

## **COMPÓSITO CIMENTÍCIO COM PÉROLAS DE EPS: UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL UTILIZANDO AGREGADOS DA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Antônio Marcos da Silva Oliveira (Centro Federal de Educação Tecnológica). E-mail: ant.marcos.cvo@hotmail.com

Lourdiane Gontijo das Mercês Gonzaga (Centro Federal de Educação Tecnológica). E-mail: lourdiane@cefetmg.br

Diêgo Fernandes Ribeiro (Centro Federal de Educação Tecnológica). E-mail: diegofernandes008@hotmail.com

**Resumo:** O concreto leve com poliestireno expandido corresponde a um compósito cimentício de reduzida massa específica, geralmente utilizado em elementos construtivos submetidos a pequenos esforços. O presente estudo teve como objetivo a investigação das características e propriedades do material, incluindo resistência à compressão e absorção de água. Foram preparados quatro traços de concreto, tendo sido utilizados cimento Portland pozolânico, areia média de rio e brita com dimensão máxima característica de 12,5 mm, provenientes da região central do estado de Minas Gerais, Brasil. A quantidade de pérolas de poliestireno expandido, com dimensões variando entre 0,6 mm e 2,36 mm, foi estabelecida com base nas substituições de 25%, 50% e 75% do volume de agregado graúdo no estado seco e solto. O traço para preparo do concreto foi determinado por meio de dosagem experimental e posterior ajuste da relação água-cimento. Observou-se uma redução da resistência à compressão e uma maior absorção de água das amostras de concreto com pérolas de poliestireno expandido em comparação ao concreto convencional. Embora o concreto leve exiba menor resistência e menor durabilidade, destaca-se a possibilidade de utilização do material compósito em elementos construtivos sujeitos a pequenos esforços e em regiões de baixa agressividade.

**Palavras-chave:** compósito cimentício, concreto leve, poliestireno expandido.

## **CEMENT COMPOSITE WITH EPS BEADS: AN EXPERIMENTAL ANALYSIS USING AGGREGATES FROM THE CENTRAL REGION OF THE STATE OF MINAS GERAIS**

**Abstract:** Lightweight concrete with expanded polystyrene corresponds to a cementitious composite of reduced density, in use in building elements submitted to small efforts. The aim of this study is to investigate the characteristics and properties of the material, including compressive strength and water absorption. Four mixes of concrete were prepared, using pozzolanic Portland cement, medium river sand and gravel with a maximum dimension of 12.5 mm from the central region of the state of Minas Gerais, Brazil. The amount of expanded polystyrene beads, ranging in size from 0.6 mm to 2.36 mm, was established based on the 25%, 50% and 75% substitutions of the volume of coarse aggregate in the dry and loose state. The material proportions on blends was determined by means of experimental dosage and subsequent water-cement ratio adjustment. Concrete samples with expanded polystyrene beads exhibited a reduction in compressive strength and a higher water absorption when compared to conventional concrete. Although lightweight concrete shows less strength and less durability, the possibility of using the composite material in constructive elements subject to small efforts and in regions of low aggressiveness stands out.

**Keywords:** cementitious composite, lightweight concrete, expanded polystyrene.

### **1. Introdução**

O concreto pode ser encontrado nas mais diversas obras de engenharia, desde as casas

de alvenaria até grandes pontes, viadutos e barragens, sendo considerado um dos materiais construtivos mais utilizados no mundo. O surgimento deste produto tão versátil se deu acompanhado da descoberta dos aglomerantes. Conforme destaca Pedroso (2009), o uso do barro, assim como da cal e de cinzas vulcânicas pelos povos da antiguidade atestam as aplicações iniciais dos cimentos, argamassas e concretos pelo ser humano.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a investigação da seção transversal de um corpo de prova de concreto endurecido permite distinguir duas fases a olho nu: partículas de agregados e meio ligante. Do ponto de vista da Ciência e Engenharia dos Materiais, Callister e Rethwisch (2012) descrevem o concreto como um material compósito reforçado com partículas grandes, formado por materiais cerâmicos em suas fases matriz e dispersa. As partículas grandes, correspondentes aos agregados adicionados à mistura, colaboram para a redução do custo global do concreto, uma vez que permite a economia de cimento, um produto relativamente oneroso.

