

INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL E O USO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO EM ALMOFADAS DE ARGAMASSA PARA LIGAÇÕES DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Ellen Kellen Bellucio¹ & Mounir Khalil El Debs²

Resumo

Este trabalho apresenta o estudo de uma argamassa modificada para ser utilizada como almofada de apoio em ligações entre elementos de concreto pré-moldado. O objetivo desta pesquisa é dar continuidade dos estudos anteriores analisando a influência da rugosidade superficial nas almofadas e testar novos tipos de fibras. Nesta pesquisa foram realizados ensaios de caracterização do compósito e ensaios em placas. Os resultados de caracterização apresentam resistência à compressão de 41MPa e módulo de elasticidade de 12,8GPa. Os ensaios de placas mostram melhores resultados para fibras de 12µm de diâmetro em função de uma redução de 30% da rigidez relação a uma argamassa de referência, uma melhor capacidade de absorção de carga no ensaio de força concentrada e um índice de tenacidade 40% maior quando comparadas com os outros traços estudados. Na análise da rugosidade superficial, o melhor resultado é com rugosidade em ambos os lados da placas, onde houve uma redução de até 30% na rigidez e um aumento do afundamento acumulado de mais de 120% em relação às placas com ambos os lados lisos.

Palavras-chave: Almofadas de apoio. Ligações. Estruturas de concreto pré-moldado.

INFLUENCE OF SURFACE ROUGHNESS AND THE USE OF POLYPROPYLENE FIBER IN BEARING PADS OF CEMENT-BASED MATERIAL FOR PRECAST CONCRETE CONNECTIONS

Abstract

This paper presents the study of a mortar modified to be used as a bearing pad connections between precast concrete elements. The objective of this research is to continue the previous studies, analyzing the influence of surface roughness on the pads and test new types of fibers. In this research, test were carry out to characterize the composite and test on bearing pads. Based on test with cylindrical samples, it is determinated the compressive strength of 41MPa and modulus of elasticity of 12.8GPa. The test bearing pads presents the best results for fibers of 12µm of diameter in terms of a 30% reduction of stiffness in relation to a reference mortar, the best ability to absorb the load test concentrated load and an index of toughness 40% higher when compared with the other mixture studied. Regarding surface roughness analysis, the best result is with roughness on both sides of the bearing pads are reduced by 30% in stiffness and an increase in deformation accumulated more than 120% bearing pads regarding with both sides smooth.

Keywords: Bearing pads. Connections. Precast concrete structures.

1 INTRODUÇÃO

Nas ligações entre elementos de concreto pré-moldado, a transferência das tensões de compressão pode ser de duas maneiras: (a) por contato direto; e (b) por inserção de material entre os elementos. Devido ao comportamento frágil do concreto, o apoio por contato direto é raramente utilizado e limitado à tensões de compressão muito baixas. O uso de argamassa moldada no local

¹ Mestre em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, ellenkellen@sc.usp.br

² Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, mkdebs@sc.usp.br

pode ser uma alternativa para minimizar as irregularidades da superfície de contato. O seu alcance é limitado e sua aplicação é restrita a baixos níveis de tensão de compressão, sendo que, esta ainda requer trabalhos adicionais na obra.

Com relação à inserção de material entre os elementos pré-moldados, o material pode ser rígido ou flexível. O material rígido seria elementos metálicos embutidos nas peças pré-moldadas de concreto e, o contato pode ser feito por estes elementos. Este tipo de ligação requer cuidados para garantir a uniformidade dimensional da superfície de contato e frequente manutenção, porque os elementos metálicos podem ser expostos. Os elementos flexíveis podem ser na forma de almofadas de elastômero. O elastômero mais comum utilizado como elemento de apoio é o policloropreno. Por ser um material bastante deformável ele acomoda as irregularidades da superfície, promovendo uma distribuição de tensões mais uniforme e permite certos movimentos de rotação e deslocamento horizontal. A rotação faz que o comportamento da ligação seja bem próximo de uma ligação articulada e o deslocamento horizontal possibilita aliviar as tensões provenientes da variação de comprimento dos elementos apoiados, sendo uma grande vantagem deste tipo de material, quando esta variação de comprimento introduz esforços de grande magnitude na estrutura. Este material apresenta como desvantagem alto custo, a durabilidade menor que a do concreto, baixa resistência a incêndios e à compressão, além de que sua aplicação é incompatível com ligações sujeitas a altas tensões de compressão, devido à grande deformação do material.

Neste trabalho realizou-se estudos de um material a base de argamassa de cimento modificada para ser utilizada como almofada de apoio em ligações viga-pilar.

A argamassa é modificada com os seguintes elementos: agregado leve (vermiculita); látex e fibras curtas. A vermiculita promove um significativo aumento na capacidade de deformação da argamassa no estado endurecido. O látex é uma dispersão de polímeros orgânicos em água que melhora propriedades do material no estado endurecido como a durabilidade, resistência à flexão e ao impacto, permeabilidade, resistência ao congelamento e resistência à abrasão. A adição de fibras curtas ao concreto melhora, em geral, as resistências ao impacto e a fadiga do material endurecido, bem como aumentam a sua tenacidade. Em grandes quantidades, as fibras reduzem a trabalhabilidade da mistura e podem incorporar ar ao material endurecido, o que promove também a redução do módulo de elasticidade.

