

Modified mortar pad behavior in the transfer of compressive stresses

Comportamento de almofadas de argamassa modificada na transferência de tensões de compressão



J. D. DITZ ^a
jackson.ditz@gmail.com

M. K. EL DEBS ^b
mkdebs@sc.usp.br

G. H. SIQUEIRA ^c
siqueira@fec.unicamp.br

Abstract

This research aims to analyze the compressive stress transfer between precast concrete elements using cement mortar pads modified with polypropylene fibers, styrene-butadiene latex and heat-expanded vermiculite. The stress transfer analyses are performed interleaving a cement-bearing pad between two concrete blocks, subjecting the entire specimen to different compressive load tests. The parameters analyzed in the tests are: surface roughness (using bosses on the bonded phase of different thicknesses), compressive strength with monotonic and cyclic loadings. The main results obtained in this study are: a) the presence of pad increased the strength in 24% for thicknesses of imperfections of 0.5 mm and approximately 12% for smooth faces blocks; b) gain of effectiveness of the bearing pad when the concrete strength was reduced; c) for cyclic loading, the bearing pad increased in 48% the connections strength.

Keywords: bearing pad, mortar pad, stress transfer.

Resumo

O objetivo deste trabalho é analisar a transferência de tensões de compressão entre elementos de concreto pré-moldado através de almofadas de argamassa modificadas com fibras de polipropileno, látex estireno-butadieno e vermiculita termo-expandida. As análises de transferência de tensões foram realizadas intercalando uma almofada entre dois blocos de concreto e submetendo o corpo de prova a ensaios de compressão. Os parâmetros variados foram: rugosidade superficial (saliências na face ligada de diferentes espessuras), resistência à compressão do concreto dos blocos e carregamento monotônico e cíclico. Os principais resultados dos ensaios de ligação foram: a) a presença da almofada aumentou a resistência em 24% para espessuras de saliências de 0,5 mm e cerca de 12% para blocos com faces ligadas lisas; b) a efetividade da almofada aumentou à medida que se reduziu a resistência à compressão do concreto; c) para carregamento cíclico, a almofada de apoio aumentou em 48% a resistência da ligação.

Palavras-chave: almofada de apoio, almofada de argamassa modificada, transferência de tensões.

^a Faculdade Meridional - IMED, Escola de Engenharia Civil, Passo Fundo, RS, Brasil;

^b Universidade de São Paulo, Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil;

^c Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Estruturas, Campinas, SP, Brasil.

1. Introdução

As ligações entre elementos pré-moldados de concreto são parte importante no projeto desse tipo de solução estrutural. Em função das imperfeições existentes nos elementos pré-fabricados, pode ocorrer concentração de tensões nas ligações com contato direto. Uma possibilidade de evitar esta concentração de tensões é a utilização de uma almofada de apoio entre as peças ligadas, que tendem a distribuir mais uniformemente as tensões de compressão e proporcionam certa liberdade de deslocamentos horizontais e rotações.

Entre os materiais mais utilizados como almofadas de apoio estão os policloroprenos, argamassa moldada no local e as chapas de aço. Este trabalho analisa a transferência das tensões de compressão em ligações de concreto pré-moldado utilizando um material alternativo, as almofadas de argamassa modificada (AAM). O material, o desempenho da almofada e as suas aplicações podem ser vistas com mais detalhes em EL DEBS [1].

As AAM são produzidas acrescentando à argamassa de cimento e areia látex estireno-butadieno, fibras de polipropileno e vermiculita termo-expandida, alterando as propriedades de deformabilidade, a capacidade de acomodação de cargas pontuais e a resistência mecânica das almofadas.

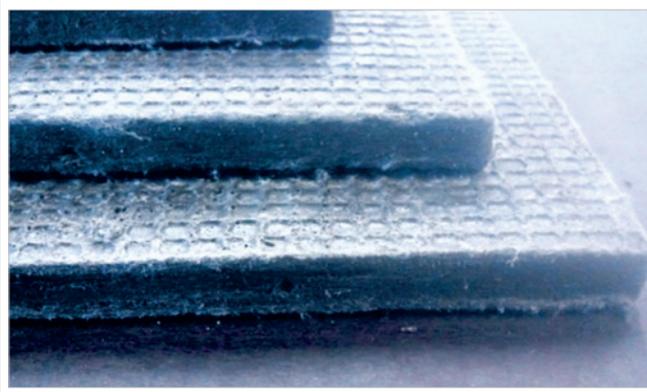
EL DEBS et al. [2] apresentam um estudo no qual realizaram ensaios de compressão em corpos de prova que eram formados por dois blocos de concreto intercalados – ou não – com uma almofada de argamassa modificada. As almofadas possuíam 10 mm de espessura e superfície lisa, com resistência à compressão média de 34,9 MPa, resistência à tração média de 2,66 MPa e módulo de elasticidade médio de 13,1 GPa. Os blocos de concreto tinham resistência à compressão variando de 52 a 61 MPa. O bloco de concreto superior possuía uma superfície ligada rugosa, com espessuras de 0,0 mm, 0,75 mm, 1,0 mm e 1,5 mm, que visavam simular as imperfeições encontradas em estruturas reais.

Os ensaios experimentais de EL DEBS et al. [2] revelaram que a presença da almofada de apoio aumentou a resistência da ligação em corpos de prova com saliências na face ligada de 0,75 mm e 1,0 mm de espessura. Para blocos com faces lisas e blocos com imperfeições de 1,5 mm de espessura, não houve acréscimo significativo de resistência na ligação.

EL DEBS E BELLUCIO [3] introduziram às almofadas pequenas rugosidades superficiais e verificaram que a presença destas tende a reduzir a rigidez de almofada da mistura no estado endurecido. Os pesquisadores utilizaram também de dois tipos de fibras de polipropileno, julgando como mais adequada, após ensaios experimentais, uma que possuía diâmetro de 12 µm (a segunda possuía diâmetro de 180 µm), pois esta forneceu ao material menor rigidez e maior tenacidade.

