

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA DEFORMAÇÃO LENTA DO CONCRETO COM CIMENTO ÁLCALI ATIVADO

Tchesare Andreas Keller (1), Bruno do Vale Silva (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)tchekeller7@hotmail.com, (2)dovalesilva@unesc.net

RESUMO

Visando a preocupação com o meio ambiente e os impactos ambientais causados por avanços do ramo da construção civil, surgem inúmeras pesquisas para utilização de materiais alternativos que possam substituir o cimento Portland com propriedades compatíveis e reduzidos impactos ambientais na sua produção. Dentro deste contexto este trabalho avaliou o comportamento de concretos de cimento Portland e geopolímero em relação à deformação quando submetidos à aplicação de cargas constantes. Foram realizados ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade, a fim de realizar a caracterização mecânica dos concretos avaliados, e por fim foi realizado o ensaio de deformação lenta em corpos de prova cilíndricos ($\varnothing 10 \times 20$ cm) com uma aplicação de carga de 8 horas a uma tensão referente a 30% da tensão de ruptura. O concreto geopolimérico apresentou uma maior deformação, sendo essa mais concentrada no período inicial da aplicação de carga, seguido de uma tendência à estabilização, enquanto no concreto pode se verificar uma menor deformação inicial, porém essa deformação se mantém contínua até o fim da aplicação de carga. Conclui-se de uma forma geral que os concretos geopoliméricos apresentam uma maior capacidade de deformação mesmo quando providos de uma menor resistência quando comparados ao concreto de cimento Portland, verificando-se assim uma maior tendência à estabilização de deformações quando submetidos a cargas de longas durações.

Palavras-Chave: Concreto Geopolimérico, deformação lenta em concreto, cimento Portland.

1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos nota-se um constante crescimento populacional, movimentando muito o ramo da construção civil, e sempre paralelo à este fator surge a preocupação com os impactos ambientais causados por este avanço, tendo em vista que o sistema construtivo predominante na área da construção civil trata-se das estruturas de concreto armado, que tem como base a utilização do cimento Portland, que por sua vez além de gerar um expressivo impacto ambiental, possui algumas limitações, como citado por PINTO, 2006, p.2 “Tais limitações manifestam-se não só quanto aos problemas de caráter ambiental com peso considerável em

termos da poluição de CO₂, como também do ponto de vista do seu comportamento mecânico e desempenho face às condições químicas do meio envolvente.”.

Segundo Pelisser (2012) “A indústria da construção tem como meta a redução do consumo de cimento Portland – devido ao seu impacto ambiental - através do desenvolvimento de cimentos mais eficientes ou aglomerantes alternativos”. Considerando-se esse fato, a pesquisa nesta área vem se intensificando em busca desses materiais cimentícios alternativos, com propriedades mecânicas compatíveis com as do cimento utilizado na atualidade e com impactos ambientais reduzidos na sua produção. Muitos estudos estão sendo realizados com cimentos álcali ativados a base de metacaulim, entre as propriedades Pelisser (2013) destaca que “esse material pode ser produzido utilizando uma grande variedade de matérias primas – não necessitam de matérias primas com elevado grau de pureza e uniformidade - e de baixo custo, com reduzido gasto de energia e baixa emissão de gases tóxicos na atmosfera.”. Em estudos anteriores vem-se obtendo resultados como “pequena retração na cura, baixa fluência, resistência excelente ao ataque de sulfatos, boa resistência aos ácidos” (RANGAN, 2010), e em relação às propriedades mecânicas RANGAN (2010) cita que “as propriedades elásticas do concreto geopolimérico curado e o comportamento da resistência de peças estruturais de concreto geopoliméricos são similares àqueles observados no concreto de cimento Portland”. Pelisser (2013) destaca ainda que “as propriedades nanomecânicas do geopolímero são muito próximas às obtidas no cimento Portland, porém com uma maior capacidade de deformação”, e a capacidade de deformação do concreto está ligada diretamente ao efeito conhecido como fluência, segundo KUPERMAN (2007) “Um material apresenta fluência se, sob tensão constante, sua deformação aumenta no tempo”.

A Fluência é um fator determinante na caracterização dos materiais, pois trata-se da deformação apresentada pelo material sobre a aplicação de uma tensão constante em um determinado período de tempo. Segundo ABNT NBR 6118 (2014) “A deformação por fluência do concreto é composta por duas partes, uma rápida e outra lenta. A deformação rápida é irreversível e ocorre durante as primeiras 24 horas após a aplicação da carga que a originou”. A determinação experimental da fluência do concreto é um processo complexo, a NBR 8224 (2012) especifica métodos de ensaio de longa duração, de aproximadamente 400 dias, mas poucos laboratórios dispõem do equipamento para a sua execução.

Diante disso, o presente trabalho busca avaliar a deformação à compressão de concretos geopoliméricos à base de metacaulim, moldado sem corpos de prova cilíndricos ($\varnothing 10 \times 20$ cm), analisando a primeira parte da deformação com aplicação de 30% da resistência à compressão por 8h, onde se encontra a deformação rápida, que é tratada como irreversível. Para isso, foram realizados testes em 3 (três) diferentes traços de concreto geopolimérico à base de metacaulim, sendo utilizados como referência para comparação corpos de prova de concretos com cimento Portland, com os mesmos traços em massa.

Como ensaios complementares foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial conforme a norma ABNT NBR 5739 (2007), módulo de elasticidade conforme a norma ABNT NBR 8522 (2008).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental foi desenvolvido para avaliar a deformação à compressão de um cimento geopolimérico à base de metacaulim em corpos de prova cilíndricos ($\varnothing 10 \times 20$ cm), com o intuito de se determinar o valor de deformação dos mesmos quando submetidos a uma tensão constante em um determinado intervalo de tempo. Para parâmetros de referência foram adotados corpos de prova de concreto utilizando cimento Portland como aglomerante, adotando como variáveis três 3 (três) relações aglomerante/agregado diferentes para ambos tipos de concreto.