Este compósito possui a vantagem de aumentar a rigidez da ligação quando comparado com ligações utilizando o elastômero, além de ter um custo menor e não precisar de manutenção. Também apresenta a capacidade de moldá-lo de acordo com a tipologia da ligação, independentemente do tamanho e do tipo de apoio e da necessidade de vazios na almofada. Esta almofada de argamassa não apresenta capacidade de distorção, portanto, tem que levar em consideração os esforços horizontais produzidos pela variação volumétrica dos elementos. A sua aplicação mais comum é em ligações viga-pilar de estruturas de edifícios comerciais e residenciais e de galpões industriais. Bellucio (2010) apresenta um estudo detalhado deste tipo de almofada de argamassa.

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o efeito da rugosidade superficial aplicada nas almofadas de argamassa e analisar a utilização de novos tipos de fibra de polipropileno. Assim, temos como objetivo específico: a) desenvolver uma forma de moldagem para controlar a rugosidade de ambos os lados das placas para que se possa moldar as almofadas de forma eficiente e rápida; b) avaliar novos tipos de fibras para este compósito a fim de encontrar um tipo que obtenha uma boa trabalhabilidade na argamassa fresca e compatível com a nova forma de moldagem desenvolvida; c) avaliar a variação da rigidez das almofadas do material conforme o tipo de rugosidade aplicada na superfície da almofada.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para este trabalho foram realizados ensaios de caracterização da argamassa (compressão simples, tração por compressão diametral e módulo de elasticidade) e ensaios de placas (força distribuída – monotônica e cíclica, força concentrada e flexão).

As formas utilizadas nos estudos anteriores 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).



Figura 1 – Placas moldadas em formas sem controle de uma das superfícies.

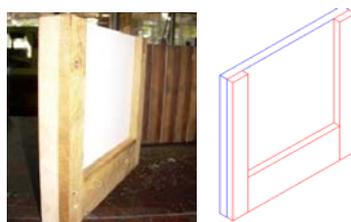


Figura 2 – Molde tipo.

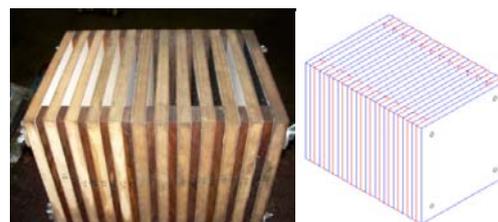


Figura 3 – Composição completa.

Assim, foi desenvolvida uma forma em bateria (Figuras 2 e 3). Além do controle das rugosidades nas superfícies, as novas formas também tinham como objetivo facilitar a produção em grande escala das almofadas para que essas pudessem entrar em harmonia com o sistema construtivo de elementos pré-moldados.

O adensamento na moldagem das placas foi realizado manualmente e também através de mesa vibratória. A desmoldagem foi realizada com 24 horas e colocadas em câmara úmida por mais 24 horas.

2.1 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 da empresa Construquil Polímeros Indústria e Comércio LTDA.
- e) Aditivo superplastificante GLENIUM 51, aditivo de 3ª geração com base em cadeia de éter carboxílico modificado.
- f) Fibras de polipropileno com as seguintes especificações:

<p>Fibra fornecida pela Saint-Gobain Brasilit. (Figura 4) Denominada neste artigo por PP1 Comprimento nominal (L): 10 mm Diâmetro nominal (D): 12 μm Peso Específico: 0,90 kg/dm³</p>	<p>Fibra fornecida pela ORPEC (Figura 5) Denominada neste artigo por PP2 Comprimento nominal (L): 10 mm Diâmetro Nominal (D): 0,18 mm Peso Específico: 0,90 kg/dm³ Alongamento: 20 a 25%</p>
--	--



Figura 4 – Fibra da Saint-Gobain Brasilit (PP1).



Figura 5 – Fibra Concretil da Orpec (PP2).



Figura 6 – Preenchimento das formas.

Realizaram-se ensaios com as fibras PP1, PP2 e um traço com a mistura de ambas (PP1+PP2).

A quantidade de fibra foi incorporada conforme a trabalhabilidade da argamassa, já que necessitava de uma massa fluida o suficiente para conseguir moldar na bateria (Figuras 6). Como o objetivo é encontrar um traço com boa resistência, porém com um baixo módulo de elasticidade, colocou-se a maior quantidade de fibra possível.

Na argamassa com as fibras PP1 a trabalhabilidade é muito afetada devido relação de aspecto baixa, portanto, sendo possível incorporar 2% em relação à massa de cimento (Figura 7). Já a massa com as fibras PP2, por ter uma relação de aspecto maior, alcançou a taxa de 9% (Figura 8). Como a fibra PP2 influenciava pouco na trabalhabilidade, optou-se por fazer um teste com a mistura das duas fibras, assim, fez uma massa com 2% de fibra PP1 e incorporou fibra PP2 chegando a 3%.



Figura 7 – Argamassa com fibras PP1.



Figura 8 – Argamassa com fibras PP2.

Nas tabelas 1, 2 e 3 são apresentados os três traços com fibras utilizados e a tabela 4 o traço de referência.