SIQUEIRA E EL DEBS [4] avaliaram a rigidez das AAM com su-

Figura 1 – Almofada de apoio de argamassa modificada com superfície rugosa



perfície lisa perante carregamento cíclico. Nos ensaios para medir a rigidez das almofadas, estes autores verificaram que a rigidez da mistura no ensaio cíclico sofreu pouca alteração em relação aos corpos de prova carregados monotonicamente. Nos ensaios repetitivos observou-se uma deformação plástica somente nos primeiros níveis de carregamento. Neste mesmo estudo, verificou-se também que o acréscimo de vermiculita diminuiu significativamente a resistência do composto e reduziu também o seu módulo de elasticidade. O látex estireno-butadieno fornece plasticidade à mistura e, dentro de níveis adequados, não prejudica a resistência à compressão. Este contribui também para a redução da rigidez da AAM no estado endurecido.

Essa pesquisa atual visa dar continuidade a um estudo que já vem sendo realizado na Escola de Engenharia de São Carlos desde o final dos anos noventa. Detalhes deste histórico de pesquisas, ensaios realizados e resultados obtidos podem ser encontrados em DITZ [5].

São realizados ensaios de compressão em ligações entre blocos de concreto com e sem almofada de apoio de argamassa modificada, variando-se a espessura das saliências na face ligada dos blocos (essas saliências visam simular as imperfeições encontradas em estruturas reais), a classe de resistência mecânica do concreto e o tipo de carregamento (monotônico ou cíclico). Os resultados são expressos de modo a avaliar a transferência das tensões de compressão com e sem almofada de apoio.

2. Materiais e programa experimental

A produção das AAM foi realizada com os produtos descritos a seguir: a) Cimento Portland CP-V-ARI; b) Areia: passante na

Tabela 1 – Dosagem em massa das AAM

Cimento	Areia	Vermiculita	Látex	Fibra	Superplastificante	Água	Consumo de cimento (kg/m³)
1	0,285	0,015	0,1	0,02	0,025	0,25	1220

peneira de malha igual a 0,6 mm e com massa específica de 2630 kg/m³; c) Vermiculita termo-expandida: massa unitária de 113 kg/m³; d) Látex estireno-butadieno: teor de sólidos de 50%; e) Fibras de polipropileno: cde 10 mm e diâmetro de 12 µm; f) Aditivo superplastificante.

A dosagem das AAM utilizadas na pesquisa consta na Tabela [1]. Com relação à cura, foram adotadas as recomendações de RAY E GUPTA et al. [6] para compósitos cimentícios modificados com polímeros, sendo que as primeiras 48 horas após a desmoldagem

foram em câmara úmida. Após esse período as amostras foram curadas a seco e em temperatura ambiente até a data de execução dos ensaios. Todos os ensaios com argamassas foram realizados com idades entre 14 e 21 dias da data de moldagem.

Este compósito apresentou resistência média à compressão de 27,65 MPa, resistência média à tração de 3,62 MPa e módulo de elasticidade estático de 11,53 GPa. As AAM apresentavam espessura de 10 mm e as demais arestas de 150 mm x 150 mm e um acabamento superficial rugoso, como pode ser visto na Figura [1].

Figura 2 - Detalhe do bloco de concreto com nove saliências (dimensões em mm)
(Adaptado de El Debs et. al. (2008)): a) Vista lateral; b) Vista da face rugosa; c) Detalhe da saliência do bloco