O concreto com massa específica inferior àquela apresentada pelo concreto convencional é chamado de concreto leve. De acordo com Rossignolo (2009), nos concretos leves há a substituição de uma parcela dos materiais sólidos por ar, o que possibilita redução da densidade do material. Segundo a NBR 8953 (ABNT, 2015), a massa específica seca do concreto leve, para que seja caracterizado como tal, deve ser inferior a  $2000 \text{ kg/m}^3$ . Dentre os exemplos mais usuais de concreto de baixa densidade estão o concreto com argila expandida, o concreto com poliestireno expandido (EPS) e o concreto com adição de agente espumígeno (concreto espumoso).

Considerando o concreto leve com EPS (CLE), Catoia (2012) informa que esse difere-se dos demais tipos de concreto apenas em virtude do tipo de agregado utilizado. A adição de poliestireno expandido à mistura possibilita a redução de sua massa específica e consequente diminuição dos custos finais de projeto. A expressão “pérolas de EPS” é comumente utilizada como forma de diferenciar a aplicação do material industrializado em contraste ao EPS moído, proveniente de fontes recicláveis.

Dentre as pesquisas mais relevantes realizadas nas últimas décadas em torno do CLE, destaca-se o estudo de Parant e Le Roy (1999 *apud* MILED; SAB; LE ROY, 2007), os quais investigaram o efeito do tamanho das pérolas de EPS sobre a resistência à compressão do concreto leve. Ressalta-se que, ainda durante a década de 90, Sri Ravindrarajah e Tuck (1994) observaram a interferência do fator água-cimento sobre as propriedades da mistura. Miled, Sab e Le Roy (2007) e Trussoni, Hays e Zollo (2012) informam que as características do concreto leve com EPS encontram-se sujeitas a vários fatores, que vão desde a superfície do agregado polimérico ao tipo de material utilizado. Cumpre mencionar que o uso de adições também pode levar a comportamentos distintos do material. Tal fato fundamenta-se em trabalhos como o de Ganesh Babu, Saradhi Babu e Wee (2005), onde foram observadas significativas diferenças no processo de ruptura das amostras em virtude da adição de cinza volante ao concreto leve.

Pontua-se ainda que algumas misturas de CLE no estado fresco podem exibir menor abatimento do tronco de cone devido à maior quantidade de EPS adicionada. Tal afirmação encontra respaldo nos resultados constatados por Xavier, Bassani e Mendes (2016) em seu estudo sobre concreto leve com EPS reciclado. Por último, destaca-se o importante trabalho desenvolvido por Ozório (2016), em que foi analisada a influência da temperatura sobre as propriedades das amostras secas em estufa. A autora destaca a importância do controle do processo de secagem dos corpos de prova e a degradação do

EPS em virtude do calor.

Tendo em vista as pesquisas anteriormente mencionadas, teve-se como objetivo geral deste estudo a investigação das características e propriedades de misturas de CLE com diferentes percentuais de pérolas de EPS em substituição ao agregado graúdo - sendo este proveniente de jazida da região central do estado de Minas Gerais, Brasil. A finalidade deste trabalho foi a obtenção de informações a respeito da qualidade e desempenho do material compósito de baixa densidade, composto por agregados regionais, em comparação ao concreto convencional. As propriedades investigadas incluíram consistência, massa específica, resistência à compressão axial e absorção de água por imersão e por capilaridade.

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1. Materiais**

Para produção do concreto leve foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland pozolânico, tipo CPIV-32 RS, marca Cauê (InterCement); areia natural de rio, proveniente do rio Paraúna, Minas Gerais; brita gnaisse 12,5 mm (brita 0), proveniente de jazida situada no município de Curvelo, Minas Gerais; pérolas industrializadas de EPS com dimensão máxima igual a 2,36 mm.

Após caracterização das matérias-primas, o estudo contou com a definição do traço padrão de concreto convencional, seguindo o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Com base em tal traço, foram feitas substituições do volume de brita no estado solto por pérolas de EPS, nas seguintes proporções: 25%, 50% e 75%.

### **2.2. Preparo do concreto**

Após a separação e pesagem dos materiais, com base nos traços pré-determinados, o concreto foi preparado em betoneira com capacidade de 120 L e diâmetro interno da caçamba do misturador de aproximadamente 38,5 cm, obedecendo a ordem de preparo especificada a seguir:

- 1) Com a caçamba do misturador em movimento, foram colocados o agregado graúdo e 1/3 da água;
- 2) Em seguida, acrescentou-se o agregado miúdo, o EPS e mais 1/3 da água, nessa ordem, evitando a perda de material pulverulento. Foi cronometrado tempo de 1 minuto, até que os agregados ficassem completamente umedecidos e misturados;
- 3) Em seguida, adicionou-se o cimento e o restante da água de amassamento, deixando-os em processo de mistura por mais 5 minutos;
- 4) Por fim, desligou-se a betoneira e procedeu-se à análise tátil-visual do concreto por meio de espátula de aço, observando a sua completa homogeneização e plasticidade.