Tabela 1 – Traço utilizando a fibra de 12µm em volume

Cimento	Areia	Vermiculita	Látex	Fibra	Superpl.	Água
1	0,285	0,015	0,20	0,02	0,02	0,25

Tabela 2 – Traço utilizando a fibra de 180µm em volume

Cimento	Areia	Vermiculita	Látex	Fibra	Superpl.	Água
1	0,285	0,015	0,20	0,09	0,01	0,25

Tabela 3 – Traço utilizando as duas fibras em volume

Cimento	Areia	Vermiculita	Látex	Fibra 12	Fibra 180	Superpl.	Água
1	0,285	0,015	0,20	0,02	0,03	0,01	0,25

Tabela 4 – Traço de referência em massa

Cimento	Areia	Água	Superplast.
1	0,3	0,35	0,01

Para o estudo da influência da rugosidade superficial foi realizada moldagens com placas com as duas superfícies lisas (LL), uma superfície lisa e outra rugosa (LR) e as duas superfícies rugosas (RR). Nas Figuras 9 e 10 apresenta a rugosidade aplicada na superfície das placas.



Figura 9 – Rugosidade aplicada.



Figura 10 – Comparação da superfície lisa e rugosa.

2.2 Ensaio de caracterização

a) Compressão simples

Os ensaios de compressão simples foram realizados em corpos-de-prova de 100mmx50mm, conforme as recomendações da NBR5739/1994, utilizando a máquina de ensaios da marca Instron e a taxa de carregamento é padronizada pela máquina em 0,005 mm/s. A partir do ensaio eram obtidas as resistências finais, antes da ruptura, das amostras ensaiadas diretamente na máquina.

b) Tração por compressão diametral

Esses ensaios foram realizados em corpos-de-prova de 100mmx50mm, seguindo as recomendações da NBR7222/1994, utilizando a máquina de ensaios da marca Instron e a taxa de carregamento é padronizada pela máquina em 0,005 mm/s.

c) Módulo de elasticidade

Este ensaio é realizado por meio de aplicação de carga axialmente 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 100mm de altura. Assim, o gráfico tensão x deformação é feito 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 x deformação e da curva da equação (regressão) pode-se obter também o módulo de elasticidade. A regressão é feita entre 5% e 50% do valor de carregamento máximo do corpo de prova.

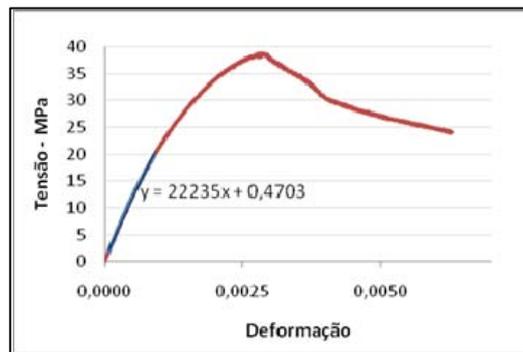


Figura 11 – Gráfico tensão x deformação para obtenção do módulo de elasticidade.

Na Figura 11, pode-se observar um gráfico, no qual é mostrada uma curva.

2.3 Ensaio de placas

a) Carregamento monotônico

Neste caso, foram moldadas 6 placas de 150mm x 150mm para cada traço e para cada rugosidade. O carregamento foi aplicado até o limite da máquina da marca Instron (1500 kN).

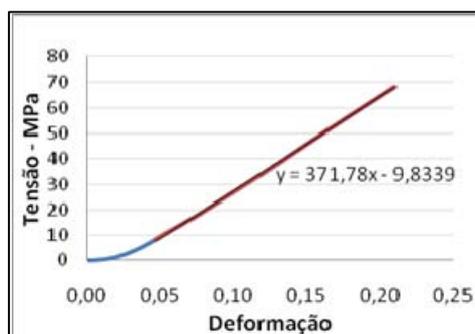


Figura 12 – Gráfico tensão x deformação para obtenção da rigidez da placa.

Feito isso, constrói-se um gráfico de Tensão por Deformação e obtém-se uma curva. Junto à curva, traça-se uma reta que passe por uma grande quantidade de pontos, a partir do ponto 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 representa a rigidez da placa (Figura 12).

b) Força concentrada

Este ensaio de força concentrada derivou-se dos ensaios de força concentrada realizados por Montedor (2004) e Siqueira (2007) visando-se medir a capacidade de acomodação de cargas pontuais de tiras de almofada do compósito, ou afundamento. Nesta pesquisa optou-se por realizá-lo com o objetivo de comparar a influência dos tipos de fibras analisadas na capacidade de acomodação.

Este ensaio consistiu em cortar as almofadas de 150mmx150mm em fatias de 25mmx150mm, nas quais seriam aplicadas duas cargas pontuais em dois pontos localizados a 37,5mm da borda da fatia.

O ensaio consistiu na aplicação de carga com controle de deformação da máquina a uma taxa de 0,01mm/s. Este ensaio foi realizado utilizando a Instron modelo 8586.

Para cada traço, 10 amostras de tiras de almofadas foram ensaiadas e pode-se obter a curva força x deslocamento para cada amostra. Um exemplo dos gráficos obtidos para um traço é apresentado na Figura 13.

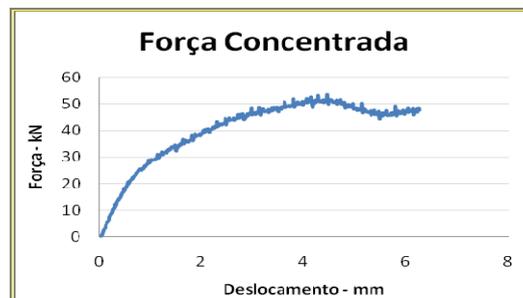


Figura 13 – Resultado de uma curva de força concentrada.

c) Ensaio de flexão

Este ensaio foi realizado para verificar a resistência da argamassa à flexão e verificar capacidade portante após a fissuração devido a influência das fibras.