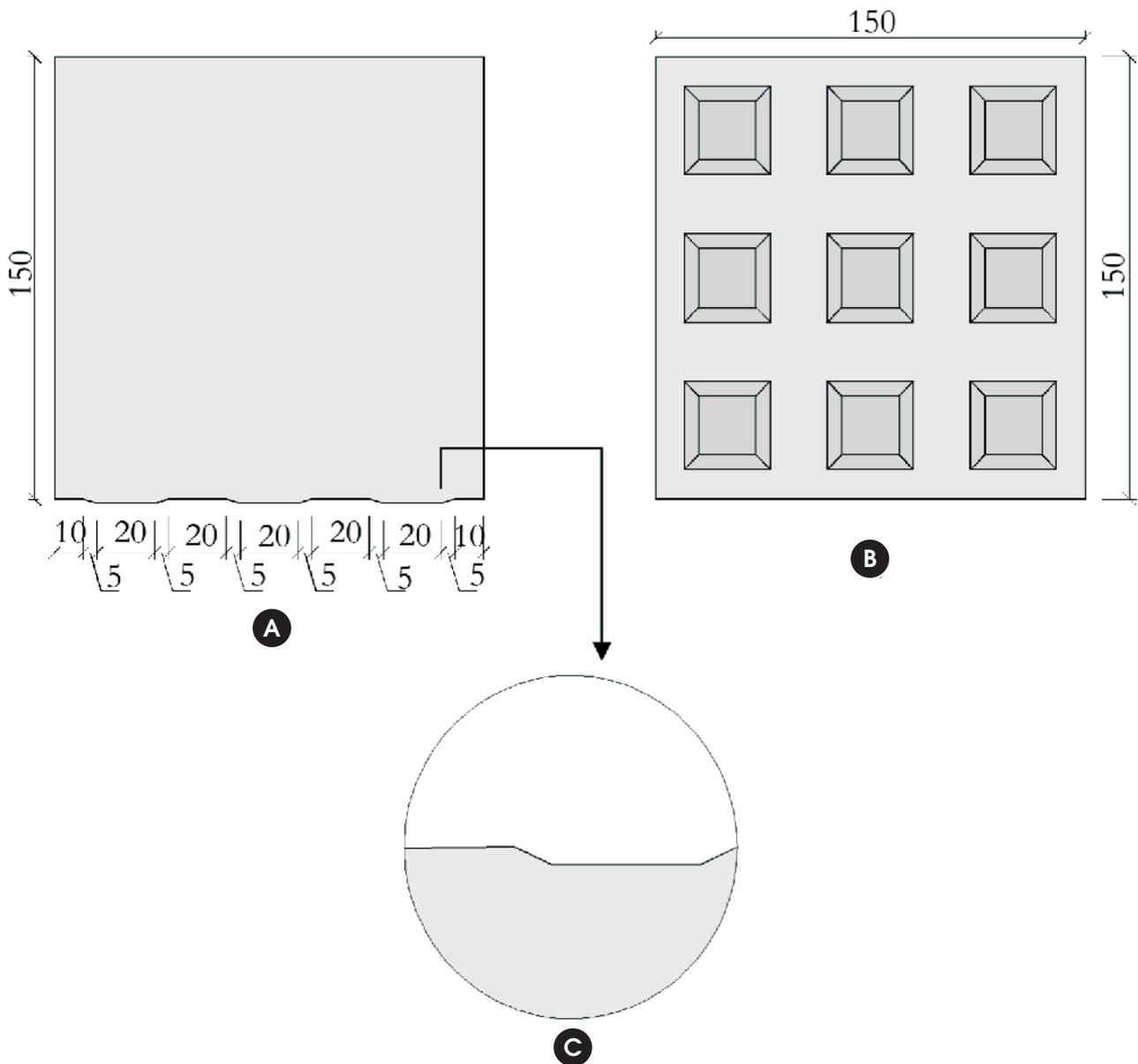


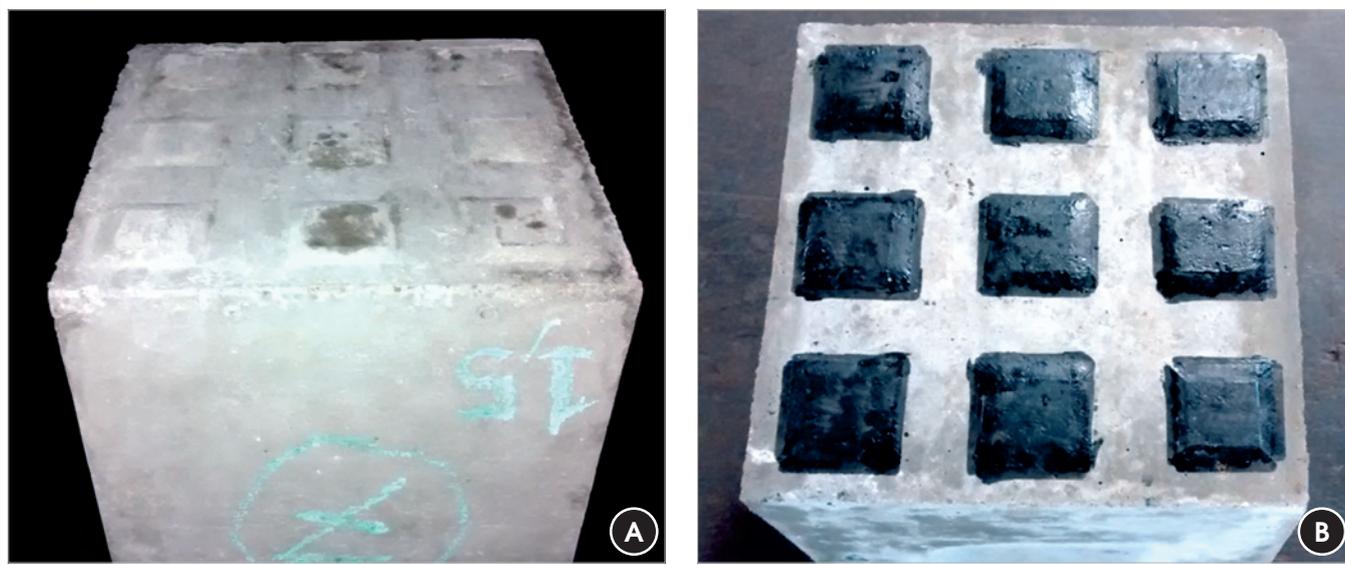
Tabela 2 – Séries analisadas nos ensaios de ligação

Série	Espessura da saliência (mm)	Classe de resistência à compressão dos blocos (MPa)	Presença de almofada de apoio	Regime monotônico ou cíclico
S065SM	0	65	Sim	Monotônico
S0.565SM	0,5	65	Sim	Monotônico
S1.065SM	1,0	65	Sim	Monotônico
S1.565SM	1,5	65	Sim	Monotônico
S065NM	0	65	Não	Monotônico
S0.565NM	0,5	65	Não	Monotônico
S1.065NM	1,0	65	Não	Monotônico
S1.565NM	1,5	65	Não	Monotônico
S1.040SM	1,0	40	Sim	Monotônico
S1.090SM	1,0	90	Sim	Monotônico
S1.065SC	1,0	65	Sim	Cíclico
S1.065NC	1,0	65	Não	Cíclico
Monolítico	-	65	-	Monotônico

Os blocos de concreto componentes do sistema de ligação eram cúbicos com arestas de 150 mm. O bloco superior de concreto possuía nove saliências na face ligada com espessura variável entre 0,0 mm (face lisa), 0,50 mm, 1,0 mm e 1,50 mm, como indicado na Figura [2]. Além da espessura das saliências, foi variável também a classe de resistência média à compressão dos concretos entre 40, 65 e 90 MPa. Nas séries em que foi variável a classe de resistência dos concretos, a espessura das saliências foi adotada de 1,0 mm.

Em cada moldagem dos blocos para ensaios de ligação foram recolhidas também seis amostras desse concreto para controle da sua resistência à compressão. Assim, em virtude de possíveis diferenças na resistência do compósito ao longo das dosagens e de forma a amenizar tais diferenças, foi relacionada a resistência da ligação com a resistência à compressão do concreto. Para os ensaios com concretos da classe de resistência de 65 MPa que visavam obter relações para transferência de tensões variando-se a espessura das saliências na face ligada, os resultados foram

Figura 3 – a) Bloco com saliências em uma das faces após a desforma; b) Blocos com saliências em destaque



apresentados em função da resistência à compressão dos blocos contínuos ou descontínuos, com e sem a presença da AAM. Para as demais análises, foi estipulado um coeficiente, denominado relação L/C. Essa relação trata-se da razão entre a resistência da ligação e a resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos de concreto (15 cm x 30 cm), utilizados como referência para a resistência à compressão da amostra. Essa relação foi idealizada para possibilitar a comparação da efetiva capacidade de transferência de tensões das almofadas para ensaios com blocos de diferentes classes de resistência à compressão. Dessa forma, determina-se para a ligação um percentual do valor da resistência à compressão do concreto de referência.

