

Cement-base bearing pads mortar for connections in the precast concrete: study of surface roughness

Almofadas de apoio feitas de argamassa para ligações de concreto pré-moldado: estudo da rugosidade superficial



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

E.K. BELLUCIO ^b
ellenkellen@sc.usp.br

Abstract

Bearing pads are used in precast concrete connections to avoid concentrated stresses in the contact area between the precast elements. In the present research, the bearing pads are Portland cement mortar with styrene-butadiene latex (SB), lightweight aggregate (expanded vermiculite-term) and short fibers (polypropylene, glass and PVA), in order to obtain a material with low modulus of elasticity and high tenacity, compared with normal Portland cement mortar. The objective of this paper is to analyze the influence of surface roughness on the pads and test other types of polypropylene fibers. Tests were carried out to characterize the composite and test on bearing pads. Characterization tests show compressive strength of 41MPa and modulus of elasticity of 12.8GPa. The bearing pads tests present 30% reduction of stiffness in relation to a reference mortar. The bearing pads with roughness on both sides present a reduction up to 30% in stiffness and an increase in accumulated deformation of more than 120%, regarding bearing pads with both sides smooth.

Keywords: bearing pads; connections; precast concrete structures.

Resumo

Almofadas de apoio são usadas nas ligações de concreto pré-moldado para evitar concentração de tensões na área de contato entre os elementos. No presente trabalho, são confeccionadas almofadas em argamassa de cimento Portland e areia, que recebem ainda látex estireno-butadieno (SB), agregado leve (vermiculita termo-expandida) e fibras curtas (polipropileno, vidro e PVA), buscando tornar o material com baixo módulo de elasticidade e elevada tenacidade, comparado com a argamassa de referência, contendo apenas cimento Portland e areia. O objetivo deste trabalho é analisar a influência da rugosidade superficial nas almofadas e testar um novo tipo de fibras de polipropileno. Foram realizados ensaios de caracterização do compósito e ensaios em almofadas. Os resultados de caracterização indicam resistência à compressão de 41 MPa e módulo de elasticidade de 12,8 GPa. Os ensaios de almofadas revelam uma redução de 30% da rigidez em relação à argamassa de referência. Nas almofadas com rugosidade em ambos os lados houve uma redução de até 30% na rigidez e um aumento do afundamento acumulado de mais de 120%, em relação às almofadas com ambos os lados lisos.

Palavras-chave: almofadas de apoio. ligações. estruturas de concreto pré-moldado.

^a Department of Structural Engineering, University of São Paulo, mkdebs@sc.usp.br, Av. Trabalhador São Carlense,400, São Carlos, Brazil;

^b Department of Structural Engineering, University of São Paulo, ellenkellen@sc.usp.br, Av. Trabalhador São Carlense,400, São Carlos, Brazil.

1. Introdução

Os elementos pré-moldados se caracterizam por oferecer facilidades na fabricação. Por outro lado, a necessidade de realizar as ligações entre esses elementos, para formar as estruturas, constitui um dos principais problemas a serem enfrentados no emprego da pré-moldagem. Assim, as ligações são as partes mais importantes no projeto das estruturas de concreto pré-moldado, sendo de fundamental importância tanto no que se refere à sua produção (fabricação de parte dos elementos adjacentes às ligações, montagem da estrutura e serviços complementares na obra) como para o comportamento da estrutura definitiva.

A transferência de tensões de compressão nas ligações entre componentes de concreto pré-moldado normalmente é feita mediante contato direto ou mediante a colocação de placa entre as partes. Devido à baixa resistência à tração e o comportamento frágil do concreto, a primeira maneira (contato direto) é pouco empregada e é limitada a casos onde ocorrem tensões de compressão muito baixas.

Na segunda forma, uma placa é colocada entre os elementos, sendo esta feita de material com uma boa capacidade de deformação para minimizar a concentração das tensões de compressão.

Normalmente, estas placas são denominadas almofadas de apoio e são feitas de elastômero, sendo as mais comuns as almofadas de policloropreno. Por ser um material bastante deformável, estas almofadas acomodam as irregularidades da superfície, promovendo uma distribuição de tensões mais uniforme e permite certos movimentos da estrutura. Os movimentos permitidos são a rotação e o deslocamento horizontal. A rotação faz com que o comportamento da ligação seja próximo de uma ligação articulada. O deslocamento horizontal possibilita aliviar as tensões provenientes da variação de comprimento dos elementos apoiados, o que seria uma grande vantagem deste tipo de material quando esta variação de comprimento introduz esfor-

ços de grande magnitude na estrutura. As desvantagens deste tipo de material são o custo, a durabilidade inferior a do concreto, baixa resistência a situações de incêndios e resistência à compressão relativamente baixa.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de almofadas a base de argamassa de cimento Portland, modificadas para serem mais deformáveis e apresentar maior tenacidade que as argamassas usuais. As almofadas deste material têm a finalidade de transferir tensões de compressão, uniformes ou não, de forma a evitar a concentração de tensões e, se for o caso, permitir pequenas rotações entre os elementos, sem introduzir elevadas tensões junto a borda da área de contato. Estas almofadas de argamassa são feitas de cimento Portland e areia, adicionados os seguintes componentes: a) agregado leve ou um aditivo incorporador de ar, b) latex, e c) fibras curtas.

O agregado leve (vermiculita termo-expandida) ou agente incorporador de ar aumenta significativamente a capacidade de deformação do material no estado endurecido. Devido à presença de tensoativos usados na produção do látex, uma quantidade significativa de ar pode ser incorporada à mistura, aumentando também a capacidade de deformação do material. A adição das fibras reduz a trabalhabilidade da mistura e pode incorporar ar no material endurecido, reduzindo o seu módulo de elasticidade. Vários estudos foram realizados para obter misturas com o módulo de elasticidade reduzido porém com forças compressivas aceitáveis: Barboza et al [1], El Debs et al [2], El Debs et al [3], El Debs et al [4], Montedor [5] e Siqueira [6].

Como as almofadas de argamassa são menos deformáveis que as correspondentes de policloropreno, estas promovem, a princípio, uma maior rigidez da estrutura. No caso da ligação viga-pilar com chumbador grauteado, a substituição das almofadas elastoméricas por este tipo de almofada torna possível a transmissão parcial do momento fletor e, conseqüentemente, aumenta a rigidez da estrutura. Uma comparação entre as almofadas de argamassa e as de policloropreno pode ser vista em Montedor [5].