Para essa determinação procurou-se realizar o ensaio com uma amostra da própria placa, ou seja, retirou-se tiras das placas como no ensaio de força concentrada. Assim, foram realizados seis ensaios de cada traço e cada amostra tinha 150mmx12mm com 30mm de largura.

Mesmo se tratando de um ensaio específico na placas, verificou-se as prescrições da ABNT NBR 12142:1991 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.

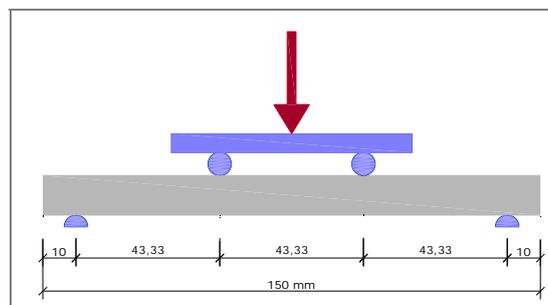


Figura 14 – Distância dos pontos de aplicação de carga na amostra de flexão.

Os apoios foram colocados a 1cm da borda da amostra e os pontos de aplicação da carga estavam a 1/3 da marca dos apoios.

A carga foi aplicada até uma deformação onde a placa começava a perder carga.

Para comparar os resultados encontrados, traçou-se as curvas tensão-deformação onde calculou-se a tenacidade de cada amostra. Para determinar essa tenacidade, optou-se por utilizar o método do ASTM 1018, onde são determinados os denominados Índices de Tenacidade, calculados pela relação entre a área sob a curva carga x deslocamento vertical até um determinado valor de flecha (sempre múltiplo da superfície relativa à primeira fissura) e a área sob esta mesma curva até a flecha correspondente à primeira fissura.

Para o cálculo da tenacidade nesta pesquisa, utilizou o recurso de regressão linear para cada trecho como descrito na ASTM 1018.

d) Carregamento cíclico

No ensaio de carregamento cíclico procurou-se obter uma visualização afundamento acumulado com um regime de cargas repetitivas.

O esquema básico do ensaio cíclico foi o mesmo utilizado para o ensaio monotônico, sendo que, as almofadas utilizadas neste ensaio possuíam as mesmas dimensões das do ensaio anterior, ou seja, 150mmx150mm de base e espessura de 12mm. A diferença ficou por conta dos carregamentos que foram repetidos ciclicamente (conforme figura 15), até cargas que promovessem pressões de contato da mesma ordem de grandeza do que se poderia verificar em situações práticas de utilização das almofadas de apoio.

O afundamento acumulado é a consolidação do material, ou seja, o deslocamento sofrido pela placa durante cada ciclo. O afundamento é calculado através da diferença entre o valor final e o inicial de deslocamento do ciclo (Figura 15).

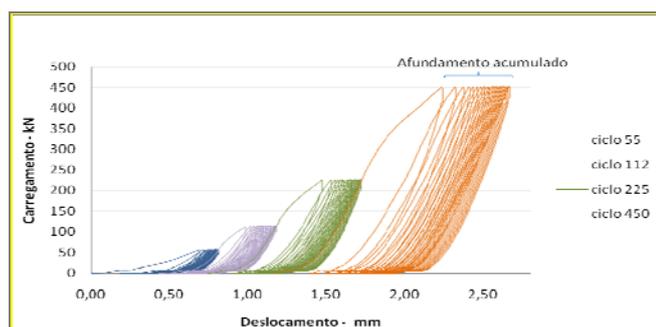


Figura 15 – Gráfico do ensaio cíclico demonstrando o afundamento acumulado para o ciclo de 450kN.

3 ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1 Ensaios de caracterização

a) Compressão simples

Foram ensaiados seis corpos de prova em três moldagens diferentes. Os resultados das médias dos resultados estão apresentados na Figura 16.

Analisando os resultados verifica-se que a adição de materiais diminui muito a resistência da argamassa. Não houve uma variação significativa nos valores entre os traços modificados. Portanto, a variação do tipo de fibra não alterou os resultados do compósito.

Comparando os resultados encontrados com os valores obtidos por Siqueira (2007), observa-se que os valores estão consistentes, e que mesmo com valores reduzidos de compressão, estes são o suficiente para ser utilizado nas almofadas.

Os corpos de prova dos traços modificados não apresentaram ruptura frágil, devido a presença de fibras.

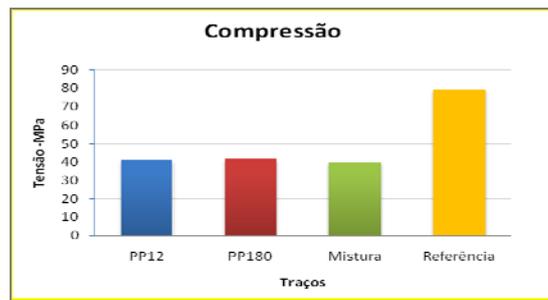


Figura 16 – Resultados dos ensaios de compressão simples.

b) Tração por compressão diametral

Para o ensaio de tração também foram ensaiados seis corpos de prova em três moldagens diferentes. Os resultados das médias dos resultados estão apresentados na Figura 17.

