

CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO LEVE COM ISOPOR E ACRÉSCIMO DE FIBRA DE POLIPROPILENO

Erick Thiago Costa de Andrade ¹
Antonio Farias Leal ²

RESUMO

Devido à busca crescente por melhores materiais, bem como o aperfeiçoamento dos já existentes, uma área de estudo importante é o desenvolvimento científico e tecnológico dos materiais para construção civil visando atender as necessidades exigidas e custo da produção na área. Um campo muito promissor, porém, não tão explorada é o chamado concreto leve, que possui propriedades que pode se aproximar às do material tradicional, porém, com peso muito menor. Esse tipo de material, atribuído a incorporação de fibras sintética na argamassa leve acarretará a melhora nas propriedades do concreto, entre elas a principal é a resistência após a formação e deslocamento da trinca. Dessa maneira pode-se desenvolver materiais para inúmeras situações que exija resistência e leveza. Vários tipos de agregados podem ser utilizados, dependendo da aplicação, entre outros o isopor é um dos mais usados. Este trabalho visa a obtenção de concreto leve com acréscimo de fibra sintética curta de polipropileno para caracterização e análise das propriedades do material. Após a fabricação dos corpos de prova prismáticos, foi feito ensaio de tração na flexão, compressão e microscopia eletrônica de varredura (MEV), seguindo essa ordem, a partir disso determinamos um fator de eficiência para os dois tipos e fazendo também comparações entre o concreto fibroso e não fibroso. Os resultados foram eficientes de acordo com a composição do agregado usado. Ficando evidenciado o benefício desse tipo de concreto na construção civil.

Palavras chaves: Concreto leve, Isopor, fibra de polipropileno, fator de eficiência.

INTRODUÇÃO

O concreto possui uma série de características que lhe garante o posto de material estrutural mais utilizado do mundo. Entre as principais vantagens podemos citar o baixo custo, facilidade de se adequar a vários processos e a possibilidade de ser moldado de inúmeras formas. Apesar disso, o concreto possui limitações como baixa resistência mecânica, elevado peso, capacidade de medir suas propriedades apenas depois do processo de cura e secagem, após esse tempo possui pouca deformação antes da ruptura, tendo em vista que, uma vez fissurado, o concreto perde completamente a capacidade de resistir a esforços de tração e flexão. Por esse motivo surgiram alternativas que pudessem melhorá-lo nesse aspecto como, por exemplo, o concreto armado - onde esses esforços são compensados por barras de

¹ Graduado do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, ericktcandrade@gmail.com;

² Antonio Farias Leal: Doutor, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, antoniofleal@gmail.com.

aço. Mas, recentemente surgiu o concreto reforçado com fibras, onde os esforços são melhor suportados pela presença de fibras de vários tipos e modelos dentro da estrutura.

Um das combinações de materiais à base de cimento Portland e de polímeros nas mais diversas formas dão origem a um compósito que apresenta propriedades características como resistência mecânica, módulo de elasticidade, ductilidade, tenacidade e comportamento pós-fissuração mais apropriadas do que quando comparadas às propriedades dos materiais isoladamente (MOGRE; PARBAT, 2012).

Dentro desse contexto e levando em consideração um conhecimento prévio sobre o assunto, alguns questionamentos ainda existem para serem esclarecidos sobre o tema, entre essas questões estão: com aumento da fração volumétrica do polímero irá influenciar nas propriedades do concreto? É possível proporcionar uma estrutura capaz de suportar os esforços ao qual esse tipo de material será submetido? Em relação ao peso, como será afetado? Tendo em vista que a matriz se trata de concreto leve.

Dentro deste contexto tivemos como objetivo principal avaliar as características mecânicas e microestrutural de concreto com os agregados leves de isopor com e sem fibra de polipropileno, tendo como objetivos específicos Produzir os blocos prismáticos com cada agregado leve com e sem fibra de polipropileno nas devidas proporções, analisar a resistência à flexão, por meio do ensaio de flexão de três pontos após 28 dias, investigar a resistência à compressão, analisando o fator de eficiência para cada composição, observar, através das imagens de MEV, o comportamento do agregado e da fibra dentro da estrutura.

