

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS NO PREENCHIMENTO DOS NICHOS DE LIGAÇÕES EM ESTRUTURAS PRÉ-MOLDADAS

Marcus Vinícius do Livramento (1) Bruno do Vale Silva (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)eng.marcusviniciusl@gmail.com (2)dovalesilva@unesec.net

RESUMO

A construção civil está em constante desenvolvimento visando o aprimoramento dos métodos construtivos, dentre essas mudanças está a adoção do método construtivo utilizando concreto pré-moldado e adição de novos compósitos, como é o caso dos geopolímeros. Um dos grandes problemas com relação a utilização de concreto pré-moldado, está em suas ligações. Sua influência é tão preponderante que a dificuldade em seu projeto e em sua execução é que tem impedido a superação dos métodos construtivos convencionais pelos pré-moldados. Essas ligações, quando solicitadas, apresentam certa deformação e podem ser chamadas de ligações semi-rígidas. O objetivo desse estudo é analisar o comportamento de dois materiais cimentícios no preenchimento dos nichos de ligação dos chumbadores verticais, analisando sua resistência a aderência para utilização em obra. Para tanto, foram moldados corpos de prova cúbicos com furos longitudinais, simulando as peças pré-moldadas, utilizando bainhas metálicas nos furos para melhor aderência entre o concreto pré-moldado e o material cimentício. No enchimento dos nichos foram utilizados o graute industrializado Super Graute Quartzolit® e pasta de geopolímero, um compósito relativamente novo que utiliza metacaulim em substituição ao cimento portland. Os corpos de prova foram colocados em temperatura ambiente por 28 dias, para realização da cura. Os ensaios de arrancamento foram do tipo “PULL OUT TEST”, seguindo o procedimento da norma RILEM, 1983. Com os resultados obtidos pode-se observar uma diferença na resistência à compressão do graute para o geopolímero de 56,16% e com relação à aderência verificou-se uma diferença de 59,35%. Contudo, a relação entre a resistência à compressão e a tensão de aderência de cada material ficaram próximas, podendo-se afirmar que os dois materiais obtiveram resultados semelhantes até os limites testados. De maneira geral pode-se concluir que o geopolímero tem um potencial a ser explorado como material de enchimento em nichos de ligação em estruturas pré-moldadas.

Palavras-Chave: Concreto pré-moldado, ligações semi-rígidas, pasta de geopolímero, graute, aderência.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil está em constante desenvolvimento, com novas técnicas e tecnologias sendo estudadas, visando o aprimoramento dos métodos construtivos, tanto na etapa de projeto, quanto na execução. Dentre essas mudanças está o

método construtivo com concreto pré-moldado, que está cada vez ganhando mais espaço dentro do mercado de trabalho. BALLARIN (1993), simplificadamente, coloca a industrialização da construção como aplicação de técnicas próprias da atividade industrial a execução de obras. Para BERTOLUCCI (2010), a indústria de estruturas de concretos pré-moldados é uma área da construção civil que necessita avançar na realização de atividades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico com o intuito de melhorar sua qualidade e produtividade, buscando a criação de novos métodos e técnicas de produção.

A grande diferença entre construções feitas in loco e construções pré-moldadas, está nas ligações de seus elementos. Nas estruturas pré-moldadas, um dos grandes problemas na execução, está justamente em suas ligações, tanto nas ligações laje-viga quanto nas ligações viga-pilar. NÓBREGA (2004) diz que as ligações podem ser consideradas como regiões de descontinuidade na estrutura pré-moldada onde ocorrem concentrações de tensões, as quais podem, ou não, provocar deslocamentos e mobilizar e redistribuir esforços entre os elementos por elas conectados, com influência no comportamento de toda a estrutura.

Em estruturas pré-moldadas as ligações não se comportam exatamente da mesma forma que são consideradas nas análises estruturais, como engastes ou articulações, onde são calculadas para combater totalmente os esforços e deslocamentos considerados nos cálculos (BERTOLUCCI, 2010). Quando solicitadas essas ligações sofrem certa deformação, recebendo o nome de ligações semi-rígidas. Segundo ORDONEZ et al. (1974), a influência das ligações na construção de concreto pré-moldado é tão preponderante que alguns especialistas afirmam que a dificuldade em seu projeto e em sua execução é que têm impedido a superação dos métodos construtivos convencionais pelos pré-moldados.

De acordo com uma pesquisa realizada por BERTOLUCCI (2010), o estudo das ligações semi-rígidas em estruturas de concreto pré-moldado teve início na EESC-USP com o trabalho de Ferreira (1993), onde foram analisados os comportamentos das ligações semi-rígidas e as deformações nesses tipos de ligações. Outras pesquisas sobre o tema em questão, também podem ser encontrados nos trabalhos de Soares (1998), Ferreira (1999), Ferreira e Elliot (2002), Miotto (2002), Migliore Jr. (2005), Baldissera (2006), Souza (2006) e Kataoka (2007).

As ligações são regiões que se comportam de maneira complexa, onde ocorrem concentrações de tensões, e merecem, portanto, uma atenção especial de pesquisadores e projetistas (KATAOKA, 2007).

Nas ligações entre a viga e o pilar, pode-se verificar a utilização do preenchimento no apoio da viga, no furo do chumbador e também na abertura do pilar por onde passa a armadura de continuidade. Mas neste estudo serão analisados dois tipos de materiais cimentícios no preenchimento dos nichos dos chumbadores.

[...] tradicionalmente, considera-se que o chumbador possui apenas a função de garantir a estabilidade lateral do elemento de viga, não se levando em conta os esforços transmitidos pela ligação. Todavia, em razão do detalhamento construtivo corrente, onde o nicho do chumbador é preenchido com graute não retrátil, tem-se a solidarização do chumbador com ambos os elementos. Desta forma, a ligação oferece uma restrição parcial aos deslocamentos horizontais relativos, fazendo com que o chumbador transmita esforços horizontais da viga para a coluna (FERREIRA, 1999).