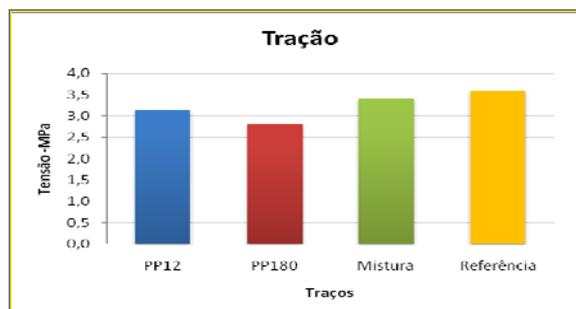


Figura 17 – Resultados dos ensaios de tração por compressão diametral.

Analisando os resultados verifica-se que não há diferenças significativas entre as resistências de tração. Há uma tendência dos resultados da argamassa de referência ser um pouco maior que as demais.

Comparando com os resultados encontrados por Siqueira (2007), verificamos que os valores encontrados nos ensaios estão próximos, diferindo basicamente apenas o da argamassa de referência.

c) Módulo de elasticidade

Para este ensaio também foram ensaiados seis corpos de prova em três moldagens diferentes. Os resultados das médias dos resultados estão apresentados na Figura 18.

Comparando os resultados das argamassas modificadas com o traço referência, observamos a significativa redução do módulo. Este é o foco principal da pesquisa, que o material seja o mais deformável possível para ser utilizada como almofada de apoio.

Comparando os resultados entre os traços modificados, verifica-se que os valores são bem próximos. Sendo que para o traço PP12 o resultado é um pouco menor que para o traço PP180, observando ainda que o traço de mistura apresenta valores intermediários.

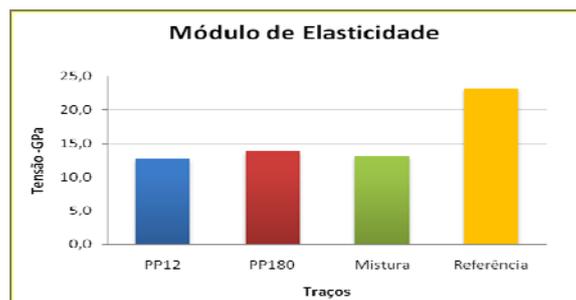


Figura 18 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade.

Nos resultados encontrados por Siqueira (2007), o pesquisador obteve para o traço que concluiu como o mais adequado (V10PP4L30) o valor de 13,1GPa, sendo bem próximos dos valores encontrados para as argamassas modificadas. Assim, conclui-se que os resultados estão satisfatórios.

3.2 Ensaios de placas

a) Carregamento monotônico

Com este ensaio foi analisado, através da rigidez, a diferença entre os traços estudados e a influência da rugosidade superficial aplicada nas placas. A rigidez é a relação tensão x deformação das almofadas, onde quantifica a capacidade de deformação elástica do material.

Para facilitar, adotou-se a identificação LL para placas com ambos os lados lisos, LR para placas com um lado liso e outro rugoso e RR para ambos os lados rugosos.

Primeiramente foi analisado o traço PP12. Para este ensaio foram moldadas 18 placas, sendo confeccionadas em duas etapas: nove placas numa primeira moldagem (3LL, 3LR e 3RR) e mais nove placas numa segunda moldagem. Porém, ao verificar os resultados, observou-se que os resultados entre as duas moldagens estavam bem diferentes. Assim, optou-se por moldar mais 9 placas para conferir os resultados.

Mesmo com uma nova moldagem os valores de rigidez foram bem diferentes, principalmente para as placas LL e LR. A Tabela 5 mostra as médias de valores encontrados.

Tabela 5 – Resultado das médias das rigidezes do ensaio monotônico para traço PP12 (MPa)

	1ª Moldagem	2ª Moldagem	3ª Moldagem	Média
LL	307	461	580	449
LR	286	386	444	372
RR	268	313	340	307

Com base nos resultados, verificam-se que as diferenças entre os resultados das placas RR eram bem menores que as demais. Além disso, esses resultados apresentavam valores de rigidez bem menores comparados com as placas LL e LR. Portanto, como o objetivo da pesquisa é reduzir a rigidez das placas, os resultados foram satisfatórios, concluindo que mesmo com resultados diferentes entre as moldagens, as placas RR apresentam bons resultados tendo em vista a aplicação.

Tabela 6 – Resultado das médias das rigidezes do ensaio monotônico para traço PP180 (MPa)

	1ª Moldagem	2ª Moldagem	Média
LL	490	506	498
LR	429	451	440
RR	394	352	373

Para os traços PP180, Mistura e Referência foram realizadas duas moldagens, com 9 placas (3LL, 3LR e 3RR) de cada traço. Para o traço PP180 temos os resultados apresentados na Tabela 6.

Para este tipo de fibra, verificou-se uma coerência nos resultados entre as duas moldagens, não havendo uma grande diferença entre eles. Também percebe-se uma redução da rigidez com a aplicação da rugosidade superficial nas placas. Na Tabela 7 são apresentados os resultados do traço Mistura.