Figura 1 – Confecção das Almofadas

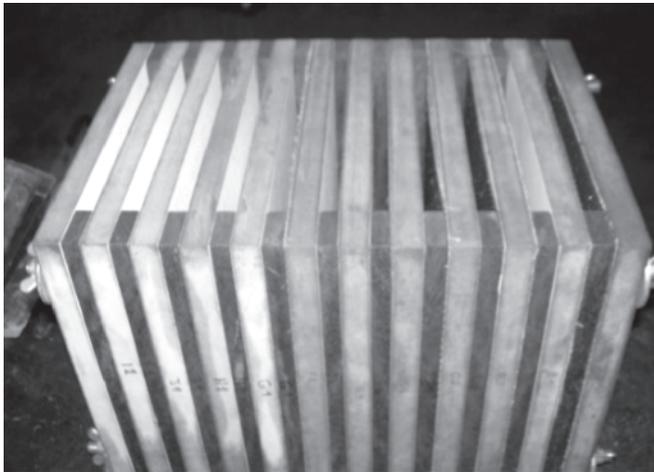


A Moldagem da almofada

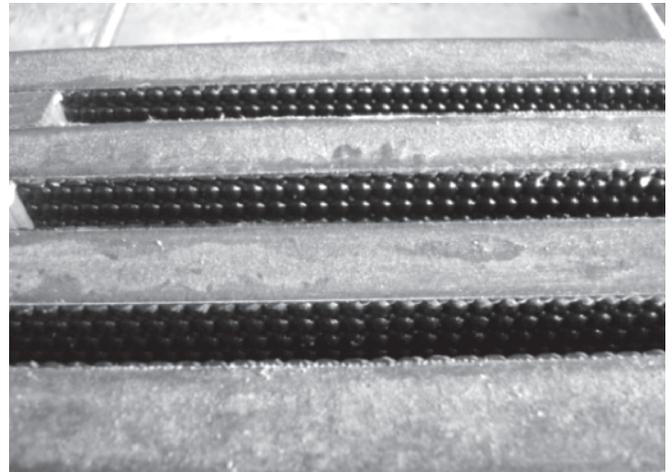


B Almofada em processo de cura

Figura 2 – Detalhes da fôrma e das placas com superfície lisa e rugosa



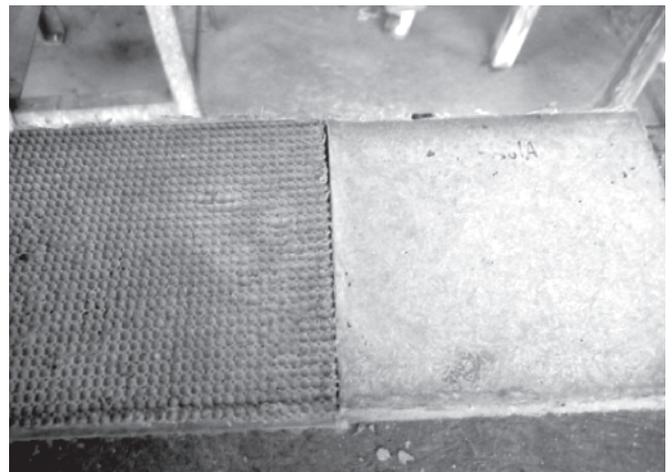
A Fôrma montada



B Fôrma com a manta colada



C Desmoldagem das almofadas



D Almofada com superfície lisa e outra rugosa

Assim, o comportamento da ligação passa de articulado para semi-rígido. Em comparação com as ligações articuladas, as semi-rígidas apresentam uma melhora significativa no comportamento estrutural sobre cargas laterais, mesmo para conexões com um baixo grau de rigidez (El Debs et al [7]). Por outro lado, os efeitos da variação do comprimento sobre os componentes pré-fabricados deve ser cuidadosamente considerado para minimizar as forças que podem ser introduzidas na estrutura, uma vez que a almofada de argamassa é mais rígida.

Em continuidade aos estudos anteriores para desenvolver este tipo de almofada de apoio, este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo experimental do emprego de rugosidade superficial nas almofadas de argamassa, com a utilização de uma nova forma de moldagem, visando o aumento da capacidade de deformação das almofadas.

2. Nova forma de fabricação das almofadas

As fôrmas utilizadas em trabalhos anteriores, como nos estudos de Montedor [5] e Siqueira [6], não proporcionavam controle de uma das superfícies da almofada, a qual ficava exposta e apenas passava por um processo de acabamento durante a cura da argamassa (Figura 1). Em Bellucio [8] foi desenvolvida uma fôrma em bateria. Além de possibilitar a introdução e controle de rugosidades nas duas faces das almofadas, a nova forma de fabricação também proporciona a produção em grande escala. Para a avaliação do efeito da rugosidade superficial das almofadas foram coladas nas fôrmas uma manta com rugosidade de 1,2 mm de espessura, medido através de paquímetro digital. Assim, pode-se fazer uma comparação entre as almofadas de superfícies lisas e rugosas (Figura 2).

3. Programa Experimental

Neste trabalho foram realizados os seguintes ensaios de caracterização do material argamassa: compressão simples, tração por compressão diametral, módulo de elasticidade. Além destes ensaios padronizados, foram realizados ensaios relativos ao comportamento do material, com aplicação de força concentrada e de flexão sob quatro pontos de carga em faixas de almofadas. As almofadas foram ensaiadas com aplicação de uma força distribuída, monotônica e cíclica. Para o estudo da influência da rugosidade superficial, foram realizadas moldagens de almofadas com as duas superfícies lisas (LL); uma superfície lisa e outra rugosa (LR); e as duas superfícies rugosas (RR).

3.1 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados estão apresentados a seguir: a) cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI); b) areia passada na peneira ABNT 30 com diâmetro de furos de 0,59mm; c) vermiculita termo-expandida com dimensão máxima de 4,8mm; d) látex estireno-butadieno; aditivo superplastificante com base em cadeia de éter carboxílico modificado; fibras de polipropileno com comprimento nominal de 10 mm, diâmetro nominal de 12 mm e peso específico de 0,90 kg/dm³.

Os traços utilizados em trabalhos anteriores que obtiveram melhores resultados, tomaram por referência 1:0,3:0,1 (cimento, areia e água) e Montedor [5] acrescentou a esse traço V5L30F3 (substituiu 5% de areia por vermiculita termo-expandida, acrescentou

Figura 3 - Moldagem das almofadas utilizando o funil e o 'pente'



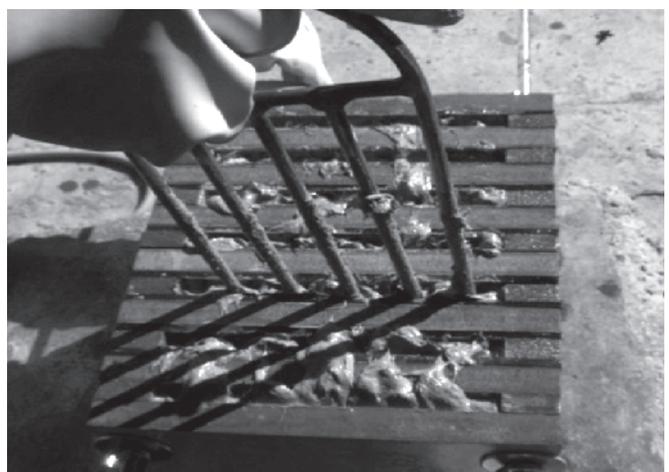
A



B

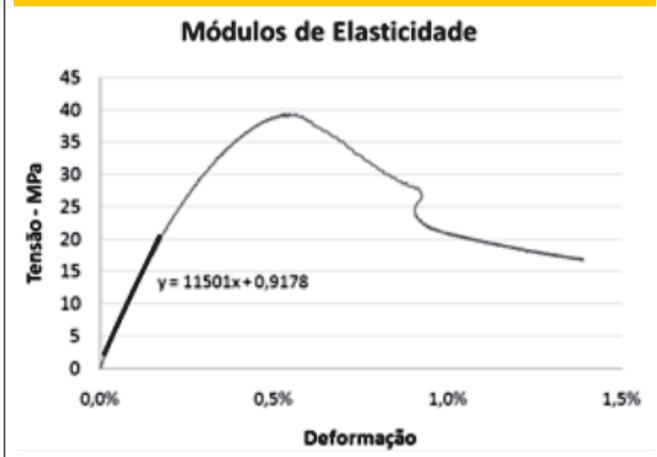


C



D

Figura 4 - Gráfico tensão versus deformação para obtenção do módulo de elasticidade



componentes. A proporção para esse traço é de 1:0,3:0,35:0,01 (cimento:areia:água:superplastificante).

3.2 Ensaios padronizados de Caracterização da argamassa

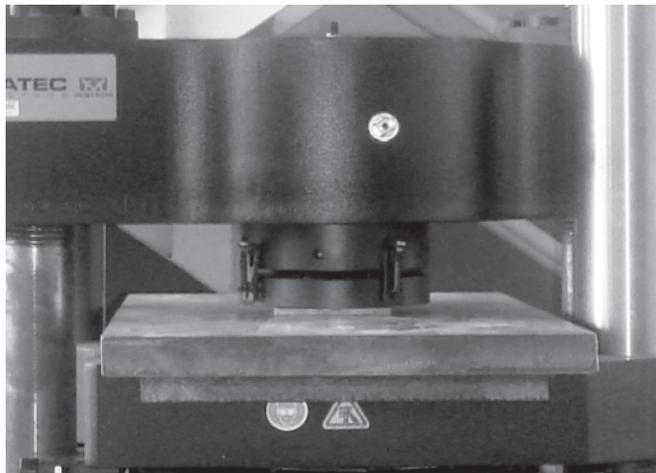
a) Compressão Simples

Os ensaios de compressão simples foram realizados em corpos-de-prova de 100mmx50mm, conforme as recomendações da NBR5739/2007 [9] com taxa de 0,005 mm/s.

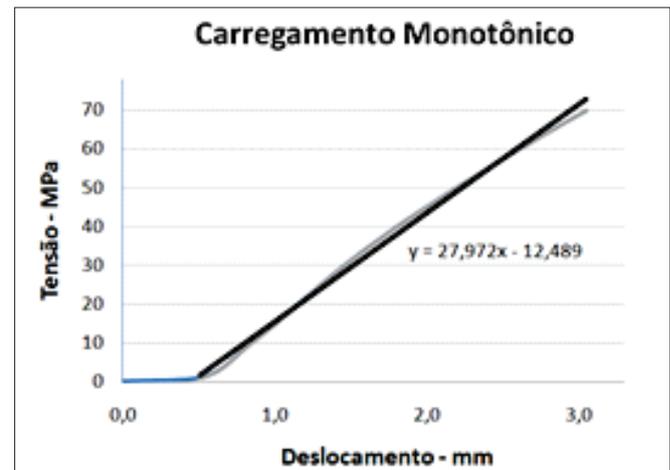
b) Tração por Compressão Diametral

Esses ensaios foram realizados em corpos-de-prova de 100mmx50mm, seguindo as recomendações da NBR7222/1994 [10], com taxa de 0,005 mm/s.

