentam redução de desempenho, entretanto menor do que a pasta de referência. Sobre os resultados de FTIR as bandas de absorção característica da formação de geopolímero foram identificadas em 1009-1001 cm^{-1} , as bandas de CSH e etringita foram observadas em 440-3446 cm^{-1} . O sistema mais eficiente para imobilização do corante, segundo ensaio de lixiviação foi à pasta com geopolímero a 1% com retenção de 99,86%.

Palavras-chave: cimento, geopolímero, corante.

INTRODUÇÃO

O material aluminossilicato geopolimérico é um tipo de polímero reticulado de cadeia longa entre unidades tetraédricas de AlO_4 e SiO_4 (1) surgiu no final da década de 80 como uma nova classe de material (2). O desenvolvimento de materiais com reações alcalinas ativadoras, remota da década de 50, quando Glukhovsky, utilizou escória e álcalis de cimento à base de resíduo (3). Foi, então, amplamente investigado a partir da década de 70 por Joseph Davidovits, e assim nomeado por se assemelhar a estrutura de um polímero inorgânico (4).

Em termos materiais, a aspiração desejável corresponde à junção custo-benefício, durabilidade e sustentabilidade. Sabendo que a indústria cimenteira é responsável por 5% de toda emissão de CO₂ (5), a busca de materiais que possam substituir parcial ou totalmente seu uso se faz latente. Ainda, segundo Schneider et al. (6) são produzidos mundialmente aproximadamente 2,8 bilhões de toneladas ano de cimento, tendo uma expectativa de aumento para 4 bilhões de toneladas ano, conseqüentemente o aumento da emissão de CO₂. Por outro lado, o geopolímero ainda é um sistema de precursores de alto custo, assim a proposta da substituição parcial.

O geopolímero funciona como um cimento verde, alinhando, ainda, sua capacidade de imobilização de metais pesados por retê-los em sua estrutura por combinação química, ligação eletrostática e encapsulamento físico (7).

Há uma geração de 175 mil ton/ano de resíduo têxtil no Brasil, segundo ABIT (8). O corante têxtil causa impactos ambientais, principalmente aos efluentes deve aos contaminantes presentes em sua composição. Os corantes afetam o ambiente no qual eles são descartados e são tóxicos para vários seres vivos. Os efluentes de corantes são de difícil tratamento, grande volume e são compostos químicos orgânicos e inorgânicos de efeitos tóxicos e cancerígenos. A remoção destes corantes têxtis da água residual é um desafio devido à complexidade química destes compostos. As técnicas tradicionais incluem uma combinação de métodos biológicos, químicos e físicos, que são de cara implementação e manutenção (9, 10).

Nesse cenário, o presente trabalho vislumbra a substituição parcial do cimento Portland por geopolímero para imobilização dos contaminantes do corante têxtil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para obtenção do aglomerante geopolimérico, a fonte de alumíniosilicato empregada foi o metacaulim. A solução ativadora foi preparada através de uma solução aquosa de hidróxido de sódio (12 M) e solução de silicato de sódio comercial com uma proporção de massa molar em 4. Esta solução foi vedada para evitar a reação com o CO₂ da atmosfera e, em seguida, armazenada durante pelo

menos 24 h à temperatura ambiente antes da utilização para permitir a dissolução completa da sílica.

A produção da pasta foi realizada com cimento Portland CP II Z 32, tendo $R_{\text{água/aglomerante}}$ de 0,4. A produção do composto teve proporções fixas de 80% de pasta de cimento e 20% de geopolímero, variando apenas o percentual de corante têxtil, de base inorgânica na cor azul marinho, em 1% e 5% adicionado sobre o volume do composto, conforme é descrito na Tabela 1.