Durante a etapa de ajuste da dosagem, foram preparados dois exemplares para cada traço experimental. Cada exemplar compôs-se de dois corpos de prova. Após isso, tendo sido definido o traço padrão, com base nos critérios de melhor consistência e resistência, foram preparadas quatro betonadas de concreto, onde uma delas correspondeu ao concreto convencional com brita (T01) e as outras três (T02, T03 e T04) às misturas com respectivas substituições em volume do agregado graúdo seco e solto por pérolas de EPS, nos seguintes percentuais: 25%, 50% e 75%, respectivamente.

A quantidade de concreto produzido foi calculada tendo como base a produção de oito corpos de prova para cada um dos traços, além da possível perda durante preparo em betoneira, estipulada em 10%. Na Tabela 1 estão apresentados os traços utilizados para preparo das amostras.

Tabela 1 – Traços para preparo das amostras após dosagem experimental

Traço	Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 0 (kg/m <sup>3</sup> )	Pérolas de EPS (kg/m <sup>3</sup> )	Água (kg/m <sup>3</sup> )
T01	512	819	920	0	270
T02	512	819	690	5	269
T03	512	819	460	9	267
T04	512	819	230	14	266

Fonte: Autores.

### 2.3. Ensaios do concreto no estado plástico

Logo após o preparo, fez-se o teste de abatimento da mistura, seguindo as recomendações da NBR NM 67 (ABNT, 1998). Os procedimentos de moldagem e cura de corpos de prova obedeceram aos critérios estabelecidos pela NBR 5738 (ABNT, 2015). Foram utilizados moldes cilíndricos com dimensão básica de 100 mm e altura de 200 mm. Diante do alto índice de formação de bolhas e baixa compactação do concreto leve, optou-se pelo enchimento dos moldes em três camadas, cada uma adensada mediante a aplicação de 50 golpes com haste metálica, valor superior àquele recomendado em norma.

### 2.4. Ensaios do concreto no estado endurecido

O ensaio de resistência à compressão do concreto foi executado para amostras com idades de sete e 28 dias. Para realização dos testes foi utilizada prensa automática da marca Instron, modelo EMIC 23-300, com carga máxima de 300 kN. Para registro das medições e geração dos gráficos de tensão vs. deformação e carga vs. deslocamento, utilizou-se o *software* Bluehill® 3. A velocidade de carregamento adotada foi de 10 MPa/min (aproximadamente 0,17 MPa/s).

A massa específica aparente foi calculada com base na relação entre a massa seca e o volume do corpo de prova. As dimensões - diâmetro e altura - foram determinadas com auxílio de paquímetro digital.

O ensaio para determinação da absorção de água por imersão e massa específica aparente foi adaptado da NBR 9778 (ABNT, 2005). No caso do ensaio de absorção de água por capilaridade foram feitas adaptações com base na NBR 9779 (ABNT, 2012), tendo sido testadas duas amostras para cada traço.

Quanto ao ensaio de absorção por imersão, optou-se por não utilizar o processo de ebulição durante a etapa de saturação, uma vez que as pérolas de EPS poderiam ser danificadas pela alta temperatura. Após o processo de cura por 28 dias em solução saturada de hidróxido de cálcio, procedeu-se à lavagem de cada uma das amostras em água corrente, para retirada dos resquícios de cal.

Os corpos de prova, devidamente identificados, permaneceram imersos em água até o momento da pesagem, para evitar a perda da umidade. Após a determinação da massa saturada, as amostras foram dispostas em estufa para secagem. De acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2005), tal secagem deve ser feita em estufa a 105°C, porém, optou-se inicialmente pela realização dos ensaios com concreto seco a 50°C, tendo em vista os resultados constatados por Ozório (2016). Fez-se, em seguida a secagem dos corpos de

prova a 105°C, como forma de comparação dos resultados.

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1. Resultado de caracterização dos agregados

O ensaio de granulometria, indicou a existência de pérolas de EPS com dimensões variando entre 0,6 mm e 2,36 mm. Pôde-se constatar alta concentração das esferas de EPS com diâmetros variando entre 1,18 mm e 2,36 mm. A massa unitária de EPS solto foi igual a 28 kg/m<sup>3</sup>.