Figura 5 - Ensaio de Carregamento Monotônico



A Esquema de ensaio



B Curva tensão x deslocamento para obtenção da rigidez da almofada

30% de látex e 3% de fibra de PVA). Siqueira [6] utilizou V10P-P4L30 (substituiu 10% de areia por vermiculita termo-expandida, acrescentou 4% de fibra de polipropileno e 30% de látex). Com o processo de moldagem por bateria, foi necessário modificar o traço para que a argamassa pudesse ser moldada e continuar atendendo aos critérios de resistência e tenacidade.

Para a dosagem, a quantidade de fibra foi incorporada conforme a trabalhabilidade da argamassa, uma vez que fez-se necessário uma massa fluida o suficiente para que fosse possível moldá-la na bateria (Figuras 3). Como o objetivo é encontrar um traço com boa resistência, porém com um baixo módulo de elasticidade, adiciona-se a maior quantidade de fibra possível.

Com base em estudos preliminares foi fixado a seguinte composição, em volume, para a argamassa (PP12): 1:0,285:0,35:0,02 (cimento:areia:água:superplastificante), adicionados V1,5L20F2 (1,5% de vermiculita termo-expandida, 20% de látex e 2% de fibra de polipropileno). O estudo incluiu ainda um traço de referência, sem fibras e vermiculita termo-expandida, adicionando a quantidade de água referente à emulsão de látex e analisando a influência destes

Figura 6 - Gráfico do ensaio cíclico demonstrando o cálculo da rigidez e afundamento acumulado para tensão de 20 MPa

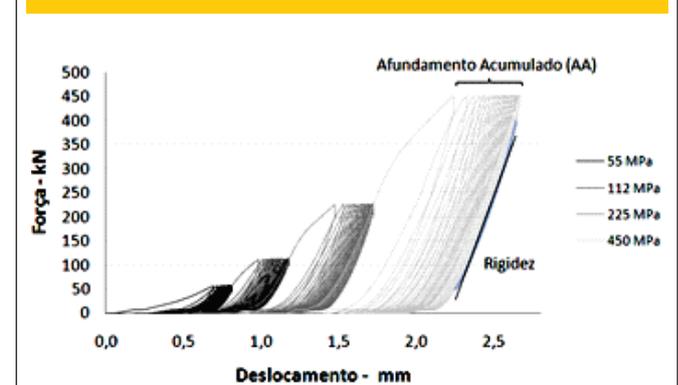
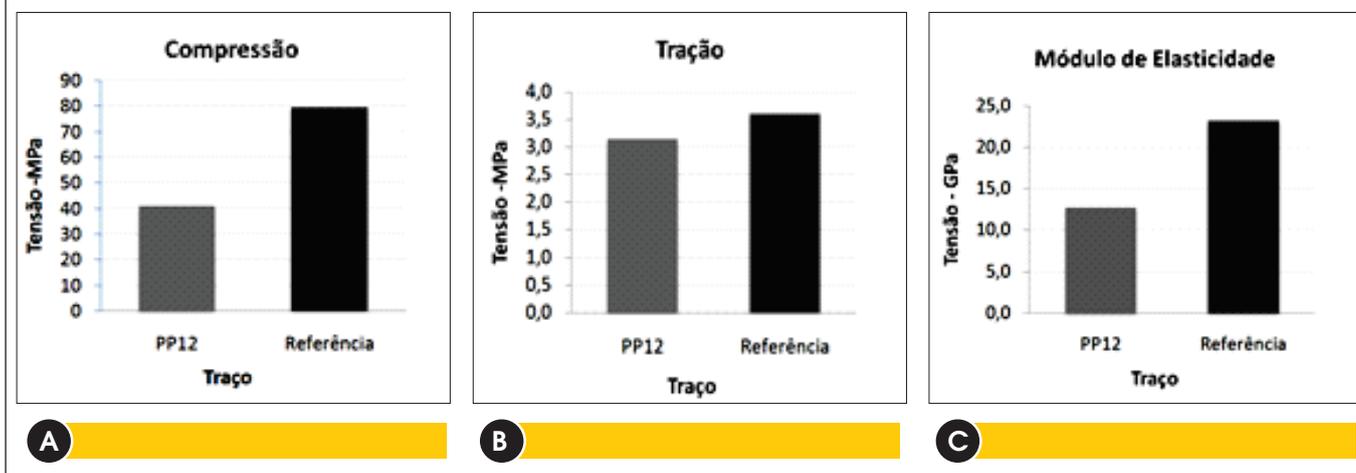


Figura 7 - Resultados dos ensaios de caracterização em corpos-de-prova cilíndricos



c) Módulo de Elasticidade

Este ensaio é realizado por meio de aplicação de uma carga axial ao corpo-de-prova. A aplicação se dá numa área circular de 50mm de diâmetro e utilizam-se dois transdutores com haste de 50mm, colocados em lados opostos do corpo-de-prova a ser ensaiado, aproximadamente a 25mm da base do corpo-de-prova de 100mm de altura. Assim, os gráficos tensão *versus* deformação são feitos a partir da carga obtida no sistema de aquisição da máquina e a média dos dois transdutores de deslocamento. A partir da curva representativa de tensão *versus* deformação e da curva da equação (regressão) pode-se obter o módulo de elasticidade. A regressão é feita entre 5% e 50% do valor de carregamento máximo do corpo de prova. Na Figura 4, pode-se observar um gráfico no qual é mostrada uma das curvas.

3.3 Ensaios de Caracterização da argamassa em faixas de almofada

Conforme descrito, o adensamento na moldagem das almofadas foi realizado manualmente (Figura 3) e também através de mesa vibratória. O processo de desmoldagem foi realizado após dois dias da moldagem, sendo colocados por mais 24 horas em câmara úmida. Em seguida, as amostras foram retiradas da câmara úmida e colocadas em temperatura ambiente até o dia dos ensaios. Os ensaios foram realizados após 14 dias da moldagem.

a) Força Concentrada

Este ensaio de força concentrada derivou-se dos ensaios de força concentrada realizados por Montedor [5] e Siqueira [6] visando medir a capacidade de acomodação de cargas pontuais em tiras de almofada do compósito, ou afundamento. Optou-se por realizar esse ensaio para comparar a influência da fibra na capacidade de acomodação.

Este ensaio consiste em cortar as almofadas de 150mm x 150mm em fatias de 25mm x 150mm, nas quais são aplicadas duas cargas pontuais em dois pontos localizados a 37,5mm da borda da fatia. Aplica-se a carga com controle de deformação da máquina a uma taxa de 0,01mm/s. Para cada traço, 10 amostras de tiras de almofadas são ensaiadas obtendo assim a curva força x deslocamento para cada amostra.

b) Ensaio de Flexão

Este ensaio foi realizado para verificar o comportamento da argamassa à flexão, em particular, a capacidade portante após a fissuração devido a influência das fibras. Foram realizados seis ensaios de cada traço e cada amostra tinha 150mm x 12mm com 30mm de largura.

Mesmo se tratando de um ensaio específico nas almofadas, verificou-se as prescrições da ABNT NBR 12142:1991[11] para que se pudesse ter um padrão para o ensaio. Assim, optou-se por utilizar as mesmas medidas de distância de apoio e aplicação da carga conforme a ABNT NBR 12142:1991 [11]. Os apoios foram colocados a 1cm da borda da amostra e os pontos de aplicação da carga estavam a 1/3 da marca dos

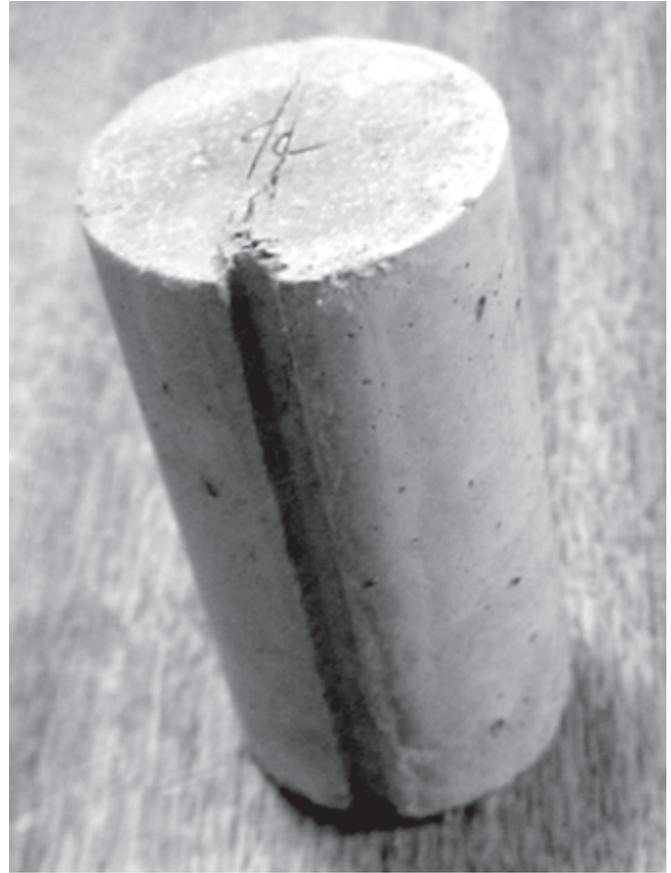
Tabela 1 - Resultados dos ensaios de caracterização