Tabela 1 Proporções dos materiais para produção do geopolímero

Pasta Geopolimérica	Pasta de Cimento Portland	Geopolímero	% de corante	$R_{\text{água/aglomerante}}$
GP 0	80%	20%	0	0,40
GP 1	80%	20%	1	0,40
GP 5	80%	20%	5	0,40

Para homogeneização da pasta geopolimérica utilizou-se misturador mecânico no período de 5 minutos em rotação crescente até atingir 500 rpm, concomitantemente o mesmo processo para homogeneização da pasta de cimento Portland. Após a mistura da pasta cimento Portland com a geopolimérica moldam-se os corpos de prova cilíndricos de dimensões 25x50 mm, posteriormente selados com filme fino de polietileno. Após 24h os corpos de prova foram desmoldados e colocados em embalagens para condição de cura seca à pressão atmosférica e em temperatura ambiente.

Os ensaios realizados foram: resistência à compressão mecânica (NBR 7215/96), em uma prensa hidráulica manual da marca Solotest de referência 1509230; lixiviação (NBR 10.005/87), com agitador rotativo para não volátil (TECNAL) e leitura do extrato lixiviado em espectroscópio ICP-OES, da marca Perkin Elmer, 700 DV; e, FTIR 1750, PERKIN-ELMER, utilizando a faixa de 4000 a 400 cm^{-1} ganho 1, resolução 4 cm^{-1} , 40 varreduras. Todas as propriedades foram caracterizadas aos 7 e 28 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

O ensaio FTIR foi utilizado para identificar as possíveis interações da composição química no processo de reação de geopolimerização através da frequência de absorção e sua vibração específica, conforme descrito em (11) e (12).

De uma forma geral, os picos próximos à banda de 950 cm^{-1} comprovam o potencial reativo das amostras devido à relação de alumina (11). No que diz respeito a pasta de cimento Portland, a banda entre $3440\text{-}3446\text{ cm}^{-1}$ está associada à O-H, presente nas fases de C-S-H, monossulfoaluminato e/ou etringita. Já as bandas entre 1675 cm^{-1} e 1640 cm^{-1} referem-se à fase etringita. Ainda, Si-O, Si-O-Si, Si-O-Al correspondem à 1116 , 1029 e 1014 cm^{-1} ; para Si-O em termos de fase amorfa, 1080 cm^{-1} ; Al-O e Si-O, respectivamente, estão associados a 694 e 759 cm^{-1} (14).

Na figura 1 podem ser vistos os espectros de FTIR para os compostos de pasta de cimento com 20% de geopolímero (figura 1a) e apenas a pasta de cimento (figura 1b). São observados a geopolimerização nos picos 1009 e 1001 cm^{-1} , sistemas "Geo+Pasta". Ainda, no sistema formado apenas pela pasta de cimento observam-se picos abaixo 877 cm^{-1} , que são correspondentes aos picos de óxidos de silício e aluminato (14).

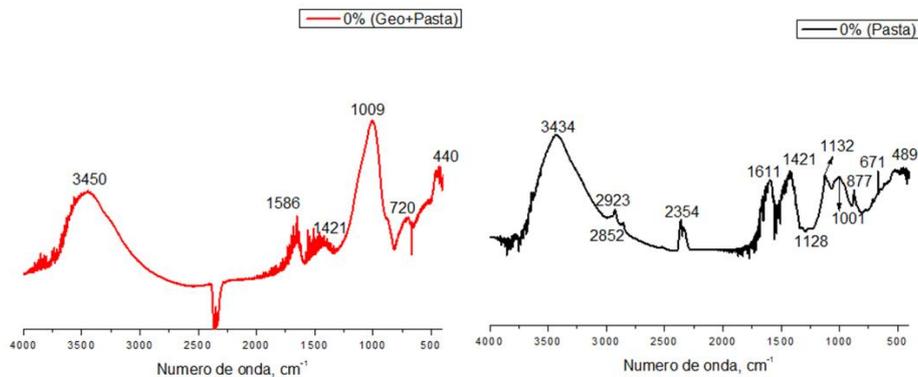


Figura 1 FTIR dos compostos aos 7 dias com 0% de corante, para a)Geo+Pasta e b)Pasta

Na figura 2 são apresentados os espectros de FTIR para os compostos de pasta de cimento com 20% de geopolímero (figura 2a) e apenas a pasta de cimento (figura 2b) quando da incorporação de 1% de corante têxtil ao sistema. Nesses casos, foram verificadas as mesmas conclusões da figura 1 com picos próximos a faixa de 1009 e 1001 cm^{-1} .

