CONCRETO REFORÇADO COM MACROFIBRAS DE POLIETILENO PARA USO EM PAREDES DE CONCRETO

E. R. ARRUDA
Profissão: Estudante
Instituição: UCDB
Cidade/Estado; País: Campo Grande/MS, Brasil
E-mail: e_dg_roch@hotmail.com

R. C. F. SILVA
Profissão: Estudante
Instituição: UCDB
Cidade/Estado; País: Campo Grande/MS, Brasil
E-mail: ra153182@ucdb.br

R. C. CRISTALDO
Profissão: Engenheiro Civil
Instituição: UCDB
Cidade/Estado; País: Campo Grande/MS, Brasil
E-mail: rf4342@ucdb.br

S. R. BERTOCINI
Profissão: Tecnóloga em concreto
Instituição: UFMS
Cidade/Estado; País: Campo Grande/MS, Brasil
E-mail: sandra.bertocini@gmail.com

P. S. CAVALHARI
Profissão: Química
Instituição: UCDB
Cidade/Estado; País: Campo Grande/MS, Brasil
E-mail: priscilasabioni@hotmail.com

R. C. CAVALCANTI
Profissão: Engenheira Civil
Instituição: UCDB
Cidade/Estado; País: Campo Grande/MS, Brasil
E-mail: rf6535@ucdb.br

RESUMO

Considerando o elevado déficit habitacional no Brasil, surge como opção viável, construções em série, utilizando sistema de paredes de concreto, devido a sua rapidez de execução. Para viabilizar essa alternativa se faz necessário estudos de pesquisa e experimentação sobre o desempenho desse sistema, já que um dos problemas observados em sua aplicação é a fissuração e retração que o concreto sofre quando utilizado como parede. Este trabalho tem por fim analisar o concreto reforçado com macrofibras de polietileno para uso em paredes de concreto. Foi monitorada a temperatura das placas de concreto através através do sistema controlador arduíno. Foram realizados ensaios de absorção de água, índice de vazios, massa específica e durabilidade pelo método de envelhecimento natural. Foram utilizados 4 traços distintos com 0%, 0,25%, 0,50% e 0,75% de adição de Macrofibras. No ensaio de absorção foi constatado o aumento da porosidade no traço com 0,75% de fibra, o que se destaca negativamente. Os resultados do ensaio de envelhecimento natural demonstraram-se que os concretos com adição de fibras apresentam-se com menores resistências. A grande variação de temperatura ocasionou fissuras superficiais nas placas de concreto expostas ao tempo. Os resultados obtidos com a adição de macrofibras de polietileno no concreto se mostraram satisfatório em sua maioria, mesmo considerando pontos negativos, o traço que melhor atendeu as expectativas foi com 0,25% de fibra ou 6 kg/m³ de concreto.
Palavras-chave: Macrofibras. Durabilidade. Fissuras. Desempenho. Temperatura.Concreto.

ABSTRACT

Considering the high housing deficit in Brazil, appears as a viable option, constructions in series, using concrete walls system, due to its fast execution. To make this alternative feasible, it's necessary to study research and experimentation on the performance of the system, since one of the problems observed in it's application in the cracking and retraction that the concrete suffers when used as a wall. This work aims at the evaluation of concrete reinforced with polyethylene macrofibers for use in concrete walls. The temperature of concrete plates was monitored by control system Arduino. Has been realized water absorption, void index,

specific mass and durability by natural aging method test. Four distinct traces were used with 0%,0.25%, 0.50% and 0.75% addition of Macrofibers. In the absorption test, the increase in porosity in the trace with 0.75% of fiber was observed, which is negatively highlighted. The results of the natural aging test have shown that the concrete with addition of fibers it is less resistant. The large temperature variation caused surface cracks in the exposed concrete slabs. The results obtained with addition of polyethylene macrofibers in the concrete were mostly satisfactory, even considering negative points, the traits best met the expectations was the 0.25% of fiber or 6 kg / m³ of concrete, thus being feasible concrete walls.
Keywords: Macro fibers. Durability. Cracking. Performance. Temperature. Concrete.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, em 2013, aproximadamente 5,8 milhões de famílias não possuíam moradia própria. Este número aumentou, em 2014, para 6,1 milhões (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2016). Para atender a demanda, o inovador sistema construtivo de paredes de concreto está sendo amplamente utilizado, dada a rapidez de execução da obra, gerando orçamentos menores e redução de desperdício de materiais. Em 2014, 36% das casas produzidas no programa Minha Casa Minha Vida foram construídas utilizando este sistema, já em 2015 este número passou a ser 52% (SANTOS, 2017).