METODOLOGIA

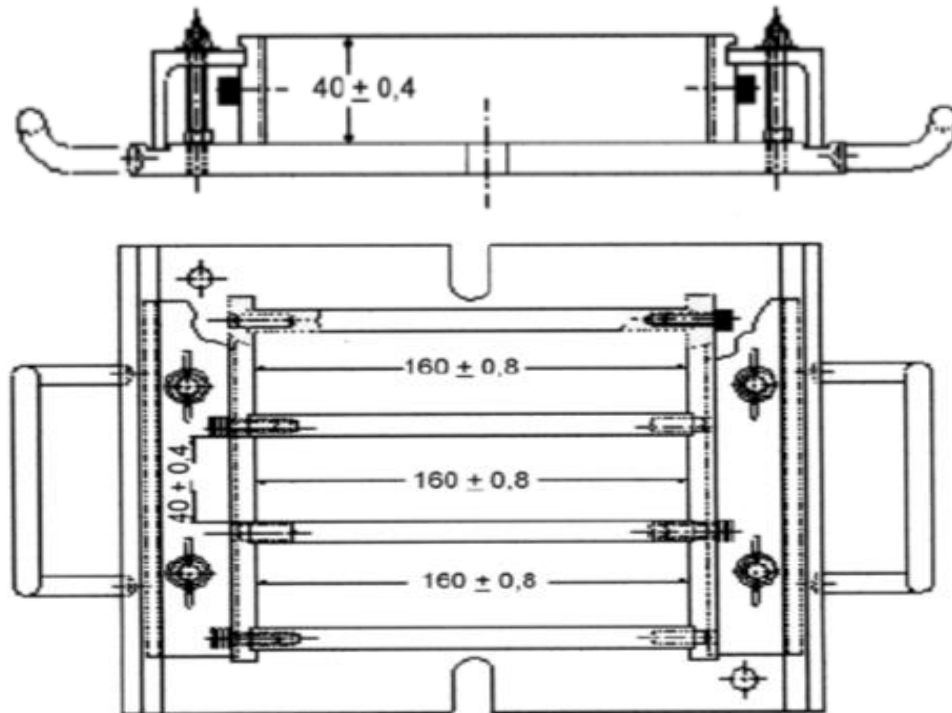
Nesse trabalho foram utilizado *Poliestireno expandido (isopor)* como reforço para a matriz cimentícia, estando o mesmo presente na proporção 1:1 com a quantidade de cimento Portland, enquanto a quantidade de fibras presente na composição é de 1:50 em relação a quantidade de cimento.

Essas proporções foram predefinidas, tendo em vista que não foi adicionado agregado de concreto convencional na composição. Já em relação às fibras foi determinada com estudo da literatura.

A fabricação dos corpos de prova deu-se da seguinte maneira, inicialmente foram fabricados 2 grupos com 5 blocos prismáticos nas dimensões 40mm x 40mm x 160mm, figura 10, de acordo com a norma ABNT NBR 13279, utilizando o agregado supra citados com e

sem a fibra sintética de polipropileno, o fator água/cimento foi de 0,4 para ambos, os corpos de prova passaram por um tempo de cura de 28 dias até o início dos ensaios.

Figura 1– Blocos prismáticos de acordo com a norma ABNT NBR 13279.



Fonte: ABNT, 2005.

O *Cimento portland* utilizado para esta pesquisa é da marca Elizabeth, do tipo Cp2, adquirido comercialmente, em embalagem de 50 kg, foram separadas as porções a serem utilizadas em sacos plásticos antes da misturas com os agregados.

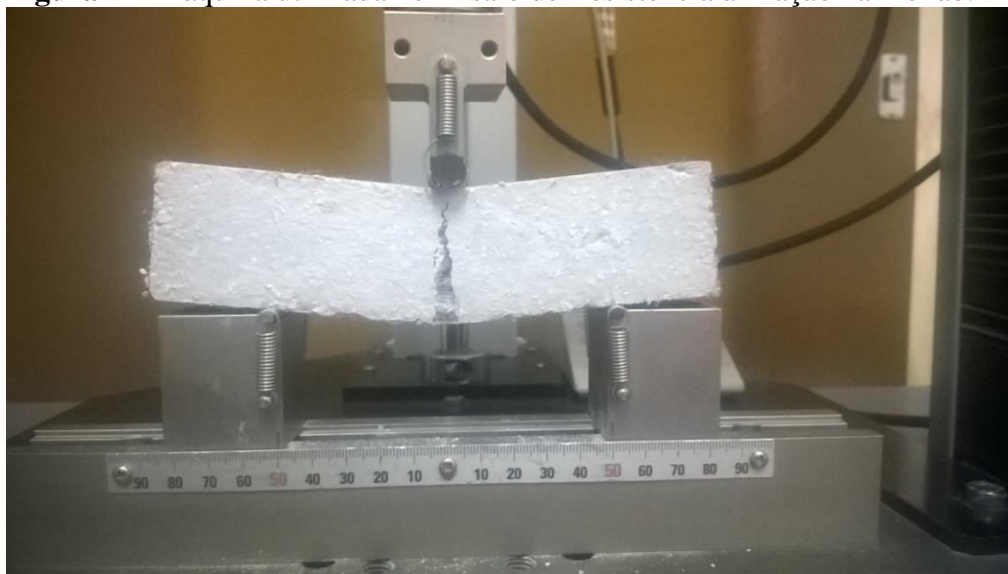
O *Agregado leve* foi utilizado na forma de agregado miúdo, para a determinação se fez uso de um conjunto de peneiras com abertura variando de 4,75 à 0,15 mm, foi utilizado as partículas que passaram pela peneira de abertura de 4,75mm até as que ficaram na peneira com abertura de 0,15mm, dessa maneira o material é dito agregado miúdo de acordo com a norma ABNT NBR 7211 que especifica o tipo de agregado para concreto.