Para a preparação das amostras de concreto geopoliméricos primeiramente foi realizada a produção do metacaulim, conforme pode ser visto na Figura 1. A obtenção foi realizada da desidroxilação do caulim da marca Rocha Minérios, através da calcinação realizada em um forno a rolo industrial da marca ICON modelo UN 01080, utilizando com combustível gás natural. O forno foi previamente aquecido a uma temperatura de 800°C, e a calcinação foi realizada com um tempo de passagem de 4 (quatro) horas.

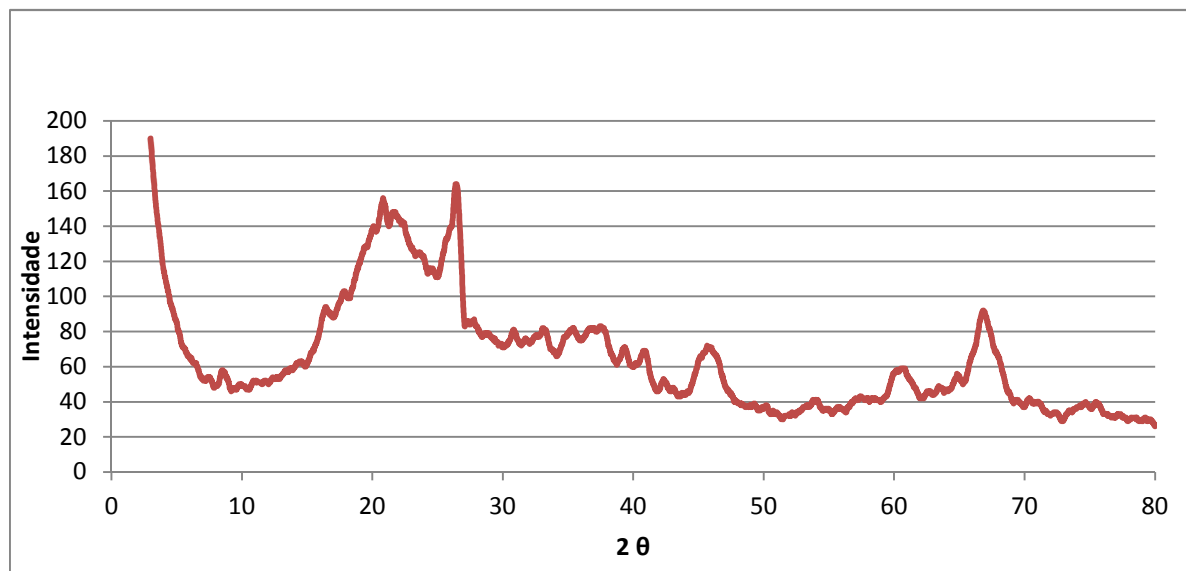
Figura 1: Processo de calcinação do Caulim.



Fonte: Do Autor, 2015.

O metacaulim foi analisado após a calcinação, onde as fases cristalinas foram determinadas através da difração de raios-X (DRX), realizados no difratômetro de raio-x da marca SHIMADZU modelo XRD-6000. Na Figura 2 pode ser analisado o gráfico gerado pelo ensaio.

Figura 2: Resultado da análise de difração de raio-x da amostra de metacaulim



Fonte: Do Autor, 2015.

Na mistura do concreto geopolimérico, foram executados 3 traços que podem ser vistos na Tabela 1, sendo utilizando metacaulim produzido através da calcinação, e como ativador alcalino o hidróxido de sódio em pérolas P.A. produzido pela empresa Química Moderna e o silicato de sódio, produzido pela empresa Manchester

Química do Brasil S.A. com 63% de H₂O, a relação molar dessa mistura é apresentada na Tabela 2. Na Tabela 1, MK trata-se da sigla para metacaulim e α (%) é o teor de argamassa, no caso é a relação entre a soma de MK e areia dividida pela soma de MK, areia e brita. Como agregados foram utilizados uma areia média lavada, com módulo de finura 2,21 e dimensão máxima característica de 2,4mm, e brita 0, com um módulo de finura 3,90 e dimensão máxima característica de 9,5 mm.

Tabela 1: Discriminação dos traços de geopolímero.

Especificações	Concretos Geopoliméricos		
	1:1,2:2,2:0,80 (MK:Silicato:Areia:Brita)	1:1,2:3:1 (MK:Silicato:Areia:Brita)	1:1,2:3,8:1,2 (MK:Silicato:Areia:Brita)
Traço			
α (%)	80	80	80
a/agl.	0,75	0,75	0,75

Fonte: Do Autor, 2015.

Tabela 2: Relação molar da mistura de geopolímero.

Composição	
SiO₂/Al₂O₃	3,2
Na₂O/Al₂O₃	0,46
Na₂O/SiO₂	0,14
Na₂OSiO₂/NaOH	1,6
H₂O/MK (g/g)	0,75

Fonte: Pelisser et al, 2013.

Para utilização como referência foram utilizados traços com as mesmas relações aglomerante/agregado, conforme Tabela 3, as misturas foram realizadas utilizando como aglomerante o cimento Portland tipo CP IV da marca Votoran, como agregados foram utilizados a areia média lavada, mesma utilizada nas misturas anteriores e a brita 1, com módulo de finura 6,84 e dimensão máxima característica de 19,0 mm.

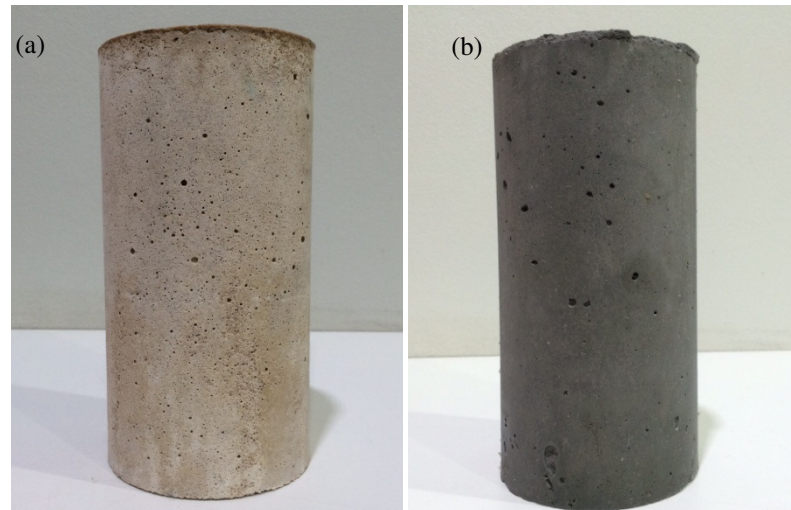
Tabela 3: Discriminação dos traços de Portland.