A desmoldagem das amostras cilíndricas para o ensaio de compressão e das amostras cúbicas para ensaio de ligação foi realizada com 24 horas da data de moldagem seguida de imediata disposição em câmara úmida para cura e retirados um dia antes da execução dos ensaios. Os blocos de concreto foram ensaiados com sete dias da data de moldagem. Nas Figuras [3a] e [3b] é possível ver os blocos de concreto após a desforma. Devido à geometria cúbica dos blocos, não foi possível realizar a sua retífica. Entretanto, foi realizado o capeamento das superfícies dos blocos com massa plástica.

Um esquema dos ensaios de transferência de tensões é apresentado na Figura [4a], onde pode-se observar a posição dos blocos superior e inferior de concreto, as saliências com espessura variável e a posição da AAM durante o ensaio de compressão centrada. A ausência da AAM também foi estudada, verificando qual a sua contribuição à resistência da ligação (Figura [4b]).

Foram ensaiadas também amostras monolíticas, ou seja, sem descontinuidade, constituídas de um corpo de prova de 300 mm de altura e seção transversal de 150 mm x 150 mm. A taxa de carregamento foi de 0,3 kN/s para as amostras descontínuas e, em função de limitações na máquina de ensaios, para os modelos monolíticos,

a taxa de carregamento teve de ser elevada para 0,9 kN/s. Segundo ANDRADE E TUTIKIAN [7], a velocidade de carregamento influencia em no máximo $\pm 5\%$ o resultado do ensaio de compressão.

Na Figura [5a], pode-se ver um modelo para ensaio de ligação de blocos com almofada de apoio e com saliências na face ligada para carregamento monotônico. Ampliando-se a visão na região descontínua, é possível observar, na Figura [5b], um detalhe do contato bloco-almofada-bloco.

Nas ligações submetidas a carregamentos repetitivos, o objetivo foi simular uma situação real de carregamento e descarregamento. Nesses casos, procurou-se verificar o desempenho da ligação para estes ciclos. Esses experimentos foram divididos em três etapas. As configurações de cada etapa – adaptadas de acordo com a capacidade e disponibilidade da máquina de ensaios INSTRON 8506 – foram as seguintes: a) Etapa 1: 50 ciclos de carregamento e descarregamento à uma taxa de 10 kN/s. Nesse momento, a força atuante variou de um valor residual de 0,2 kN até um valor de acomodação das cargas igual a 45 kN (2 MPa). Cada ciclo de carregamento durou 4,5 s; b) Etapa 2: 200 ciclos de carregamento e descarregamento à uma taxa de 20 kN/s. Nessa etapa, a tensão atuante máxima foi um valor considerado de serviço (6 MPa), sendo que o alívio de carregamento não foi total, se restringindo ao valor máximo do período 1 (2 MPa). Cada ciclo demorou também 4,5 s; c) Etapa 3: Regime monotônico de ruptura. Nessa etapa o carregamento se deu em ciclo único até se obter a ruína da amostra. Ao contrário das demais etapas e por questões de segurança relacionadas ao funcionamento da máquina de ensaios, a taxa de carregamento foi dada por controle de deslocamento, que foi igual a 0,005 mm/s. Os modelos ensaiados em regime cíclico foram amostras de ligação com e sem almofada de apoio contendo saliências de 1,0 mm de espessura no bloco superior.

Às séries foram atribuídos nomes, baseado nas siglas que identificam cada uma das variáveis analisadas. A atribuição dos no-

Figura 4 – Esquema do ensaio de transferência de tensões de compressão em ligações: a) Com almofada de apoio; b) Sem almofada de apoio

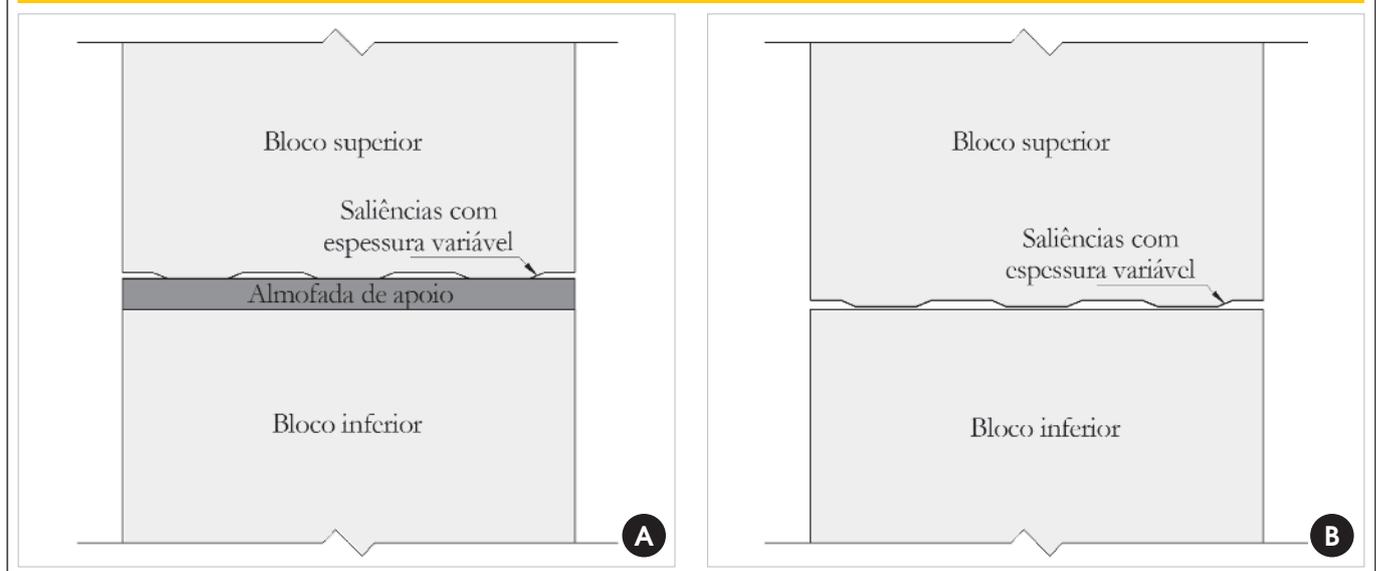


Figura 5 – a) Ensaio de transferência de tensões de compressão com bloco superior com saliências na face ligada; b) Detalhe de contato bloco-almofada-bloco



mes foi dada pela sequência das variáveis indicadas na Tabela [2]. Foram ensaiadas seis amostras para cada série analisada. Após, foi feito um trabalho estatístico, descartando-se valores espúrios identificados pelo Critério de Chauvenet, calculando-se a média aritmética e o desvio-padrão para os resultados experimentais.