Na figura 3 são apresentados os espectros de FTIR para os compostos de pasta de cimento com 20% de geopolímero (figura 2a) e apenas a pasta de cimento

(figura 2b) quando da incorporação de 5% de corante têxtil ao sistema. Diferentemente do sistema sem corante ou com a incorporação de 1% de corante, não foram identificados picos característicos do processo de geopolimerização para os sistemas com 5% de corante. Tem-se assim, uma verificação da ação do corante têxtil no processo de hidratação do cimento (14).

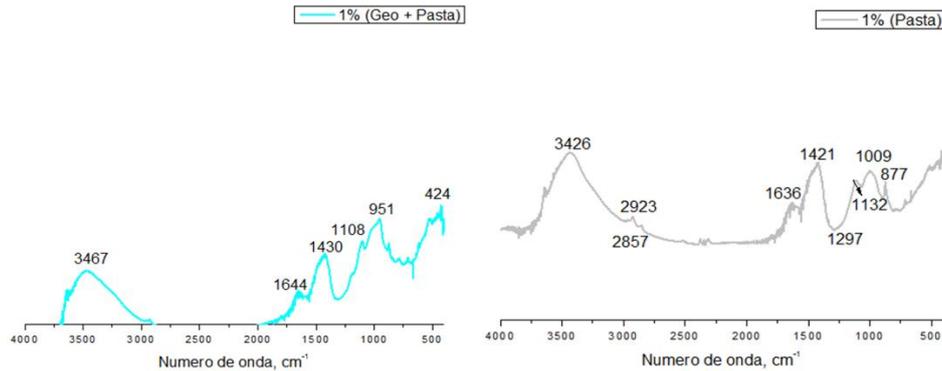


Figura 2 FTIR dos compostos aos 7 dias com 1% de corante, para a)Geo+Pasta e b)Pasta

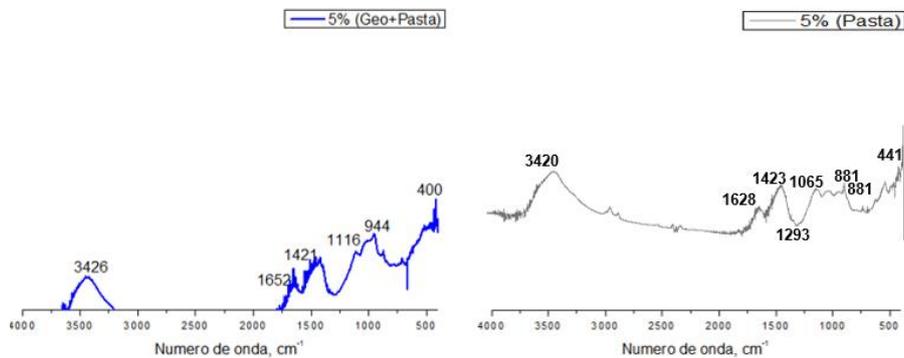


Figura 3 FTIR dos compostos aos 7 dias com 5% de corante, para a)Geo+Pasta e b)Pasta

As figuras 4 (sistemas pasta de cimento e pasta de cimento com substituição parcial de 20% por geopolímero com 0% de corante têxtil), 5 (idem com 1% de corante têxtil) e 6 (idem com 5% de corante têxtil) referem-se a análise de FTIR aos 28 dias, observado a ausência dos picos entre 3640 – 3446 cm^{-1} correspondentes ao hidróxido de cálcio, e interferência na formação do pico característico de C-S-H na Pasta de Cimento Portland e Geopolímero acrescidos de 5% de corante têxtil para faixa de 3440 – 3446 cm^{-1} (15).