Segundo SCHNEIDER (2001), a indústria de cimento Portland vem enfrentando desafios, como diminuir o consumo de energia, reduzir as emissões de gás carbônico e garantir materiais de excelente qualidade, com isso muitos pesquisadores vem realizando trabalhos para desenvolver um material que atenda a esses requisitos. Nesse trabalho iremos utilizar a pasta de geopolímero que é um material novo e conforme KOMNITSAS e ZAHARAKI (2007) possui excelente resistência mecânica, elevada durabilidade, rápido endurecimento, boa resistência ao fogo, e segundo DUXSON *et. al.* (2007) possui baixa retração, boa resistência aos ácidos e baixa condutividade térmica.

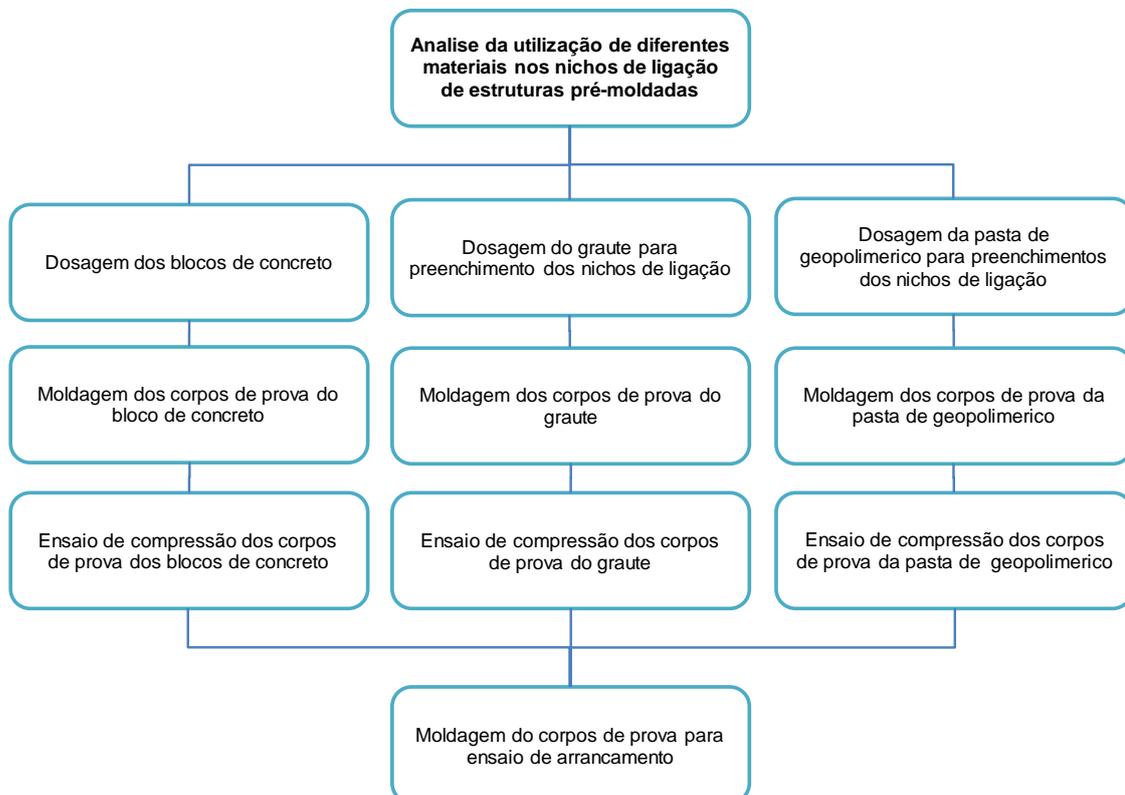
Portanto, o referente estudo deste trabalho será avaliar a tensão de aderência entre a barra de aço e o compósito cimentício utilizado para preenchimento do nicho de ligação das estruturas, comparando dois tipos de materiais, um utilizando graute industrializado e outro pasta de geopolímero. A aderência entre a armadura de aço e o concreto é uma das propriedades responsáveis pelo desempenho e pelas boas características das peças de concreto armado empregado nas estruturas da construção civil (JIANG, 1984).

O ensaio empregado nesse trabalho será por arrancamento direto, tipo "PULL OUT TEST" a ser realizado no laboratório de mecânica da UNESC, onde, através dos procedimentos da norma RILEM/CEB/FIP RC6 (CEB, 1983), pode-se avaliar a aderência entre a barra de aço e os diferentes materiais utilizados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolvimento dos ensaios experimentais foram produzidos 10 corpos de prova em formato cúbico, com furos longitudinais no centro de cada corpo de prova, simulando vigas pré-moldadas, onde foi dividido em dois grupos, sendo 5 corpos de prova utilizando graute industrial para preenchimento dos nichos de ligação, e 5 utilizando pasta de geopolímero. Os ensaios realizados foram do tipo “PULL OUT TEST”, onde é avaliada a aderência entre a barra de aço e o material cimentício. O fluxograma abaixo apresenta os processos realizados no ensaio.

Figura 1 – Fluxograma dos processos para o ensaio.