Traços	Compressão - MPa	Tração - MPa	Módulo de Elasticidade - GPa
PP12	40,9	3,1	12,8
Referência	79,5	3,6	23,2

Figura 8 - Amostras PP12 após os ensaios

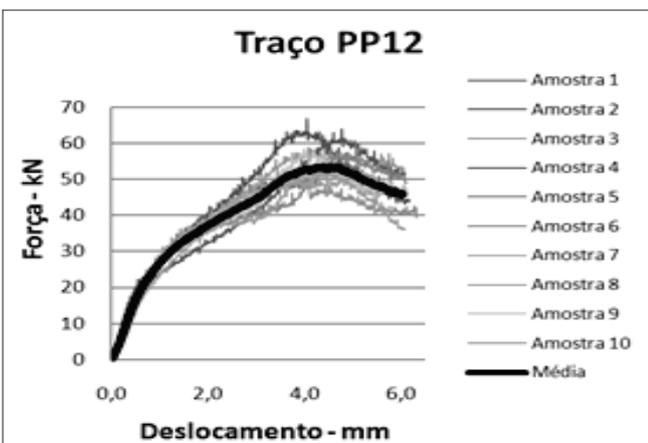


A Módulo de Elasticidade

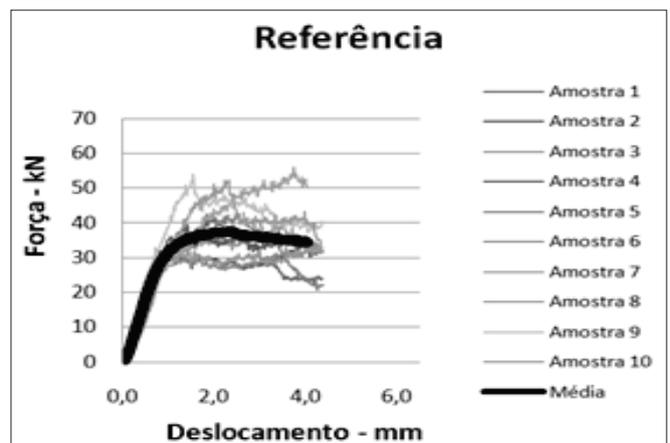


B Tração por Compressão Diametral

Figura 9 - Curvas força x deslocamento

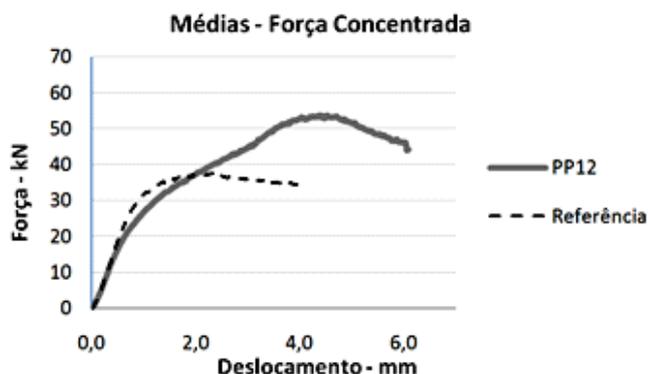


A Traço PP12



B Traço de referência

Figura 10 – Curvas médias dos resultados de força concentrada



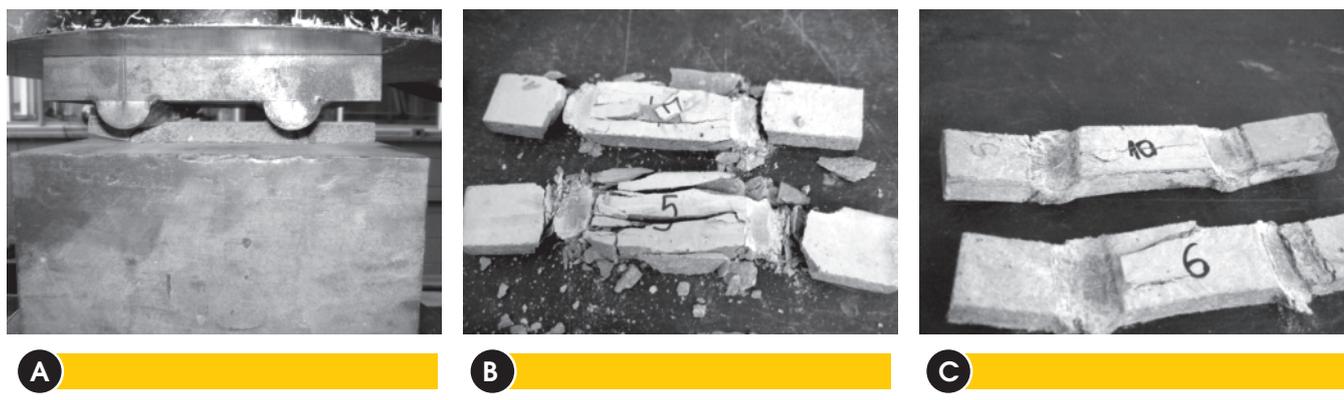
grande quantidade de pontos, a partir do momento em que a variação da curva se aproxima de uma reta, ou seja, a reta é traçada a partir do momento em que já ocorreu a acomodação da almofada em razão de suas imperfeições. Traçada a reta, avalia-se seu coeficiente angular de forma que este represente a rigidez da almofada (Figura 5).

b) Carregamento Cíclico

No ensaio de carregamento cíclico procura-se determinar a evolução da rigidez para cargas repetitivas. O esquema básico do ensaio cíclico foi o mesmo utilizado para o ensaio monotônico, sendo que as almofadas utilizadas neste ensaio possuem as mesmas dimensões do ensaio anterior, ou seja, 150mm x 150mm de base e espessura de 12mm. A diferença está nos carregamentos que foram repetidos ciclicamente, alcançando valores de cargas que promovem pressões de contato da mesma ordem de grandeza do que se poderia verificar em situações práticas de utilização das almofadas de apoio.

As tensões adotadas para este ensaio foram as mesmas de

Figura 11 – (a) Amostra no ensaio; (b) detalhe do ensaio na amostra de referência; (c) detalhe da amostra PP12



apoios. A carga foi aplicada até uma deformação onde a almofada começava a perder carga. Para comparar os resultados encontrados, traçou-se as curvas tensão-deslocamento onde verificou-se o comportamento da amostra.

3.4 Ensaios de Almofadas

a) Carregamento Monotônico

Neste caso, foram moldadas seis almofadas de 150mm x 150mm para cada traço e para cada rugosidade. O carregamento foi aplicado até o limite da máquina (1500 kN).

O objetivo deste ensaio é analisar o comportamento da almofada, o que convencionou-se de rigidez. A relação pode ser feita a partir do gráfico tensão *versus* deformação, porém, como os deslocamento se concentram na superfície das placas, optou-se por fazer uma análise tensão por deslocamento.

Com o gráfico de tensão *versus* deslocamento obtém-se uma curva. Junto à curva, traça-se uma reta que passe por uma

Figura 12 – Resultados do ensaio de flexão para o traço com fibra

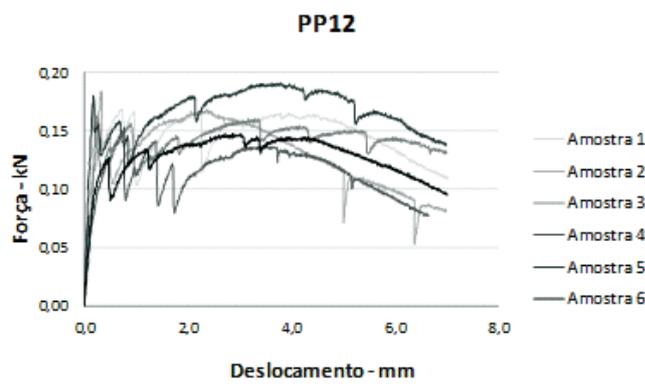
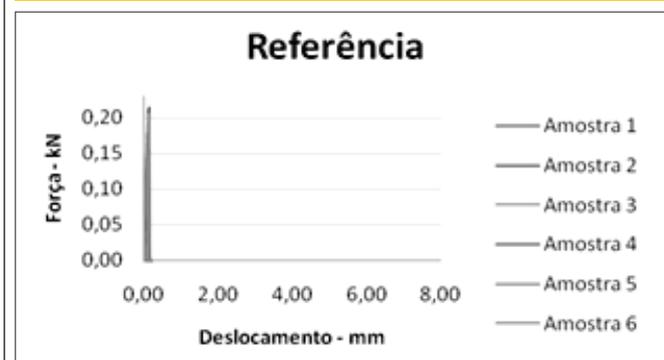
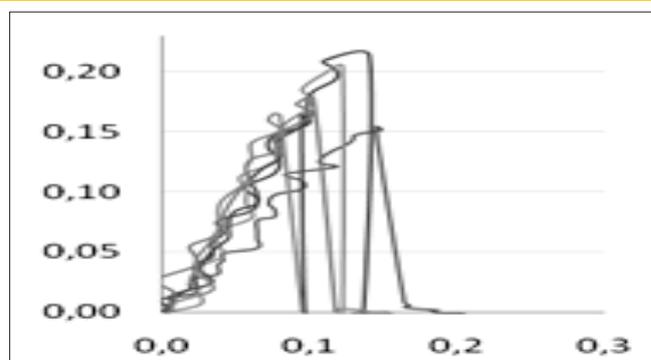