O *Poliestireno expandido (isopor)*, foi doado pelo Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas – LABEME da UFPB, o material possui densidade entre 12 e 14g/L.

Para finalizar a temos a *Fibra de polipropileno* que foi adquirida comercialmente, da marca Maccaferri, tipo FibroMac® 12, de comprimento 12mm. A mesma não sofreu nenhum tratamento especial antes de ser incorporada ao concreto.

Após o tempo determinado de 28 dias foram realizados o ensaio de determinação da Resistência à Tração na Flexão, a máquina de ensaio é do tipo SPL-10KN, modelo autograph AG-X, com capacidade máxima de 10KN. O tipo de ensaio realizado foi o de 3 pontos, com distância entre os pontos de apoio de 100 mm, com uma velocidade de 0,05mm/min. Podemos observar na figura 2 como ocorreu esse ensaio.

Figura 2 – Máquina utilizada no Ensaio de Resistência à Tração na Flexão.



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Após serem obtidos os valores do gráfico força (N) x deslocamento (mm), utilizamos o valor máximo para calcular a Resistência à Tração na Flexão através da equação:

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3}$$

Onde:

R_f é a Resistência à Tração na Flexão;

F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em Newtons;

L é a distância entre os suportes, em milímetro.

Já para o ensaio de Resistência à Compressão axial utilizou-se duas partes remanescentes do ensaio de flexão de cada corpo de prova, assim foram realizados em 10 blocos prismáticos para cada material, posicionando-as no dispositivo de apoio do equipamento de modo que a face rasada não ficou em contato com o dispositivo de apoio, nem com o dispositivo de carga. Foram utilizadas barras de metal com as dimensões de 40mm

x 40mm para que a aplicação da carga fosse distribuída nessa determinada área do corpo de prova. Observe na figura 3.

Figura 3 - Aparelho do ensaio de Resistência à Compressão.



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

A Resistência à Compressão é calculada segundo a equação:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Onde:

R_c é a Resistência à Compressão em megapascal;

F_c é a carga máxima aplicada em Newtons;

1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga, caso as barras com dimensões de 40 mm x 40 mm, em milímetro quadrado.

O fator de eficiência é um parâmetro utilizado para avaliar e comparar a eficiência dos concretos leves trata-se de dividir a resistência a compressão (MPa) pela massa específica (kg/dm^3).

$$F_e = \frac{R_c}{\gamma}$$

Onde:

F_e – fator de eficiência (MPa.dm³/kg);

R_c – resistência a compressão (MPa);

γ - massa específica (Kg/dm³).

Para finalizar foram realizados ensaios no para obtenção de imagens através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), onde as amostras correspondentes a cada composição foram cortadas, lixadas, polidas e metalizadas, o procedimento foi realizado em um MEV LEO, modelo 1430.

Após a coleta, foi construído um banco de dados onde os mesmos foram digitalizados e organizados no *Microsoft Office Excel*, versão 2013. A partir dos grupos todas as informações relativas a cada caso foram descritas na forma de variáveis: Resistência à Compressão, Resistência à Tração na Flexão e Densidade. Com os dados já digitalizados, as planilhas foram salvas e transportadas para os programas de análises estatísticas.

