

## ANÁLISE DA ADERÊNCIA ENTRE COMPÓSITOS DE CIMENTO PORTLAND E GEOPOLIMÉRICO

Manuela Hoffmann Menger (1), Bruno do Vale Silva (2);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1) *manuela.hm@hotmail.com* (2) *dovalesilva@unesc.net*

### RESUMO

O grande avanço tecnológico e a preocupação com sustentabilidade e meio ambiente vêm promovendo a pesquisa para desenvolvimento de novos cimentos produzidos de várias matérias-primas diferentes. Dentro deste contexto, este trabalho buscou avaliar a interação entre os compósitos fabricados de cimento Portland e de geopolímero. Foram realizados ensaios de flexão à 3 pontos em corpos de prova prismáticos (4x4x16cm) para avaliar a aderência entre argamassas geopolimérica e convencional de cimento Portland. Além disso, foram realizados ensaios do tipo *shear test* em corpos de prova cilíndricos (Ø10x20cm) para avaliar a aderência entre concretos geopolimérico e de cimento Portland. Os resultados mostram que a eficiência da aderência entre as argamassas geopolimérica e convencional está diretamente correlacionada com a relação a/c e o tempo de moldagem da segunda camada. Quanto aos resultados do concreto, apresentaram ruptura na interface de ligação entre os dois materiais, com baixa resistência de aderência por falta de tratamento superficial na interface. Concluiu-se de uma maneira geral que os compósitos geopoliméricos se aderem perfeitamente aos compósitos de cimento Portland desde que respeitadas determinadas condições de superfície de ambos materiais.

*Palavras-Chave: aderência entre concretos e argamassas, geopolímero, shear test, cimento Portland.*

### 1. INTRODUÇÃO

O grande avanço tecnológico e a preocupação com sustentabilidade e meio ambiente, vem promovendo pesquisa para desenvolvimento de novos cimentos, produzidos de várias matérias primas diferentes, sem poluir tanto o meio ambiente e com consideráveis vantagens em relação às limitações do cimento Portland. “Tais limitações manifestam-se não só quanto aos problemas de caráter ambiental com peso considerável em termos da poluição de CO<sub>2</sub>, como também do ponto de vista do seu comportamento mecânico e desempenho face às condições químicas do meio envolvente.” (PINTO, 2006, p.2).

Com base em cimentos antigos, Glukhovskyc, citado por DAVIDOVITS (1988), desenvolveu um novo material que chamou de “solo-cimentos”, que apresenta uma

formação muito semelhante com à de muitos minerais e rochas que constituem a crosta terrestre. O termo “geopolímero” foi patenteado por Davidovits em 1976 nos Estados Unidos, para designar esses cimentos, que quando sofrem a ativação alcalina, passam por uma reação de hidratação de aluminos-silicatos.

Segundo NEMATOLLAHI (2014, p. 54), “o geopolímero é sintetizado a partir de materiais de origem geológica (por exemplo, metacaulim) ou sub-produtos industriais, tais como cinzas volantes e escórias que são ricos em sílica e alumina com ativadores alcalinos elevados.”

“Geopolímeros resultam em uma rede tridimensional de alumino-silicato, amorfo com estrutura semicristalina, e sua fórmula empírica pode ser descrita por  $Mn[-(SiO_2)_z-AlO_2]n \cdot nH_2O$ , onde  $z$  é 1, 2 ou 3,  $M$  é o cátion de metal alcalino e  $n$  é o grau de policondensação.” (PELISSER, 2013 apud DAVIDOVITS, 1991, p.1).

Esse material destaca-se por excelentes características, como “pequena retração na cura, baixa fluência, resistência excelente ao ataque de sulfatos, boa resistência aos ácidos” (RANGAN, 2010), “alcançam fácil e rapidamente valores de resistência mecânica, valores muito baixos de permeabilidade” (PINTO, 2004), e ainda “os materiais geopoliméricos permitem obter compósitos dotados de elevada flexibilidade conjuntamente com todas as outras propriedades” (PINTO, 2006). Após vários estudos, RANGAN (2010, p. 34) diz ainda que “as propriedades elásticas do concreto geopolimérico curado e o comportamento da resistência de peças estruturais de concreto geopolimérico são similares àqueles observados no concreto de cimento Portland”.

Diante disso, o presente trabalho buscou avaliar o desempenho à flexão, em corpos de prova prismáticos elaborados com uma camada composta de cimento Portland e outra composta de geopolímero à base de metacaulim, usando o hidróxido de sódio como ativador alcalino, tendo como referência corpos de prova moldados de argamassa geopolimérica e cimento Portland apenas, e como variável os diferentes tempos de aplicação das camadas. Foi avaliada ainda a aderência entre concretos, analisando a forma de ruptura e a resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos, compostos de concreto geopolimérico e concreto de cimento Portland.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental foi desenvolvido para avaliar o desempenho à flexão de um cimento geopolimérico à base de metacaulim em corpos de prova prismáticos, que foram compostos de cimento Portland e cimento geopolimérico simultaneamente, comparados a corpos de prova compostos apenas de geopolímero e de cimento Portland. Como variáveis foram adotados os períodos de moldagem, um moldado no mesmo momento, e outro moldando o geopolímero e 3 dias depois a parte de cimento Portland, e a relação a/c nas composições de cimento Portland. Além dos ensaios de flexão, foram realizados ensaios de compressão nas amostras prismáticas depois de rompidas à flexão, e ensaios de aderência concreto-concreto em corpos de prova cilíndricos para avaliar o uso desses materiais juntos.

### 2.1 Materiais e procedimentos de moldagem

Os moldes prismáticos para os ensaios à flexão foram moldados com argamassa geopolimérica e argamassa de cimento Portland, cujos traços são apresentados na Tabela 1, e as amostras para ensaio de aderência foram moldadas utilizando concreto. Na mistura de argamassa e no concreto de geopolímero foi utilizado metacaulim, usando como ativador alcalino o hidróxido de sódio e o silicato de sódio, este último da marca Sigma Aldrich com 63% de H<sub>2</sub>O, areia seca em estufa, peneirada e padronizada em laboratório, composta de três faixas granulométricas (#8, #16 e #30), compondo uma mistura em que a relação molar é apresentada na Tabela 2. Na argamassa e no concreto de cimento Portland foi utilizado cimento CP IV, areia padronizada em laboratório e aditivo plastificante. No caso dos concretos, além desses materiais há também o uso da brita 0 (D<sub>máx</sub>= 9,5 mm).