Figura 13 – (a) Resultados de flexão para o traço de referência; (b) Detalhe do gráfico nos primeiros deslocamentos



A



B

Siqueira [6] de 2,5MPa, 5,0MPa, 10,0MPa e 20,0MPa. Com a adoção destes valores de tensões, as forças nas respectivas fases dos ensaios foram de aproximadamente 55kN, 112kN, 225kN e 450kN. Para cada valor de tensão foram realizados ciclos de 50 repetições para cada carregamento correspondente com velocidade de 0,02mm/s. As cargas foram aplicadas até os valores limites e levados a um valor próximo de zero.

Neste ensaio foram analisadas as rigidezes, utilizando a evolução do carregamento e o afundamento acumulado dos ciclos. A rigidez é calculada como nos ensaios de carregamento monotônico. O afundamento acumulado é a consolidação do material, ou seja, o deslocamento sofrido pela almofada durante cada ciclo. O afundamento é calculado através da diferença entre o valor final e o inicial de deslocamento do ciclo (Figura 6).

Figura 14 – Foto do ensaio de flexão do traço PP12



Figura 15 – Resultados de rigidez do traço PP12

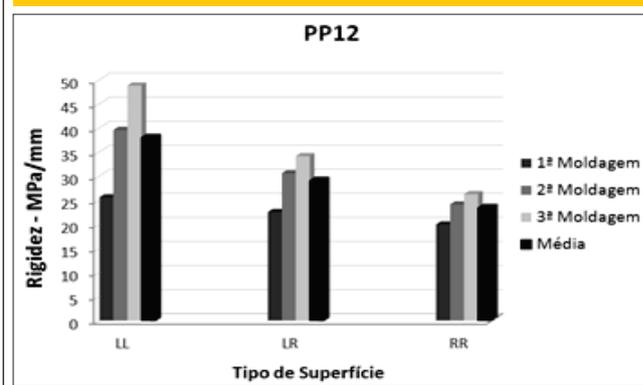


Figura 16 – Resultados de rigidez do traço de referência

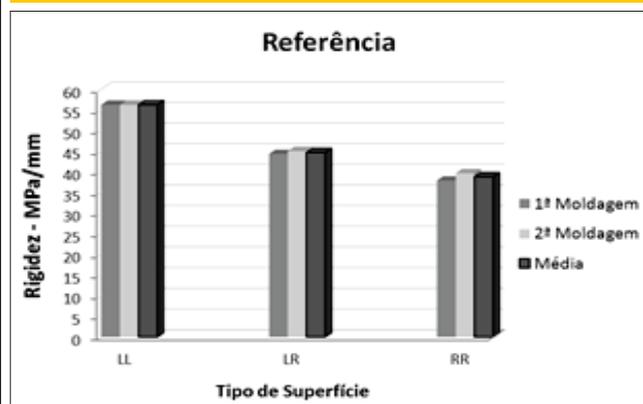


Tabela 2 – Resultados das médias das rigidezes do ensaio monotônico (MPa/mm)

	Traço PP12			
	1ª Moldagem	2ª Moldagem	3ª Moldagem	Média
LL	307	461	580	449
LR	286	386	444	372
RR	268	313	340	307
	Traço de Referência			
	1ª Moldagem	2ª Moldagem	3ª Moldagem	Média
LL	636	649	-	642
LR	536	544	-	540
RR	473	506	-	490

4. Resultados e Discussões

4.1 Ensaios de Caracterização da argamassa

Foram ensaiados seis corpos de prova em três moldagens diferentes (duas amostras por moldagem). As médias dos resultados estão apresentadas na Figura 7 e na Tabela 1.

Analisando os resultados verifica-se que a adição de materiais diminui a resistência da argamassa, mas esta ainda seria compatível com a utilização. Os corpos de prova dos traços modificados não apresentaram ruptura frágil devido a presença de fibras (Figura 8).

No ensaio de tração, verifica-se que não há diferenças significativas entre as resistências de tração. Há uma tendência dos valores de resistência da argamassa de referência serem um pouco maiores que os demais. Para o ensaio de módulo de elasticidade, comparando os resultados das argamassas modificadas com o traço de referência, observa-se uma significativa redução deste parâmetro. Este é o foco principal da pesquisa: que o material seja o mais deformável possível para ser utilizado como almofada de apoio.

Comparando os resultados encontrados com os valores obtidos por Siqueira [6], observa-se que os valores estão consistentes (35MPa de compressão; 2,7MPa de tração e 13,2 GPa de módulo de elasticidade), e que mesmo com valores reduzidos de compressão, estes são suficientes para serem utilizados nas almofadas.

4.2 Ensaios de Caracterização da argamassa em faixas de almofada

a) Ensaio de Força Concentrada

Realizou-se uma análise em gráficos força *versus* deslocamento de 10 tiras de cada traço (Figura 9). A Figura 10 apresenta a comparação entre as curvas médias os traços PP12 e de referência.

Com era de esperar, a faixa de argamassa feita do traço com fibras apresentou um comportamento melhor, já que esta resistiu a uma carga maior na evolução do carregamento. Esta teve um comportamento bem parecido com o início do carre-

gamento do traço de referência até o ponto da primeira fissura e depois o traço PP12 seguiu absorvendo mais força. A força máxima alcançada pelo traço PP12 foi de 53,65 kN para 4,53 mm de deslocamento e a do traço de Referência foi de 37,60 kN para 2,31 mm de deslocamento, o que corresponde a 43% no aumento da força e 96% no aumento de deslocamento.

Na Figura 11 percebe-se a diferença entre o comportamento das argamassas. A argamassa de referência praticamente não deformou com a compressão e a amostra ficou totalmente espedaçada. Já a amostra com a argamassa PP12 deformou bem antes de fissurar, e mesmo com as fissuras, as fibras permitiram a amostra continuar íntegra.

b) Ensaio de Flexão

No ensaio de flexão de faixas foram utilizadas seis amostras tiradas de cada traço e realizou-se uma análise dos gráficos força *versus* deslocamento. Os resultados são apresentados na Figura 12 e Figura 13.