Para atender aos requisitos de qualidade e durabilidade, o controle de fissuração no concreto é parte fundamental do bom desempenho da estrutura e aumento de sua durabilidade (NBR 6118, 2014). Uma problemática encontrada no concreto é que neste compósito, pode ocorrer fissuras por retração e variação térmica que afetam a resistência, a durabilidade e a integridade estrutural (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Para minimizar esses problemas com fissuras estão sendo empregadas fibras como reforço para o concreto, por exemplo, fibras de polipropileno, fibras de carbono, fibras de aço e fibras de polietileno. Este reforço no concreto promove aumento da: resistência a fadiga, ao impacto, a tenacidade, à flexão, a ductibilidade e a maior capacidade de absorção de energia (MARÇÃO et al., 2016).

O concreto reforçado com fibras (CRF), é um material compósito, caracterizado pela resistência à tração pós-fissuração, devido ao fato das fibras servirem como ponte de aderência de tensões através de fissuras (MONTE; TOALDO; FIGUEIREDO, 2014 apud DI PRISCO; PLIZZARI; VANDEWALLE, 2009).

Na construção civil o uso de materiais plásticos tem aumentado, porque estes oferecem vantagens em relação aos materiais convencionais, tais como: baixo peso específico, resistência a corrosão, resiliência, resistência mecânica, resistência à deterioração por decomposição e ataque de insetos, transparência, facilidade de processo e baixo custo de manutenção. Um exemplo de uso de plástico no concreto é a adição de fibras sintéticas de elevado módulo de elasticidade e resistência (CANDIAN, 2007).

Dada essa enorme problemática, tomou-se como objetivo principal desta pesquisa a análise da fissuração do concreto reforçado com macrofibras de polietileno, no estado endurecido, para aplicação em paredes de concreto. Foram realizados ensaios de laboratório, seguindo as normas técnicas, para obtenção dos resultados. Este trabalho torna-se importante devido ao fato de até o momento no Brasil, existirem poucas pesquisas publicadas a respeito dos métodos de avaliação das fissuras de concretos estruturais com adição de macrofibras de polietileno (BRIGIDO; VARGAS; ALLEM, 2012; CUNHA et al., 2016; NARDELLI; et al., 2013). Sendo assim, este trabalho experimental pode servir como auxilio para futuras avaliações do concreto.

Além disso, no Brasil, ainda não existe norma para concreto reforçado com fibras sintéticas, o que dificulta a avaliação do comportamento mecânico desse compósito. Portanto, um número maior de pesquisas nesta área, pode servir como base de literatura para elaboração de um documento normatizado, que possa instruir no uso racionalizado da adição de fibras sintéticas no concreto.

A avaliação do concreto foi feita através dos ensaios descritos a seguir.

1.1 Resistência a compressão diametral

Tanto a resistência a tração na flexão quanto a resistência a compressão diametral têm por finalidade impedir a propagação de fissuras e com isso retardar a ruptura de uma estrutura. Para determinar a resistência a tração por compressão diametral é utilizado a NBR 7222 (2011).

1.2 Análise de fissuração por variação de temperatura

Uma das causas relacionadas a deterioração do concreto está ligada ao fenômeno de lixiviação. A lixiviação é responsável por dissolver e carrear os componentes da água de cimento, através de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras. Para prevenir esse fenômeno a NBR 6118 (2014) recomenda que seja restringido a fissuração, de modo a minimizar a infiltração de água e proteger as superfícies expostas.

A adição de fibras no concreto ajuda a minimizar a ocorrência de fissuras, para tanto é necessário que seja feito um ensaio para avaliar o quanto as fibras ajudam a minimizar o aparecimento de fissuras, ocasionadas por variação de temperatura.

1.3 Absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto

A durabilidade do concreto consiste na sua capacidade de impedir, quando exposto a água, que compostos dissolvidos passem por ele com facilidade. A fácil penetração da água depende do coeficiente de permeabilidade e da capilaridade, os dois são em função da compacidade (BERENGUER et al., 2015 apud Vilasboas, 2004).