Tabela 7 – Resultado das médias das rigidezes do ensaio monotônico para traço mistura (MPa)

	1ª Moldagem	2ª Moldagem	Média
LL	434	492	463
LR	353	392	373
RR	286	326	306

Para este traço houve uma variação um pouco maior entre os resultados quando comparados com as diferença entre o traço PP180. Porém, menos discrepantes do que os encontrados pelo traço PP12. Também percebe-se uma redução significativa da rigidez entre a aplicação ou não da rugosidade. Para o traço de referência foram encontrados os resultados expostos na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultado das médias do ensaio monotônico para traço referência

	1ª Moldagem	2ª Moldagem	Média
LL	636	649	642
LR	536	544	540
RR	473	506	490

Não houve diferença significativa entre as duas moldagens. Com isso, podemos concluir que as diferenças encontradas nos traços modificados são referentes a adição dos novos materiais. O que pode ter influenciado nos resultados é a diferença entre o lote de cimento ou a temperatura do ambiente no dia das moldagens, já que todas as outras condições foram mantidas iguais para todas as moldagens. Fazendo uma comparação da rigidez entre os traços estudados tem-se na Figura 19.

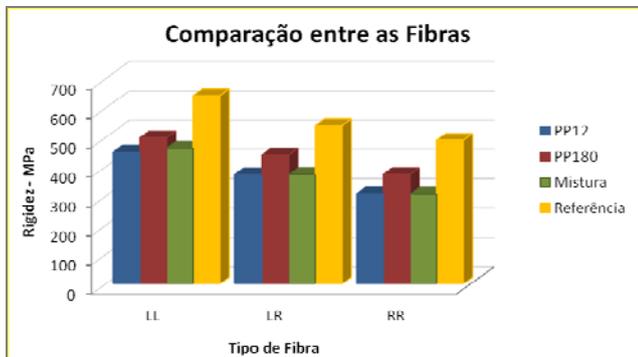


Figura 19 – Comparação dos resultados de rigidez.

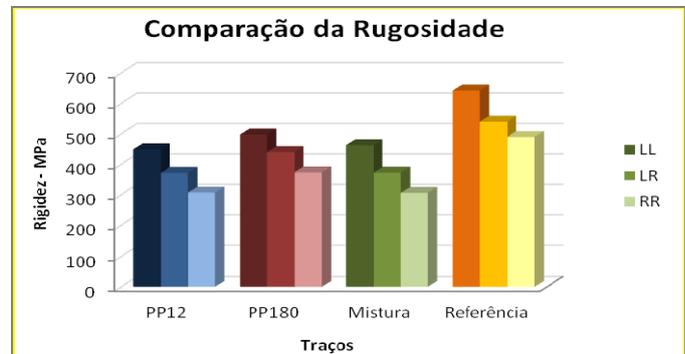


Figura 20 – Comparação da rigidez conforme a rugosidade aplicada.

Percebe-se neste gráfico a redução significativa da rigidez das almofadas com a adição das fibras, látex e vermiculita. Como verificado, a melhor redução se deu nos traços PP12 e a mistura. Para o traço PP12 e mistura houve uma redução de mais de 30% na rigidez enquanto para o traço PP180 houve uma redução em torno de 20%.

Como os valores entre esses dois traços foram muito próximos, podemos concluir que as fibras de 180 μ m não contribuíram muito nos resultados da mistura. Comparando os resultados entre as rugosidades aplicadas tem-se na Figura 20.

Em todos os traços a aplicação da rugosidade na superfície reduziu a rigidez, portanto, com as placas RR temos um melhor resultado. A diferença entre as placas LL e RR chega a 30% de redução de rigidez.

Analisando novamente os valores de rigidez do traço PP12 na Tabela 5, por mais que se tenha uma diferença entre os valores nas moldagens, verifica-se que para as placas RR não há uma diferença tão grande entre as rigidezes. Assim, para este ensaio, pode-se concluir que o traço PP12 com rugosidade RR é a melhor opção para utilizar na fabricação das almofadas.

As placas após os ensaios se mantiveram íntegras, apenas as placas do traço de referência que apresentavam algumas trincas.

b) Ensaio de força concentrada

Para os testes de força concentrada, o objetivo era avaliar a capacidade de acomodar imperfeições nas almofadas para cada traço.

Foram ensaiados os três traços especificados e o traço de referência para comparação. Para análise foram ensaiadas 10 tiras de cada traço e realizou-se uma análise dos gráficos força x deslocamento.

Os três traços modificados tiveram comportamentos bem parecidos no ensaio. Para comparação dos resultados, montou-se um gráfico as médias dos valores encontrados nos traços (Figura 21).

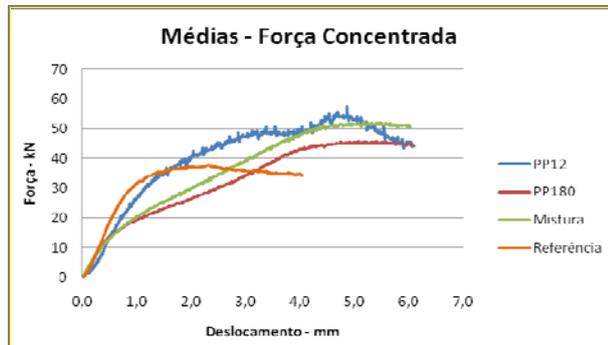


Figura 21 – Curvas médias dos resultados de força concentrada.