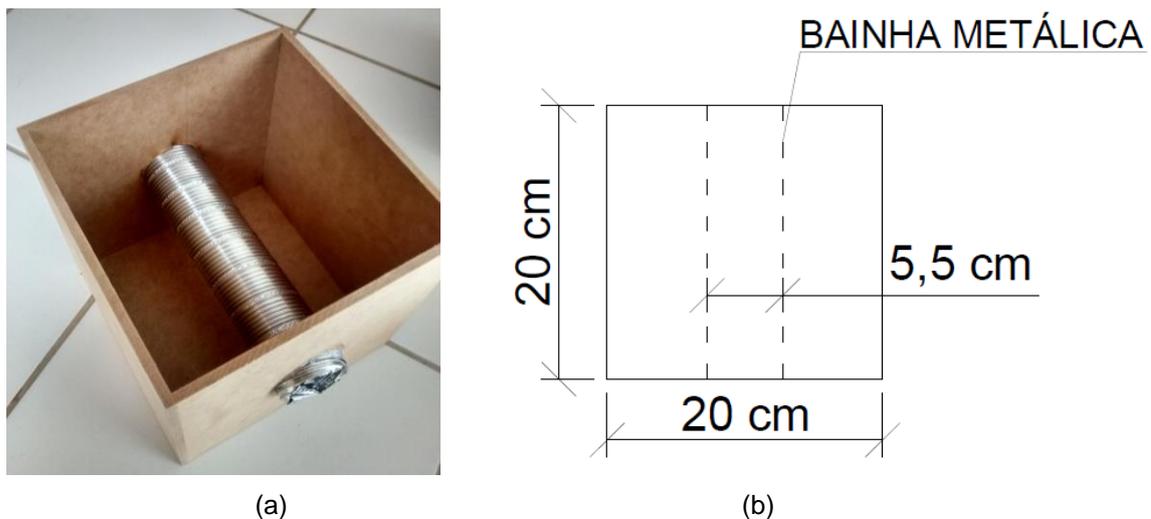
Fonte: Do Autor, 2015.

2.1. FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO E MATERIAIS UTILIZADOS

Na moldagem dos blocos de concreto, foram utilizados fôrmas de madeira com dimensões padronizadas de 20x20x20 cm conforme especificação da RILEM/CEB/FIP RC6 (CEB, 1983). As fôrmas foram furadas em lados opostos com

diâmetro de 5,5 cm, onde foram utilizadas bainhas metálicas para fornecer mais aderência à interfase do material cimentício e o bloco de concreto, conforme mostra a Figura 2. Na utilização das bainhas metálicas, segundo Bertolucci (2010), não há praticamente o deslizamento do aço em relação ao graute de preenchimento da bainha, o que mostra a boa aderência existente deste conjunto, aço-graute-bainha.

Figura 2 – (a) Fôrma de concretagem dos blocos. (b) Croqui dos blocos de concreto.



Fonte: Do Autor, 2015.

O cimento utilizado para concretagem foi o CPIV – 32 com massa específica de 2,8 g/cm³. Utilizou-se areia média com dimensão máxima característica de 4,75 mm e brita 1 com dimensão máxima característica de 19 mm. O traço unitário do concreto utilizado foi de 1:2,3:2,7 com a relação a/c de 0,43, a Tabela 1 demonstra o consumo dos materiais utilizados no concreto.

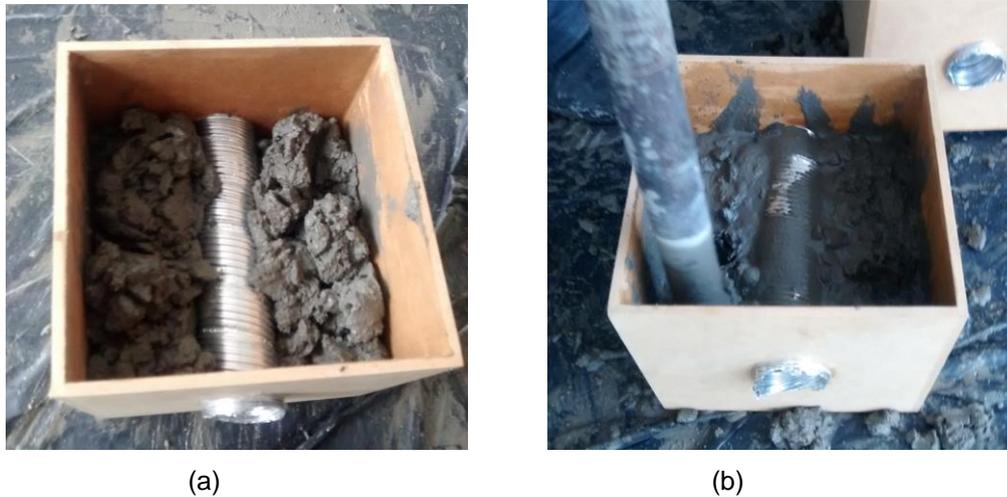
Tabela 1 – Consumo dos materiais no concreto.

Material	Consumo (kg/m ³)
Cimento	388,4
Areia	893,2
Brita	1048,6
Água	155,3

Fonte: Do Autor, 2015.

Como ilustra a Figura 3b, durante a concretagem foi utilizado vibrador elétrico para adensamento do concreto na fôrma.

Figura 3 – (a) Preenchimento das fôrmas. (b) Adensamento do concreto por vibração.



Fonte: Do Autor, 2015.

Foram moldados três corpos de prova cilíndricos ($\Phi 10 \times 20$ cm) para análise da resistência à compressão dos blocos de concreto utilizados no ensaio de arrancamento. Também foi realizado o ensaio para determinação do módulo de elasticidade dos corpos de prova.

Os blocos foram desformados após dois dias de concretagem, com auxílio de martelo e formão para retirar a fôrma de madeira, também foram cortados os excessos sobressalentes das bainhas com serras de mão. Na Figura 4, temos uma ilustração dos corpos de prova após a retirada da fôrma.

Figura 4 – Bloco de concreto após a desforma.



Fonte: Do Autor, 2015.

2.2. UTILIZAÇÃO DOS MATERIAIS DE PREENCHIMENTO DOS NICHOS DE LIGAÇÃO

Para o preenchimento dos nichos, foram utilizados dois tipos de materiais, o graute industrializado comumente aplicado em obras de concreto pré-moldado, e pasta de geopolímero.