Determinar a permeabilidade e a absorção capilar é importante, porque estes mecanismos são os principais responsáveis pelo transporte de agentes agressivos para o interior do concreto (BERENGUER et al., 2015 apud Barbosa, 2009).

No Brasil, a determinação da absorção do concreto pode ser avaliada por dois métodos de ensaios normatizados:

- Por imersão: avalia a absorção d' água em função do volume total de poros, segundo a NBR 9778 (2009).
- Por capilaridade: avalia a ascensão capilar de água em argamassas e concretos endurecidos, segundo a NBR 9979 (2012).

1.4 Avaliação da durabilidade no concreto

Hoje, há um grande empenho em divulgar os conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, portanto é necessário determinar como os materiais são degradados, além dos fatores que o influenciam, com intuito de aumentar a durabilidade dos materiais (PIMENTEL, 2004).

O aumento da durabilidade dos materiais influência diretamente na redução do impacto ambiental, uma vez que a estrutura com maior vida útil diminui o impacto de futuras manutenções (ROQUE, J. A.; MORENO JUNIOR, 2005).

Durabilidade é um termo aplicado aos materiais que se refere a capacidade do mesmo se conservar em um determinado estado, com uma mesma qualidade, por um período de tempo e sobre a influência de intempéries (AMORIN, 2013). Ainda, durabilidade pode ser definida como a capacidade do material suportar as condições para o qual foi concebido, sem sofrer danos significativos ao longo de um determinado período (ROQUE, J. A.; MORENO JUNIOR, 2005 apud JOHN,2001).

Ao introduzir fibras de polietileno no concreto, não se sabe ao certo como este compósito se comportará em relação a sua durabilidade, sendo necessário buscar uma metodologia adequada para determinar esta influência da fibra no concreto.

No trabalho de PIMENTEL (2004), foi avaliado a durabilidade de argamassas modificadas com polímeros e reforçadas com fibras vegetais, sendo realizado o ensaio de envelhecimento rápido por imersão e secagem em estufa.

2. METODOLOGIA

Os materiais utilizados neste estudo para dosagem do concreto foram: CP II-F-32, pedrisco, areia natural, areia de britagem, macrofibras de polietileno, aditivo MasterGlenium 51 e MasterPolyheed 30.

2.1 Caracterização das fibras

Para moldagem dos traços foram utilizadas macrofibras de polietileno, fornecida pelo fabricante MM fibras, Figura 1. As propriedades das macrofibras estão descritas na Tabela 1. Para caracterização geométrica da macrofibra de polietileno, foi utilizado uma adaptação do método utilizado por CARCERES et al. (2015). Contudo, foi necessário determinar o comprimento e o diâmetro da macrofibra polimérica, a fim de realizar sua caracterização. Foram utilizadas 60 amostras da fibra para realização dos ensaios.

Figura 1 – Fibra de polietileno utilizada



Fonte: Autores, 2017.

Tabela 1 - Propriedades das macrofibras de polietileno

Propriedades	MM FIBRAS
Matéria - prima	Polietileno
Forma	Monofilamento/frisada
Fator de forma	50
N° de fibras por kilograma	30000
Comprimento (mm)	50
Diâmetro equivalente (mm)	0,8
Densidade/g/cm³	1.34
Resistência a tração / MPa	350
Alongamento por ruptura	110%
Twist	ancoragem

Fonte: Fornecida pela fabricante MM fibras, 2017.

- Comprimento

Para determinação do comprimento da fibra foi utilizado um paquímetro com precisão de 0,01mm, obtendo-se somente uma medida por amostra. No momento da medição da fibra, tomou-se o cuidado de não deforma lá por aplicação excessiva de pressão, para não comprometer o resultado obtido. Para tratamento dos resultados foi determinado os comprimentos máximos, mínimos e médios. Foram determinados o coeficiente de variação e o desvio padrão para os dados obtidos.

- Diâmetro

Para determinação do diâmetro da fibra foi utilizado um paquímetro com precisão de 0,01mm, obtendo-se somente uma medida em três pontos das amostras, sendo 2 pontos nas extremidades, e o último no ponto central da fibra. Tomou-se o cuidado de obter medidas perpendiculares a seção transversal de cada ponto

adotado. Para tratamento dos resultados, foi determinado os diâmetros máximos, mínimos e médios em cada um dos 3 pontos. Foi determinado também o coeficiente de variação e o desvio padrão para os dados obtidos.