3. Resultados e discussões

Na análise dos resultados experimentais, foram utilizados gráficos do tipo *box-and-whisker plots*. Este tipo de gráfico tem a vantagem de apresentar a variação dos resultados experimentais com sua respectiva variação em torno dos valores médios e a concentração destes em torno do valor mediano da amostragem. Os gráficos do tipo *box plot* são muito úteis para exibir de forma simples e clara as informações oriundas de experimentos comparativos (HOGG e LEDOLTER [8]) e útil para examinar dois ou mais conjuntos de dados que permitam uma avaliação fácil dos resultados graficamente (HINES et al. [9]). Este tipo de representação vem sendo utilizada em estudos estatísticos para a avaliação de vulnerabilidade sísmica de estruturas de concreto armado (SIQUEIRA et al. [10]).

Nos gráficos, o asterisco apresenta a média aritmética dos resultados, enquanto a linha horizontal interna representa a mediana; as linhas horizontais externas indicam os limites do 25º e 75º percentuais e, as linhas extremas superiores e inferiores representam os valores máximos e mínimos da resistência à compressão do conjunto de espécimes estudados, respectivamente.

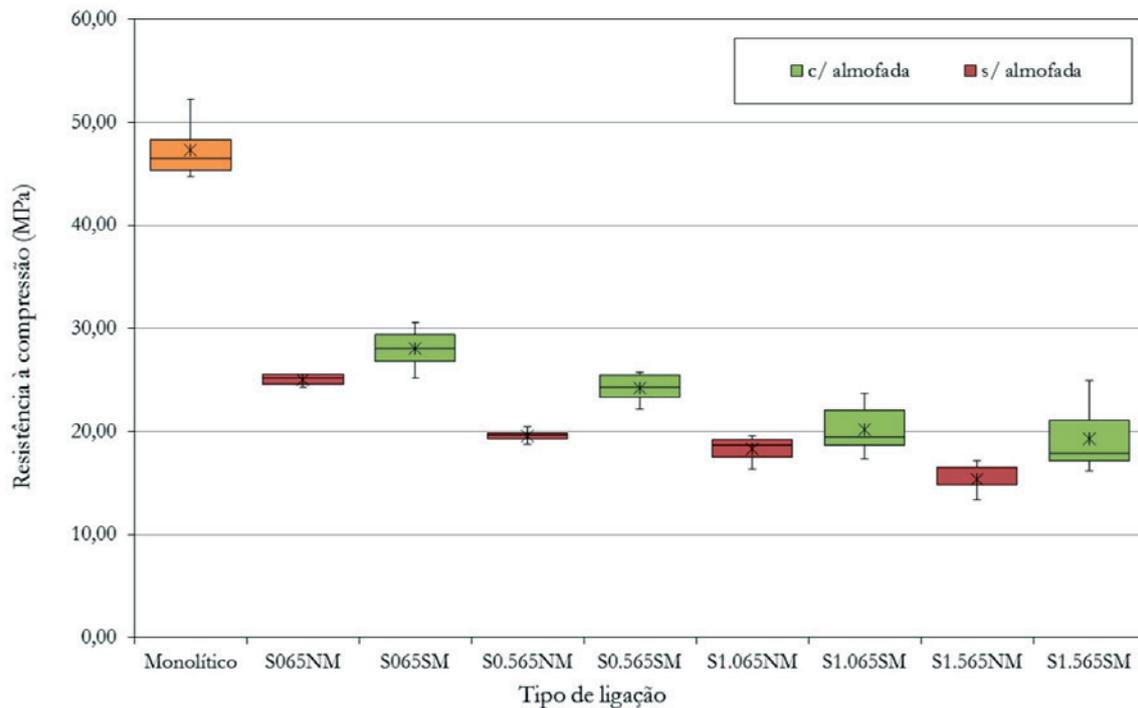
3.1 Influência da espessura das saliências no bloco de concreto

A Figura [6] apresenta os resultados dos ensaios de transferência de tensões na compressão de acordo com o nível das imperfeições na face ligada dos blocos de concreto e da ausência ou presença da almofada de apoio. Esses resultados foram expressos em termos de resistência à compressão em ensaios com blocos de concreto da classe de resistência de 65 MPa, utilizando carregamento monotônico.

O modelo monolítico teve resistência média à compressão significativamente superior em relação aos corpos de prova descontínuos. Comparando-se os valores médios entre a resistência do bloco monolítico e dos blocos descontínuos lisos (sem rugosidade superficial), pode-se observar que a resistência média à compressão do bloco monolítico foi da ordem de 70% superior quando comparado aos blocos lisos com a presença da AAM e da ordem de 90% superior quando comparados aos blocos lisos sem a AAM. Sendo assim, pode-se observar que mesmo para espécimes sem rugosidade superficial, houve uma melhoria na performance do conjunto na presença da AAM, demonstrando sua importância na transmissão das tensões de compressão.