Tabela 1: Traços desenvolvidos nas argamassas.

Argamassa	Geopolimérica	Cimento Portland	Cimento Portland
<b>Traço</b>	1:1,2:5 (Metacaulim:Silicato:Areia)	1:5 (Cimento:Areia)	1:5 (Cimento:Areia)
<b>Relação a/agl.</b>	0,75	0,4	0,5

Fonte: Do Autor, 2015.

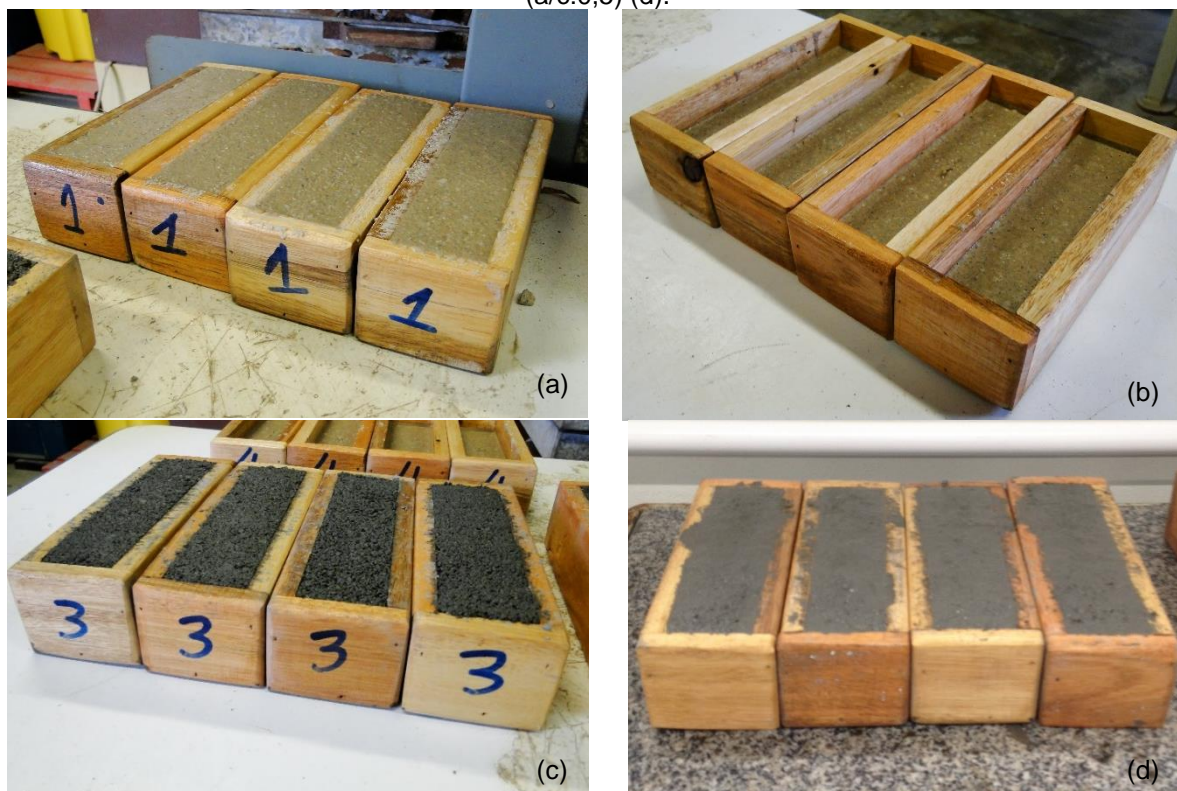
Tabela 2: Relação molar da mistura de geopolímero.

Composição	
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,2
Na <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,46
Na <sub>2</sub> O/SiO <sub>2</sub>	0,14
Na <sub>2</sub> OSiO <sub>2</sub> /NaOH	1,6
H <sub>2</sub> O/Metacaulim (g/g)	0,75

Fonte: Pelisser et al, 2013.

Para confecção dos corpos de prova prismáticos foram utilizadas formas de madeira de 4x4x16 cm (largura x altura x profundidade), moldando uma camada com 2 cm de espessura de argamassa de geopolímero e uma camada de 2 cm de argamassa de cimento Portland, conforme apresentado na Figura 1. A nomenclatura utilizada para apresentação dos resultados é mostrada na Tabela 3, bem como as tipologias de cada amostra.

Figura 1: Corpo de prova de geopolímero moldado (a); Moldagem da camada de geopolímero (b); Moldagem da camada de cimento Portland (a/c: 0,4) (c); Moldagem da camada de cimento Portland (a/c:0,5) (d).



Fonte: Do Autor, 2015.

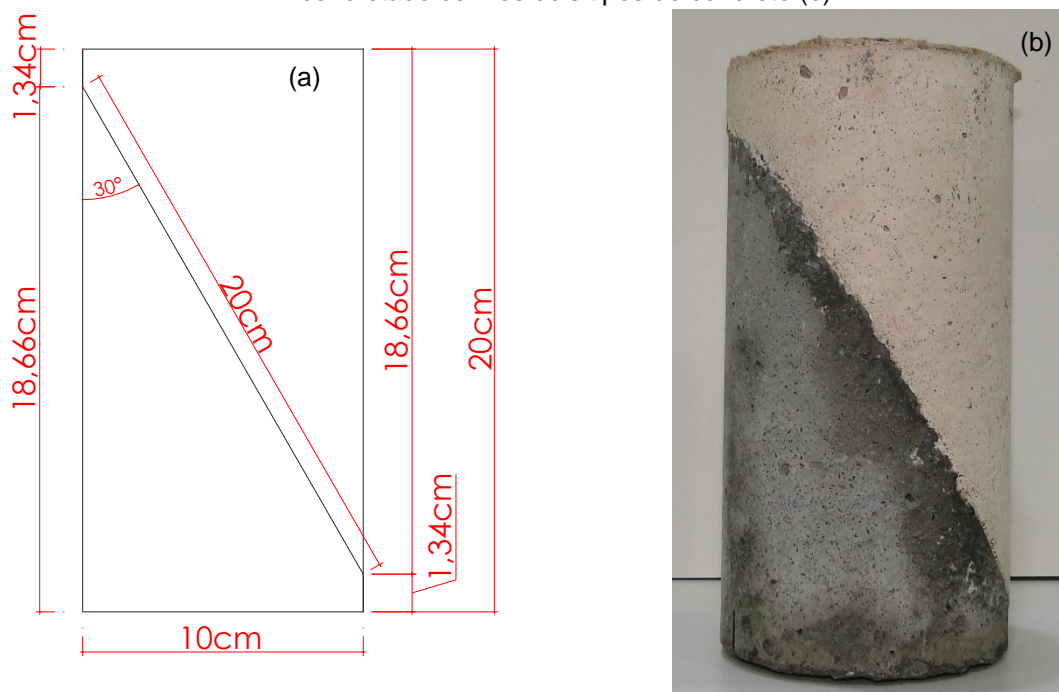
Tabela 3: Nomenclatura das amostras de protótipos de vigas.