- Índice de esbeltez

O índice de esbeltez é dado pela razão entre o comprimento e o diâmetro da fibra.

2.2 Determinação dos traços

Para realização deste trabalho foi utilizado um traço base, fornecido por concreteira da região. O consumo de materiais foi calculado e reajustados conforme a quantidade de adição de macrofibras de polietileno. As fibras entraram como substituição nas porcentagens de agregados miúdos. A porcentagem de fibra foram 0%, 0,25%, 0,5% e 0,75% de macrofibras sobre o volume de concreto, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Traços utilizados na moldagem

Traço	Traço unitário	Consumo de materiais dos traços em kg/m³						Ad 1	Ad2
		C	AN	AA	PE	Água	Fibra	(ml/m³)	(ml/m³)
1	1 : 2,18 : 1,05 : 3,65 : 0,67 + 0,00% de fibra	282	615	295	1029	190	0	1410	2256
2	1 : 2,15 : 1,03 : 3,65 : 0,67 + 0,25% de fibra	282	607	291	1029	190	6	1440	2304
3	1 : 2,12 : 1,02 : 3,65 : 0,67 + 0,50% de fibra	282	599	287	1029	190	12	1470	2352
4	1 : 2,09 : 1,00 : 3,65 : 0,67 + 0,75% de fibra	282	590	283	1029	190	18	1500	2400

Legenda: C = Cimento, AN = Areia Natural, AA = Areia de britagem, PE = pedrisco, a/c = Relação água/cimento, Ad1 = MasterPolyheed 30, Ad2 = MasterGlenium 51.

Fonte: (Arruda;Silva, 2017).

Para cálculo do consumo de materiais, foi utilizado a equação 1:

$$C = \frac{(1000 - ar)}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{an}{\gamma_{aa}} + \frac{aa}{\gamma_{an}} + \frac{p}{\gamma_P} + a/c} \quad (1)$$

Sendo:
C = Consumo de cimento em kg/m³;
an = Traço unitário da areia natural;
aa = Traço unitário da areia de britagem;
p = Traço unitário do pedrisco;
a/c = Relação água cimento;
γ_c = Massa específica do cimento em kg/dm³;
γ_{aa} = Massa específica da areia natural em kg/dm³;
γ_{an} = Massa específica da areia de britagem em kg/dm³;
γ_P = Massa específica do pedrisco em kg/dm³.
ar = teor de ar incorporado e/ou aprisionado por metro cúbico, em dm³/m³.

Após a determinação do consumo de cimento por metro cúbico, todas as outras quantidades foram obtidas multiplicando este valor pelo traço unitário de cada material correspondente (Helene, 1992). Foi utilizado um teor de ar incorporado igual a 3%.

2.3 Preparo do concreto

Antes da concretagem os materiais foram secos em lonas plásticas expostas ao sol, sendo revirados mais de 3 vezes ao dia, de forma a garantir que fosse retirada toda umidade contida neles.

Os materiais secos, tais como: areia natural, areia de britagem e pedrisco, foram pesados nas quantidades necessárias para cada traço e colocados em sacos plásticos fechados e devidamente identificados, só então foram levados ao local da concretagem.

Para o preparo do concreto, foi seguido os seguintes passos:

- Primeiramente foi umedecida a betoneira com água, deixando a água escorrer logo em seguida;
- Foram adicionados na betoneira todos os agregados (pedrisco, areia de britagem, areia) e cimento, ligou-se a betoneira e só então era adicionado a fibra de polietileno, os materiais eram misturados por 1,5 min.
- Em seguida, foi adicionado metade da quantidade de água do traço, sendo os materiais misturados por 3 minuto. A betoneira ficava inclinada para não haver acúmulo de materiais.
- A seguir foi adicionado metade da água restante, ¼ da água total, mais 100ml de água misturado com aditivo MasterPolyheed 30, na quantidade determinada para o traço, o aditivo era então misturado por 4 min, logo após era adicionado mais 100 ml de super plastificante MasterGlenium 51 na quantidade especificada para o traço e então misturado por mais 2 min. O restante da água era utilizado para ajuste do abatimento;
- Em seguida era realizado o ensaio de abatimento do cone e a moldagem dos corpos de prova.

A moldagem dos corpos de prova cilindricos e das placas de 30x30cm foi realizada conforme a NBR 5738 (2015).