Comparando-se somente os resultados dos blocos descontínuos com face lisa, pode-se observar que os valores de resistência média e a mediana (50º percentual da distribuição) estão muito próximos e, a presença da AAM garantiu um ganho da ordem de 12% na resistência à compressão do conjunto. As diferenças entre os resultados apresentados por SIQUEIRA E EL DEBS [4], onde

Figura 6 – Resistência à compressão das ligações com e sem almofada de apoio para todos os níveis de saliências na face do bloco ligado



a presença da AAM não resultou em diferenças significativas para a resistência à compressão dos blocos descontínuos lisos, e os resultados deste trabalho devem-se, principalmente, à nova composição da argamassa de cimento e as rugosidades superficiais presentes na AAM adotadas neste trabalho. Os maiores benefícios que a almofada forneceu à ligação foram para níveis intermediários de espessuras de saliências nas faces em contato. Para espessuras de 0,5 mm, a presença do elemento de apoio aumentou em cerca de 24% a resistência do conjunto, sendo possível observar que existe um bom afastamento entre as faixas de variação de resistência (25º ao 75º percentis) para os conjuntos com e sem a presença da AAM. Para espessuras elevadas de rugosidade superficial, como nos casos de espessuras acima de 1,0 mm, observa-se uma grande variabilidade e diferenças importantes entre as médias e as medianas, os valores máximo e mínimo obtidos e, a distribuição dos valores situados entre os 25º e o 75º percentis para os resultados experimentais obtidos. Essa variabilidade dificulta a obtenção de conclusões precisas e claras sobre a melhoria no comportamento dos blocos na presença das almofadas de apoio para espessuras rugosas nestas condições. Pode-se observar nos dois casos, com rugosidade de 1,0 mm e 1,5 mm, que houve uma tendência de melhoria nos resultados experimentais com a presença da AAM, mas com eficácia menor do que no caso da rugosidade de 0,5mm. De maneira geral, pode-se verificar que a presença da AAM aumenta a variabilidade nos resultados para todos os casos estudados, mas sempre com os valores da faixa entre 25º ao 75º percentis maiores que os resultados dos espécimes sem a presença da AAM. É importante salientar que essa maior variabilidade nos resultados para os blocos com a presença da AAM demonstra a necessidade de uma maior quantidade de ensaios experimentais para que se possa estabelecer uma faixa de valores confiáveis para a resistência média à com-

pressão destes elementos. Mesmo assim, pode-se observar que a presença da AAM garantiu valores medianos e médios sempre maiores que os valores da resistência dos blocos sem a AAM, demonstrando uma melhoria dos resultados para todos os casos estudados.

Para os modelos descontínuos com saliências, em função da presença das protuberâncias propositalmente na face ligada do

Figura 7 – Formação de fissuras nos ensaios de transferência de tensões de compressão em blocos com saliências na face ligada



bloco inferior de concreto, a ruptura iniciou-se, independentemente de haver ou não almofada de apoio e do tipo de carregamento, na região descontínua. As fissuras geradas nesses ensaios podem ser vistas em destaque no bloco da Figura [7]. O comportamento indicado na Figura [7] não pôde ser observado em ligações com faces perfeitamente lisas. Nesses casos, a formação das fissuras ocorreu a partir das extremidades do modelo ensaiado, prolongando-se na direção do eixo até a ruína.

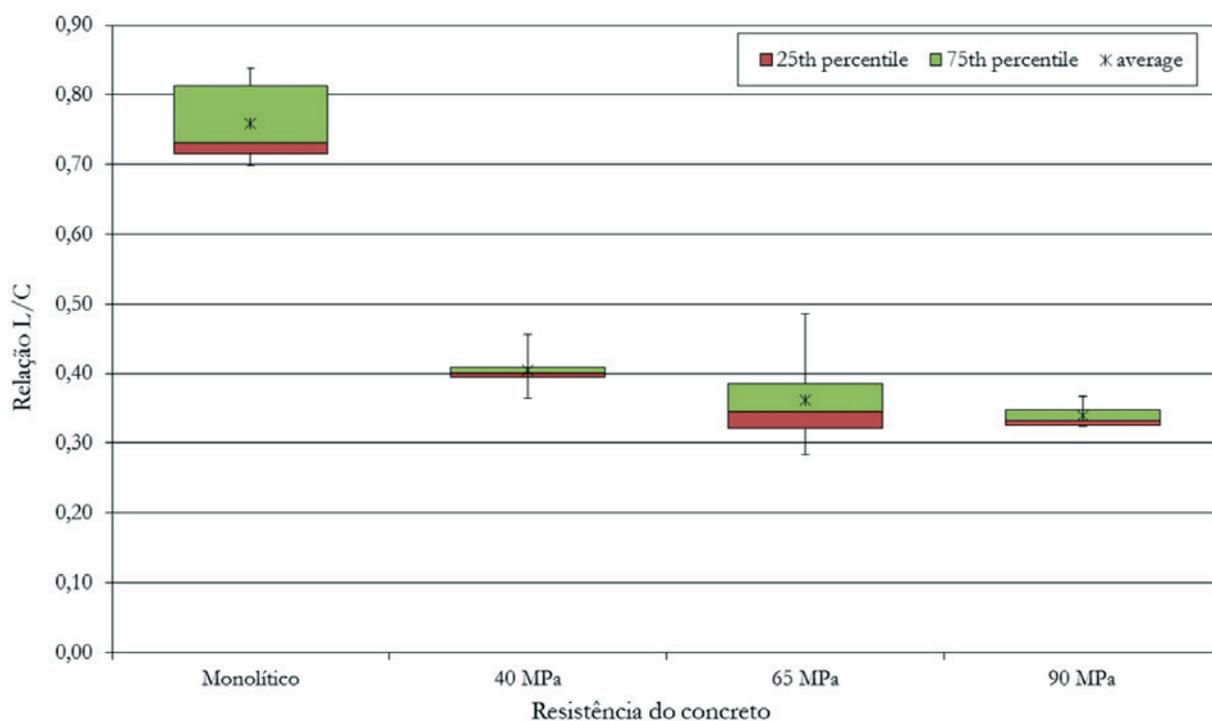
3.2 Influência da variação de resistência dos blocos de concreto

Nos ensaios de ligações para concretos com diferentes resistências à compressão, observou-se uma tendência de ganho de rendimento, utilizando-se as almofadas de apoio, para as ligações entre concretos com resistência não muito elevadas, como pode ser visto na Figura [8]. Nesta figura, são apresentados os valores médios da relação L/C, bem como o 25º percentil e o 75º percentil para blocos monolíticos (65 MPa) e para blocos descontínuos de concreto, com classes de resistência de 40 MPa, 65 MPa e 90 MPa. Reduzindo a resistência mecânica de 90 MPa para 65 MPa, aumentou-se a relação L/C da ordem de 6%, passando de 0,34 para 0,36. Reduzindo a resistência mecânica de 65 MPa para 40 MPa, o aumento da relação L/C foi de cerca de 14%, passando de 0,36 para 0,41. O aumento da resistência do concreto na confecção dos blocos tornou o espécime mais frágil, fazendo com que a almofada contribuísse menos no desempenho da ligação.