O agregado miúdo, de acordo com o seu módulo de finura (2,47 mm), pode ser classificado como areia média. Com relação ao agregado graúdo, foi verificada dimensão máxima característica igual a 12,5 mm, sendo o mesmo classificado como próximo da brita 0. Salienta-se ainda que o agregado graúdo apresentou módulo de absorção de água igual a 0,5%.

Os valores encontrados nos ensaios de caracterização dos agregados foram utilizados para determinação da dosagem do concreto seguindo os critérios da ABCP.

#### 3.2. Resultado de ensaio do concreto no estado fresco

Na Tabela 2 encontram-se elencados os abatimentos constatados para cada um dos traços. Quando comparados ao traço T01, observa-se que os traços T02, T03 e T04, com diferentes percentuais de EPS, levaram a quedas sucessivas no abatimento de tronco de cone de 20,0%, 40,0% e 73,3%, respectivamente.

Tabela 2 – Abatimentos constatados para cada traço.

Traço	Abatimento (mm)
T01	75
T02	60
T03	45
T04	20

Fonte: Autores.

Entre os traços com adições de pérolas de EPS, constatou-se que as misturas com maiores quantidades do polímero tendem a apresentar menores abatimentos, indicando maior consistência, conforme se observa na Figura 1.

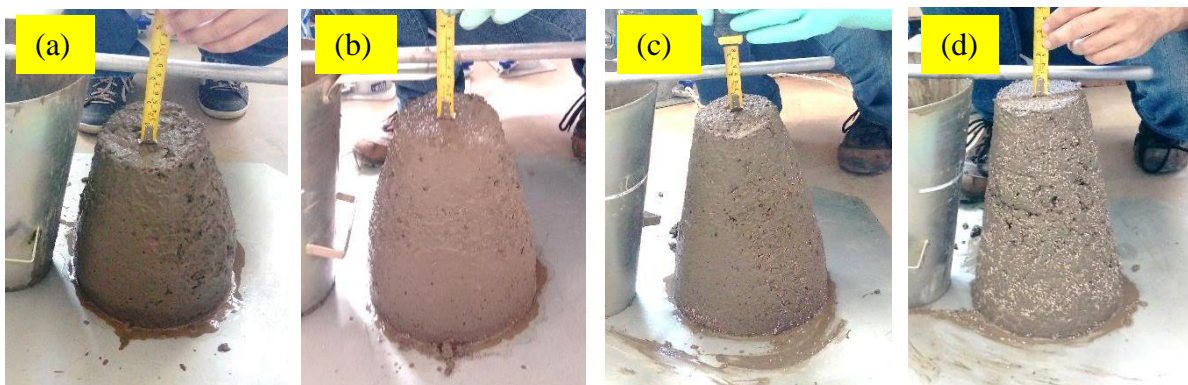


Figura 1 – Testes de abatimentos para cada um dos traços adotados: (a) traço T01; (b) traço T02; (c) traço T03; (d) traço T04.

Os testes de abatimento do tronco de cone apresentaram resultados coerentes com aqueles constatados por Xavier, Bassani e Mendes (2016), os quais mencionam em seu



estudo que os menores abatimentos, verificados para misturas com maiores percentuais de EPS, decorrem da grande leveza das pérolas. Diante da menor densidade, o concreto torna-se menos susceptível à deformação pela gravidade.

### 3.3. Resultados de ensaios do concreto no estado endurecido

#### 3.3.1. Resistência à compressão aos sete e 28 dias

Após o processo de cura dos corpos de prova em solução saturada de hidróxido de cálcio, fez-se o ensaio de resistência à compressão dos exemplares com base nas recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2015) e NBR 5739 (ABNT, 2007). Com relação à resistência à compressão média em função da substituição percentual do volume de brita 0 por EPS, foi possível verificar quedas sucessivas de resistência de acordo com o aumento gradual da quantidade de agregado leve.

Para cada traço foram testados dois corpos de prova com cura de sete dias. Pôde-se observar que os exemplares com maiores adições de pérolas de EPS mostraram menor resistência à compressão. Destaca-se que as quedas percentuais de resistência para os traços T02, T03 e T04, tendo como base o concreto de referência, foram de aproximadamente 27,0%, 48,0% e 61,6%, respectivamente.

Como a idade de 28 dias é tida como a idade padrão para verificação da resistência, o número de corpos de prova ensaiados foi ligeiramente maior (quatro para cada traço). Na Figura 2 é possível observar o rompimento de duas amostras na prensa e os padrões de fratura exibidos em cada um deles.



Figura 2 – Fraturas em corpos de prova: (a) traço T01; (b) traço T04.