Nomenclatura	Tipologia da amostra
<b>GR</b>	Geopolímero (G) Referência (R)
<b>CA</b>	Referência de Cimento (C) Portland com a/c de 0,4 (A)
<b>CB</b>	Referência de Cimento (C) Portland com a/c de 0,5 (B)
<b>GCA</b>	Geopolímero (G) com Cimento (C) Portland com a/c de 0,4 (A) moldados na mesma hora
<b>GCB</b>	Geopolímero (G) com Cimento (C) Portland com a/c de 0,5 (B) moldados na mesma hora
<b>GCA – 3</b>	Geopolímero (G) com Cimento (C) Portland com a/c de 0,4 (A), moldado o geopolímero e três (3) dias depois a argamassa de cimento.
<b>GCB – 3</b>	Geopolímero (G) com Cimento (C) Portland com a/c de 0,5 (B), moldado o geopolímero e três (3) dias depois a argamassa de cimento.

Fonte: Do Autor, 2015.

Para os ensaios de aderência de concreto de cimento Portland e concreto geopolimérico, foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm (diâmetro x altura). O procedimento de fabricação das amostras consistiu em moldar o corpo de prova de concreto de cimento Portland, e, depois de endurecido foram cortados transversalmente com um ângulo de 30° no centro do corpo de prova, conforme apresentado em croqui na Figura 2, seguindo as recomendações da ASTM C882/C882M (2013). Após isso, foram colocados novamente nos moldes e preenchidos com concreto geopolimérico, compondo uma amostra com metade de concreto feito de cimento Portland e a outra metade de concreto geopolimérico, com os traços especificados na Tabela 4.

Figura 2: Croqui do corte do corpo de prova para ensaio de aderência (a) e corpo de prova depois de concretado com os dois tipos de concreto (b).



Fonte: Do Autor, 2015.

Tabela 4: Traços utilizados nas misturas de concreto.

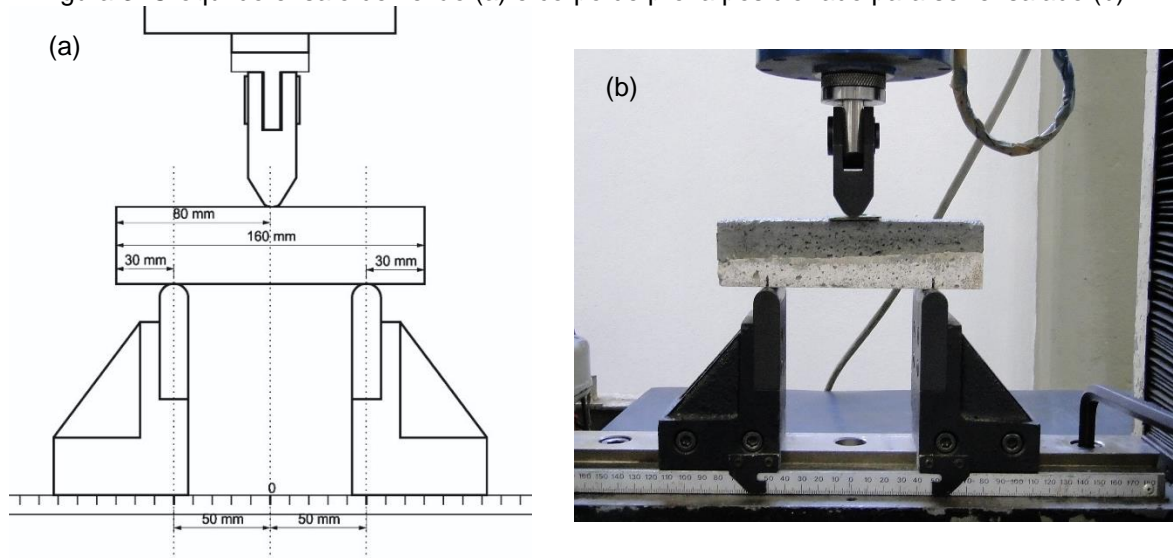
Especificações	Concretos	
	Cimento Portland	Geopolimérico
Traço	1:2,58:2,92 (Cimento:Areia:Brita)	1:1,2:3,8:1,2 (Metacaulim:Silicato:Areia:Brita)
$\alpha$ (%)	55	66,66
a/agl	0,45	0,75
Aditivo	0,7% (Plastificante)	-

Fonte: Do Autor, 2015.

## 2.2 Ensaios

Os ensaios de flexão à 3 pontos nos corpos de prova prismáticos foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM) da Unesc, em uma prensa eletromecânica da marca Emic modelo DL10000 com capacidade de carga de 100 kN, apresentado em croqui na Figura 3, seguindo a norma regulamentadora ABNT NBR 12142 (2010).

