

Reaproveitamento do EPS na construção civil na produção de um concreto sustentável

Reuse of EPS in civil construction in the production of sustainable concrete

Ana Luiza Rocha de Souza

Pós-graduada em Gestão de Obras de Edificação, Tecnologia e Desempenho da Construção Civil (UNIPAM).

E-mail: analuiza_souz@hotmail.com

Henrique Pains Morais

Graduando do curso de Engenharia Civil (UNIPAM).

E-mail: henriquepains@unipam.edu.br

Sheilla Pereira Vieira

Professora orientadora (UNIPAM).

E-mail: sheillapv@unipam.edu.br

Resumo: A construção civil apresenta grande mercado na economia brasileira. Podem ser observadas construções de vários tipos espalhadas pelo país. Um produto intensamente utilizado na construção civil que apresenta problemas em sua reciclagem convencional é o isopor. Portanto, de maneira a encontrar um destino mais sustentável e aproveitar o seu potencial, desenvolveu-se este estudo, no qual se utilizou EPS como agregado no concreto. Foram produzidos corpos de prova com utilização do EPS nas composições de 0%, 5%, 10% e 15%. Suas características físico-mecânicas foram comparadas ao concreto convencional, e os resultados foram bastante satisfatórios.

Palavras-chave: Construção civil. Concreto. EPS.

Abstract: Civil construction represents a large market in the Brazilian economy. Buildings of various types can be seen scattered across the country. A product intensively used in civil construction that presents problems in its conventional recycling is Styrofoam. Therefore, in order to find a more sustainable destination and take advantage of its potential, this study was developed, in which EPS was used as an aggregate in the concrete. Specimens were produced using EPS in the compositions of 0%, 5%, 10% and 15%. Its physical-mechanical characteristics were compared to conventional concrete, and the results were quite satisfactory.

Keywords: Civil construction. Concrete. EPS.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (ABRAPEX), EPS é a sigla internacional do Poliestireno Expandido, de acordo com a definição da norma

DIN ISSO-1043/78. Sendo conhecido no Brasil como “isopor®”, nada mais é que uma marca registrada da Knauf que designa, comercialmente, os produtos de poliestireno expandido vendidos por essa empresa.

O EPS é um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água. Como agente expensor para a transformação do EPS, emprega-se o pentano, um hidrocarbureto que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares sem comprometer o meio ambiente. Oliveira (2013) relata que características como baixa condutividade térmica e acústica, baixo peso, elevada resistência mecânica e facilidade de manuseio fizeram com que seu uso na construção civil aumentasse significativamente nas mais diversas áreas.

Helena (2009) afirma que, no Brasil, são produzidos 40 mil toneladas de poliestireno expandido por ano e que grande parte vai para os lixões e aterros sanitários, ocupando muito espaço nesses locais. Por ser composto de 98% de ar e apenas 2% de plástico, torna-se inútil economicamente a sua reciclagem e reutilização convencional, pois, no derretimento do produto para reaproveitamento, perde-se grande parte da sua consistência como matéria-prima.

Uma forma de buscar um destino mais sustentável e aproveitar o potencial do EPS é o seu acréscimo como agregado no concreto. Além de dar um destino a um material não muito reciclado, podem-se obter características interessantes ao concreto, como leveza e boa isolamento termo acústica. (TESSARI, 2006).

2 OBJETIVOS

Listam-se abaixo os objetivos para o desenvolvimento da pesquisa.

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho foi o desenvolvimento de um concreto sustentável, aproveitando as características positivas do EPS na busca de um concreto leve que possa ser usado na construção de forma não estrutural, como em paredes de fechamento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O trabalho teve como objetivos específicos a caracterização das propriedades físicas e mecânicas do EPS e dos demais agregados a serem utilizados; a produção de concreto com a substituição de agregados graúdos por EPS, nas frações 0%, 5%, 10% e 15%; a análise das características físicas e mecânicas dos concretos obtidos a partir das substituições por EPS com o concreto convencional sem EPS; a identificação de uma fração ótima de substituição a partir dos dados coletados e avaliar a viabilidade técnica de aplicação do concreto produzido com EPS em obras de construção civil.

3 JUSTIFICATIVA

Diante do intenso uso do isopor nos últimos anos na construção civil e da problemática em sua reciclagem convencional, viu-se a necessidade deste estudo, que visa a avaliar a produção de concreto leve por meio da produção de corpos de prova com a aplicação de EPS como agregado, nas composições de 0%, 5%, 10%, 15%, e a compará-las com as características físico-mecânicas de um concreto convencional.

O problema é potencializado devido ao aumento significativo do uso do EPS na construção civil. Utilizando-se do EPS como agregado em substituição dos agregados convencionais, podem ser obtidas diversas vantagens, como a produção de um concreto leve aliviando as estruturas, um destino aos resíduos de EPS e a diminuição do uso de agregados naturais retirados na natureza. Porém, a adição em demasia pode criar um concreto muito fraco, por isso a necessidade de descobrir a fração ótima de tal substituição.