3.3 Ensaios com carregamento cíclico

Os ensaios com carregamento cíclico foram realizados em duas séries: com e sem almofada de apoio para ligações com o bloco superior com nove mossas de 1 mm de espessura. Na Figura [9] está apresentado um gráfico que analisa o acréscimo de carga em função dos ciclos de carregamento. Esta figura apresenta os períodos de carregamento de uma série escolhida aleatoriamente e ensaiada com almofada de apoio. O ponto 1, indicado internamente na figura, corresponde a primeira etapa de carregamento, com cinquenta ciclos; no ponto 2 há a segunda etapa, com 200 ciclos; no ponto 3 há o ciclo monolítico; finalmente no ponto 4 há a indicação da ruptura da ligação. A Figura [10] apresenta a relação L/C para ligações em regime cíclico e monotônico, com e sem AAM. Estão apresentados também na figura, para efeito de comparação, os resultados de L/C para a amostra monolítica ensaiada somente com carregamento monotônico. Na Figura [10], o eixo das abscissas indica a existência ou não da almofada de apoio e também a série monolítica. Na legenda, estão discriminados o valor médio e o tipo de carregamento (monotônico ou cíclico). As ligações com almofada de apoio apresentaram melhor desempenho também no regime cíclico. Comparando-se os resultados de ligação dos blocos em regime cíclico, pode-se perceber que houve um aumento da ordem de 48% na resistência da ligação com a presença da AAM. Se compararmos os resultados de resistência de ligação para carregamentos monotônico e cíclico, pode-se observar que para blocos sem a presença da AAM, o

Figura 8 - Relação L/C para ligações com almofada de apoio e concretos de diferentes classes de resistência



regime cíclico foi responsável por uma redução da ordem de 33% na resistência da ligação. No caso da resistência da ligação para os blocos com a presença da AAM, essa redução foi da ordem de 16%, reforçando que o uso da AAM melhora o comportamento geral da ligação para carregamentos cíclicos também.

4. Conclusões

Das análises experimentais e estatísticas dos ensaios de ligação entre blocos, observou-se que:

- Nos ensaios que avaliaram a eficiência da presença da almofada na ligação sujeita ao carregamento de compressão centrada, percebeu-se que ela ocorre prioritariamente para níveis intermediários de espessuras de saliências. Para saliências com 0,5 mm de espessura a melhora da resistência do conjunto foi de cerca de 24%. Em ligações com faces em contato lisas, a melhora no desempenho da ligação foi de aproximadamente 12%.
- Para níveis de saliências acima de 1,0 mm de espessura, os resultados obtidos apresentaram grande variabilidade e as conclusões não foram precisas, o que demonstra a necessidade da realização de um número maior de ensaios. De qualquer forma, houve uma tendência de melhoria nos resultados experimentais quando utilizada ligação com almofada de apoio;
- Em ligações com um dos blocos contendo saliências na face ligada, as primeiras fissuras ocorreram na descontinuidade causada pela junção entre os dois blocos e foram se expandindo até a ruína completa da amostra. Para blocos com faces de contato lisas, as fissuras se originaram nas extremidades dos corpos de prova;

- Percebeu-se uma tendência em haver melhor desempenho da ligação com almofada de apoio para concretos com classes de resistência mais usuais, ou seja, abaixo dos 50 MPa.
- Mesmo em regime repetitivo de carregamento, a almofada melhorou a resistência da ligação. Nesse caso, a melhora causada pela almofada de apoio para um corpo de prova com saliências de 1 mm de espessura na face ligada foi de cerca de 48%.
- A aplicação do regime cíclico reduziu a resistência da ligação em valores da ordem de 33% para corpos de prova sem AAM e 16% para modelos com AAM.

5. Agradecimentos

À Universidade de São Paulo e a Escola de Engenharia de São Carlos pelo fornecimento das condições de trabalho; aos funcionários do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos pela ajuda quando necessário; a CAPES pelo suporte financeiro; e Brasilit SAINT-GOBAIN pela doação das fibras utilizadas na produção das almofadas de argamassa modificada.

6. Referências bibliográficas

- EL DEBS, M. K. Pesquisas em ligações de estruturas de concreto pré-moldado. In: CHASTRE, C.; LÚCIO, V. (Coord.). *Estruturas pré-moldadas no mundo: aplicações e comportamento estrutural*. Guarulhos: Editora Parma Ltda., 2012. p. 107-136. ISBN: 978-989-97721-1-3. (Capítulo 6).
- EL DEBS, M. K.; SIQUEIRA, G. H.; EL DEBS, A. L. H. C. Study of cement-base bearing pad subjected to compression