Para análise estatística utilizou-se o *software Statistical Package for Social Sciences (SPSS)* na versão 22.0. Inicialmente, realizou-se uma análise exploratória para reconhecimento das variáveis e correção de possíveis erros ou inconsistências no preenchimento ou na digitação dos dados. Depois das correções necessárias procedeu-se a análise dos dados, aplicando a estatística descritiva, com a inclusão dos resultados em gráficos e tabelas.

Ainda, utilizou-se Teste Shapiro-Wilk para testar a normalidade dos dados, admitindo distribuição normal um p-valor maior ou igual a 0,05, para posterior escolha e análise estatística das comparações entre grupos de amostras independentes por meio de teste paramétrico ou não paramétrico.

Já para analisar a influência dos teores de adição dos Agregados Leves com e sem fibra nas propriedades físico-mecânicas dos compósitos, utilizou-se do programa *ORIGIN* na versão 7.0.

DESENVOLVIMENTO

O concreto, é um material composto, constituído por cimento, água, agregado e ar. Pode também conter adições como cinza volante, pozolanas, sílica ativa, entre outros, além de aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas (FALCÃO, 2010).

As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios executados respeitando as condições específicas. Geralmente, os ensaios são realizados para controle da qualidade e atendimento às especificações, guiados por norma, como por exemplo, para ensaio de flexão e para ensaio de compressão (ABNT NBR 13279).

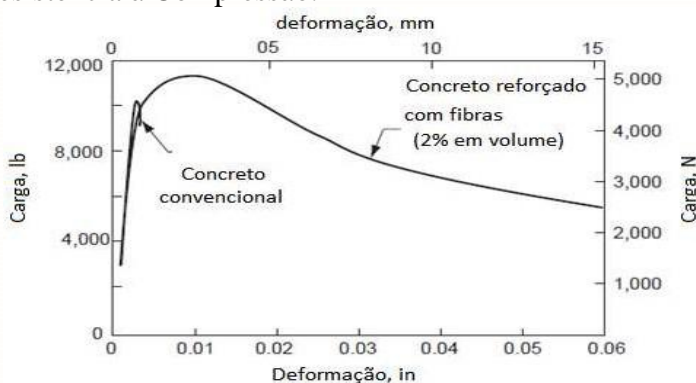
Os agregados leves são classificados em naturais e artificiais. Sendo os agregados naturais obtidos através da extração direta em jazidas da natureza, seguido de uma classificação granulométrica. E os agregados leves artificiais são obtidos em processos industriais e são classificados pela matéria prima utilizada no seu processo de fabricação (ROSSINGNOLO, 2003).

O *Poliestireno expandido (EPS)*, muito conhecido no Brasil como ISOPOR®, marca registrada da Knauf Isopor Ltda, foi descoberto no ano de 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz, Inicialmente seu desenvolvimento foi bastante lento devido ao fato do alto custo da sua matéria. Apesar disso, notou-se um aumento expressivo a partir de 1968, com a previsão de que o concreto leve poderia ocupar, em longo prazo, um lugar importante no setor da construção civil (ABRAPEX,).

Esse material ganhou nos últimos 35 anos uma posição estável na construção de edifícios, não apenas por suas características isolantes, mas também por sua leveza, resistência, facilidade de trabalhar e baixo custo (OLIVEIRA 2013; OZÓRIO, 2016).

A combinação de material baseado em cimento Portland e de polímeros forma um composto que apresenta características como resistência mecânica, módulo de elasticidade, ductilidade, tenacidade e comportamento pós-fissuração mais apropriadas, quando comparadas às propriedades dos materiais isoladamente.

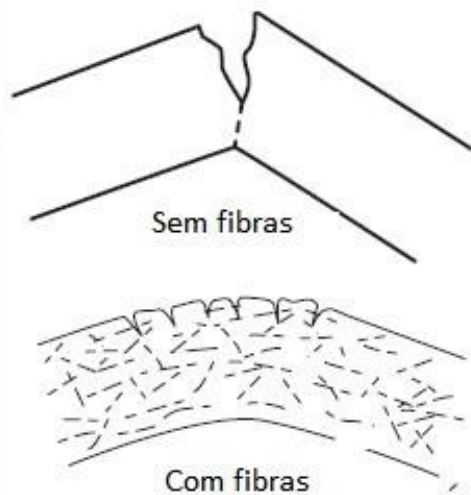
Gráfico 1 - Comportamento carga-deformação de concreto convencional e Força de Resistência à Compressão.



Fonte: Hanna, A.C., 1977 apud Mehta e Monteiro, 2008.