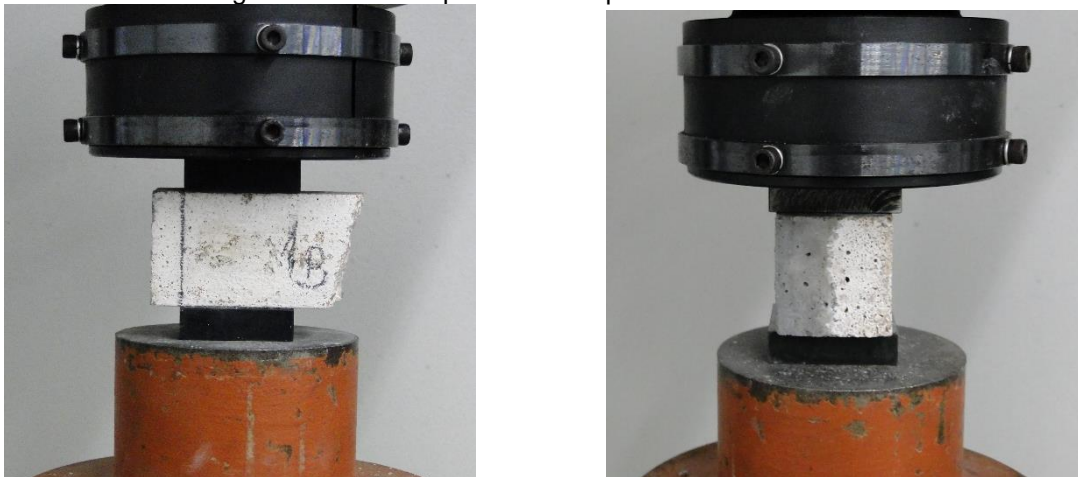
Figura 3: Croqui do ensaio de flexão (a) e corpo de prova posicionado para ser ensaiado (b).



Fonte: Do Autor, 2015.

Após rompidas à flexão, as duas partes provenientes de cada amostra foram ensaiadas à compressão de acordo com a ABNT NBR 13279 (2005), conforme apresenta a Figura 4, com a força sendo aplicada paralelamente à interface de ligação entre as camadas.

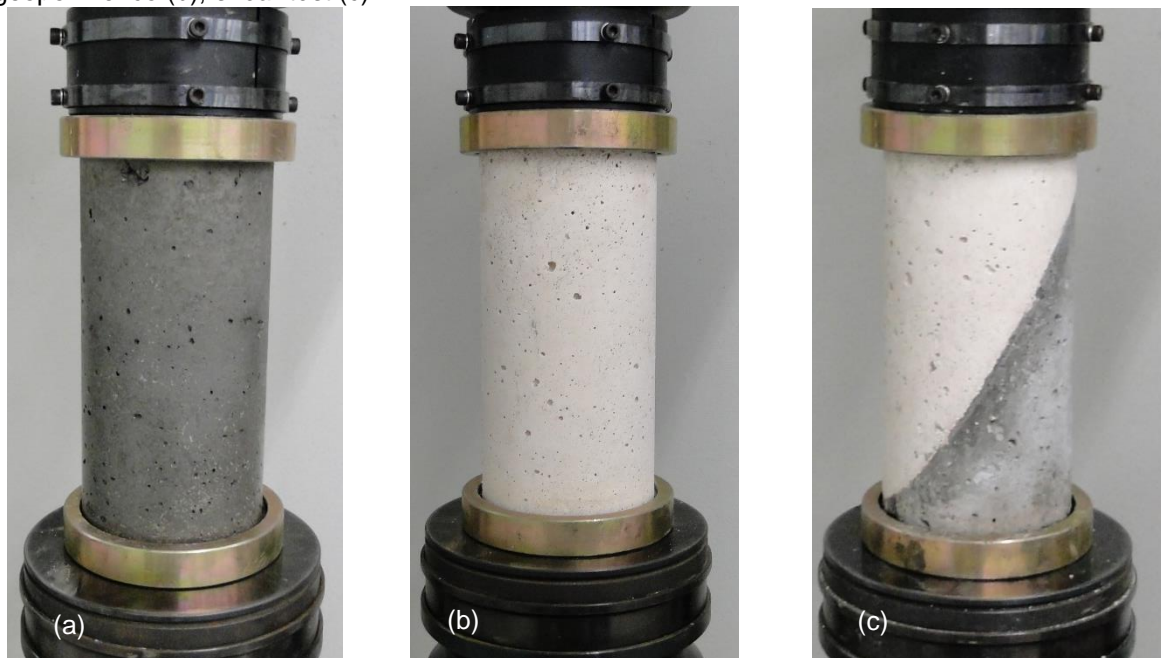
Figura 4: Amostras posicionadas para serem ensaiadas.



Fonte: Do Autor, 2015.

Os ensaios de aderência concreto-concreto (cimento-geopolímero), mostrados na Figura 5, foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Unesc, conforme orienta a ABNT NBR 5739 (2007), analisando a forma de ruptura das amostras e a resistência à compressão, comparadas a corpos de prova compostos somente de cimento Portland e de geopolímero. A resistência de aderência foi calculada pela Equação 1 conforme determina a ASTM C882/C882M (2013), considerando a área da interface de ligação uma elipse, com semieixos “a” e “b”, nesse caso 50 e 100 mm.

Figura 5: Ensaio de compressão para teste de aderência: concreto de cimento Portland (a), concreto geopolimérico (b), *shear test* (c).



Fonte: Do Autor, 2015.

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot a \cdot b}$$

Equação (1)

Onde:

$\tau$  = Tensão de aderência (MPa)  
F= Força máxima de ruptura (N)  
a e b= semieixos da elipse (mm)

Os ensaios de compressão nas amostras prismáticas e nos corpos de prova cilíndricos foram realizados em uma prensa servo-hidráulica da marca EMIC modelo PC200CS com capacidade para 2000 kN.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Resultados dos ensaios à flexão e à compressão nos corpos de prova prismáticos (4x4x16 cm).

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de flexão a três pontos. Quando ensaiados, os corpos de prova prismáticos apresentaram ruptura brusca, sem apresentar fissuras prévias e conforme é possível observar na Figura 6, tiveram a face de ruptura localizada em seu centro, local do deslocamento máximo.