Pode-se pensar que pequenas adições sejam insignificantes, todavia o concreto, por ser utilizado em larga escala, é um dos materiais que mais se enquadra no conceito de sustentabilidade, pois pequenas mudanças podem gerar grandes efeitos positivos.

4 REVISÃO LITERÁRIA

4.1 REUTILIZAÇÃO DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A sustentabilidade está relacionada aos aspectos socioculturais, econômicos e ambientais das atividades humanas, estando ligada ao uso de recursos naturais. Na construção civil, diz-se que uma obra é sustentável quando utiliza materiais e tecnologias que promovem o bom uso e a economia dos recursos naturais, que são finitos, e a redução da poluição. A escolha de matérias sustentáveis deve-se embasar na preservação, recuperação e responsabilidade ambiental. Sempre haverá impacto ambiental no ato de construir, e são as atitudes dos técnicos, como projetam, especificam e executam as construções, que podem minimizar a agressão ao meio ambiente (ISAIA, 2011).

Souza (2013) ressalta que o ramo da construção civil consome durante o seu processo uma grande quantidade de material, o que, de certa forma, acaba gerando em escalas grandes os Resíduos da Construção e Demolição, que são mais conhecidos como RCD's, resíduos que, em grandes centros, alcançam proporções preocupantes. Em diversos depósitos de resíduos, a sua participação representa até 50% do total que é disposto no local predeterminado.

Reciclar o entulho, independentemente do uso que a ele for dado, representa vantagens econômicas, sociais e ambientais, como economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de materiais convencionais, pelo entulho; diminuição da poluição gerada pelo entulho e de suas consequências negativas, como enchentes e assoreamento de rios e córregos e preservação das reservas naturais de matéria-prima (ABRECON, 2015).

Melo (2011) afirma que a utilização dos resíduos da construção civil (RCC) como matéria-prima para produção de agregados reciclados reemprega componentes

mineralógicos, auxilia no uso dos recursos naturais e provoca readaptação humana às necessidades de vivência na biota. As áreas destinadas à produção do agregado reciclado são identificadas como usinas de reciclagem de RCC e devem ser reconhecidas como mecanismos de redução do desperdício de matéria-prima mineral reempregável na construção civil.

Segundo Associação Brasileira de Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (2015), o entulho processado pelas usinas de reciclagem pode ser utilizado como agregado para concreto não estrutural, a partir da substituição dos agregados convencionais (areia e brita). Tal uso pode gerar diversas vantagens como:

- utilização de todos os componentes minerais do entulho (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles;
- economia de energia no processo de moagem do entulho (em relação à sua utilização em argamassas), uma vez que, usando-o no concreto, parte do material permanece em granulometrias graúdas;
- possibilidade de utilização de uma maior parcela do entulho produzido, como o proveniente de demolições e de pequenas obras que não suportam o investimento em equipamentos de moagem/ trituração;
- possibilidade de melhorias no desempenho do concreto em relação aos agregados convencionais, quando se utiliza baixo consumo de cimento.

4.2 CONCRETO

O concreto é um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita). Pode também conter adições e aditivos químicos, com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas. É obtido por uma cuidadosa proporção dos materiais, que definem a quantidade de cada um dos diferentes materiais, a fim de proporcionar ao concreto diversas características desejadas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Comparada a estruturas com outros materiais, a disponibilidade dos materiais constituintes (cimento, agregados e água) e do aço e a facilidade de aplicação explicam a larga utilização das estruturas de concreto nos mais variados tipos de construção, como edifícios de múltiplos pavimentos, pontes e viadutos, portos, reservatórios, barragens, pisos industriais, pavimentos rodoviários e de aeroportos, paredes de contenção, etc. (SANTOS, 2015).

Por ser tão utilizado na construção e por gerar danos ao meio ambiente, durante a busca de suas matérias-primas e durante sua fabricação e até posteriormente, existe uma preocupação muito grande no que se refere a minimizar os impactos causados direta e indiretamente pelo concreto, para se conseguir concreto sustentável. John (2011) afirma que aspectos sociais e ambientais devem ser colocados lado a lado aos aspectos de desempenho técnico e viabilidade econômica, no momento de decisão dos modelos construtivos e materiais utilizados.

Isaia (2011) ressalta que o concreto é um dos materiais que mais se adapta ao conceito de sustentabilidade, tão almejado hoje em todos os setores da sociedade. Isso se deve à escala de seu uso, aos pequenos ganhos unitários que se transformam em

valores muito expressivos em economia de matéria-prima, de energia e de emissão de gases à atmosfera, possibilitando ainda a utilização, em larga escala, de resíduos potencialmente poluidores do meio ambiente, oriundos de outros processos industriais.