2.2.1. DOSAGEM E CARACTERÍSTICAS DO GRAUTE INDUSTRIALIZADO

O graute utilizado neste trabalho foi o Super Graute Quartzolit da marca weber quartzolit (Figura 5b), segundo especificações do fabricante, ele é composto de cimento Portland, agregados minerais, aditivos especiais e fluidificantes. Seu consumo é de 2.200 kg/m³, foram utilizados aproximadamente 10 kg para preencher os vazios dos blocos e moldar os corpos de provas. Sua dosagem foi realizada conforme prescreve o fabricante, onde a quantidade de água é de três litros para 25 kg de graute, sendo assim, obtém-se uma relação de 0,12 litros de água para cada quilograma utilizado. Para mistura da argamassa, foi utilizado a argamassadeira do laboratório LMCC/UNESC conforme mostra a Figura 5a.

Figura 5 – (a) Argamassadeira utilizada na mistura. (b) Ilustração do pacote do graute utilizado



(a)

Fonte: Do Autor, 2015.



(b)

Fonte: Site Copafar, 2015.

Após a realização da mistura, e obtenção da pasta, foram moldados seis corpos de prova cilíndricos ($\Phi 5 \times 10$ cm) para cada material (graute e geopolímero) para realização dos ensaios de compressão e módulo de elasticidade aos 28 dias.

2.2.2. DOSAGEM DA PASTA DE GEOPOLIMERO E SUA APLICAÇÃO

No desenvolvimento da pasta de geopolímero, as especificações e as quantidades dos materiais utilizados, juntamente com os procedimentos adotados para fabricação da pasta, seguiram as recomendações de Frasson (2015), onde, foi utilizada uma pasta de cimento álcali-ativado, constituída de Metacaulim (MK), proveniente do argilomineral Caulim, calcinado à 800°C , hidróxido de sódio (NaOH) da Sigma Aldrich e Silicado de Sódio ($\text{Na}_2\text{OSiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) com 63% de água como ativadores, da Sigma Aldrich. De acordo com estudos realizados por Pelisser *et al* (2013) utilizou-se uma composição de geopolímero com relação molar $\text{Na}_2\text{OSiO}_2/\text{NaOH}$ de 1,6, conforme indicam as Tabelas 3 e 4, e as características nanomecânicas como mostra a Tabela 2, conforme Menger, Frasson&Pelisser (2013).

Segundo Frasson (2015), os valores de densidade foram obtidos por meio de determinação da absorção de água por imersão – Índices de vazios e massa específica (ABNT NBR 9778:2009).

Tabela 2 – Características da pasta de Cimento Álcali-Ativado.

Resistência à Compressão 7 dias	64,0 (MPa)
Módulo de Elasticidade	10,0 (GPa)
Dureza	0,4 (GPa)
Densidade	1,5 (g/cm ³)

Fonte: Pelisser *et al* 2013.

Tabela 3 – Composição química do Metacaulim (% peso).

Elementos	Metacaulim (800°C)
Al_2O_3	45,2
SiO_2	53,4
Perda ao fogo	0,4

Fonte: Pelisser *et al* 2013.

Tabela 4 – Relação Molar do Cimento Álcali-Ativado.

Composição	Relação Molar
$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	6,94
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	3,2
$\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$	0,46
$\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$	0,14
$\text{Na}_2\text{OSiO}_2/\text{NaOH}$	1,6
$\text{H}_2\text{O}/\text{MK}$ (g/g)	0,75

Fonte: Pelisser *et al* 2013.

Para determinação da resistência à compressão e módulo de elasticidades da pasta de geopolímero foram moldados seis corpos de prova cilíndricos ($\Phi 5 \times 10$ cm). Após 28 dias de cura foram ensaiados no laboratório de construção civil da UNESC. Na figura abaixo, temos um exemplo do preenchimento dos nichos dos blocos com a utilização da pasta de geopolímero desenvolvida no laboratório.

Figura 6 – (a) Preenchimento dos blocos de concreto. (b) Corpos de prova ($\Phi 5 \times 10$ cm) da pasta de geopolímero.



(a)



(b)

Fonte: Do Autor, 2015

2.3. ENSAIO DE ARRANCAMENTO TIPO “PULL OUT TEST”

Com os materiais de enchimento e os blocos desenvolvidos, foi realizada a montagem dos corpos de prova para o ensaio de arrancamento “PULL OUT TEST”.

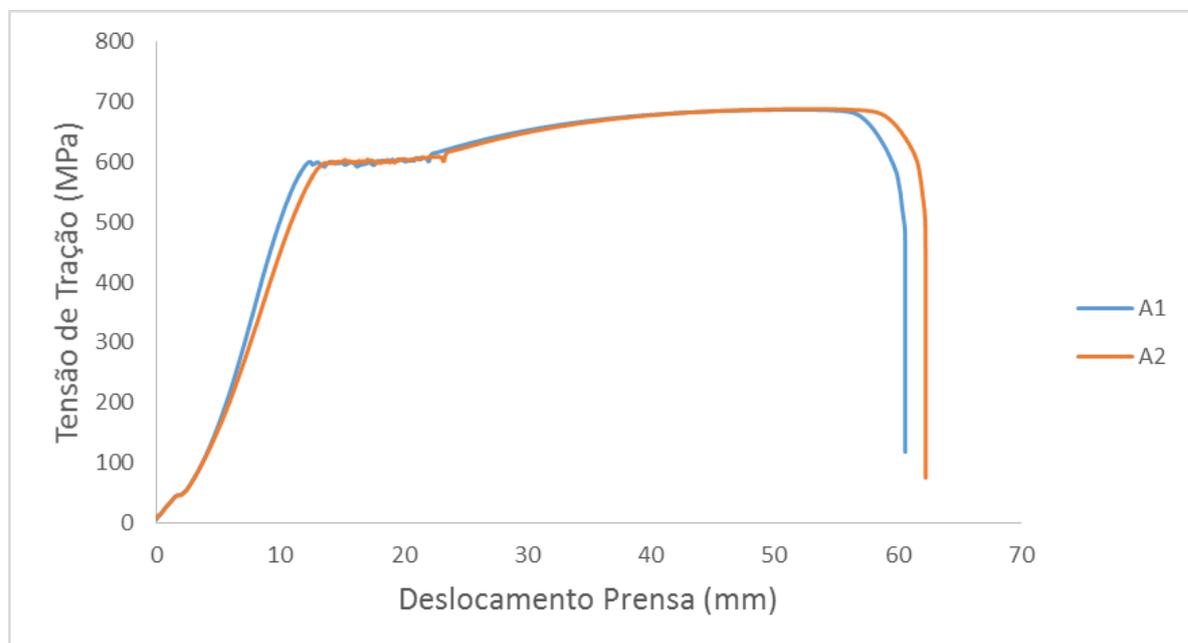
O aço utilizado para o experimento foi o CA-50, com diâmetro de 12,5 mm e comprimento de 1,05 m. Realizou-se o ensaio de tração em duas amostras de barras de aço no laboratório de Mecânica da UNESC seguindo as especificações da norma NBR 7480:2007. Essa norma especifica que a tensão de escoamento das barras de aço CA-50 seja no mínimo 500 MPa e a tensão de ruptura seja 10% maior que este valor. Os resultados dos ensaios estão apresentados na Tabela 5 e Figura 7. Na Tabela 5 pode-se observar que as barras atendem as especificações da NBR 7480:2007.