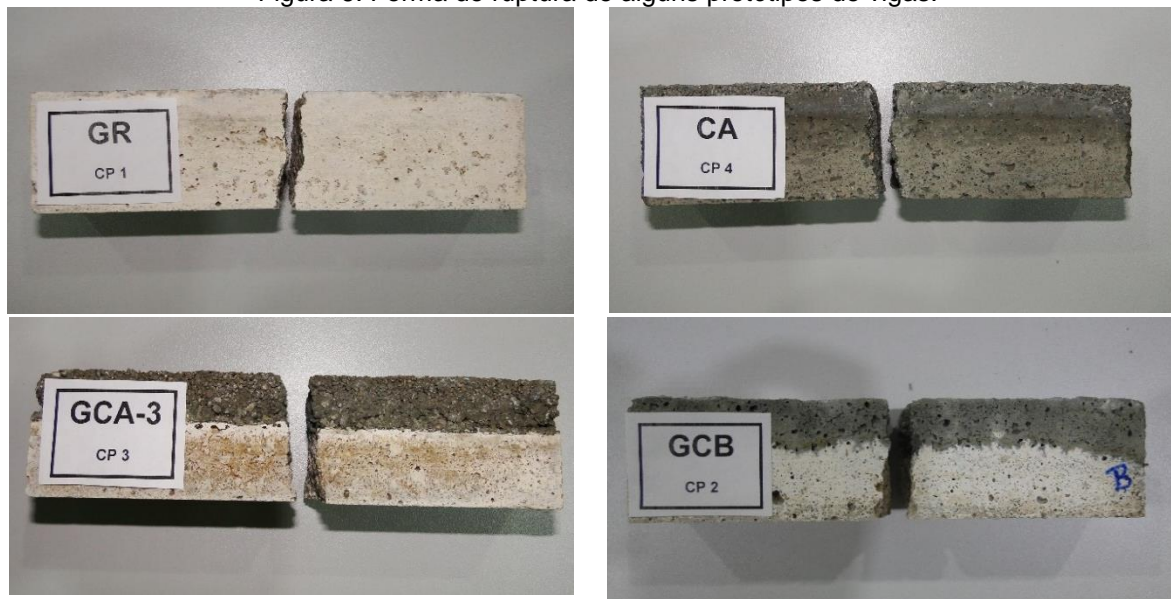
Tabela 5: Resultados dos ensaios de flexão e compressão nos protótipos de vigas.

Ensaio	Amostras	Tipologias						
		GR	CA	CB	GCA	GCB	GCA-3	GCB-3
Resistência à Tração na Flexão (MPa)	CP1	9,37	7,08	5,34	8,51	8,52	9,10	3,97
	CP2	10,60	6,89	4,73	5,41	8,76	10,90	4,05
	CP3	11,31	4,95	5,04	6,96	8,10	9,07	4,98
	CP4	11,04	7,21	4,69	8,20	9,36	9,65	4,86
	Média (D.P.)	10,57 (0,86)	6,53 (1,06)	4,95 (0,30)	7,27 (1,41)	8,68 (0,53)	9,68 (0,86)	4,47 (0,53)
	Resistência à Compressão (MPa)	CP1	45,45	34,63	30,44	27,84	32,49	30,83
49,41			32,67	29,96	32,54	33,56	31,56	-
CP2		38,27	28,59	26,11	29,05	36,61	34,50	-
		35,83	30,59	25,42	34,54	41,90	34,67	-
CP3		43,98	26,53	23,85	34,67	31,52	35,35	-
		51,67	23,38	26,45	38,21	23,80	34,50	-
CP4		38,49	44,83	23,62	40,75	31,37	35,77	-
		44,25	39,04	20,14	32,21	25,62	37,64	-
Média (D.P.)		43,42 (5,57)	32,53 (6,94)	25,75 (3,38)	33,73 (4,33)	32,11 (5,74)	34,35 (2,21)	-

Fonte: Do Autor, 2015.



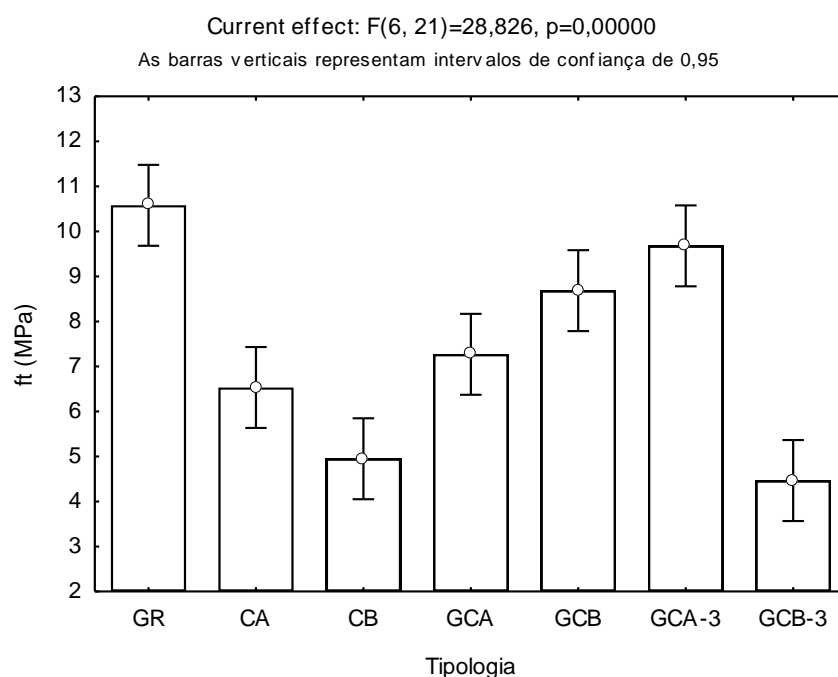
Figura 6: Forma de ruptura de alguns protótipos de vigas.



Fonte: Do Autor, 2015.

Para verificar se os valores de resistência à tração e de compressão são diferentes entre cada tipologia aplicou-se análise estatística de variância (ANOVA) com nível de confiança de 95%, ou seja para um fator ser significativo deve-se obter  $p_{value} \leq 0,05$ . A Figura 7 ilustra os resultados obtidos na ANOVA para a variável resposta resistência à tração, onde pode-se observar que as diferentes tipologias influenciam estatisticamente os resultados de resistência à tração com  $p_{value} = 0,00$ .

Figura 7: Análise dos resultados do ensaio de flexão.



Fonte: Do Autor, 2015.