Especificações	Concretos Portland		
	1:1,2:1,8 (Cimento:Areia:Brita)	1:1,75: 2,25 (Cimento:Areia:Brita)	1:2,3:2,7 (Cimento:Areia:Brita)
Traço			
α (%)	55	55	55
a/agl.	0,75	0,75	0,75

Fonte: Do Autor, 2015.

Os corpos de prova utilizados para os ensaios foram moldados com concreto geopolimérico e concreto com cimento Portland, conforme pode ser visualizado na Figura 3. Como parâmetro para moldagem do concreto com cimento Portland foi utilizada a norma ABNT NBR 5738 (2015).

Figura 3: Corpos de prova ($\varnothing 10 \times 20$ cm) que foram submetidos aos ensaios. (a) concreto geopolimérico, (b) concreto com cimento Portland.



Fonte: Do Autor, 2015.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), em uma prensa servo-hidráulica da marca EMIC modelo PC200CS com capacidade para 2000 kN. Para apresentação dos resultados as amostras foram identificadas de modo a diferenciar os dois tipos de concreto e os diferentes traços realizados em cada material, conforme pode ser visto na Tabela 4.

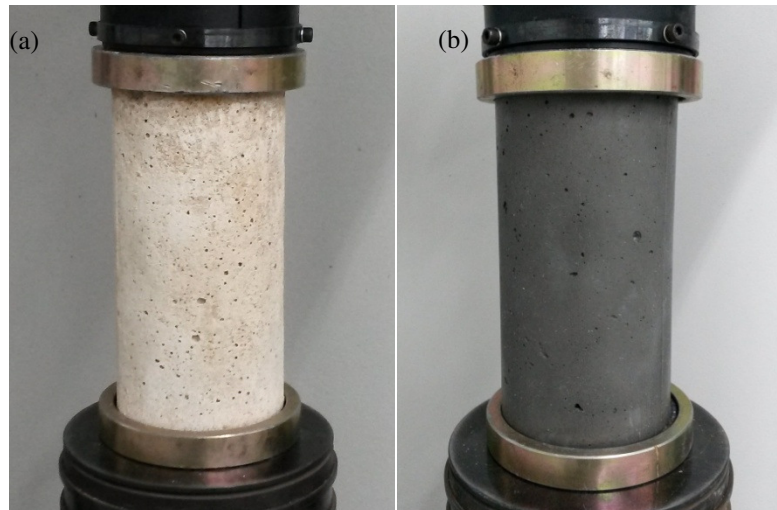
Tabela 4: Nomenclatura dos concretos e seus respectivos traços.

Nomenclatura	Tipologia da amostra
P3	Portland (P), traço 1:3 (3)
P4	Portland (P), traço 1:4 (4)
P5	Portland (P), traço 1:5 (5)
G3	Geopolímero (G), traço 1:3 (3)
G4	Geopolímero (G), traço 1:4 (4)
G5	Geopolímero (G), traço 1:5 (5)

Fonte: Do Autor, 2015.

A determinação da resistência à compressão axial dos corpos de prova foi realizada conforme orientação normativa contida na ABNT NBR 5739 (2007), como pode ser visto na Figura 4. Os resultados obtidos serviram como base para os ensaios posteriores de módulo de elasticidade e deformação lenta.

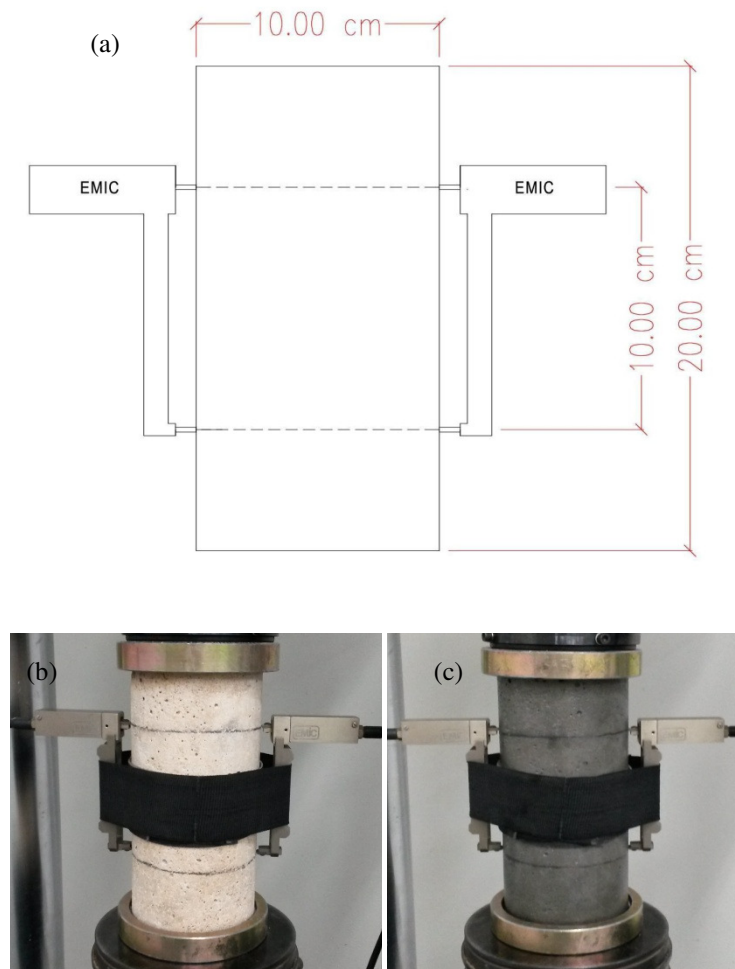
Figura 4: Ensaio de resistência à compressão. (a) concreto geopolimérico, (b) concreto com cimento Portland.