Tabela 5 – Caracterização das barras de aço.

Amostras	Resistência de Escoamento (MPa) {D.P.}	Limite de Resistência (MPa) {D.P.}	Massa por Metro Linear (kg/m) {D.P.}	Alongamento Total na Força Máxima (%) {D.P.}
A1	576,48	665,88	0,973	13,10
A2	581,58	667,11	0,974	12,86
Média	579,03 {3,61}	666,50 {0,87}	0,974 {0,001}	12,98 {0,17}

Fonte: Do Autor, 2015

Figura 7 – Gráfico das tensões do aço.

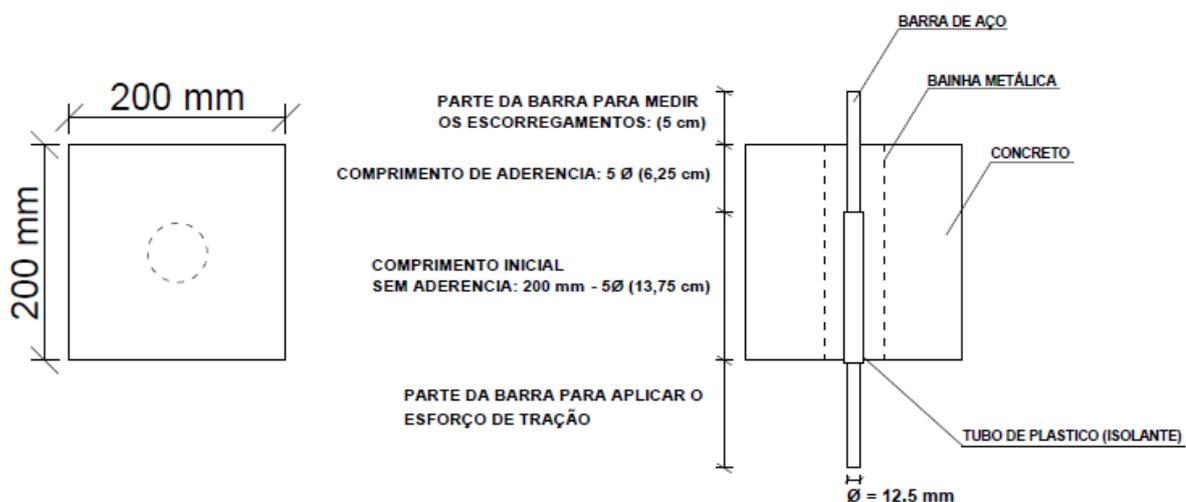


Fonte: Do Autor, 2015.

Para realização do ensaio de aderência utilizou-se o procedimento da norma RILEM/CEB/FIP RC6 (CEB, 1983) a qual cita que as dimensões laterais do bloco

devem ser 10 vezes o diâmetro da barra de aço ou no mínimo 200 mm, e o comprimento de ancoragem da barra de aço deve ser cinco vezes o diâmetro da mesma. Abaixo temos um esquema da montagem dos corpos de prova (Figura 8). Para garantir o comprimento de ancoragem foi utilizado um tubo de plástico que revestiu a barra no lado de aplicação da carga, garantindo que não houvesse atrito entre a barra e o material de enchimento, conforme especifica a norma para minimizar os efeitos de compressão no ensaio pull-out. É importante deixar claro que a norma da RILEM não prevê a localização da bainha metálica, no caso foi realizada uma implementação da bainha no corpo de prova para contemplar o objeto de estudo da presente pesquisa. Essa implementação também foi proposta por Bertolucci (2010).

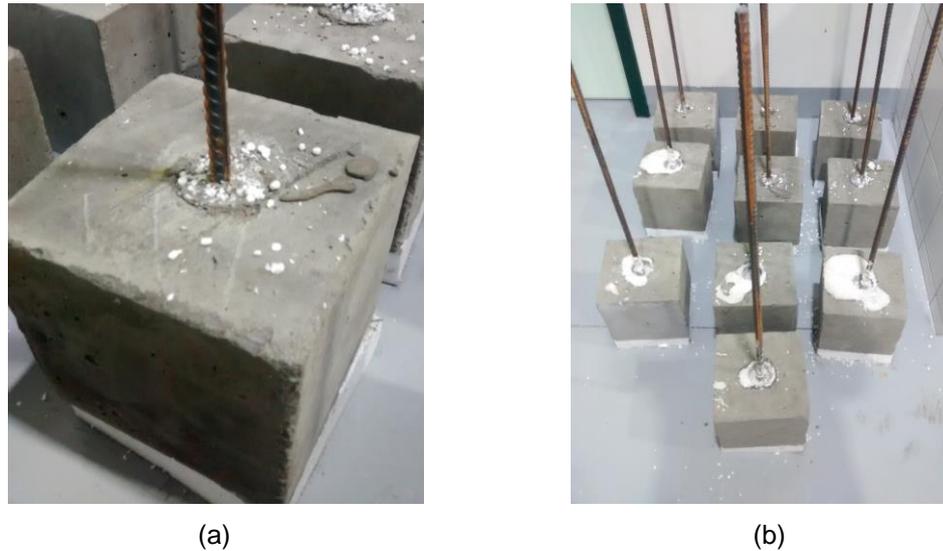
Figura 8 – Croqui do corpo de prova desenvolvido, proposto pela Rilem.