As propriedades mecânicas do concreto podem ser melhoradas por fibras curtas, discretas, aleatoriamente orientadas, que previnem ou controlam a formação e a propagação de fissuras. A fibra induz uma distribuição mais homogênea das tensões no concreto, o que provoca uma melhor exploração da matriz de elevada resistência (GENCEL et al., 2011).

Figura 4 - Mecanismo de aumento de tenacidade à flexão do concreto com fibra.



Fonte: Johnson, 1980 apud Mehta e Monteiro, 2008.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizou-se do teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos dados por compósitos, relacionada as variáveis Resistência à Compressão, Resistência à Tração na Flexão e Densidade e ao nível de 95% de confiança pode-se afirmar que os dados possuem distribuição normal na Resistência à Compressão e Resistência à Tração na Flexão e os dados relacionado a Densidade não possuem distribuição normal. Nesse sentido, será utilizado a média e desvio padrão para representar os dados que apresentam distribuição normal e a mediana para representar os dados que não possuem distribuição normal.

Finalizada a coleta de dados, seguiu-se o processo de tratamento e análise estatística desses dados. Com relação à Resistência à Compressão (RC), a comparação entre grupos mostrou que o compósito com fibra ($\bar{X}=7,92\text{MPa}$; $S=0,83$), mostraram maior resistência à compressão quando comparado ao compósito contendo apenas o Isopor ($\bar{X}=4,61\text{MPa}$; $S=1,54$).

Quando observamos o gráfico 2, com relação a Resistência à Tração na Flexão (RTF) vimos que o compósito sem fibra ($\bar{X}=2,71\text{MPa}$; $S=0,22$) obteve valores menores ao compósito com acréscimo de fibra ($\bar{X}= 3,26\text{MPa}$; $S=0,46\text{MPa}$) em relação a RTF.

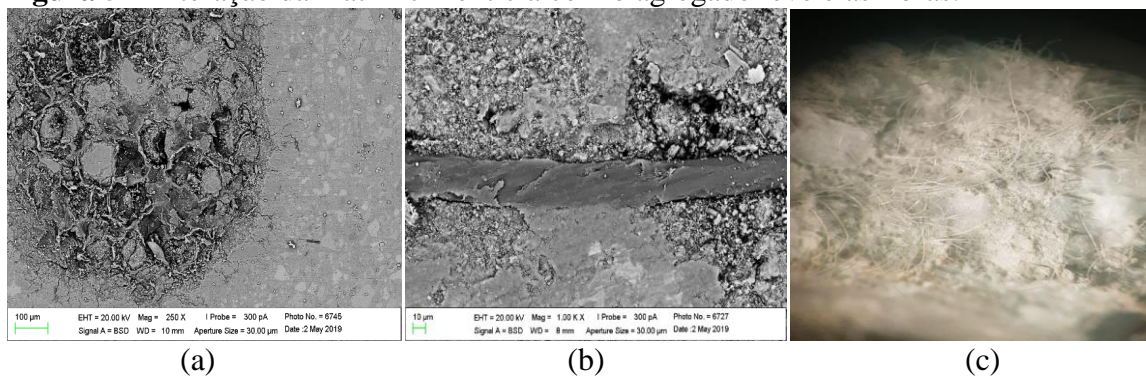
Com relação a Densidade, a comparação entre os materiais mostrou que o Isopor apresenta menor mediana ($\text{med}=1,18$), seguido do grupo do Isopor com fibra ($\text{med}=1,27$), o que caracterizam ambos como concreto leves.

Obtidos os resultados podemos então fazer o fator de eficiências para o concreto com e sem fibra de polipropileno.

Para o concreto sem fibra obtivemos o FE igual a $3,90\text{MPa}\cdot\text{dm}^3/\text{Kg}$ e para o compósito com a presença da fibra $6,23\text{MPa}\cdot\text{dm}^3/\text{Kg}$.

As imagens das interfaces de cada material utilizado como agregado, obtida pelo MEV e lente de aumento, está apresentado na figura 5. O Isopor obteve uma boa distribuição com uma interface bem definida em relação a matriz cimentícia, com visto na figura 5 (a), onde também é possível observar a partícula porosa do mesmo.