Figura 17 – Comparação da rigidez conforme a rugosidade aplicada

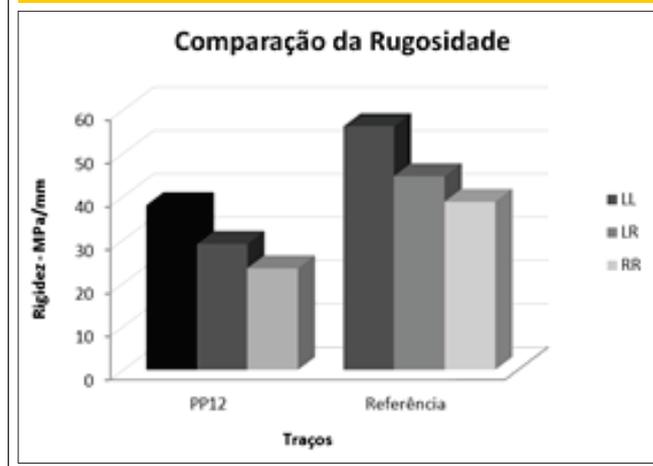
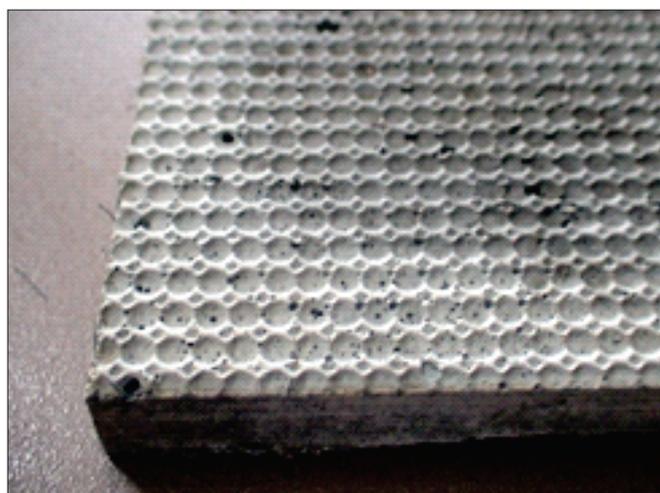
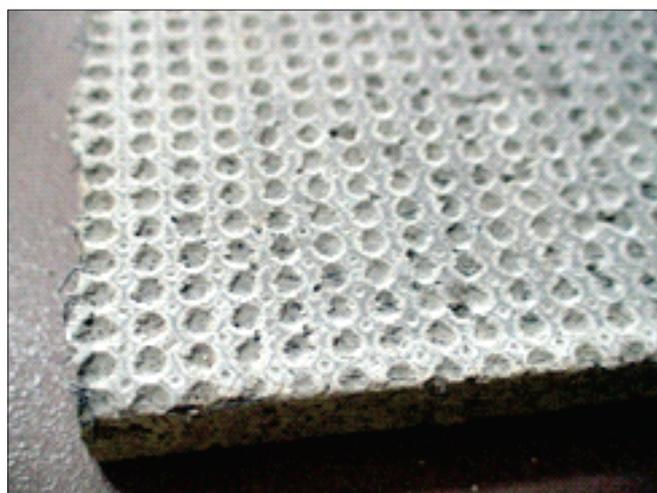


Figura 18 - Detalhe da placa de argamassa PP12 (a) antes e (b) depois do ensaio



A



B

Verificou-se neste ensaio que, nas amostras com fibras, cada pico na curva correspondia a uma fissura na amostra. Assim, pode-se notar que a taxa volumétrica das fibras utilizada (2%) garantiu o aparecimento de múltiplas fissuras, o que confere um grau de tenacidade aceitável para o material. Comparando os valores de carga última dos gráficos das amostras com fibras e sem, percebe-se que os valores são bem próximos. Observa-se na foto da Figura 14 que a tira apresenta uma

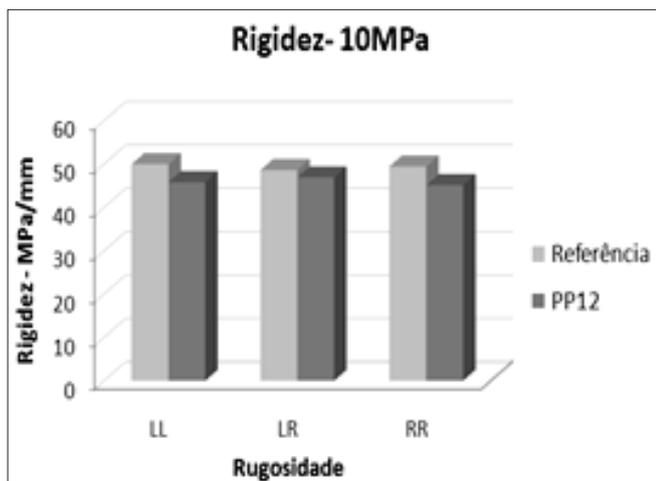
curvatura acentuada devido a boa tenacidade que as fibras promovem ao material.

4.3 Ensaios de Almofadas

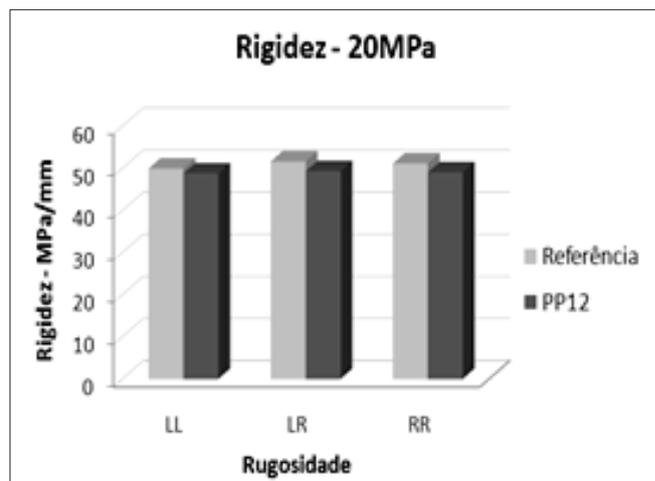
a) Carregamento Monotônico

Por meio da rigidez, foi analisada a diferença entre os traços estudados e a influência da rugosidade superficial aplicada nas

Figura 19 - Resultados de rigidez com carregamento de 10MPa e 20MPa

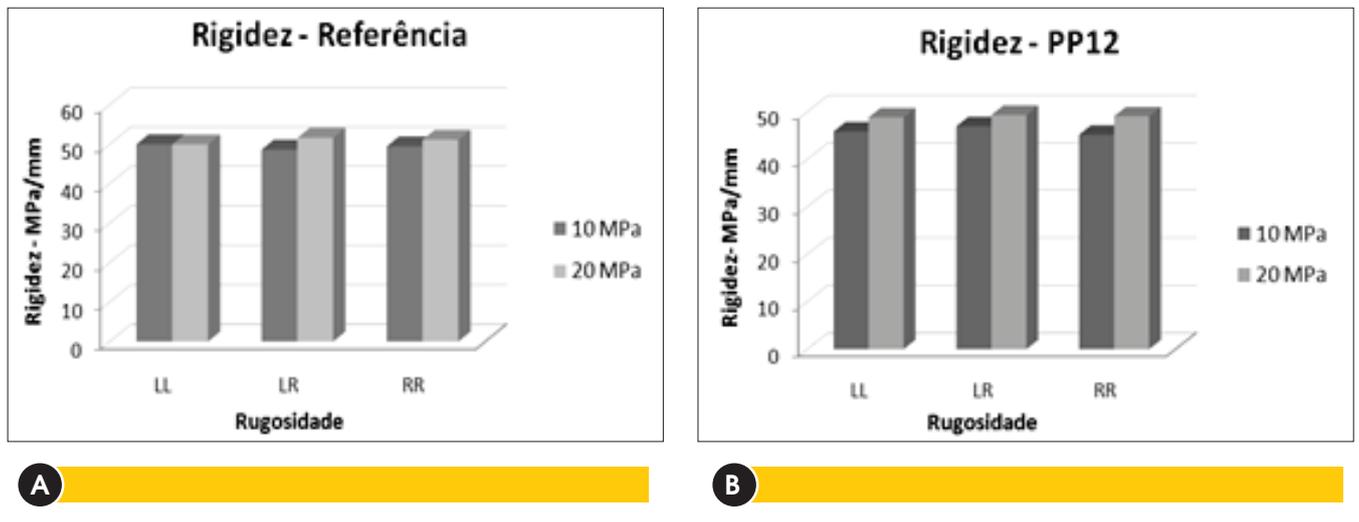


A



B

Figura 20 – Resultados de rigidez para o traço de referência e PP12



almofadas. A rigidez é a relação tensão *versus* deslocamento das almofadas, excluindo a parte inicial do diagrama, onde se quantifica a capacidade de deformação elástica do material. Para facilitar o entendimento, adotou-se a identificação LL para almofadas com ambos os lados lisos, LR para almofadas com um lado liso e outro rugoso e RR para ambos os lados rugosos. Para este ensaio foram moldadas 18 almofadas, sendo confeccionadas em duas etapas: nove almofadas em uma primeira moldagem (3LL, 3LR e 3RR) e mais nove almofadas numa segunda moldagem. Porém, ao verificar os resultados do traço

PP12, observou-se uma significativa diferença entre as duas moldagens. Assim, optou-se por moldar mais nove almofadas deste traço para confirmar estes resultados. Mesmo com uma nova moldagem os valores de rigidez foram bem diferentes, principalmente para as almofadas LL e LR. A Figura 15 e na Tabela 2 mostram as médias de valores encontrados. Com base nos resultados, verifica-se que as diferenças entre os resultados das almofadas RR eram bem menores que as demais. Além disso, esses resultados apresentam valores de rigidez bem menores se comparados com as almofadas LL e