Fonte: Do Autor, 2015.

O ensaio de módulo de elasticidade foi determinado conforme procedimento descrito na norma ABNT NBR 8522 (2008), utilizando a metodologia A, onde foram realizadas as leituras de deformação na tensão equivalente a 0,5 MPa e na tensão limite superior de 30% do valor das mesmas. Para a realização das leituras tanto deste ensaio quanto na determinação da deformação lenta foi utilizado um extensômetro eletrônico da marca EMIC, modelo EE08. Na Figura 5 pode ser visto os corpos de prova de ambos concretos durante a realização do ensaio juntamente com um croqui demonstrativo do posicionamento dos extensômetros.

Figura 5: (a) Croqui dos ensaios de Módulo (b) e corpo de prova de concreto geopolimérico posicionado para ser ensaiado e (c) Concreto com cimento Portland.



Fonte: Do Autor, 2015.

Após o término da determinação do módulo de elasticidade foi dado início ao ensaio de deformação lenta. Foi determinado como patamar de leitura o mesmo limite superior à tensão utilizado para determinar o módulo de elasticidade, portanto os corpos de prova foram submetidos a uma tensão equivalente a 30% da tensão de ruptura determinada como característica de cada traço de ambos concretos. Com a finalidade de obter os valores de deformação equivalente a deformação lenta inicial, tratada como irreversível, foi adotado como padrão um tempo de aplicação de carga de 8 (oito) horas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS CONCRETOS.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos de resistência à compressão, onde pode-se observar nos concretos de referência uma ganho de resistência com o aumento do consumo de cimento nos traços adotados, resultado que já era esperado. Em relação aos concretos geopoliméricos o resultado foi inverso, nota-se que o aumento de resistência ocorreu juntamente com o aumento da relação agregado/aglomerante. Um dos fatores que pode ter levado a esses resultados pode estar ligado ao fato de o geopolímero possuir uma melhor coesão e aderência da matriz cimentícia, (esses resultados estão em concordância com os resultados obtidos em outros trabalhos: Pelisser, 2013; UENG et. al. 2012; TEMUJIN et al.2010), sendo menos suscetível a perda de resistência quando reduzida sua proporção em misturas com agregados (Pelisser, 2013; TEMUJIN et al. 2010).

Tabela 5: Resultados do ensaio de resistência à compressão axial.

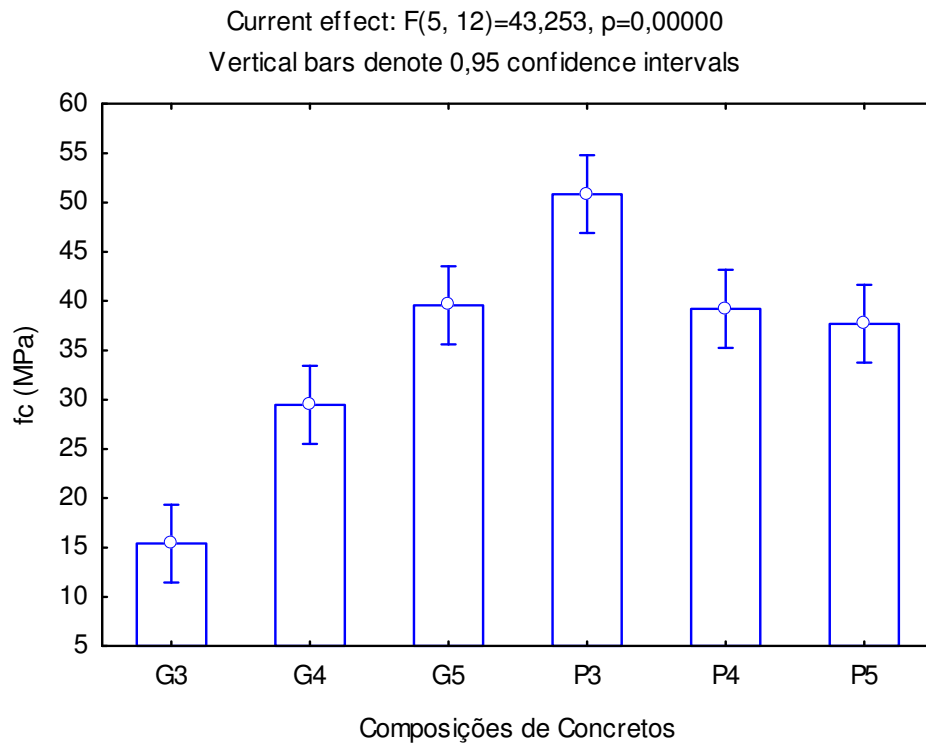
Amostras	Composições de Concretos – Resistência à compressão (MPa)					
	G3	G4	G5	P3	P4	P5
CP1	12,1	28,7	33,7	51,0	37,4	37,4
CP2	20,9	27,4	41,3	50,8	40,6	38,0
CP3	13,2	32,3	43,7	50,7	39,6	37,7
Média	15,4	29,5	39,6	50,8	39,2	37,7
D. P.	4,8	2,5	5,2	0,2	1,6	0,3

Fonte: Do Autor, 2015.

Para verificar se os valores de resistência à compressão são diferentes entre os traços de concretos aplicou-se uma 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 apresenta os resultados obtidos na ANOVA para resistência à compressão, onde observa-se que traços de concretos obtiveram diferentes resistências com $p_{value} = 0,00$.

Figura 7: Análise dos resultados do ensaio de resistência à compressão axial.



Fonte: Do Autor, 2015.