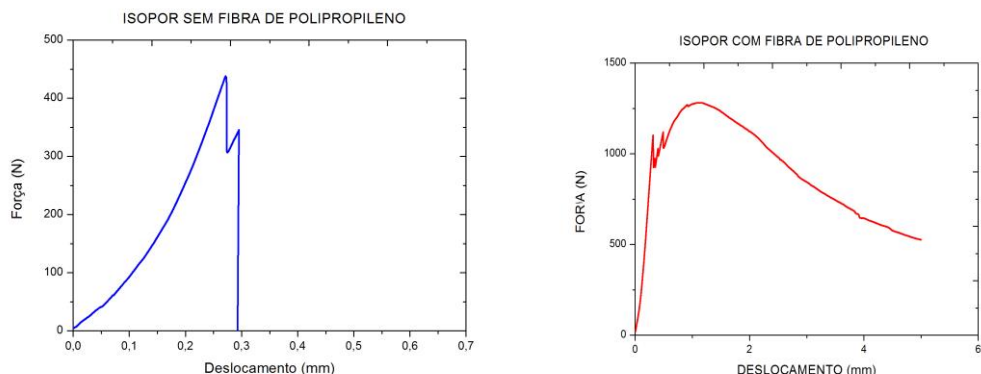
Figura 5 – Interação da matriz cimentícia com o agregado leve e as fibras.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Na figura 5 (b) podemos observar a interação entre a fibra de polipropileno e a matriz de cimento, onde vemos que estão ligadas mecanicamente apenas. Na figura 5 (c) mostra a distribuição das fibras em meio a matriz e ao reforço, está imagem foi feita lentes de aumento.

Gráfico 2 - Curvas características referentes ao concreto com e sem fibra.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

No gráfico 2 podemos observar a diferença do perfil médio das curvas principalmente dos deslocamentos após a ruptura dos corpos de prova.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento dessa pesquisa possibilitou a comparação do desempenho físico e mecânico entre o concreto leve produzido a partir do agregado Isopor, com e sem fibra de polipropileno. A padronização dos procedimentos empregados na produção dos concretos e nos ensaios evidenciou a influência das características das fibras nos resultados obtidos. Com isso, nos foi fornecido uma base para a compreensão de como as fibras afetam as propriedades na sua aplicação no concreto leve, e como o material comportam-se de maneira que a relação resistência e massa específica variam.

Diante de todo o exposto, e tomando como base os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados, é possível fazer as seguintes conclusões: o compósito composto apenas por cimento portland e poliestireno expandido teve valores menores tanto de resistência a compressão (RC) quanto na resistência a tração na flexão (RTF), os valores referentes a densidade para o concreto sem e com o acréscimo de fibra foi de $1,18 \text{ g/cm}^3$ e $1,27 \text{ g/cm}^3$ respectivamente, o que nos dá uma diferença mínima entre eles.

O perfil das curvas de deformação muda com o acréscimo de fibra, tornando o concreto com fibra mais tenaz mesmo após a tensão máxima registrada até a ruptura. A interface agregado-cimento foi vistas e percebemos uma interação boa entre eles, apesar da presença de porosidade no interior do agregado.

Para o aprofundamento do tema abordado nesta monografia, são sugeridos os estudos da variação de comprimento das fibras; do posicionamento das fibras em regiões da peça submetidas a solicitações mais intensas, no ensaio de flexão; da variação do teor de água e

volume de fibra para conhecimento do volume crítico relacionado à propriedade que se deseja melhorar e da variação de argamassa nos traços.

REFERÊNCIAS

ABRAPEX - Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. Disponível em <http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

AZEVEDO, V. H. de O. **Estudo da influência da utilização de fibra sobre o comportamento físico e mecânico de um concreto leve.** Monografia (graduação em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2018.

CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

FALÇÃO, L.A. B. **Materiais de Construção: Novos materiais para construção civil.** Volume 1. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC 2010.

GENCEL, O.; OZEL, C.; BROSTOW, W.; MARTINEZ-BARRERA, G. Mechanical properties of self-compacting concrete reinforced with polypropylene fibres. **Materials Research Innovations**, v. 15, p. 216 – 225, 2011.

LUCENA, J.C.T. **Concreto reforçado com fibra de polipropileno: estudo de caso para aplicação alveolar de parede fina.** 28p Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 1ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MOGRE, R.P.; PARBAT, D.K. Behavior of polypropylene fibre reinforced concrete with artificial sand. **International Refereed Journal of Engineering and Science**, v. 1, issue 2, p. 37 – 40, 2012.

OLIVEIRA, L.S.; **Reaproveitamento de resíduos de poliestireno expandido (isopor) em compósitos cimentícios.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ), São João Del-Rei 2013.

OZÓRIO, B. P M. **Concreto leve com pérolas de EPS: estudo de dosagem e característica mecânica.** Tese (Pós-graduação em engenharia civil). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2016.