Figura 21 – Resultados de rigidez comparando as rugosidades aplicadas

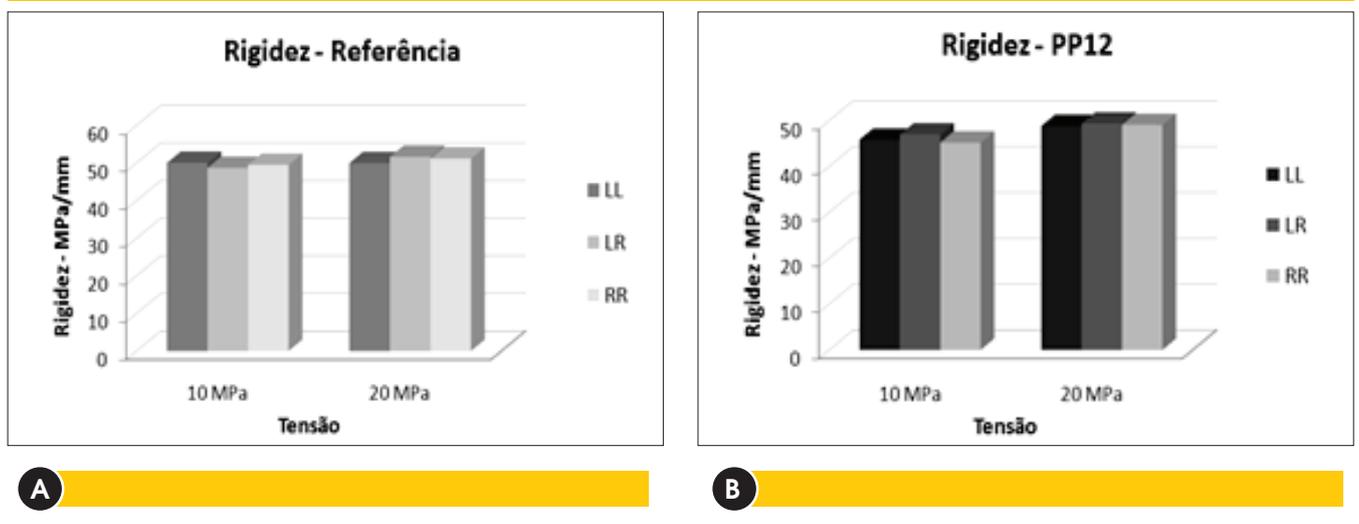
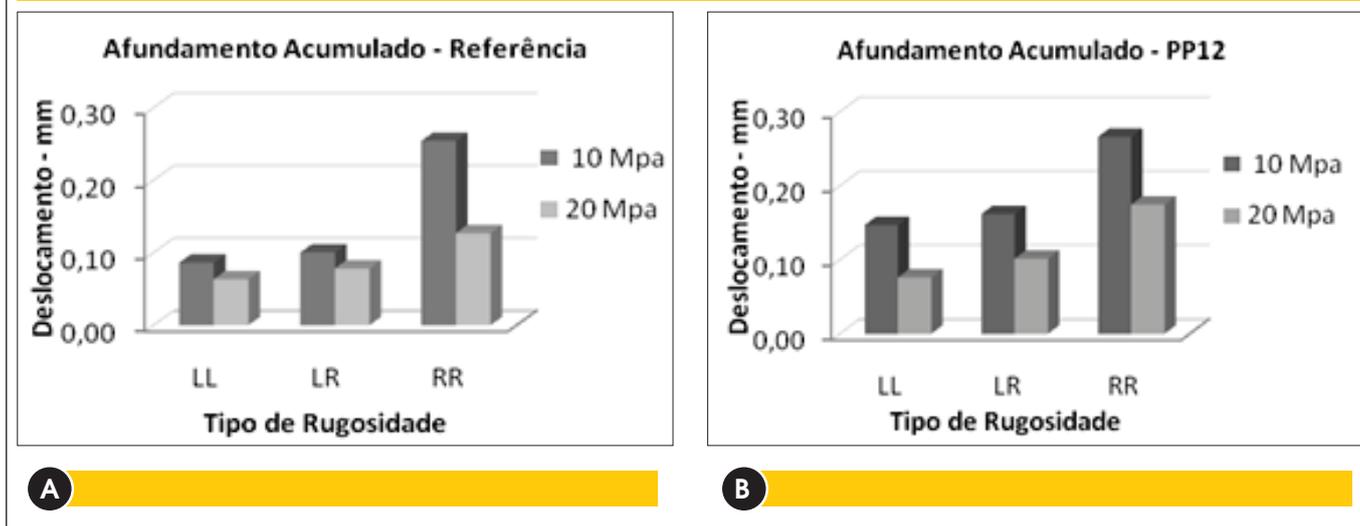


Figura 22 – Resultados de afundamento acumulado comparando as rigidezes



LR. Portanto, como o objetivo do trabalho é reduzir a rigidez das almofadas, os resultados foram satisfatórios se comparados aos encontrados por trabalhos anteriores. É possível concluir que, mesmo com resultados diferentes entre as moldagens, as almofadas RR apresentam boas características para a sua aplicação. Para o traço de referência foram encontrados os resultados expostos na Figura 16 e na Tabela 2. Neste caso, não houve diferença significativa entre as duas moldagens. Com isso, podemos concluir que as diferenças encontradas no traço com fibras são referentes à adição dos novos materiais.

Na Figura 17 tem-se a comparação das rigidezes. Percebe-se neste gráfico a redução significativa da rigidez das almofadas com a adição das fibras, látex e vermiculita termo-expandida. Houve uma redução de mais de 30% na rigidez. Em todos os traços a aplicação da rugosidade na superfície reduziu a rigidez da almofada, logo, as almofadas RR apresentam melhor resultado. A diferença entre as almofadas LL e RR chega a 30% de redução de rigidez. Analisando novamente os valores de rigidez do traço PP12 na Figura 16, por mais que se tenha uma diferença entre os valores nas moldagens,

Figura 23 – Resultados de afundamento acumulado comparando as argamassas

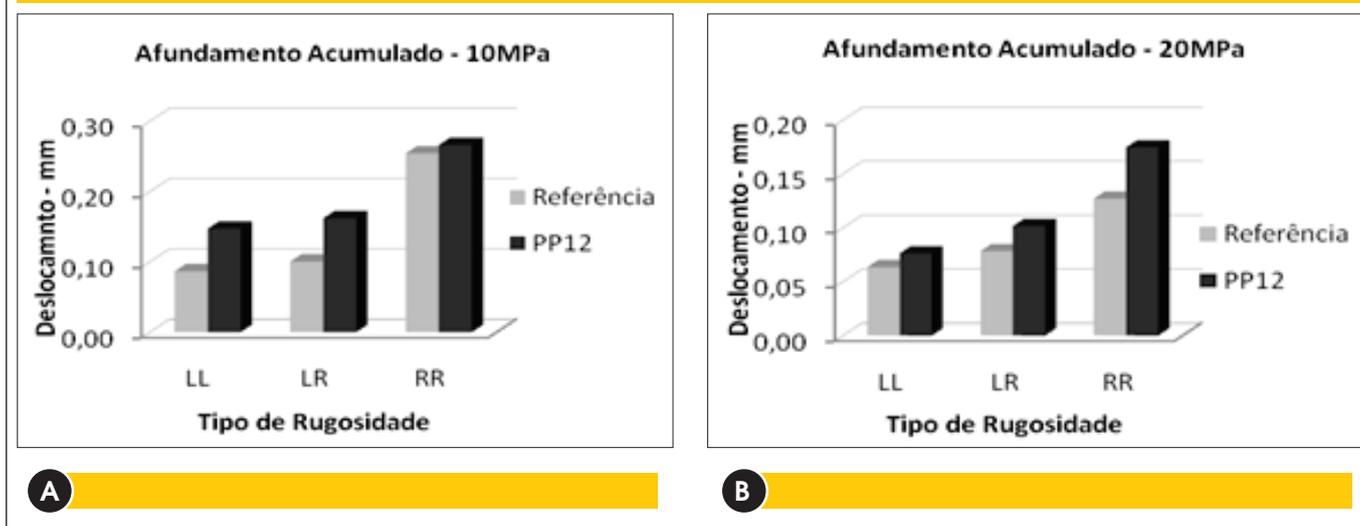
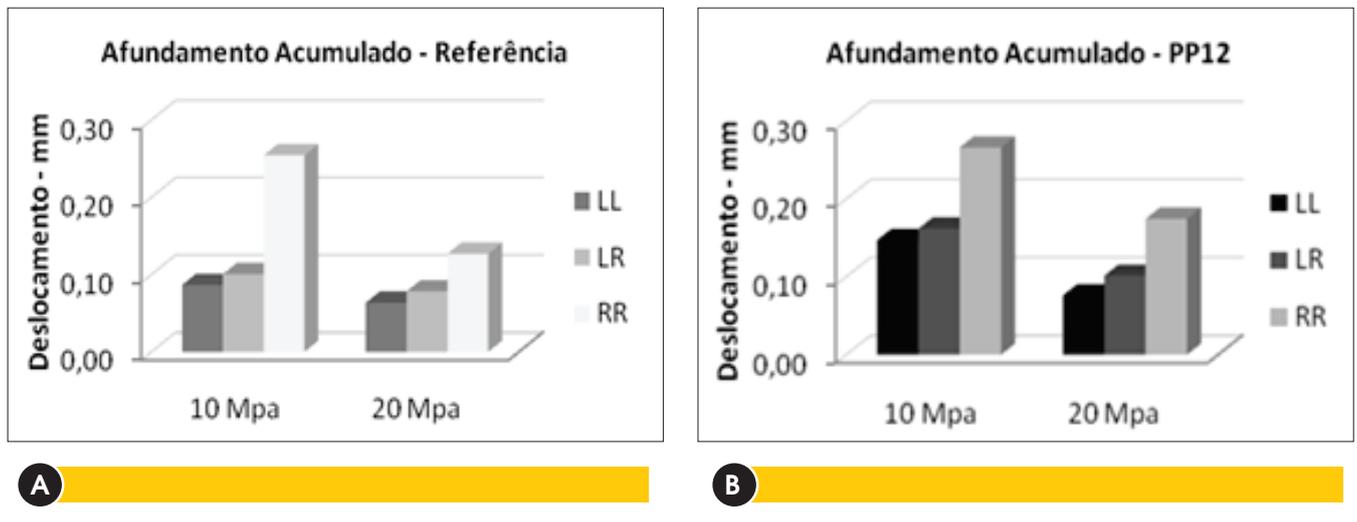