Complementarmente à ANOVA realizou-se o teste Post-hoc de Duncan para avaliar a influência em pares na resistência à compressão, conforme mostra a Tabela 6. No teste de Duncan quando $p_{value} > 0,05$ significa que os pares são iguais, com um nível de confiança de 95%. Dentre as principais conclusões, este teste mostrou que os resultados do G5, P4 e P5 são estatisticamente iguais. Enquanto que os valores de G3 e G4 obtiveram valores menores que o G5, respectivamente. Por último nota-se que os resultados de P3 foram superiores a todos outros traços.

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

-	G3	G4	G5	P3	P4	P5
G3	-	0,000298	0,000038	0,000032	0,000067	0,000096
G4	0,000298	-	0,003105	0,000040	0,003377	0,007617
G5	0,000038	0,003105	-	0,001006	0,890838	0,502263
P3	0,000032	0,000040	0,001006	-	0,000976	0,000466
P4	0,000067	0,003377	0,890838	0,000976	-	0,567945
P5	0,000096	0,007617	0,502263	0,000466	0,567945	-

Fonte: Do Autor, 2015.

Na Tabela 7 encontram-se os resultados de módulo de elasticidade dos concretos. Com esses resultados observar que os concretos geopoliméricos apresentaram uma deformação maior quando comparados aos concretos com cimento Portland, comportamento este já verificado anteriormente por Pelisser (2013), que cita que o geopolímero apresenta uma maior capacidade de deformação. De uma forma geral, dentro dos concretos, os valores dos módulos são maiores nas misturas que apresentaram uma maior resistência à compressão.

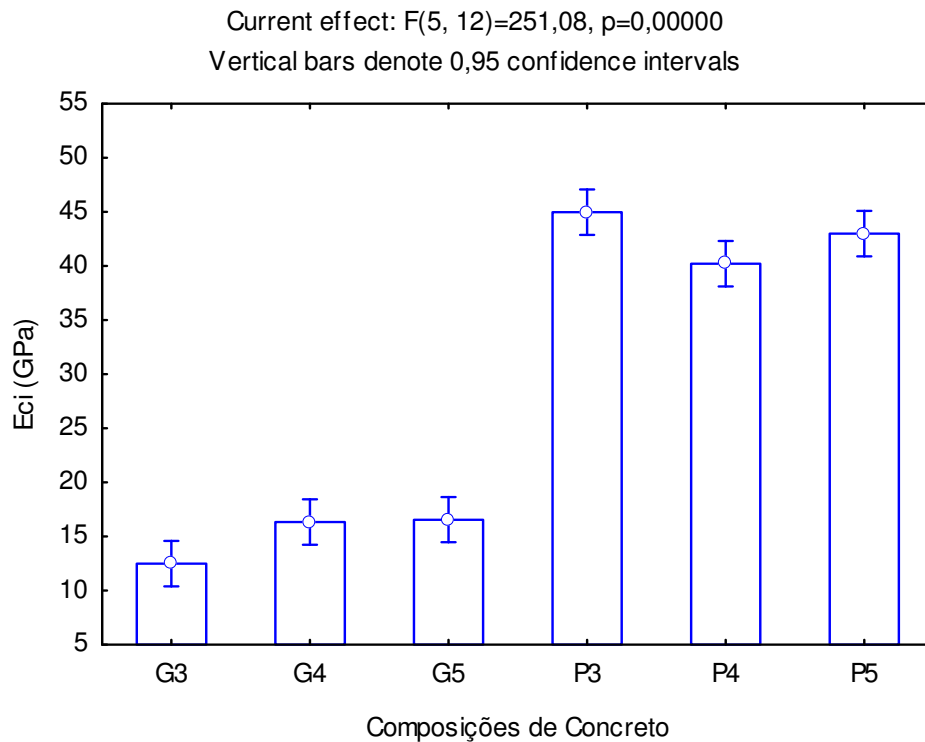
Tabela 7: Resultados do ensaio de módulo de elasticidade.

Amostras	Composições de Concretos – Módulo de elasticidade (GPa)					
	G3	G4	G5	P3	P4	P5
CP1	14,5	14,9	18,8	45,6	41,3	42,9
CP2	14,0	17,5	15,8	45,2	40,3	42,5
CP3	9,0	16,6	15,1	44,1	39,1	43,5
Média	12,5	16,3	16,6	45,0	40,2	43,0
D. P.	3,0	1,3	2,0	0,8	1,1	0,5

Fonte: Do Autor, 2015.

Os resultados de módulo de elasticidade também foram analisados estatisticamente com a mesma metodologia ANOVA descrita anteriormente, conforme expresso na Figura 8. Onde observa-se que os traços de concretos obtiveram diferentes módulos de elasticidade, com $p_{value}=0,00$.

Figura 8: Análise dos resultados do ensaio de módulo de elasticidade.



Fonte: Do Autor, 2015.

Complementarmente à ANOVA também realizou-se um teste Post-hoc de Duncan para avaliar a influência em pares nos resultados de módulo, conforme mostra a Tabela 8. Dentre as principais conclusões, este teste mostrou que os resultados do P3, P4 e P5 são estatisticamente superiores aos de G3, G4 e G5. Enquanto que os valores de G4 e G5 obtiveram valores iguais entre si e superiores aos de G3. Por último nota-se que os resultados de P3 foram superiores aos de P4 e iguais aos de P5.

Tabela 8: Análise Post-hoc com teste de Duncan para os resultados de módulo de elasticidade.

-	G3	G4	G5	P3	P4	P5
G3	-	0,015456	0,014466	0,000032	0,000066	0,000038
G4	0,015456	-	0,878201	0,000038	0,000095	0,000066
G5	0,014466	0,878201	-	0,000066	0,000172	0,000095
P3	0,000032	0,000038	0,000066	-	0,005789	0,169644
P4	0,000066	0,000095	0,000172	0,005789	-	0,065006
P5	0,000038	0,000066	0,000095	0,169644	0,065006	-

Fonte: Do Autor, 2015.