2.4 Ensaios

2.4.1 Compressão diametral em corpos de prova cilíndrico

Para realizar este ensaio foram moldados dois corpos de prova por idade, o rompimento foi realizado as 24 hrs, 7 e 28 dias de idade, totalizando 24 corpos. O ensaio foi realizado conforme a NBR 7222 (2011). O ensaio foi realizado no laboratório de materiais da UCDB, a máquina utilizada foi da marca Forney, modelo F-502F-C-PILOT, tipo eletro -hidráulica, calibrada.

2.4.2 Análise de fissuração por variação de temperatura

Foram moldadas 4 placas de concreto de 30 cm x 30 cm, com espessura de 10 cm, simulando uma parede de concreto. Estas placas foram curadas por 8 dias em câmara úmida, logo após foram expostas ao tempo por 80 dias, figura 2, sendo monitoradas diariamente através de registros fotográficos e visitas in loco. A fissuração foi analisada visualmente.

A temperatura, no período de exposição aos intempéries, foi registrada diariamente com controlador Arduino e sensor de temperatura DS18B20. O intervalo de medição ocorreu a cada 10 minutos. Este procedimento não é normatizado, sendo idealizado pelos autores deste trabalho. O código fonte utilizado no arduíno está disposto em Arruda; Silva (2017). O objetivo de avaliar a tempetura era associa-la a possível causa de fissuração na superfície do concreto.

2.4.3 Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto

Este ensaio é parametrizado pela NBR 9778 (2009), foi realizado no laboratório de materiais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Os corpos de prova utilizadas no ensaio foram preparados conforme NBR 5738 (2015). Foram ensaiados dois corpos de prova por traço, sendo que esses estavam íntegros, livres de óleo e outros materiais indesejáveis.

Figura 2 – Exposição das placas de concreto ao tempo



Fonte: (Arruda;Silva, 2017).

2.4.4 Ensaio de envelhecimento natural

Este ensaio é experimental, idealizados pelos autores. O ensaio de envelhecimento natural consiste em comparar os dados de resistência de corpos de prova expostos ao tempo por um período de 80 dias e corpos de prova que ficaram na câmara úmida pelo mesmo período, afim de verificar o quanto a agressão do meio ambiente afetou as características do concreto.

Para realizar este ensaio foram utilizadas as placas de concreto do ensaio de análise de fissuração que ficaram expostas ao tempo por um período de 80 dias. A temperatura nas placas era registrada pelo sistema arduino. Após este período foi realizado a extração de 4 testemunhos por placa.

A extração dos testemunho, foi realizada conforme NBR 7680-1 (2015). Os testemunhos possuíam diâmetro de 5 (cinco) centímetros, para respeitar a relação altura e diâmetro devido a menor dimensão da placa ser de 10 (dez) centímetros, afim de compará-los com os 4 (quatro) corpos de prova de cada traço que permaneceram na câmara úmida. A máquina utilizada no ensaio foi a DMS 240, fabricante Husqvarna.

3. RESULTADOS

3.1 Macrofibras de polietileno

A tabela 3 mostra os dados de caracterização geométrica da fibra de polietileno em estudo. A fibra apresentou um diâmetro superior a 0,3mm, sendo classificada como macrofibra.

O diâmetro fornecido pelo fabricante foi de 0,8mm, enquanto o obtido na caracterização foi de 1,15mm, essa diferença pode ser explicada pela irregularidade da seção transversal da macrofibra. Já o comprimento obtido na caracterização, 44,96mm, demostrou estar dentro do valor fornecido pelo fabricante que corresponde a 50 mm.

Tabela 3 - Caracterização da fibra de polietileno

Índice de esbeltez		39,18	Desvio Padrão mm	Coeficiente de variação
Diâmetro médio	mm	1,15	0,08	7,14%
Comprimento médio	mm	44,96	0,57	1,27%

Fonte: Autores, 2017.

3.2 Compressão diametral

A tabela 4, apresenta os resultados do ensaio de compressão diametral, realizado conforme a NBR 7222 (2011). Para cada idade de rompimento foram utilizados dois corpos de prova por traço, conforme a NBR 5738 (2015), moldados no mesmo dia.