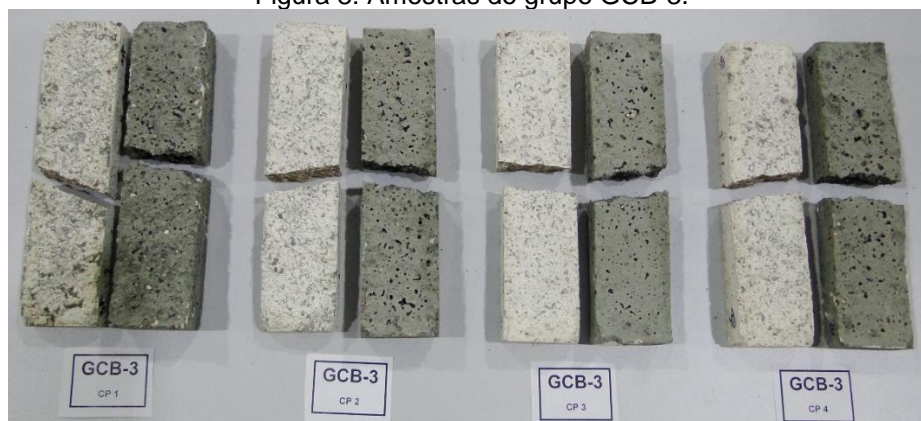
Complementarmente à ANOVA realizou-se o teste Post-hoc de Duncan para avaliar as tipologias em pares, conforme mostra a Tabela 6. Dentre as principais conclusões, este teste mostrou que os resultados do GR são estatisticamente iguais apenas aos resultados do GCA-3, mostrando a eficiência do conjunto testado. Enquanto que os valores de GCA e GCB obtiveram valores menores que o GR. Quanto aos resultados dos compósitos de referência, nota-se que o GCA obteve valores iguais aos de CA, o que demonstra que não houve melhora significativa na resistência à tração, porém os resultados de GCB foram estatisticamente superiores aos resultados de CB, demonstrando melhoria com a adição da camada de argamassa geopolimérica. Por último nota-se que os resultados de GCB-3 foram similares aos do CB e inferiores a todos os demais valores. O baixo resultado do GCB-3 deve-se ao fato que os corpos de prova apresentarem baixa aderência entre os dois materiais, ocorrendo descolamento das camadas durante a realização do ensaio de flexão, conforme mostra a Figura 8.

Tabela 6: Análise Post-hoc com teste de Duncan para os resultados de resistência à flexão.

-	GR	CA	CB	GCA	GCB	GCA-3	GCB-3
GR	-	0,000034	0,000030	0,000094	0,007274	0,156002	0,000026
CA	0,000034	-	0,017298	0,241271	0,002819	0,000127	0,003858
CB	0,000030	0,017298	-	0,001512	0,000063	0,000032	0,436678
GCA	0,000094	0,241271	0,001512	-	0,030991	0,001089	0,000327
GCB	0,007274	0,002819	0,000063	0,030991	-	0,118728	0,000033
GCA-3	0,156002	0,000127	0,000032	0,001089	0,118728	-	0,000030
GCB-3	0,000026	0,003858	0,436678	0,000327	0,000033	0,000030	-

Fonte: Do Autor, 2015.

Figura 8: Amostras do grupo GCB-3.



Fonte: Do Autor, 2015.

Entre os motivos para ter ocorrido o descolamento das camadas no grupo de amostras GCB-3, os mais relevantes são o endurecimento rápido do geopolímero e a moldagem da camada desse material primeiro, pois conforme comenta PINTO (2004), o geopolímero apresenta valores muito baixos de permeabilidade, o que dificulta a aderência depois que esse material está endurecido ou em fase de endurecimento. O grupo de amostras GCA obteve menor resultado quando comparadas às amostras GCB, devido à interface entre as camadas. Nesse grupo de amostras, a camada superior de cimento Portland penetrou mais no centro e deslocou para cima nas laterais, conforme ilustra a Figura 9, por apresentar consistência diferente da camada inferior, o que não ocorreu nas amostras GCB, pois nesse caso a argamassa de cimento apresentou consistência semelhante à argamassa de geopolímero.

Figura 9: Deslocamento das camadas nas amostras GCA comparadas à GCB.



Fonte: Do Autor, 2015.

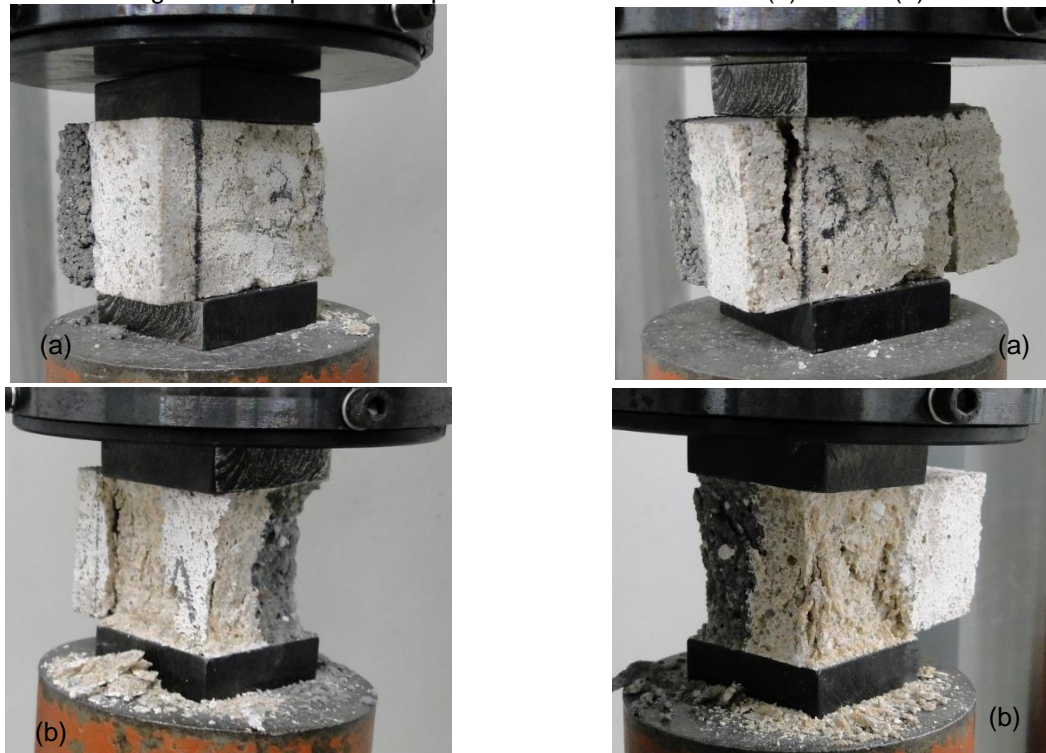
Quando ensaiadas à compressão, as amostras compostas pelos dois materiais (GCA, GCB e GCA-3) não apresentaram separação das camadas, houve ruptura nas faces externas de cada amostra, conforme mostram as Figuras 10 e 11.