3.2 Resultados dos ensaios de deformação lenta dos concretos.

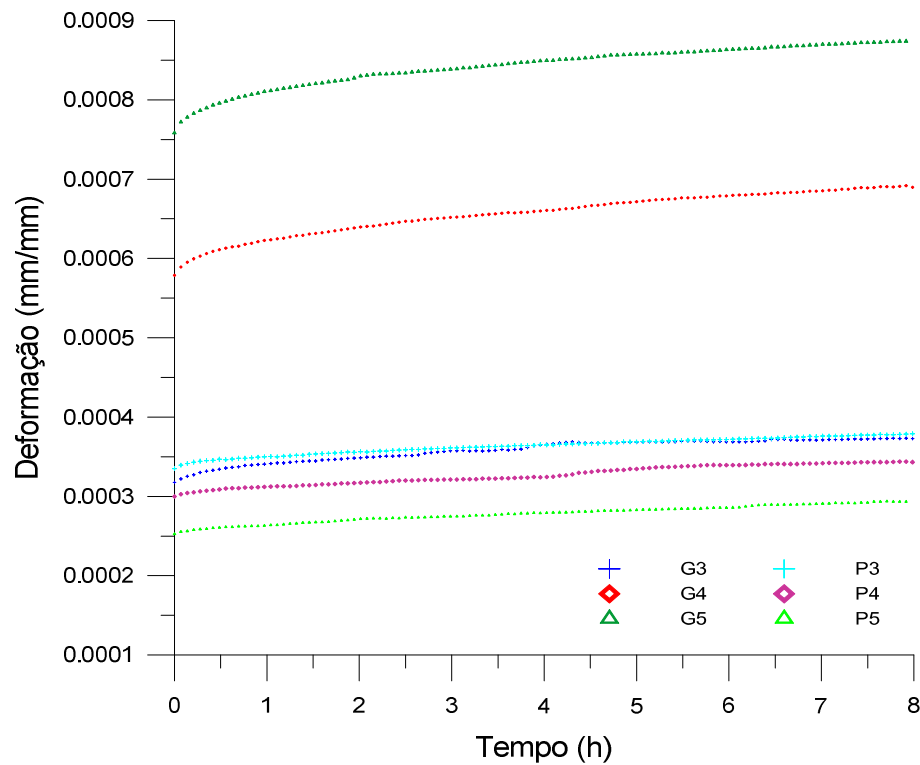
Na Tabela 9 estão presentes os resultados obtidos no ensaio de deformação lenta, e na Figura 9 estão apresentadas as curvas médias durante o tempo de aplicação de carga, onde podemos verificar que os concretos geopoliméricos apresentam uma maior deformação em relação aos outros concretos, o que se explica pelo fato de se tratar de um material mais deformável. Porém um quando comparados os comportamentos das curvas pode-se observar que o concreto Portland possui um comportamento mais constante, e linear enquanto o concreto geopolimérico apesar de apresentar uma maior deformação inicial tem uma maior tendência de estabilização, esse fato fica claro quando comparados os concretos G3 e P3 que apresentaram suas curvas praticamente sobrepostas. Nas primeiras horas de aplicação de carga G3 apresenta uma maior inclinação, indicando a tendência de uma maior deformação, porém entre as horas 4 e 6 observa-se uma equivalência entre as curvas que apresentam um mesmo valor de deformação e nas últimas horas de ensaio G3 volta a apresentar uma menor deformação em relação a P3.

Tabela 9: Resultados do ensaio de deformação lenta.

Amostras	Composições de Concretos – deformação lenta (mm/mm)					
	G3	G4	G5	P3	P4	P5
CP1	0,000399	0,000793	0,000700	0,000375	0,000315	0,000293
CP2	0,000348	0,000641	0,000947	0,000390	0,000338	0,000297
CP3	-	0,000636	0,000976	0,000379	0,000377	0,000290
Média	0,000373	0,000690	0,000874	0,000379	0,000343	0,000293
D. P.	0,000035	0,000089	0,000152	0,000010	0,000031	0,000003

Fonte: Do Autor, 2015.

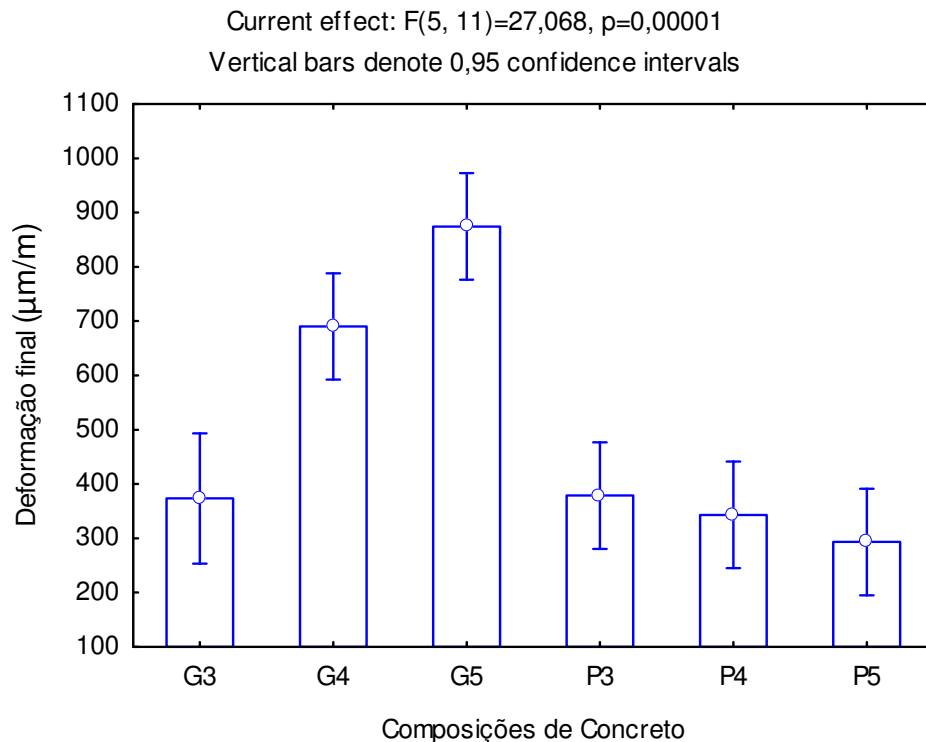
Figura 9: Curvas médias de deformação pelo tempo para cada grupo.