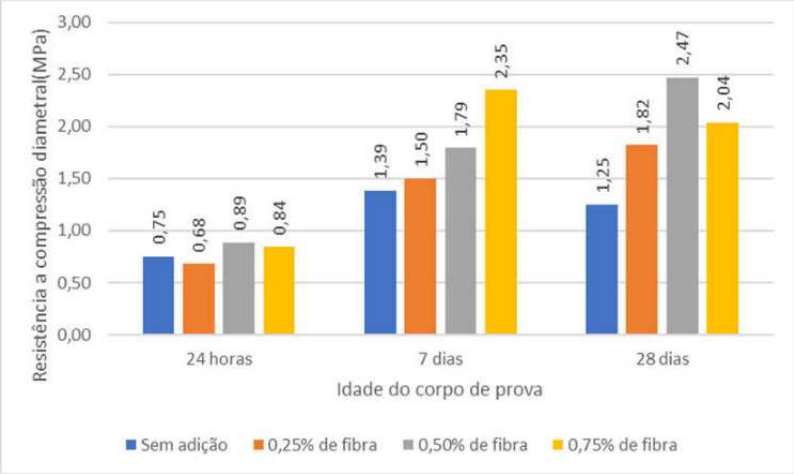
Tabela 4 - Resultados do ensaio de compressão diametral

Data da Moldagem		26/07/2017	Dimensões: 10x20cm	
Idade do corpo de prova		24 horas	7 dias	28 dias
Data do ensaio		27/07/2017	02/08/2017	23/08/2017
Traço	Traço unitário	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)
1	1 : 2,18 : 1,05 : 3,65 : 0,67 + 0,00% de fibra	0,75	1,39	1,25
2	1 : 2,15 : 1,03 : 3,65 : 0,67 + 0,25% de fibra	0,68	1,50	1,82
3	1 : 2,12 : 1,02 : 3,65 : 0,67 + 0,50% de fibra	0,89	1,79	2,47
4	1 : 2,09 : 1,00 : 3,65 : 0,67 + 0,75% de fibra	0,84	2,35	2,04

Fonte: Autores, 2017.

O gráfico1 demostra a evolução da resistência a compressão diametral com o aumento da idade, mesmo os traços com adição de fibras serem mais fracos que o traço sem adição, foi possível verificar que quanto maior a adição de fibra no concreto maior foi a resistência a compressão diametral, no entanto, no traço 4 houve uma redução de resistência aos 28 dias ocasionado pelo maior índice de vazios. O traço que melhor apresentou resultado foi o traço 3.

Gráfico 1 – Resultados do ensaio de compressão diametral



Fonte: Autores, 2017.

3.3 Análise de fissuração por variação de temperatura

Através dos registros de temperatura foram obtidos os resultados da Tabela 5, que demonstram as variações máximas e mínimas ocorridas num dia. O sensor de temperatura estava sobre as placas de concreto e, portanto, estes dados representam a temperatura nas placas de concreto, figura 2. Devido à grande variação de temperatura, as placas de concreto apresentaram fissuras superficiais, mas nada que tivesse implicações estruturais.

Tabela 5 – Resultados obtidos através do sistema arduino

Data de ínicio do ensaio	04/08/2017
Data final do ensaio	23/10/2017
Número de dias analisados	80
Temperatura máxima registrada (°C)	54,25
Temperatura mínima registrada (°C)	9,13
Maior variação em um dia (°C)	32,75
Menor variação em um dia (°C)	5,12

Fonte: (Arruda;Silva, 2017).

A máxima temperatura nas placas registradas foi de 54°C, essa temperatura pode ser resultado de o concreto ter características de absorver o calor por mais tempo e pelo fato de as placas de concreto ficarem na pior situação que é com toda maior parte da placa exposta.

3.4 Absorção de água, índice de vazios e massa especifica do concreto

A Tabela 6 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto, realizado conforme a NBR 9778 (2009). Foram ensaiados dois corpos de prova por traço com a idade de 47 dias, os resultados correspondem a média aritmética dos corpos de prova.
De acordo com a NBR 6118 (2014), todos os traços de concreto com ou sem fibra, são classificados como concreto normal, devido a massa específica seca estar entre 2000 e 2800 kg/m³.

O concreto com maior massa especifica real foi o do traço com 0,75% de fibra, isso também pôde ser verificado no dia da moldagem, pois este não possuía uma boa trabalhabilidade.