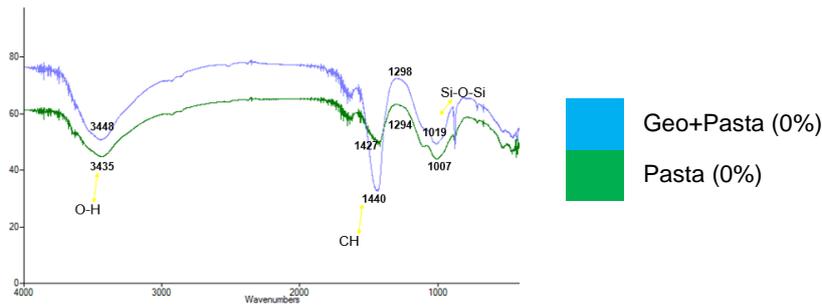


Figura 4 FTIR dos compostos aos 28 dias com 0% de corante

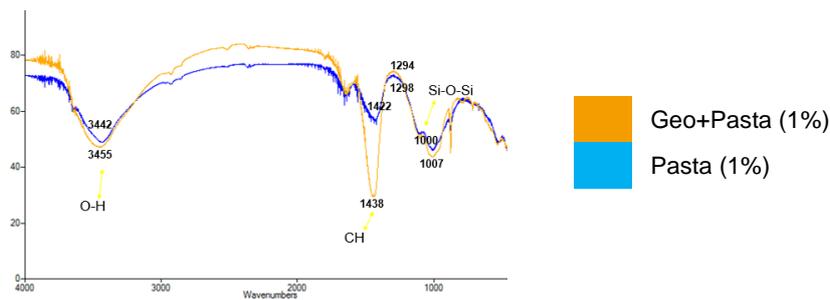


Figura 5 FTIR dos compostos aos 28 dias com 1% de corante

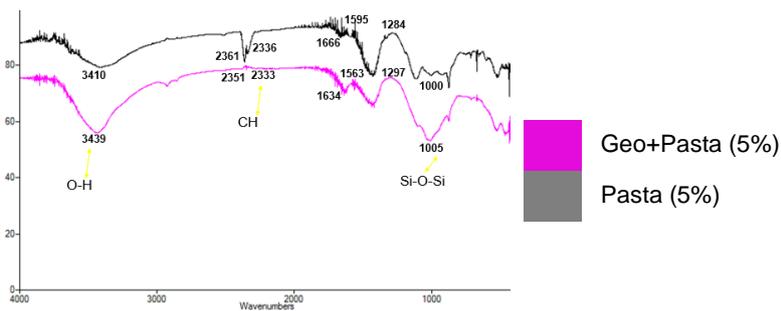


Figura 6 FTIR dos componentes aos 28 dias com 5% de corante

Ensaio de lixiviação

O ensaio de lixiviação revelar o potencial impacto ambiental do resíduo estudado, e ainda o poder de retenção do composto. Assim foi observado nas leituras nos horários de 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24h após o contato do sistema com o fluido, bem como a perda de massa média, e análise do extrato lixiviado por espectroscópio.

A perda de massa após 7 e 28 dias encontra-se expostas nos gráficos 1 pode ser confirmada a capacidade de retenção do composto geopolimérico, o qual obteve melhores resultados mesmo para o maior percentual de corante têxtil. A pasta produzida com geopolímero obtiveram resultados satisfatórios quanto à retenção do corante têxtil, visto que aos 28 dias a Pasta produzida com Geopolímero e adição de 1% de corante retiveram 74,07% comparado com a Pasta e adição de 1%.