Fonte: RILEM (1983).

Após a desmoldagem, os corpos de prova foram curados em temperatura ambiente por 28 dias até a realização dos ensaios, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 (a) e (b) – Corpos de prova de arrancamento.

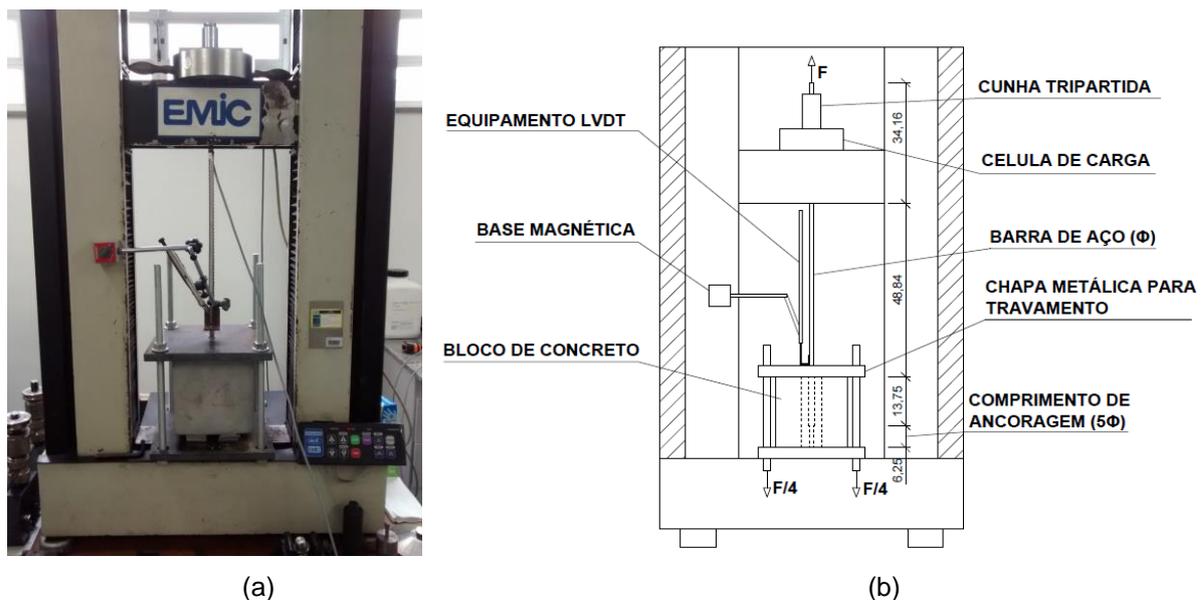


Fonte: Do Autor ,2015

2.3.1. MONTAGEM DO ENSAIO DE ADERÊNCIA AÇO-CONCRETO

Os ensaios foram realizados no laboratório de mecânica da UNESC, em uma prensa de tração (marca EMIC), com capacidade para 100 kN. Abaixo temos um esquema da montagem dos corpos de prova na prensa.

Figura 10 – (a) Equipamento para ensaio de arrancamento. (b) Croqui do Ensaio.



Fonte: Do Autor, 2015.

Conforme indicado na Figura 10 foi utilizada uma célula de carga com capacidade de 250 kN para obtenção da força de arrancamento e para leitura do deslocamento foi utilizado um LVDT com capacidade de 100 mm. Na fixação do LVDT, foi utilizado um suporte magnético e uma cantoneira metálica, junto com um alicate de pressão, para fixar a mesma na barra de aço. Para travar a barra durante o arrancamento foi utilizado uma cunha tripartida acima da célula de carga. No travamento dos blocos foram utilizadas duas chapas metálicas com 19 mm de espessura, na parte superior e inferior, e o sistema fechado por quatro barras roscadas com $\Phi 19$ mm, impedindo a movimentação do bloco.

Para o cálculo da tensão de aderência foi utilizada de acordo com a equação 1.

$$\tau_b = \frac{F}{\pi \phi L_e} \quad \text{equação (1)}$$

Em que: τ_b = Tensão de aderência (MPa);

F = Força de tração (N);

ϕ = Diâmetro da barra de aço utilizada (mm);

L_e = Comprimento de ancoragem da barra de aço (mm).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIO DE COMPRESSÃO

Com a conclusão dos ensaios realizou-se uma análise das resistências à compressão obtidas de cada material. Para identificação dos materiais foram adotados as siglas, “BL” para o bloco de concreto, “C” para o graute e “G” para a pasta de geopolímero. A Tabela 6 mostra os resultados de resistências dos materiais.