Fonte: Do Autor, 2015.

Os resultados de deformações finais após 8 (oito) horas de ensaio, para cada traço também foram analisados estatisticamente com a mesma metodologia ANOVA descrita no item 3.1, conforme expresso na Figura 10. Onde observa-se que os traços de concretos obtiveram diferentes deformações finais, com $p_{value}=0,00$.

Figura 10: Análise dos resultados do ensaio de deformação lenta.



Fonte: Do Autor, 2015.

Complementarmente à ANOVA também realizou-se um teste Post-hoc de Duncan para avaliar a influência em pares nos resultados de deformação final, conforme mostra a Tabela 10. Dentre as principais conclusões, este teste mostrou que os resultados do P3, P4 e P5 são estatisticamente inferiores aos de G4 e G5, sendo que os resultados de G3 são considerados iguais aos de P3, P4 e P5. Os grupos G4 e G5 obtiveram valores iguais entre si e superiores aos de G3. Por último nota-se que os resultados de P3, P4 e P5 são iguais estatisticamente com 95% de confiança.

Tabela 10: Análise Post-hoc com teste de Duncan para os resultados de deformação final.

-	G3	G4	G5	P3	P4	P5
G3	-	0,000776	0,000076	0,937105	0,654729	0,268748
G4	0,000776	-	0,017282	0,000749	0,000465	0,000187
G5	0,000076	0,017282	-	0,000108	0,000048	0,000037
P3	0,937105	0,000749	0,000108	-	0,616951	0,250934
P4	0,654729	0,000465	0,000048	0,616951	-	0,461964
P5	0,268748	0,000187	0,000037	0,250934	0,461964	-

Fonte: Do Autor, 2015.

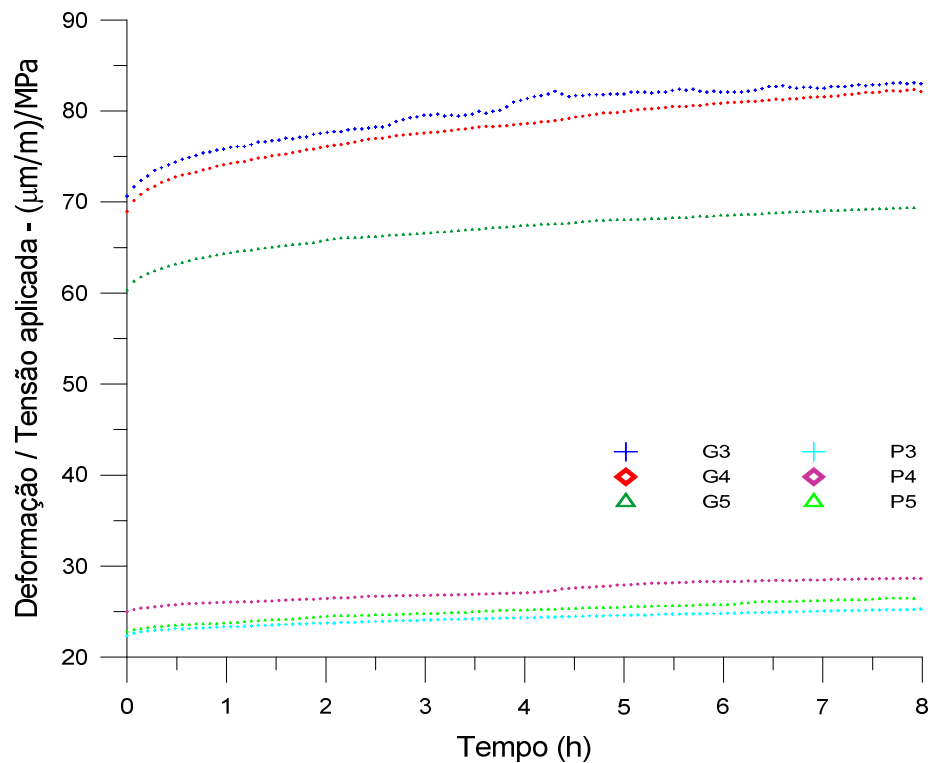
Os valores da deformação específica são valores de deformação por unidade de tensão aplicada no mesmo instante. Os resultados obtidos de deformação final pela tensão aplicada estão apresentados na Tabela 11, e na sequência são apresentadas as curvas médias ao longo do tempo na Figura 11, nessa relação podemos identificar um agrupamento dos resultados dos concretos geopoliméricos e dos concretos Portland, evidenciando nesse caso a maior deformabilidade do geopolímero. Segundo Rangan (200_?) os valores de deformação específica apresentados pelo geopolímero representam aproximadamente 50% dos valores recomendados pela norma australiana AS 3600 para o concreto de cimento Portland, porém esses dados são obtidos se for realizada a cura térmica, nesse trabalho foi utilizado o processo de cura a temperatura ambiente, o que pode ter afetado, já que Rangan (200_?) afirma que a cura térmica ajuda substancialmente na reação química que ocorre na pasta geopolimérica.

Tabela 11: Resultados de deformação específica.

Amostras	Composições de Concretos – deformação específica (($\mu\text{m}/\text{m}$)/MPa)					
	G3	G4	G5	P3	P4	P5
CP1	88,9	94,5	55,5	25,0	26,2	26,4
CP2	77,5	76,4	75,2	26,0	28,2	26,7
CP3	-	75,7	77,5	24,8	31,4	26,2
Média	83,2	82,2	69,4	25,3	28,6	26,4
D. P.	8,0	10,6	12,1	0,7	2,6	0,3

Fonte: Do Autor, 2015.