Figura 9 - Carregamento cíclico em amostra do ensaio de transferência de tensões

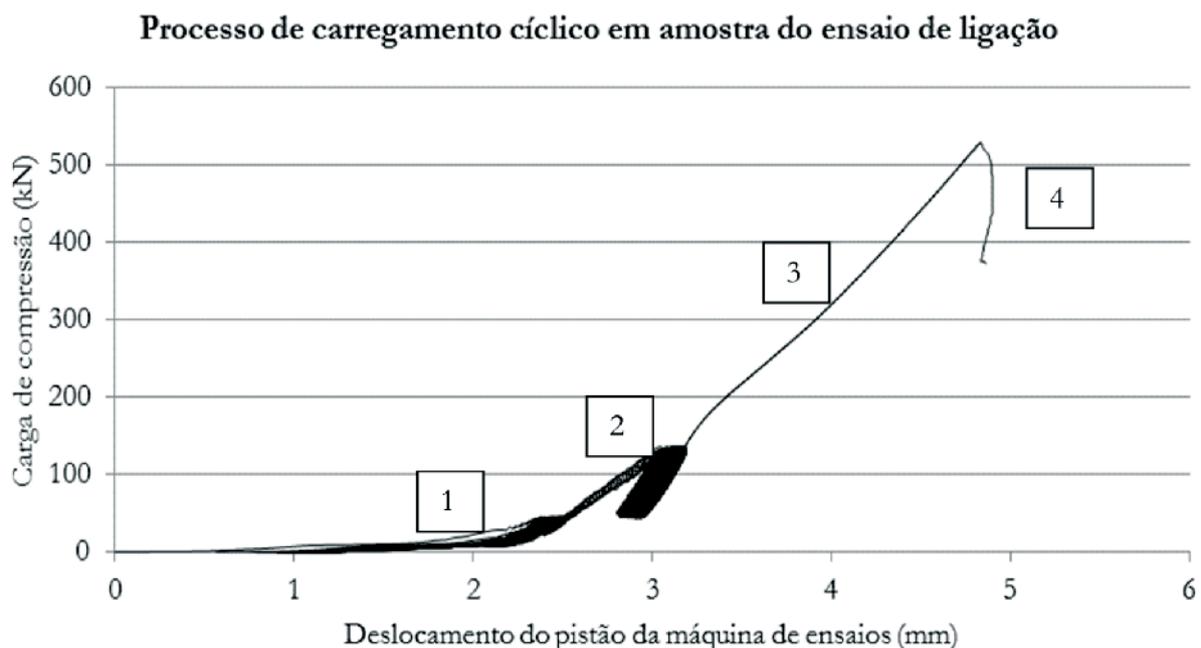
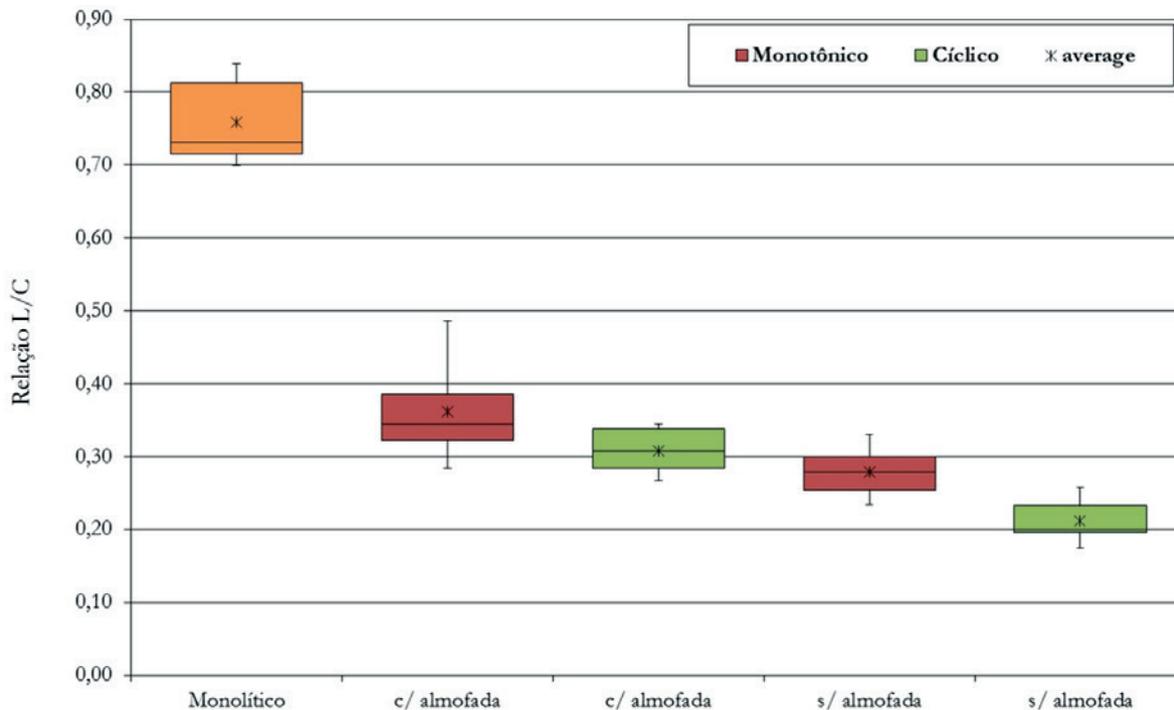


Figura 10 – Relação L/C para ligações com carregamento monotônico e cíclico



load. In: 8th International Symposium on Utilization of High-Strength and High-Performance Concrete, 2008, Anais... Tóquio, 2008. p.1177-1182.

- [3] EL DEBS, M. K. BELLUCIO, E. K. Cement-base bearing pads mortar for connections in the precast concrete: study of surface roughness. IBRACON Structures and Materials Journal. São Paulo, v.5, n.1, 2012.
- [4] SIQUEIRA, G. H.; EL DEBS, M. K. Cement-based bearing pads for precast concrete connections. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials, v.166, n.5, p.286-294, 2013.
- [5] DITZ, J. D. Desempenho de almofadas de argamassa modificada na transferência de tensões de compressão em ligações de concreto pré-moldado. 2015. 142p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- [6] RAY, I.; GUPTA, A. P. Effect of latex and superplasticiser on Portland Cement Mortar in the Hardened State. Cement and Concrete Composites, London, v.17, p.9-21, 1995.
- [7] ANDRADE, J. J. O.; TUTIKIAN, B. Resistência Mecânica do Concreto. In: ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. Santa Maria: IBRACON, 2010. Cap.7, v.1, p.233-260.
- [8] HOGG, R. V.; LEDOLTER, J. Engineering statistics. New York: MacMillan Publishing Company; 1987.
- [9] HINES, W. W.; MONTGOMERY, D. C.; GOLDSMAN, D. M.; BORROR, C.M. Probability and statistics in engineering. 4th ed. John Wiley & Sons; 2003.
- [10] SIQUEIRA, G. H. ; TAVARES, D. H. ; PAULTRE, P. ; PADGETT, J. E. Performance evaluation of natural rubber seismic isolators as a retrofit measure for typical multi-span concrete bridges in eastern Canada. Engineering Structures, v. 74, p. 300-310, 2014.