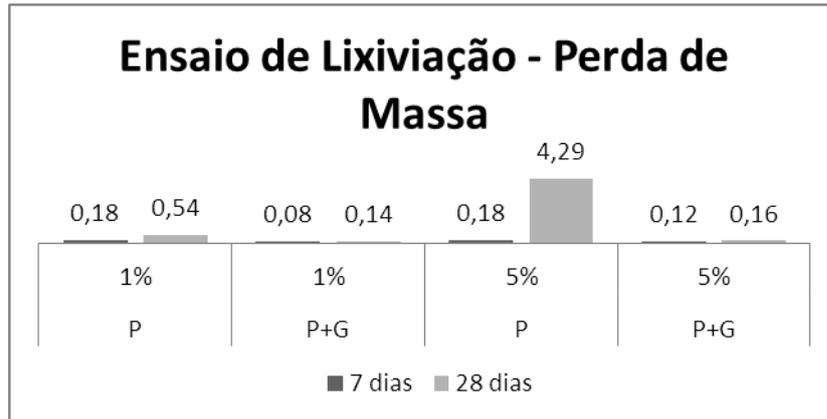


Gráfico 1 Perda de massa (%) da Pasta e Pasta+Geopolímero

Ensaio de resistência à compressão

Os resultados da resistência à compressão comprovam a interferência do corante têxtil na cinética das reações; foi também verificado, durante os ensaios, retardo no endurecimento quando utilizado o percentual de 5% de corante têxtil. No entanto, ressalta-se que esse fenômeno foi atenuado com a presença do geopolímero no sistema. Portanto, a presença parcial do geopolímero no sistema cimentício minimiza o efeito deletério da presença do corante têxtil nas reações de hidratação do sistema. Assim, em termos de resistência à compressão a presença do geopolímero nas pastas manteve as resistências em patamares comparáveis às pastas de cimento aos 7 e 28 sem corante e com 1% de corante. No caso da incorporação de 5% de corante têxtil, o sistema com incorporação do geopolímero apresentou resistências médias de 16,7 e 13,9 MPa aos 7 e 28 dias, respectivamente, não houve endurecimento em ambos os casos para as pastas de cimento Portland. Assim, para Pasta com adição de corante houve redução da resistência à compressão comparada com a Pasta de Referência. Contudo, a redução da resistência provocada pelo corante foi minimizada quando produzida a Pasta com Geopolímero, conferindo endurecimento e uma redução em apenas 7,56% em relação à Pasta de Referência. As tabelas 2 e 3 descrevem a média, o desvio e o coeficiente de variância obtida para as pastas de cimento e pastas de cimento incorporadas com Geopolímero.

	P - 0%		P - 1%		P - 5%	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
Média	20,5	23,8	21,5	18,6	-	-

Desvio	0,42	0,36	0,34	0,41	-	-
CV	20,62%	14,99%	15,94%	22,08%	-	-

Tabela 2 Resultado à compressão

	P+G - 0%		P+G - 1%		P+G - 5%	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
Média	17,8	22,0	17,8	20,8	16,7	13,9
Desvio	0,52	0,19	0,12	0,30	0,39	0,28
CV	29,02%	8,60%	6,77%	14,20%	23,03%	20,15%

Tabela 3 Resultado à compressão

CONCLUSÃO

A pasta de cimento Portland produzida com a incorporação de 20% de geopolímero foi mais eficiente que a pasta de cimento Portland em termos de perda de massa por lixiviação, bem como na manutenção dos patamares de resistência, inclusive com a incorporação de 5% de corante têxtil; uma vez que a incorporação de 5% de corante foi deletéria no sistema de cimento Portland sem a incorporação de geopolímero. No ensaio de FTIR foi constatado a geopolimerização, contribuindo para mitigar os efeitos causados na reação com o corante têxtil.