É possível observar que os padrões de fraturas dos corpos de prova diferem-se de acordo com a quantidade de pérolas de EPS presente na mistura. Verifica-se maior fragilidade no concreto na mistura T01, isto é, no concreto convencional. Ao que tudo indica, a inclusão de pérolas na matriz aumenta a ductilidade da amostra, levando a um padrão de fratura distinto, com trincas mais discretas e localizadas.

No gráfico em colunas apresentado na Figura 3, pode-se visualizar a variação da resistência à compressão média de acordo com a idade do concreto (sete e 28 dias). As barras verticais no topo de cada coluna indicam o desvio-padrão associado. Constatou-se que o acréscimo de resistência à compressão ao longo do tempo foi maior para concretos com menores quantidades de EPS em sua composição. Verificou-se ainda que o coeficiente de variação sofreu elevação com base no aumento do volume de agregado leve dos diferentes traços.

Com relação ao aumento da dispersão dos valores de resistência em torno do valor médio, tal fato pode estar relacionado às interferências que o agregado leve ocasiona nas propriedades mecânicas do compósito cimentício, mediante o aumento da presença de bolhas e vazios durante a etapa de preparo e moldagem dos corpos de prova.

Ressalta-se ainda que aos sete dias foram alcançados 60,8%, 71,4%, 75,8% e 78,6% da correspondente resistência à compressão aos 28 dias, para os traços T01, T02, T03 e T04, respectivamente.

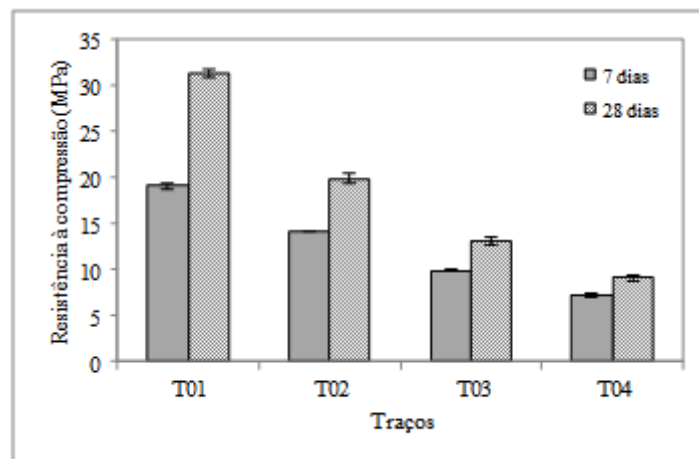


Figura 3 – Resistência à compressão média para cada traço.

Na Figura 4 estão apresentadas as curvas representativas do ensaio de compressão para quatro corpos de prova distintos, pertencentes a cada um dos traços. Observa-se, com base na inclinação do trecho inicial das curvas (região elástica), a ocorrência de menores módulos de elasticidade em virtude do aumento da quantidade de EPS na mistura. O menor módulo de elasticidade indica maior ductilidade e menor fragilidade, pois o corpo de prova sofre uma deformação maior antes do rompimento. Salienta-se que concreto convencional (traço T01) foi aquele que apresentou a menor ductilidade.

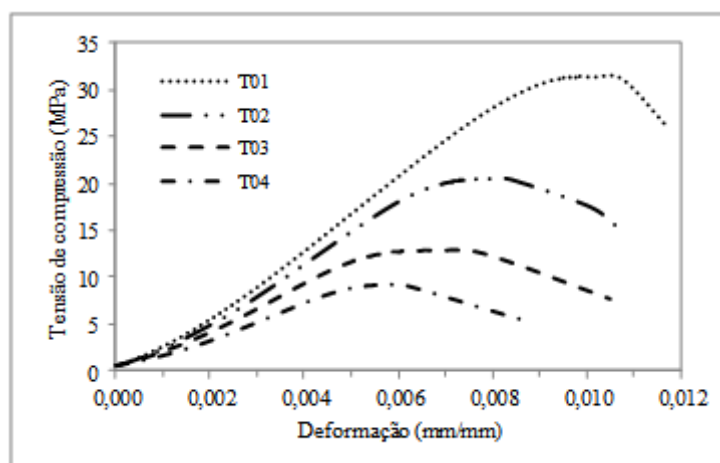


Figura 4 – Curvas de tensão vs. deformação representativas para cada traço.