Os traços de PP180 e Mistura obtiveram um comportamento bem parecidos. O traço PP12 obteve um comportamento melhor que os outros dois, já que este resistiu a uma carga maior na evolução do carregamento. Além disso, teve um comportamento bem parecido com o início do carregamento do traço de referência (até o ponto da primeira trinca) e depois seguiu absorvendo mais carregamento.

As curvas dos traços PP12 e PP180 tendem a estabilizar a partir dos deslocamentos de 4,5 mm, concluindo que a partir deste ponto apresenta o valor de carga última de compressão. Tomando o valor de 4,5mm como referência, temos para os valores de carga última para os traços apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultado da força última (kN)

PP12	PP180	Mistura
53,7	44,6	50,9

Comparando os valores percebe-se que o traço PP12 obtém o melhor resultado, resistindo a um carregamento maior que os demais. Observa-se também que as curvas PP180 e Mistura sofrem uma mudança de inclinação no início do carregamento. Acredita-se que houve o início de fissuração neste ponto, o que não foi observado no traço PP12, tendo assim um melhor comportamento.

c) Ensaio de flexão

Para análise foram ensaiadas 6 tiras de cada traço e realizou-se uma análise dos gráficos força x deslocamento. Os resultados são apresentados na Figura 22.

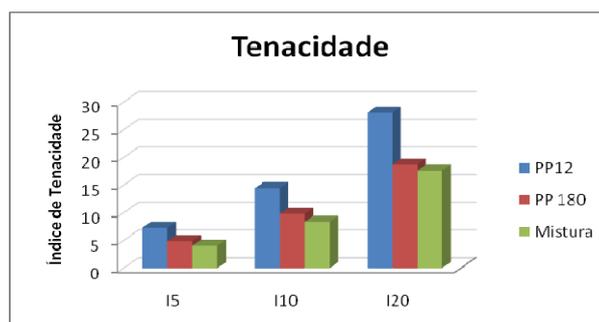


Figura 22 – Resultados dos índices de tenacidade.

Verifica-se claramente que os valores encontrados para o traço PP12 são bem maiores quando comparados com os valores dos outros traços, chegando a um aumento de 40%. Este comportamento é bem satisfatório para a argamassa.

d) Carregamento cíclico

Para este ensaio foram ensaiadas 18 placas de cada traço, sendo 6 placas de cada rugosidade. Analisando primeiramente a diferença entre as tensões de 20MPa e 10MPa temos na Figura 23.

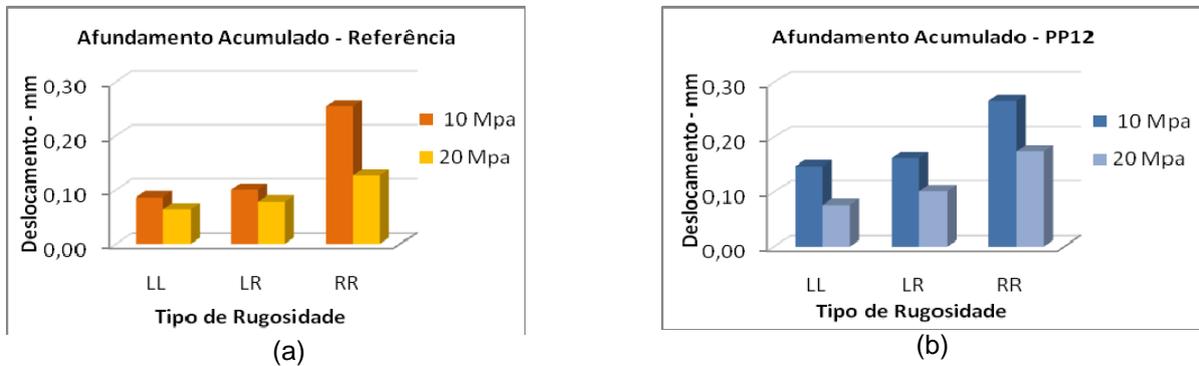


Figura 23 – Resultados de afundamento acumulado para o traço de referência e PP12.

Através dos resultados percebe-se que como o carregamento de 10MPa sofreu uma maior plastificação, isso se deve porque esse carregamento foi aplicado antes do carregamento de 20MPa, portanto, para o carregamento de 20MPa a amostra já estava bem deformada. Isso também se concluiu nos resultados de rigidez que foram maiores para o carregamento de 20MPa. Comparando os traços com e sem modificação, pode-se observar o comportamento na Figura 24.

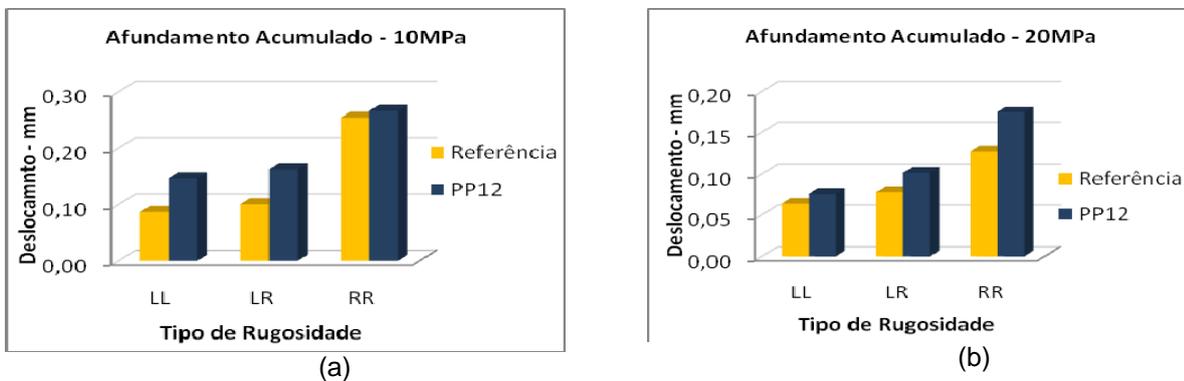


Figura 24 – Resultados de afundamento acumulado com carregamento de 10MPa e 20MPa.