Figura 10: Ruptura à compressão das amostras GCA-3.



Fonte: Do Autor, 2015.

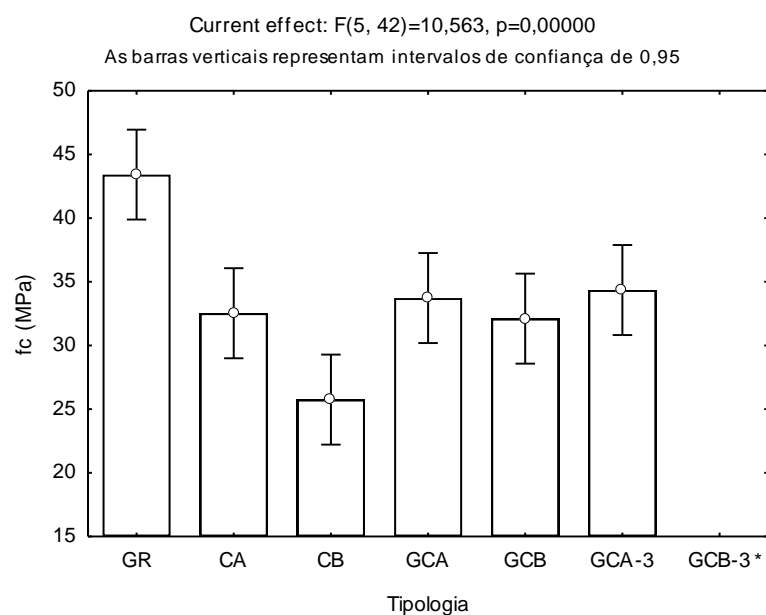
Figura 11: Ruptura à compressão das amostras GCA (a) e GCB (b).



Fonte: Do Autor, 2015.

A Figura 12 ilustra os resultados obtidos na ANOVA para a variável resposta resistência à compressão, onde pode-se observar que as diferentes tipologias influenciam estatisticamente os resultados com  $p_{value}=0,00$ .

Figura 12: Análise dos resultados do ensaio de compressão.



\*As amostras GCB-3 não foram ensaiadas à compressão pois apresentaram descolamento das camadas, conforme mencionado no texto.

Fonte: Do Autor, 2015.

Complementarmente realizou-se o teste Post-hoc de Duncan para avaliar as tipologias em pares, conforme mostra a Tabela 7. Dentre as principais conclusões, este teste mostrou que os resultados do GR são estatisticamente superiores a todas as outras tipologias, evidenciando uma diminuição da resistência quando ocorre a junção dos materiais distintos. As amostras GCA, GCB e GCA-3 são estatisticamente equivalentes entre si, apresentando também resultado semelhante com as amostras CA e superior às amostras CB. Com isso, é possível verificar que com o aumento da relação a/c houve diminuição na resistência das argamassas compostas somente de cimento Portland, mas isso não interferiu na resistência das argamassas compostas pelos dois materiais.

Tabela 7: Análise Post-hoc com teste de Duncan para os resultados de resistência à compressão.

-	GR	CA	CB	GCA	GCB	GCA-3
GR	-	0,000186	0,000028	0,000521	0,000129	0,000814
CA	0,000186	-	0,012108	0,632426	0,865072	0,494406
CB	0,000028	0,012108	-	0,004280	0,013996	0,002547
GCA	0,000521	0,632426	0,004280	-	0,543640	0,801725
GCB	0,000129	0,865072	0,013996	0,543640	-	0,416958
GCA-3	0,000814	0,494406	0,002547	0,801725	0,416958	-

Fonte: Do Autor, 2015.

### 3.1 Resultados dos ensaios de aderência (*Shear Test*) em corpos de prova cilíndricos (Ø10x20 cm)

O ensaio de compressão foi realizado conforme especificado na ABNT NBR 5739 (2007) e o de aderência (*shear test*) conforme a ASTM C882/C882M (2013), nos corpos de prova cilíndricos de concreto de cimento Portland, concreto de geopolímero e compostos de ambos materiais para teste de aderência, com os resultados apresentados na Tabela 8.

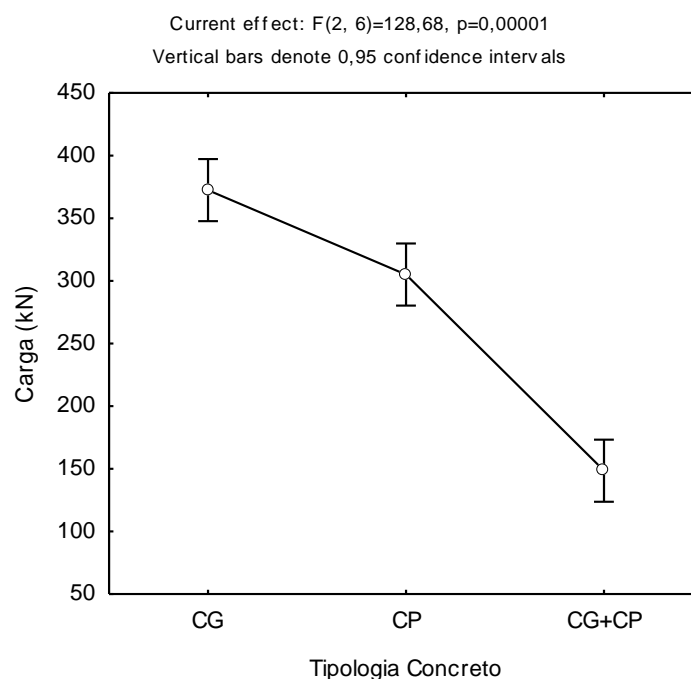
Tabela 8: Resultados dos ensaios de resistência à compressão e aderência.