REFERÊNCIAS

- (1) XU, M. X. et al. Preparation and characterization of a self-supporting inorganic membrane based on metakaolin-based geopolymers. **Applied Clay Science** **115**, 2015. 254-259.
- (2) TCHAKOUTÉ, H. K. et al. Synthesis of sodium waterglass from white rice husk ash as an activator to produce metakaolin-based geopolymer cements. **Journal of Building Engineering**, v. 6, p. 252-261, 2016.
- (3) POUHET, R.; CYR, M. Formulation and performance of flash metakaolin geopolymer concretes. **Constructon and building materials** **120**, 2016. 150-160.
- (4) DAVIDOVITS, J. Geopolymers: inorganic polymeric new materials. **Journal of Thermal Analysis**, v. 37, p. 1633-1656, 1991.
- (5) WBCS. Cement industry calls for long-term policy certainty as it aspires to reduce CO2 emissions by 20-25% by 2030. **WBCSD.ORG**, 2015. Disponível em:

<<http://www.wbcds.org/cement-industry-calls-for-long-term-policy-certainty-as-it-aspires-to-reduce-co.aspx>>. Acesso em: 15 Jan 2016.

(6) MATOS, A. M.; SOUZA, J. C. Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement. **Construction and Building Materials** **36**, 2012. 205-215.

(7) VAN JAARSVELD, J. G. S.; VAN DEVENTER, J. S. J.; SCHWARTZMAN, A. The Potential Use of Geopolymeric Materials to Immobilize Toxic Metals Part II. **Material and Leaching Characteristics, Minerals Engineering**, 1999. 75-91.

(8) PORTOGENTE, 2014. Disponível em: <<https://portogente.com.br/noticias/meio-ambiente/82179-os-impactos-ambientais-decorrentes-da-cadeia-produtiva-textil>>. Acesso em: 15 set. 2016.

(9) LONGHI, M. A. Álcali-ativação de lodo de caulim calcinado e cinza pesada com ativadores convencionais e silicato de sódio alternativo. 2015, 184p. **Dissertação de Mestrado** - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

(10) N. Abid, E. Errais, J. Duplay, A. Berez, A. Jrad, G. Schäfer, M. Ghazi, K. Semhi e M. Trabelsi-Ayadi, "Treatment of dye-containing effluent by natural clay," **Journal of Cleaner Production**, vol. 86, pp. 432-440, 2015.

(11) S. Rangabhashiyam, N. Anu e N. Selvaraju, "Sequestration of dye from textile industry wastewater using agricultural waste products as adsorbents," **Journal of Environmental Chemical Engineering**, vol. 1, p. 629–641, 2013.

(12) VASSALO, E. A. S. Obtenção de geopolímero a partir de metacaulim ativado. 2013, 104p. **Dissertação de Mestrado** - Programa de Pós Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

(13) OZER, I.; UZUNN, S. S. Relations between the structural characteristic and compressive strength in metakaolin based geopolymer with different molar Si/Al ratios. **Ceramics International** **4**, 2015. 10192–10198.

(14) GHARZOUNI, A.; SAMET, B.; BAKLOUTI, B.; JOUSSEIN, E.; ROSSIGNOL, S. Addition of low reactive clay into metakaolin-based geopolymer formulation: Synthesis, existence domains and properties. **Powder Technology** **288**, 2016. 212–220.

(15) SILVA, D. A.; ROMAN, H. R. Caracterização microestrutural de pastas de cimento aditivadas com polímeros HEC e EVA. **ANTAC**, 2011.

CEMENT PULP OF STUDY PORTLAND WITH PARTIAL REPLACEMENT FOR GEOPOLYMER TO IMMOBILIZE DYE CLOTH

ABSTRACT

The Portland cement paste was partly replaced by 20% metakaolin geopolymer. The compressive strength results from Portland cement pastes (23.8 MPa), its mixtures with 1% dye (18.6 MPa) and its mixtures with 5% (0 MPa) suggest that the presence of dye interferes with the formation the hydration products responsible for the performance of the cement, checking the non-hardening to 5% dye. The replacement of 20% paste by geopolymer 1% (20.8 MPa) and 5% (13.9 Mpa) also has reduced performance, but lower than the reference paste. In the results of the characteristic FTIR absorption bands of the geopolymer formation were identified in 1009-1001 cm⁻¹, bands of ettringite and the CSH were observed at 440-3446 cm⁻¹. The most effective system for immobilizing the dye according to the leaching test was geopolymer paste with 1% to 99.86% retention.

Keywords: cement, geopolymer, dye.