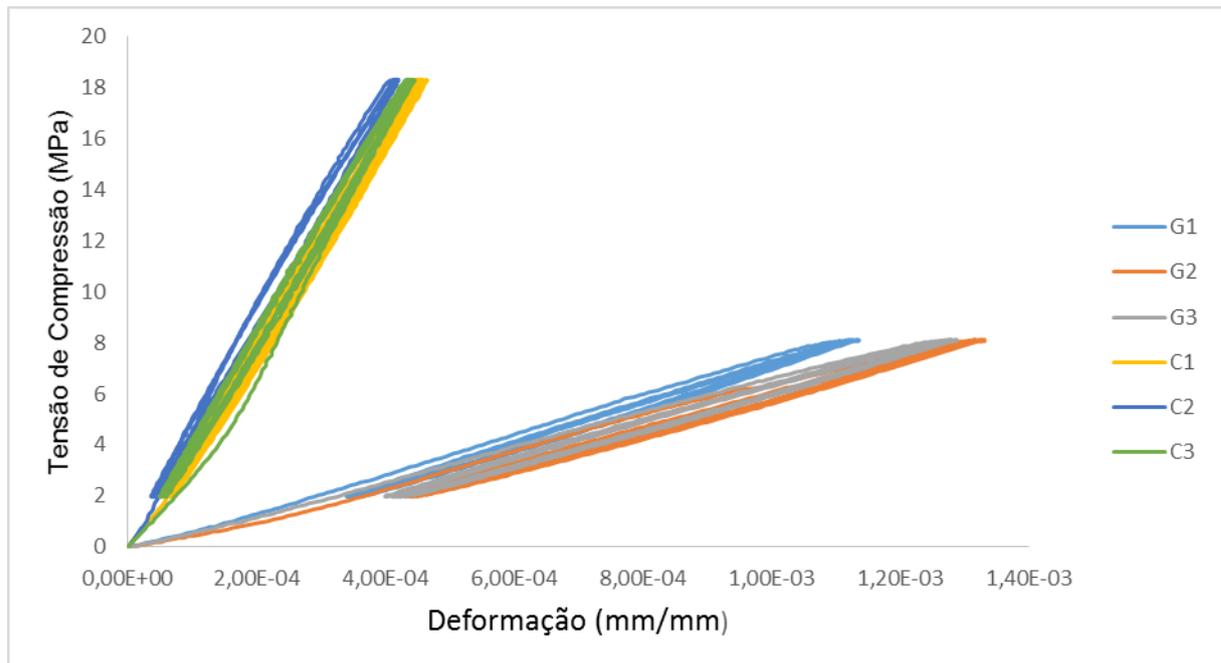
Tabela 6 – Resultados dos ensaios de compressão e módulo.

	Idade	Resistência à compressão (MPa) {D.P.}	Módulo de Elasticidade (GPa) {D.P.}
BL1		43,28	46,39
BL2	28 Dias	41,12	44,49
BL3		36,73	-
Média		40,38 {3,34}	45,44 {1,34}
C1		65,09	41,66
C2		60,67	42,65
C3	28 Dias	59,24	42,45
C4		67,59	-
C5		66,88	-
C6		67,20	-
Média		64,45 {3,61}	42,25 {0,52}
G1		36,59	7,81
G2		22,22	6,84
G3	28 Dias	22,76	7,00
G4		29,32	-
G5		30,21	-
G6		28,39	-
Média		28,25 {5,31}	7,22 {0,52}

Fonte: Do Autor, 2015.

Analisando os valores da tabela acima pode-se verificar quanto à diferença média entre a resistência à compressão do graute (grupo C) e da pasta de geopolímero (grupo G) é de 56,16%, e a diferença com relação ao módulo de elasticidade é 82,91%.

Figura 11 – Gráfico da deformação específica dos compósitos cimentícios.



Fonte: Do Autor, 2015.

O gráfico da Figura 11 mostra a deformação específica do graute e da pasta de geopolímero, evidenciando a maior deformação da pasta de geopolímero com aplicação da carga.

3.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS NO ENSAIO DE ARRANCAMENTO “PULL OUT TEST”

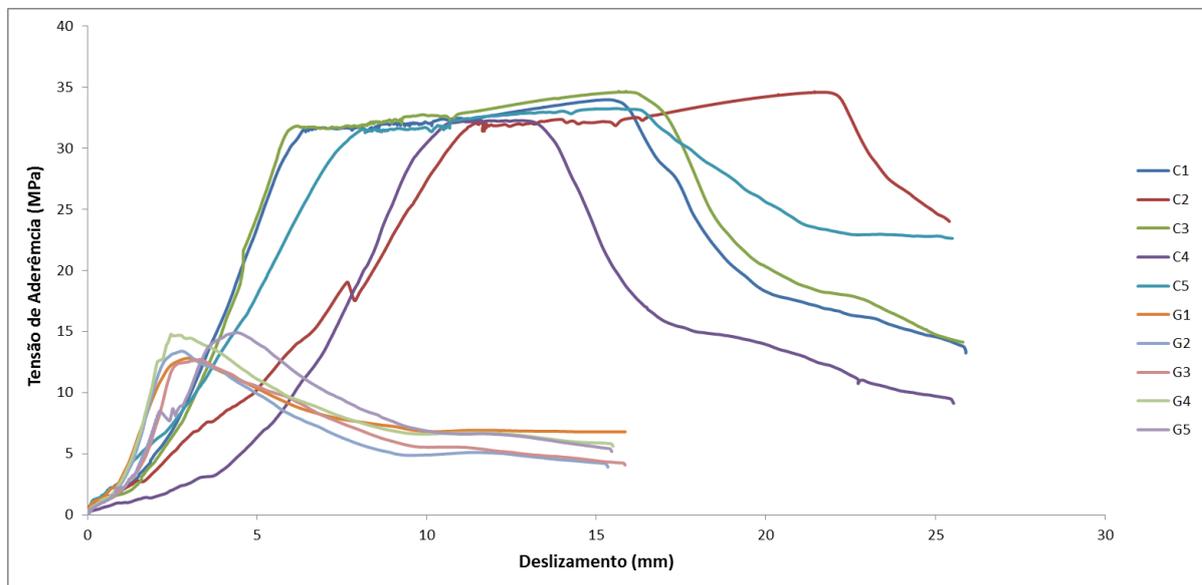
No ensaio de arrancamento obteve-se as resistências de aderência dos dois grupos de materiais de enchimento em estudo. Conforme ilustra a Tabela 7, a variação da tensão máxima de aderência do graute com relação a pasta de geopolímero foi de 59,35% maior. No gráfico da Figura 12, podemos analisar o comportamento dos dois materiais durante a realização dos ensaios.