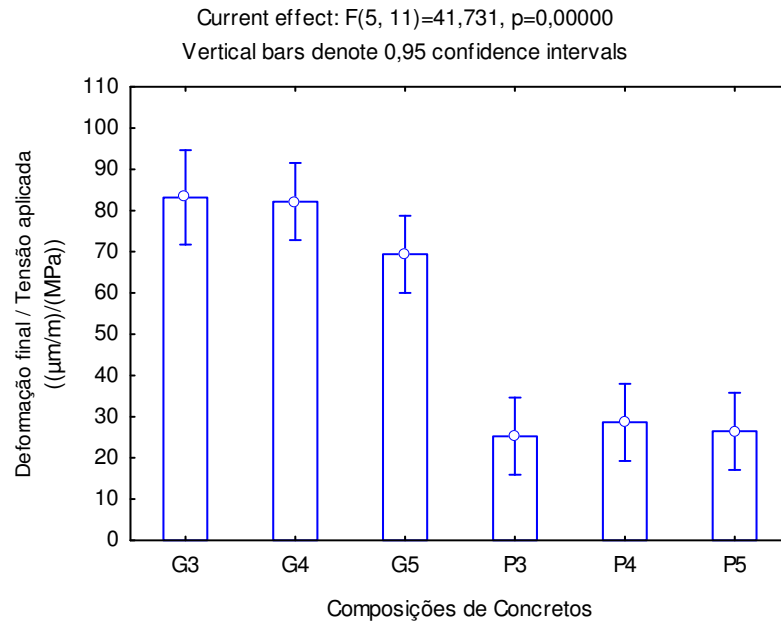
Figura 11: Curvas médias de deformação pela tensão aplicada para cada grupo...



Fonte: Do Autor, 2015.

Os resultados de deformação final pela tensão aplicada para cada traço também foram analisados estatisticamente com a mesma metodologia ANOVA descrita no item 3.1, conforme expresso na Figura 12. Onde observa-se que os traços de concretos obtiveram diferentes valores de deformação final pela tensão aplicada, com $p_{value}=0,00$.

Figura 12: Análise dos resultados do ensaio de deformação final pela tensão aplicada.



Fonte: Do Autor, 2015.

Complementarmente à ANOVA também realizou-se um teste Post-hoc de Duncan para avaliar a influência em pares nos resultados de deformação final pela tensão aplicada, conforme mostra a Tabela 12. Dentre as principais conclusões, este teste mostrou que os resultados do P3, P4 e P5 são estatisticamente inferiores aos de G3, G4 e G5. Entre os grupos G3, G4 e G5 obtiveram valores iguais entre si e os resultados de P3, P4 e P5 também são iguais entre si.

Tabela 12: Análise Post-hoc com teste de Duncan para os resultados de deformação final pela tensão aplicada.

	G3	G4	G5	P3	P4	P5
G3	-	0,873868	0,058785	0,000036	0,000067	0,000043
G4	0,873868	-	0,065845	0,000043	0,000101	0,000067
G5	0,058785	0,065845	-	0,000094	0,000209	0,000125
P3	0,000036	0,000043	0,000094	-	0,618332	0,853721
P4	0,000067	0,000101	0,000209	0,618332	-	0,733335
P5	0,000043	0,000067	0,000125	0,853721	0,733335	-

Fonte: Do Autor, 2015.

4. CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados e da análise dos resultados, é possível concluir que o concreto geopolimérico apesar de ter apresentado menores valores de resistência à compressão, apresentou um fator interessante, pois demonstrou realmente ser menor suscetível a perda de resistência quando aumentada a proporção de agregados na mistura, o que não acontece quando se trata de concreto com cimento Portland, onde se necessita de um aumento de consumo de cimento para que haja um ganho de resistência.

Com relação ao módulo de elasticidade, de forma geral os valores são maiores com o aumento da resistência à compressão, porém quando realizada uma comparação entre os tipos de concreto é possível analisar que o geopolímero apresenta uma maior capacidade de deformação, como citado nas bibliografias, sendo capaz de absorver uma maior deformação até mesmo com uma resistência à compressão menor.

No ensaio de deformação lenta novamente fica clara a maior deformação do concreto geopolimérico, e quando analisadas as curvas de deformação durante o tempo de carregamento é possível verificar uma tendência maior de estabilização do concreto geopolimérico, que apresenta uma inclinação maior no período inicial, tendendo a uma estabilização nas horas finais do ensaio, enquanto o concreto com cimento Portland apresenta uma reta ascendente, com uma inclinação menor, gerando uma menor deformação inicial, porém, com um comportamento ascendente contínuo.

Na análise da deformação específica nota-se um agrupamento das amostras do concreto geopolimérico a um nível de deformação superior ao concreto com cimento Portland, por se tratar de uma análise de deformação por unidade de tensão deixa bem evidente a maior capacidade de deformação do concreto geopolimérico.

Como sugestões para trabalho futuros fica indicado realizar a cura térmica dos corpos de prova nas primeiras 24 horas, que segundo a literatura pode aumentar a resistência dos concretos geopoliméricos, e realizar os ensaios com um maior tempo de aplicação de carga a uma taxa superior a 30% da carga de ruptura.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto e execução de obras de concreto armado**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8224: Concreto endurecido — Determinação da fluência — Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2014.

KUPERMAN, S. C. ; Considerações sobre fluência de concretos. *Téchne. Revista de Tecnologia da Construção*, v. 125, p. 58-63, 2007.

Pelisser, F. ; Guerrino, E.L. ; MICHEL, M. D.. **Propriedades Mecânicas de Cimento Geopolimérico**. In: CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2012, Joinville. CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2012. v. 20. p. 1-8.

PELISSER, Fernando; MICHEL, Milton Domingos; FRASSON, Bruna Juvêncio; MENGER, Manuela Hoffmann. **Caracterização Nanomecânicas 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; MENGER, 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.

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

TEMUJIN J, RIESSEN A-V, MACKENZIE K J D. **Preparation and characterisation of fly ash based geopolymer mortars**. *Construction and Building Materials* 2010; 24: 1906-1910.

UENG T-H, LYU S-J, CHU H-W, LEE H-H, WANG T-T. **Adhesion at interface of geopolymer and cement mortar under compression: An experimental study**. *Construction and Building Materials* 2012; 35: 204–210.