### 3.3.2. Massa específica aparente

Pôde-se constatar a diminuição do valor médio de massa específica aparente de acordo com a quantidade de pérolas de EPS em cada traço, tanto para amostras secas em estufa

a 50°C, quanto para aquelas secas a 105°C (Tabela 3). Observa-se que o traço com maior quantidade de agregado leve (T04) foi aquele que apresentou menores valores de massa específica. As reduções percentuais de massa específica em função do aumento de temperatura foram de 6,8%, 8,0%, 9,5% e 10,7%, para os traços T01, T02, T03 e T04, respectivamente. Ressalta-se que tais reduções estão relacionadas à perda da água retida no interior do concreto, além da degradação do EPS exposto a altas temperaturas.

Tabela 3 – Valores médios de massa específica aparente para cada um dos traços

Traço	Massa específica aparente após secagem a 105°C (kg/m <sup>3</sup> )
T01	2178
T02	1934
T03	1674
T04	1440

Fonte: Autores.

Com base nos valores de massa específica aparente média, observa-se que os concretos dos traços T02, T03 e T04 se enquadram na categoria *concreto leve*, tendo em vista o limite máximo definido pela NBR 8953 (ABNT, 2015), igual a 2000 kg/m<sup>3</sup>. Contudo, cabe salientar que nenhuma das amostras de CLE se encaixa na categoria *concreto leve estrutural*, estabelecida pela NBR NM 35 (ABNT, 1995).

### 3.3.3. Absorção de água por imersão

Na Figura 5 tem-se a absorção média de cada um dos traços, para amostras secas em estufa a 50°C e a 105°C. As barras no topo de cada coluna indicam o desvio-padrão associado. Observa-se que a exposição do concreto a temperaturas mais elevadas mostra relação com o aumento da absorção do material. Os aumentos percentuais de absorção para os traços T01, T02, T03 e T04, decorrentes do aumento de temperatura, foram de 214,7%, 206,1%, 193,6% e 184,8%.

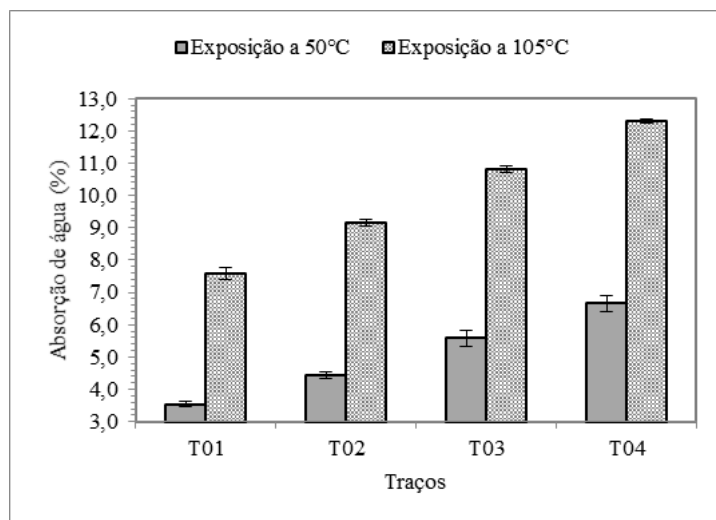


Figura 5 – Absorção de água por imersão.

Com base no método de classificação proposto por Helene (1983 *apud* LEVY, 2001), considera-se um concreto durável quando este exibe valores de absorção inferiores a 4,2%. São classificados como normais aqueles com absorção entre 4,2% e 6,3%. Acima do limite de 6,3%, fala-se em concreto deficiente. No Quadro 1 tem-se a classificação



dos diferentes traços, para amostras secas a 50°C e a 105°C, tendo como parâmetros esses intervalos.

Quadro 1 – Classificação da durabilidade dos traços de concreto

Traço	Classificação da durabilidade do concreto conforme os critérios de Helene (1983 <i>apud</i> LEVY, 2001)	
	Exposição a 50°C	Exposição a 105°C
T01	Durável	Deficiente
T02	Normal	Deficiente
T03	Normal	Deficiente
T04	Deficiente	Deficiente

Fonte: Levy (2001).

Com base no Quadro 1, constata-se que a exposição das amostras a 105°C torna o material deficiente do ponto de vista da durabilidade. Entretanto, é digno mencionar que o aquecimento do concreto a uma temperatura próxima de 105°C não é tão comum no cotidiano. Casos de exposição desse tipo podem ser mais comuns dentro da indústria ou em situações de incêndio.

### 3.3.4. Absorção de água por capilaridade

Na Figura 6 encontra-se representado o gráfico de evolução da absorção por capilaridade média de acordo com o tempo, para corpos de prova expostos a 50°C. Observa-se que a absorção do concreto de referência (traço T01) foi inferior aos valores de absorção apresentados pelos demais traços. As curvas dos traços T02, T03 e T04 mostraram-se semelhantes e próximas umas às outras.