Tabela 6 – Resultados do ensaio de absorção por imersão

Data do ensaio:		Traços			
11/09/2017 a 18/09/2017	UN	Sem fibra	0,25% de fibra	0,50% de fibra	0,75% de fibra
Absorção média	(%)	5,14	4,85	4,79	6,05
Índice de vazios médio	(%)	12,07	11,42	11,31	14,19
Massa esp. amostra seca média	g/cm³	2,35	2,36	2,36	2,35
Massa esp. amostra saturada média	g/cm³	2,47	2,47	2,48	2,49
Massa esp. amostra real média	g/cm³	2,67	2,66	2,67	2,73

Fonte: (Arruda;Silva, 2017).

O fabricante das fibras, recomendava utilizar até 0,5% de macrofibra em relação ao peso do concreto. Esta recomendação pode ser verdadeira devido ao aumento do índice de vazios, absorção média e massa específica real, em relação aos outros traços.

Quanto maior é a absorção, mais vazios o concreto apresenta, tornando o mais poroso, por consequência quanto maior a massa especifica real menor é a trabalhabilidade do concreto. Esses aumentos afetam diretamente a resistência e qualidade do concreto.

3.5 Ensaio de envelhecimento natural

A Tabela 7, apresenta os resultados do ensaio de compressão axial realizado segundo a NBR 5739 (2007), com idade de 88 dias. Para cada traço foram rompidos dois corpos de prova e dois corpos de extraídos por placa (denominados “Testemunhos”), conforme a NBR 5738 (2015), moldados no mesmo dia, os outros 2 corpos de prova extraídos da placa foram utilizados como testemunha.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de envelhecimento natural

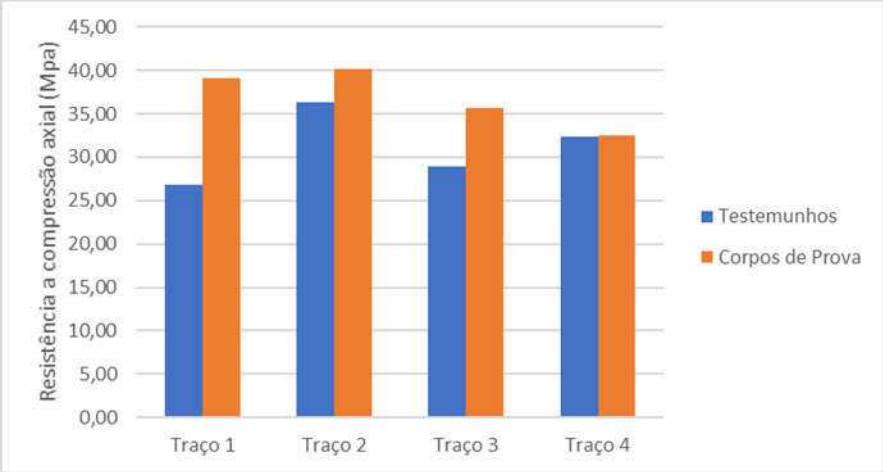
Data da Moldagem: 26/07/2017 Data do ensaio: 26/10/2017		Corpos de Prova		Testemunhos	
Traço	Traço unitário	Valores Individuais	Resistência (MPa)	Valores Individuais	Resistência (MPa)
1	1 : 2,18 : 1,05 : 3,65 : 0,67 + 0,00% de fibra	39,10 / 36,19	39,10	26,87 / 37,05	26,87
2	1 : 2,15 : 1,03 : 3,65 : 0,67 + 0,25% de fibra	40,17 / 39,34	40,17	36,27 / 38,54	36,27
3	1 : 2,12 : 1,02 : 3,65 : 0,67 + 0,50% de fibra	35,59 / 34,96	35,59	28,97 / 33,69	28,97
4	1 : 2,09 : 1,00 : 3,65 : 0,67 + 0,75% de fibra	32,53 / 32,24	32,53	32,38 / 33,93	32,38

Fonte: (Arruda;Silva, 2017).

Os corpos de prova foram curados em câmara úmida e os testemunhos extraídos das placas de concreto utilizadas na análise sobre fissuração por temperatura. Lembrando que os testemunhos ficaram expostos ao tempo por 80 dias.

O Gráfico 2, evidencia que o concreto com adição de fibras de polietileno teve uma maior resistência em comparação com o concreto sem fibras.

Gráfico 2 – Comparativo das resistências após o envelhecimento do concreto



Fonte: (Arruda;Silva, 2017).