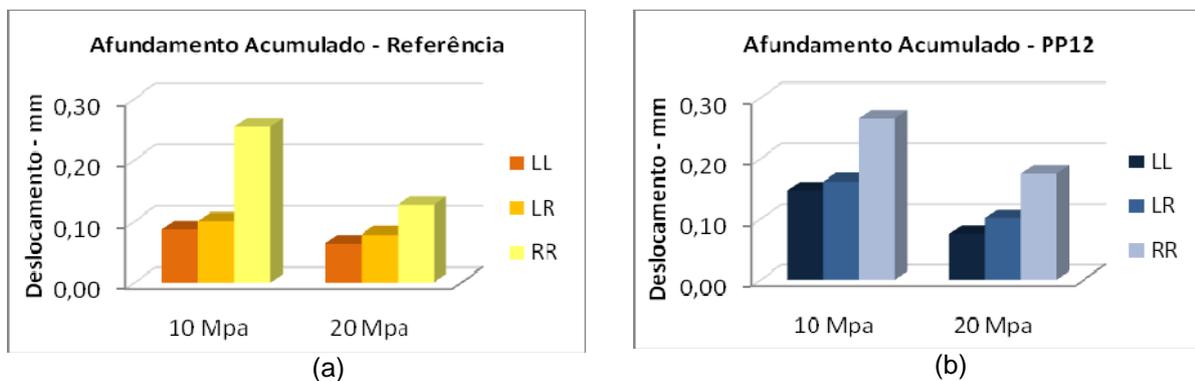


Figura 25 – Resultados do afundamento acumulado comparando as rugosidades aplicadas.

Analisando os gráficos percebe-se uma deformação maior nas placas de traço PP20, como se esperava, já que seu propósito é ser mais deformável. Com os resultados encontrados de afundamento, também fez-se uma comparação entre as rugosidades na Figura 25.

Entre os dois carregamentos houve um deslocamento bem maior nas placas com rugosidade aplicada, sendo isso um ponto bem positivo para ser utilizada nas placas.

4 CONCLUSÕES

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

- a) os valores encontrados para os traços modificados não apresentaram grandes diferenças;
- b) 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;
- c) para os ensaios de tração, os valores encontrados para os traços modificados e o traço de referência estão bem próximos, da ordem de 3,0MPa, sendo sua diferença pouco significativa;
- d) os módulos de elasticidade dos compósitos chegaram a uma redução de 45% em relação ao traço de referência, chegando a 12,8MPa. Esse resultado foi satisfatório em função da redução obtida.

Dos ensaios de placas, pode-se concluir que:

- a) uma significativa diferença entre os tipos de fibras e rugosidade;
- b) Para os ensaios de carregamento monotônico nas placas observou-se claramente a redução da rigidez da almofada com a aplicação da rugosidade em ambos os lados (RR). Comparando as placas 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) Com relação aos traços utilizados, no caso do carregamento monotônico, o melhor comportamento foi observado com o traço PP12. Apesar deste traço apresentar uma variação nos resultados entre as moldagens, para a rugosidade RR essas diferenças não foram muito grande, ou seja, para os resultados do traço PP12 e rugosidade RR os valores encontrados foram satisfatórios. Para este traço, PP12 com rugosidade RR, obteve 307MPa, que é 37% menor que a encontrada para o traço de referência, RR (490MPa);
- d) Nos resultados de força concentrada e flexão, também o traço PP12 apresenta melhores resultados. No ensaio de flexão este traço resultava tenacidade 55% maior que os outros compósitos. Observa-se uma melhor capacidade de carga do traço PP12 em relação aos outros traços, no ensaio de força concentrada;
- e) Através dos afundamentos acumulado observou-se que o traço PP12 apresentou boa deformação comparada com o traço de referência, chegando a 37% maior 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 placas com rugosidade RR, sendo 120% maior o afundamento acumulado comparado com as placas LL.

Assim, com base de todos os resultados, conclui-se que o traço PP12 foi o que se comportou melhor para ser utilizado como argamassa na confecção de almofadas de aparelho de apoio e que o melhor comportamento se deu com a aplicação de rugosidade em ambos os lados da almofada.

5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for flexural toughness and first-crack strength of fiber-reinforced concrete (using beam with third-point loading)**, ASTM C1018/94^a, Philadelphia, USA.

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.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto: método de ensaio**, ABNT NBR 5739. Rio de Janeiro, 1994.

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**. 2010. 106p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

MONTEADOR, L. C. **Desenvolvimento de compósito a ser utilizado como almofada de apoio nas ligações entre elementos pré-moldados**. 2004. 144p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

SIQUEIRA, G. H. **Almofada de apoio de compósito de cimento para ligações em concreto pré-moldado**. 2007. 169p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.