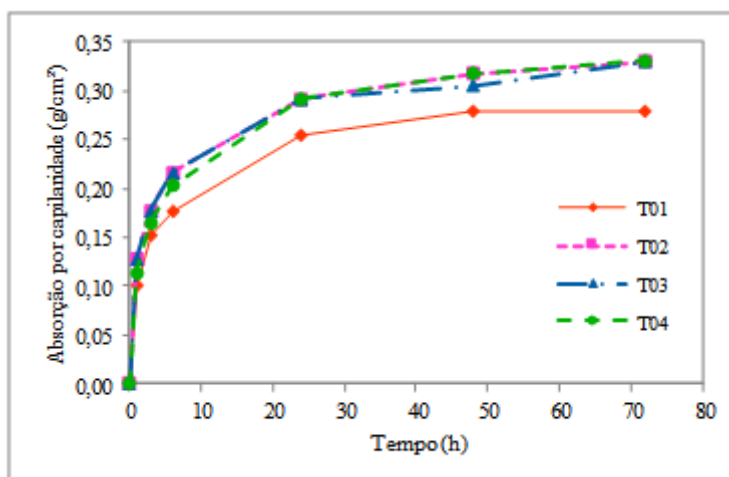


Figura 6 – Absorção de água por capilaridade (concreto seco em estufa a 50°C).

Na Figura 7 pode-se observar o comportamento, no decorrer do tempo, da absorção capilar de amostras secas em estufa a 105°C. Verifica-se que os traços T02 e T03 apresentaram curvas bastante próximas entre si. Não obstante, a curva do traço T04 apresenta um comportamento de absorção ligeiramente distinto daqueles apresentados pelas outras dosagens de CLE.

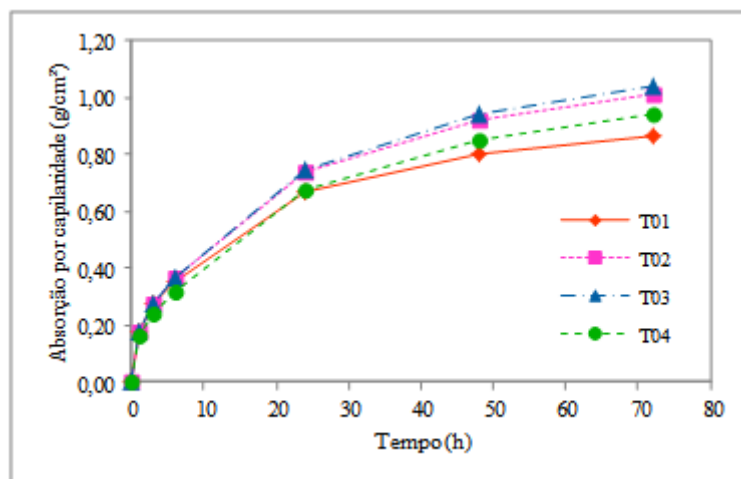


Figura 7 – Absorção de água por capilaridade (concreto seco em estufa a 105°C).

Ao se observar os valores médios de absorção por capilaridade após 72 horas para cada traço, mediante exposição a 50°C e a 105°C, observa-se que a exposição à temperatura mais elevada se relaciona a uma maior absorção de água por capilaridade, inclusive para o traço T01. Os aumentos percentuais de absorção, em função da elevação da temperatura, foram de 309,0%, 307,8%, 315,3% e 284,5%, para os traços T01, T02, T03 e T04, respectivamente.

Na Figura 8 são mostradas as superfícies retificadas de alguns corpos de prova de acordo com os diferentes traços. Constata-se que as amostras com maior quantidade de pérolas de EPS apresentam a superfície mais esbranquiçada, em virtude da maior proporção do material polimérico na mistura. O aquecimento dos corpos de prova a 105°C permitiu observar a retração das pérolas e a presença de vazios em torno delas.

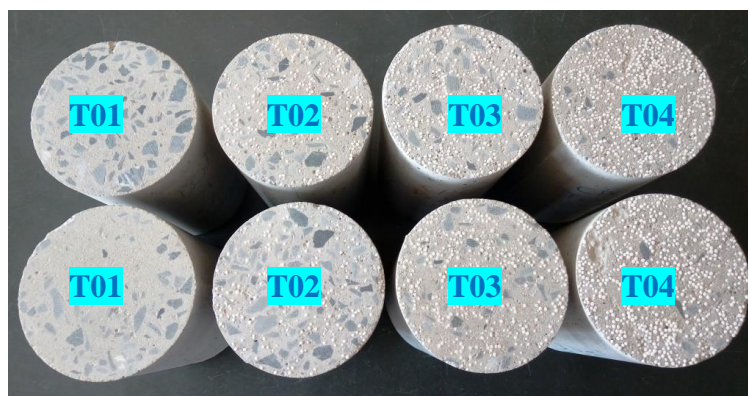


Figura 8 – Superfícies dos corpos de provas conforme os diferentes traços.