4. CONCLUSÕES

Na avaliação da resistência a compressão diametral, conclui-se que o ganho de resistência é diretamente proporcional a adição de fibra, ainda que não se chegou a conclusão sobre o limite desse ganho guardando sua relação de proporção. Na observação da fissuração por variação de temperatura, conclui-se que a adição de fibras promove a diminuição das fissuras superficiais do concreto.

Analisando a absorção de água pelo concreto conclui-se que proporcionalmente a adição de fibras, ou seja, além de 0,5%, promove o aumento de porosidade do concreto, mesmo que não se tenha chegado a conclusão do limite dessa influência, sabendo que o aumento da porosidade compromete o desempenho do concreto.

Conclui-se que o envelhecimento natural promove a degradação do concreto, dada as fissuras geradas pela variação térmica, minimizada pela adição de fibras, o que mostra o ganho de desempenho do concreto com essa adição.

Pontos relevantes que necessitam de uma continuação de pesquisa, são: análise da influência da trabalhabilidade do concreto com adição de fibras de polietileno; aprofundamento no estudo dos efeitos do envelhecimento natural e acelerado; encontrar uma forma de reduzir a porosidade do concreto após a adição de macrofibras.

A conclusão final é que este trabalho mostrou a possível viabilidade da adição de macrofibras de polietileno no concreto estrutural para aplicação em paredes de concreto, indicando muitas variantes a serem pesquisadas em trabalhos futuros, contribuindo para uma continuidade e desenvolvimento técnico e científico da adição de macrofibras no concreto

6. REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilindrícos.** Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro, 2014.

_____.**NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**, 2011.

_____. **NBR 7680-1: Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Parte 1: Resistência à compressão axial,** Rio de Janeiro 2015.

_____. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 9979 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade**, 2012.

_____. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

AMORIN, F. **Durabilidade, vida útil, e principais causadores de degradação das estruturas de concreto.** Currais Novos, 2013.

ARRUDA, Edgar Rocha; SILVA, Rita de Cássia Ferreira. **Concreto reforçado com macrofibras de polietileno para uso em paredes de concreto**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil), Universidade Católica Dom Bosco. Campo Grande, Mato Grosso do Sul. 2017.

BERENGUER, R. A. et al. **Análise da absorção, índice de vazios, massa específica e absorção por capilaridade em concretos**. 57° Congresso Brasileiro do Concreto, p. 266, 2015.

BRIGIDO, J. S.; VARGAS, A.; ALLEM, P. M. **Estudo do efeito da macrofibra de polietileno e microfibra de polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto geopolimérico**. p. 1–11, 2012.

CANDIAN, L. M. **Estudo do polietileno de alta densidade reciclado para uso em elementos estruturais**. São Carlos, 2007.

CARCERES, A. E. et al. **Geometric characterization of polymeric macrofibers**. **IBRACON**, v. 8, p. 644–668, 2015.

CUNHA, W. R. et al. **Análise experimental comparativa entre concreto reforçado com resíduo metálico e fibras industrializadas**. n. 1, p. 1–16, 2016.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto: ciência e tecnologia**. 1 edição- ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2011.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil 2013-2014. Fundação João Pinheiro. Centro de Estatística e Informações**, 2016.

HELENE, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

MARÇÃO, C. et al. **Macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro anti-crack em pisos**. v. 12, 2016.

MONTE, R.; TOALDO, G. S.; FIGUEIREDO, A. D. DE. **Avaliação da tenacidade de concretos reforçados com fibras através de ensaios com sistema aberto Toughness evaluation of fiber reinforced concrete using open-loop test**. p. 132–149, 2014.

NARDELLI, A. et al. **Análise Da tenacidade do concreto com fibras de polietileno buscando alternativa à substituição de fibras metálicas**. Anais do 55o Congresso Brasileiro do Concreto, p. 1–16, 2013.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2 ed. ed. Porto Alegre: Brookman Companhia Editora Ltda, 2013.

PIMENTEL, L. L. **Durabilidade de argamassas modificadas por polímeros e reforçadas com fibras vegetais**. Universidade Estadual de Campinas, 2004.

ROQUE, J. A.; MORENO JUNIOR, A. L. **Considerações sobre a vida útil do concreto.** Campinas, 2005.

SANTOS, A. **Paredes de concreto ja dominam Minha Casa Minha Vida**. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/paredes-de-concreto-minha-casa-minha-vida/>. Acesso em: 26 mar. 2017.