Amostras	Força Máxima (kN)	Resistência à Compressão (MPa)	Resistência de Aderência (MPa)
<b>Concreto Cimento Portland (CP)</b>	300,9	38,32	-
<b>Média (D.P.)</b>	295,2	37,58	-
<b>Concreto Geopolimérico (CG)</b>	319,0	40,62	-
<b>Média (D.P.)</b>	305,03	38,84	-
	12,43	(1,59)	-
<b>Concreto Geopolimérico (CG)</b>	363,7	46,31	-
<b>Média (D.P.)</b>	362,1	46,11	-
	391,5	49,84	-
<b>Média (D.P.)</b>	372,43	47,42	-
	16,53	(2,10)	-
<b>Aderência Portland e Geopolímero (CG+CP)</b>	128,2	-	8,16
<b>Média (D.P.)</b>	172,3	-	10,97
	145,0	-	9,23
<b>Média (D.P.)</b>	148,50	-	9,45
	22,26	-	(1,42)

Fonte: Do Autor, 2015.

Para verificar se os valores de carga de compressão são diferentes entre cada tipologia aplicou-se análise estatística de variância (ANOVA) com nível de confiança de 95%, ou seja para um fator ser significativo deve-se obter  $p_{value} \leq 0,05$ . A Figura 13 ilustra os resultados obtidos na ANOVA para a variável resposta carga de compressão, onde pode-se observar que as diferentes tipologias influenciam estatisticamente os resultados com  $p_{value} = 0,00$ .

Figura 13: Gráfico dos resultados de ensaio à compressão (ANOVA).



Fonte: Do Autor, 2015.

Para completar a ANOVA realizou-se o teste Post-hoc de Duncan para avaliar as tipologias em pares, conforme mostra a Tabela 9. Nota-se que os valores de CG são superiores aos de CP que são superiores aos de CG+CP.

Tabela 9: Análise Post-hoc com teste de Duncan para os resultados de resistência à compressão.

-	CG	CP	CG+CP
CG	-	0,003503	0,000114
CP	0,003503	-	0,000262
CGC	0,000114	0,000262	-

Fonte: Do Autor, 2015.

As formas de ruptura dos três tipos de amostras são apresentadas na Figura 14, mostrando a ruptura do concreto de cimento Portland transversalmente, a ruptura do geopolímero, e conforme pode-se observar em (c), no teste de aderência os materiais descolaram e deslizaram um sobre o outro, apresentado a interface com baixa aderência, conforme mostra a Figura 15, devido principalmente à falta de tratamento superficial.

Figura 14: Formas de ruptura dos corpos de prova cilíndricos: concreto de cimento Portland (a), concreto geopolimérico (b) e teste de aderência (c).



Fonte: Do Autor, 2015.

Figura 15: Interface de ligação depois das amostras terem sido ensaiadas.



Fonte: Do Autor, 2015.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados e da análise dos resultados, é possível concluir que:

- A argamassa geopolimérica apresenta resistência à flexão aproximadamente 40% maior que compósitos somente de cimento Portland.
- Quando utilizados os dois materiais simultaneamente, a relação a/c das argamassas de cimento Portland e o tempo de aplicação da segunda camada, influenciam na resistência à flexão.
- As amostras GCA, GCB e GCA-3 apresentaram resultados de resistência à flexão menores que as amostras do grupo GR (31%, 18% e 8%, respectivamente), mas apresentaram resultados maiores quando comparadas às argamassas convencionais CA (10%, 25% e 33% respectivamente) e CB (32%, 43% e 49% respectivamente), mostrando a eficiência na utilização desses materiais juntos, submetendo o geopolímero à tração e o cimento Portland à compressão.
- As amostras GCB-3 apresentaram resultados baixos de resistência à flexão porque houve o descolamento das camadas, devido ao tempo de aplicação da segunda camada.
- Quando ensaiadas à compressão as amostras GCA, GCB e GCA-3 apresentaram ruptura nas faces e não na interface entre as camadas, formando um elemento monolítico.



- Os resultados dos ensaios à compressão mostraram que a relação a/c interferiu na resistência das amostras CB, mas nas amostras CA, GCA, GCB e GCA-3 a resistência foi equivalente, sem interferência da relação a/c.
- No teste de aderência (*shear test*), as camadas deslizaram umas sobre as outras, apresentando baixo valor de resistência de aderência, devido principalmente à falta de tratamento superficial.
- Os corpos de prova de concreto para os testes de aderência não apresentaram rupturas similares com as referências (geopolímero e cimento Portland), nos quais houve separação das duas partes.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Variar o tempo de aplicação das camadas de cimento Portland e de geopolímero;
- Testar diferentes traços de argamassa de cimento Portland para comparação, pois a consistência dela influencia nos resultados;
- Realizar tratamento superficial na interface de ligação do teste de aderência (*Shear Test*), visando aumentar a resistência de aderência.

## 5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C882 / C882M**: Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete By Slant Shear. Estados Unidos, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto: determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

DAVIDOVITS, Joseph et al. Long Term Stability of Radioactive Residues Solidified by Geopolimère. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CONDITIONING OF RADIOACTIVE OPERATIONAL DECOMMISSIONING WASTES. Hamburgo, Março, 1999.

DAVIDOVITS, Joseph. **Geopolymer Chemistry and Properties**. Vol 1, 1988, p 25-48.

NEMATOLLAHI, Behzad; SANJAYAN, Jay; SHAIKH, Faiz Uddin Ahmed. Comparative deflection hardening behavior of short fiber reinforced geopolymer composites. **Construction and Building Materials**, vol 70 (2014), p. 54-64, abr./jun. 2014.

PELISSER, Fernando; MICHEL, Milton Domingos; FRASSON, Bruna Juvêncio; MENDER, Manuela Hoffmann. Caracterização Nanomecânica de Geopolímero à Base de Metacaulim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 55, 2013, Gramado. **Anais...** Gramado: Ibracon, 2013.

PELISSER, Fernando; MICHEL, Milton Domingos; GUERRINO, Erick Leite; MENDER, Manuela Hoffmann. Micromechanical characterization of metakaolin-based geopolymers. **Construction and Building Materials**, vol 49 (2013), p. 547-553, maio./ago. 2013.

PINTO, Amândio Teixeira. **Introdução ao Estudo dos Geopolímeros**. Portugal: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2006, 92 p.

PINTO, Amândio Teixeira. Novos Sistemas Ligantes Obtidos por Activação Alcalina (Geopolimerização). **Construção Magazine**. 200\_, 12 p.

RANGAN, Balamuthu Vijaya. **Concreto geopolimérico à base de fly ash com baixo teor de cálcio**. Austrália: Curtin University of Technology, 200\_, 34 p.