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de arrancamento “PULL OUT TEST”

	Idade	Tensão máxima de Aderência - τ_{bmax} (MPa) {D.P.}	Deslocamento na τ_{bmax} (mm)
C1	28 Dias	33,97	15,38
C2		34,63	21,44
C3		34,66	15,87
C4		32,26	12,59
C5		33,25	15,58
Média		33,75 {1,02}	16,17 {3,22}
G1	28 Dias	12,81	3,01
G2		13,39	2,78
G3		12,71	3,32
G4		14,78	2,46
G5		14,92	4,39
Média		13,72 {1,06}	3,19 {0,73}

Fonte: Do Autor, 2015.

Figura 12 – Gráfico do comportamento dos materiais utilizados.



Fonte: Do Autor, 2015.

Como pode-se observar o graute apresentou maior valor de aderência, em contra partida, a relação entre sua tensão máxima de aderência e resistência à compressão (τ_{bmax}/f_c) ficou em 52,36%, ficando esta relação próxima a pasta de geopolímero, que apresentou uma relação de 48,56%.

No gráfico da Figura 12, pode-se observar que o comportamento da pasta de geopolímero apresentou deslizamentos relativos aço/concreto menores do que o do graute, até o limite comparativo entre os dois materiais.

Outro detalhe com relação ao graute é que ocorreu a estricção da barra de aço como pode-se observar no patamar apresentado no gráfico com tensões de aderência entre 30 e 35 MPa.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo estudar dois tipos de materiais para o enchimento de nichos de ligação em estruturas pré-moldadas, comparando o graute comumente utilizado nas obras com a pasta de geopolímero desenvolvida em laboratório.

Com os resultados obtidos nos ensaios de compressão e de aderência, pode-se concluir que, o graute, com relação à compressão, é mais resistente que a pasta de geopolímero e conseqüentemente seu módulo de elasticidade também é superior.

O ensaio de aderência mostrou que o graute resistiu mais que a pasta de geopolímero, porém com a utilização da pasta de geopolímero, a barra de aço deslizou menos do que o graute até o limite comparativo de tensão de aderência entre os dois.

Apesar dos dois materiais apresentarem uma diferença entre suas resistências à compressão, vale salientar que ambos obtiveram resultados satisfatórios, quando comparada a relação da resistência à compressão com a resistência de aderência, onde os resultados em percentual ficaram em torno de 50%, mostrando que o geopolímero tem potencial para utilização em ligações pré-moldadas.

Um dos problemas de se adotar a pasta de geopolímero em vez do graute na utilização em obra é na preparação da mistura, visto que o graute é mais prático e rápido de se produzir, pois trata-se de um produto industrializado e com grande disseminação no mercado da construção civil. Por outro lado a pasta de geopolímero necessita de uma dosagem mais apurada, ficando sua fabricação mais demorada. Entretanto, vale salientar, que como todo novo material o processo de aceitação pelo meio técnico e industrialização passa por um longo período de teste antes da efetiva aplicação em obras reais.

De maneira geral pode-se concluir que o geopolímero tem um potencial a ser explorado como material de enchimento em nichos de ligação em estruturas pré-moldadas.

Sugestões a trabalhos futuros:

Utilizar outra composição de pasta de cimento, com traços diferentes para obter melhor material de enchimento.

Realizar a mistura da pasta de geopolímero com utilização de agregados miúdos.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índices de vazio e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2001.

BALLARIN, Adriano Wagner. **Desempenho das ligações de elementos estruturais pré-moldados de concreto**. 1993. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Estruturas, da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP.

BERTOLUCCI, Felipe Sakae. **Investigação de compósitos cimentícios para preenchimento de juntas da interface e de nichos em ligações de estruturas pré-moldadas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Ilha Solteira – SP.

DUXSON P ET AL. **Geopolymer technology: the current state of the art**. J Mater Sci 2007; 42:2917-33.

FERREIRA, M. A. (1999). **Deformabilidade de ligações viga-pilar de concreto pré-moldado**. São Carlos, 231p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP.

FRASSON, B.J. **Resistencia do cimento Álcali-Ativado em reparo de fissuras**. Trabalho de conclusão de curso Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma – SP, 2015.

JIANG, D. H., SHAH, S. P., ANDONIAN, A. T. (1984) - **Study of the Transfer of Tensile Forces by Bond**. ACI Journal, N. 81-24, may-june, p. 251-260.

KATAOKA, M. N. (2007). **Estudo da continuidade em ligações laje-viga-pilar em estruturas pré-moldadas de concreto**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP.

KOMNISTSAS K, ZAHARAKI D. **Geopolymerisation: a review and prospects for the minerals industry**. Miner Eng (2007); 20:1261-77.

MIOTTO, A. M. (2002). **Ligações viga-pilar de estruturas de concreto pré-moldado: análise com ênfase na deformabilidade ao momento fletor**. São Carlos. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

NOBREGA, P. G. B. **Análise dinâmica de estruturas de concreto: estudo experimental e numérico das condições de contorno de estruturas pré-moldadas**. São Carlos, 2004. PhD. Thesis – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP.

PELISSER, F. GUERRINO, E.L., MENGER, M. MICHEL, M.D. LABRINCHA, J.A. **Micromechanical characterization of metakaolin-based geopolymers**. Construction&BuildingMaterials, v 49, 0. 547-553, 2013.

RILEM/CEB/FIP-RC6 (1983) - **Bond Test for Reinforcement Steel: 2. Pull-Out Test (Revised Edition)**. CEB Manual on Concrete Reinforcement Technology, Lausanne, 3 p.

SOARES, Joadelio Chagas. **Aço-Concreto geopolimérico: Correlação entre tensão de aderência e comprimento de ancoragem**. 2006. 124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.

SCHNEIDER, M. ROMER, M. TSCHUNDIN, M. BOLIO, H. **Sustainable cement production – present and future**. Construction and Building Materials 41 (2011); 642-650.