A retração das pérolas na matriz, ao que tudo indica, parece influenciar sobre a capilaridade do concreto leve. Esse encolhimento das pérolas na matriz advém, possivelmente, da expulsão dos gases aprisionados em seu interior. Consequentemente, a perda de expansibilidade do EPS relaciona-se à formação de vazios esféricos na matriz e consequente aumento da absorção. Contudo, parece haver um limite máximo, quando o incremento excessivo de vazios (ou a dimensão destes) deixa de interferir sobre a absorção capilar. Tal constatação parte da análise da menor absorvência do traço T04, após suas respectivas amostras terem passado por processo de secagem em estufa a 105°C.

#### **4. Conclusões**

Com base nos ensaios desenvolvidos em laboratório e em seus resultados, conclui-se que este trabalho atingiu os objetivos propostos quanto à investigação das características das matérias-primas, análise da resistência à compressão e absorção de água do concreto leve em estudo. Os ensaios de caracterização dos agregados apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pelas referências normativas.

Nos testes de resistência à compressão, verificou-se que os concretos com maiores percentuais de pérolas de EPS tendem a ser menos resistentes. Foi constatada uma relação inversamente proporcional entre o volume de EPS na mistura e a tensão máxima de compressão do CLE.

A comparação entre as amostras secas em estufa, a 50°C e a 105°C, mostra que o CLE tende a alterar sua propriedade de absorção em virtude da exposição a maiores temperaturas.

Por último, observa-se que uma das grandes vantagens relativas à utilização de pérolas de EPS no concreto é a redução de sua densidade, a qual foi comprovada durante a pesquisa. A maior leveza da mistura garante benefícios econômicos relacionados à etapa de carregamento e transporte em obras, principalmente para o caso de elementos de preenchimento e peças pré-moldadas.

#### **5. Agradecimentos**

Os autores deste artigo agradecem de forma especial à empresa Knauf Isopor Ltda, pela doação das pérolas de EPS utilizadas no preparo do concreto leve.

#### **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 cilíndricos.* Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. *NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.* Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica.* Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. *NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade.* Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 35: Agregados leves para concreto estrutural – Especificação.* Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.* Rio de Janeiro, 1998.

**CALLISTER, W. D., Jr.; RETHWISCH, D. G.** *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.* Tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares; Revisão de José Roberto Moraes D'Almeida. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 817 p.

**CATOIA, T.** *Concreto ultraleve® estrutural com pérolas de EPS: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes.* 2012, 154 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

**LEVY, S. M.** *Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.* 2001, 194 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

**MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.** *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.* 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

**MILED, K.; SAB, K.; LE ROY, R.** *Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: experimental investigation and modelling.* *Mechanics of Materials*, v. 39, p. 222-240, 2007.

**OZÓRIO, B. P. M.** *Concreto leve com pérolas de EPS: estudo de dosagens e de características mecânicas.* 2016, 154 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2016.

**PEDROSO, F. L.** *Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais utilizado pelo homem.* *Revista IBRACON*, São Paulo, ano XXXVIII, n. 53, p. 14-19, jan./fev./mar. 2009.

**ROSSIGNOLO, J. A.** *Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações.* 1. ed. São Paulo: PINI, 2009. 144 p., il.

**SARADHI BABU, D.; GANESH BABU, K.; WEE, T. H.** *Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash.* *Cement and Concrete Research*, v. 35, p. 1218-1223, 2005.

**SRI RAVINDRARAJAH, R.; TUCK, A. J.** *Properties of hardened concrete containing treated expanded polystyrene beads.* *Cement and Concrete Composites*, v. 16, p. 273-277, 1994.

**TRUSSONI, M.; HAYS, C. D.; ZOLLO, R. F.** *Comparing lightweight polystyrene concrete using engineered or waste materials.* *ACI Materials Journal*, v. 109, n. 1, p. 101-107, 2012.

**XAVIER, B. C.; BASSANI, F.; MENDES, A. S.** *Avaliação do concreto estrutural leve com EPS reciclado.* *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 12, n. 3, p. 59-75, 2016.