Figura 24 – Resultados do afundamento acumulado comparando as rugosidades aplicadas



verifica-se que para as almofadas RR não há uma diferença tão grande entre as rigidezes. As almofadas mantiveram-se íntegras após os ensaios. (Figura 18).

b) Carregamento Cíclico

Para este teste foram ensaiadas 18 almofadas de cada traço, sendo seis almofadas de cada rugosidade como no ensaio monotônico. Analisando primeiramente as rigidezes, tem-se a diferença entre as tensões do traço com fibras e o de referência na Figura 19 para o ciclo submetido a tensão de 10MPa e de 20MPa.

Observando as médias dos valores encontrados verifica-se que o traço PP12 obteve rigidez menor que o traço de referência. Analisando a Figura 20 tem-se a diferença entre as rigidezes de 10MPa e 20MPa. As rigidezes encontradas para o carregamento de 20MPa são maiores que as de 10MPa. Isso se deve porque a amostra, além de ter sofrido os carregamentos cíclicos de 2,5MPa e 5MPa do mesmo modo que a de 10MPa, também recebeu todo o carregamento cíclico de 10MPa, portanto, a amostra está mais compactada.

Analisando os valores encontrados e comparando as rugosidades, observa-se na Figura 21 que praticamente não houve diferença entre os resultados. Acredita-se que isso se deve ao fato das almofadas já terem sofrido acomodações dos carregamentos anteriores, portanto a rugosidade não influenciou nos resultados.

Além da rigidez, também foram analisados os afundamentos acumulados. Na Figura 22 têm-se os resultados para os traços estudados. Através dos resultados percebe-se que, para o carregamento de 10MPa, a almofada sofre uma maior plasticificação. Isso se deve porque esse carregamento foi aplicado antes do carregamento de 20MPa e portanto a amostra já está deformada. Pode-se observar o comportamento dos traços na Figura 23.

Analisando os gráficos percebe-se uma deformação maior nas almofadas de traço PP12, como se esperava, já que seu pro-

pósito é ser mais deformável. Com os resultados encontrados de afundamento, também se fez uma comparação entre as rugosidades na Figura 24.

Considerando os dois carregamentos, houve um deslocamento consideravelmente maior nas almofadas com rugosidade aplicada. Este resultado é considerado positivo, corroborando a importância do uso dessas almofadas.

5. Conclusões

Das análises dos ensaios de caracterização, observa-se que:

- os valores de resistência à compressão das amostras dos compósitos estão em torno de 41MPa e para o traço de referência é de 79,5MPa. Assim, houve uma redução de aproximadamente 48% do valor de resistência do traço modificado em relação ao traço de referência. Para a utilização como almofada de apoio, este valor em torno de 41MPa pode ser considerado suficiente;
- para os ensaios de tração, os valores encontrados para o traço com fibra e o traço de referência estão bem próximos, da ordem de 3,0MPa, sendo sua diferença pouco significativa;
- os módulos de elasticidade dos compósitos chegaram a uma redução de 45% em relação ao traço de referência, chegando a 12,8GPa;
- nos ensaios de força concentrada houve um melhor comportamento da argamassa com a utilização das fibras, conseguindo absorver 43% a mais de força que a argamassa de referência, além de permitir um deslocamento de 96% a mais que a argamassa de referência.
- a taxa volumétrica das fibras utilizada (2%) garantiu o aparecimento de múltiplas fissuras, o que confere um grau de tenacidade aceitável para o material.

Dos ensaios de almofadas, pode-se concluir que:

- houve uma diferença significativa entre a argamassa com a utilização de fibras e rugosidade e a argamassa de referência;

- b) para os ensaios de carregamento monotônico observou-se claramente a redução da rigidez da almofada com a aplicação da rugosidade em ambos os lados (RR). Comparando as almofadas LL e as RR, a diferença chegou a mais de 30%, o que permitiu concluir que a aplicação da rugosidade em ambos os lados possibilita uma redução significativa deste parâmetro;
- c) apesar do traço com fibra apresentar uma variação nos resultados entre as moldagens, para a rugosidade RR essas diferenças não foram muito grandes, ou seja, para os resultados do traço PP12 e rugosidade RR, os valores encontrados foram satisfatórios. Para este traço, obteve-se 307MPa/mm, que é 37% menos rigidez que a encontrada para o traço de referência, RR (490MPa/mm); Através dos afundamentos acumulados observou-se que o traço PP12 apresentou boa deformação comparada com o traço de referência, chegando a 37% mais deslocamento que o traço de referência. Observa-se também que com o aumento dos ciclos de carregamento o material tende a deformar menos elasticamente. Para este ensaio também se conclui que houve melhor comportamento das almofadas com rugosidade RR, sendo 120% maior o deslocamento comparado com as almofadas LL.

Assim, com base de todos os resultados, conclui-se que o traço PP12 obteve um bom comportamento com uma redução na rigidez comparado aos resultados anteriores, e que o melhor comportamento se deu com a aplicação de rugosidade em ambos os lados da almofada como demonstrado nos resultados de carregamento monotônicos.

6. Agradecimentos

À FAPESP, pelo financiamento dos ensaios através do projeto temático, e ao CNPq, pela bolsa da autora.

7. Referências Bibliográficas

- [01] BARBOZA, A.S.R.; SOARES, A.M.M. ; EL DEBS, M.K. A new material to be used as bearing pad in precast concrete connections. In Proc. 1st International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction. eds. Anumba, C.J. Egbu, C.; Thorpe, A., Loughborough, UK, 2001, p. 81-91.
- [02] EL DEBS, M.K.; BARBOZA, A.S.R.; SOARES, A. M. . An alternative material for bearing pad in precast concrete connections. In: 17th INTERNATIONAL CONGRESS OF THE PRECAST CONCRETE INDUSTRY, Istanbul. Proceedings of 17th INTERNATIONAL CONGRESS OF THE PRECAST CONCRETE INDUSTRY, 2002.
- [03] EL DEBS, M.K.; BARBOZA, A.S.R.; MIOTTO, A.M.M. Development of material to be used as bearing pad in precast concrete connections. *Structural Concrete*. nº 4 v.4 p. 185-193, 2003.
- [04] EL DEBS, M.K.; MONTEADOR, L.C.; HANAI, J.B. Compression tests of cement-composite bearing pads for precast concrete connections. *Cement and Concrete Composites*, nº 28, p. 621-629, 2006.
- [05] MONTEADOR, L.C. Desenvolvimento de compósito a ser utilizado como almofada de apoio nas ligações entre elementos pré-moldados, São Carlos, 2004, Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 144p.
- [06] SIQUEIRA, G.H. Almofada de apoio de compósito de cimento para ligações em concreto pré-moldado, São Carlos, 2007, Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 169p.
- [07] EL DEBS M.K, MIOTTO A.M., EL DEBS, A.L.H.C. Analysis of a semi-rigid connection for precast concrete. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*, 2010; 163: 41-51.
- [08] BELLUCIO, E.K. Influência da rugosidade superficial e o uso de novos tipos de fibras em almofadas de argamassa para ligações de concreto pré-moldado, São Carlos, 2010, Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 106p.
- [09] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Ensaio de compressão em corpos-de-prova cilíndricos, ABNT NBR 5739, Rio de Janeiro, 2007.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassas e Concretos - Determinação da Resistência à Tração na Compressão Diametral de Corpos de Prova Cilíndricos: Método de Ensaio, ABNT NBR 7222, Rio de Janeiro, 1994.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Determinação da Resistência à Tração na Flexão em Corpos de Prova Prismático, ABNT NBR 12142, Rio de Janeiro, 1991.