4.3 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

O Poliestireno Expandido (EPS), muito conhecido no Brasil como ISOPOR®, marca registrada da Knauf Isopor Ltda., foi descoberto em 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz, quando trabalhavam nos laboratórios da Basf, na Alemanha. No princípio, seu desenvolvimento foi bastante lento, em função do alto preço da matéria-prima, tanto que as pérolas pré-expandidas, como o aditivo, tinham um caráter de luxo. Apesar disso, o processo de evolução não se deteve. Notou-se um impulso decisivo 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. (OLIVEIRA, 2013).

O EPS é um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água. Em seu processo produtivo, não se utiliza e nunca se utilizou o gás CFC ou qualquer um de seus substitutos. Como agente expensor para a transformação do EPS, emprega-se o pentano, um hidrocarbureto que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares, sem comprometer o meio ambiente.

O processo de fabricação do EPS faz com que se tenha como resultado final um material celular com grande número de poros, que formam células fechadas, admitindo-se que mais de 95% do seu volume seja ocupado por essas células. Tal característica faz que seja amplamente aplicado como isolante térmico (VASCONCELOS, 2010).

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 11752:2007 classifica o EPS em 7 tipos, de 1 a 7, aumentando gradativamente a densidade e as resistências à compressão, à flexão e ao cisalhamento. A condutividade térmica máxima é limitada 0,0042 W/m.K para o tipo 3.

4.4 USO DO EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Froehlich (2014), o uso de EPS na construção civil é uma realidade há pelo menos 30 anos – o ápice foi na indústria norte-americana no início dos anos 90. No Brasil, a tecnologia começou a dar os primeiros passos por volta de 2010, quando o presidente da Termotécnica, Albano Schmidt, percebeu no EPS uma alternativa sustentável. Como desafio para lançar um produto recente no Brasil, tinha-se o fato de o mercado ainda ser pouco aberto a novas tecnologias.

Vasconcelos (2010) afirma que, para utilização em telhados e paredes, o uso do EPS em placas é bastante simples, devendo-se avaliar principalmente a condição de fixação das placas e os aspectos de especificação do tipo de EPS mais adequado. Bauer (2011) revela que, por ser extremamente leve, é um material de fácil manuseio, proporcionando ótimos resultados quando aplicado em pisos flutuantes, sanduíches em painéis para paredes divisórias, decorações forros, isolamento acústico e térmico.

Santos (2015) destaca que a utilização desse material tem sido adotada cada vez mais, por gerar um menor consumo de matéria bruta, além de trazer melhorias à saúde do operário, por possibilitar um menor esforço físico. Pode-se, assim, em linhas gerais, causar diminuição do custo total do empreendimento.

4.5 CONCRETO LEVE

Ressignolo e Agnessini (2011) afirmam que o concreto leve apresenta como um material consagrado em todo mundo. Diversos são os benefícios causados com sua utilização, como diminuição de esforços na estrutura das edificações, economia com formas e cimbramento, bem como diminuição de custos com transporte e montagem em construções pré-moldadas. É obtido com a substituição total ou parcial dos agregados tradicionais por agregados leves. São divididos em isolantes, de resistência moderada e estruturais.

Uma das alternativas na produção de um concreto leve é a utilização das pérolas de EPS em substituição parcial aos agregados graúdos. Essas pérolas podem, inclusive, ser obtidas dos restos de EPS da própria construção, dando um destino a esse tipo de entulho, que, na maioria das vezes, são os aterros e lixões. Tessari (2006) ressalta que, dentre as diversas formas de poluição, uma das mais preocupantes é a representada pelos resíduos sólidos, em especial o resíduo plástico, da qual o EPS faz parte, pois sua degradação espontânea demanda muito tempo e ocupa muito espaço nos locais de destinação final.

4.6 CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL

Marinoski (2011) ressalta que a alvenaria tem a função de adequar e estabelecer a separação entre ambientes. Especialmente a alvenaria externa, que tem a responsabilidade de separar o ambiente externo do interno, deverá atuar como freio, barreira e filtro seletivo, controlando uma série de ações e movimentos complexos. As alvenarias devem apresentar:

- resistência à umidade e aos movimentos térmicos;
- resistência à pressão do vento;
- isolamento térmico e acústico;
- resistência às infiltrações de água pluvial;
- controle da migração de vapor de água e regulação da condensação;
- base ou substrato para revestimentos em geral;
- segurança para usuários e ocupantes.

O fato de não desempenhar nenhuma sustentação na obra permite com que tenha resistência menos elevadas. Uma das principais alternativas é o uso de concretos que usam agregados reciclados, que, na maioria das vezes, são menos resistentes que os convencionais.

Segundo o site da concreteira Concrebras (2015), existem diversos tipos de concretos leves não estruturais, e os mais comuns são o concreto celular, concreto com isopor, com vermiculita e concreto com argila expandida. Podem ser utilizados para o

enchimento e regularização de lajes, pisos e elementos para isolamento térmico e acústico apresentando vantagens como redução de peso próprio e isolante termo acústico.

5 METODOLOGIA

O presente trabalho consistiu na produção de concreto leve sustentável, produzidos com a utilização de restos de EPS das construções de Patos de Minas (MG). A primeira etapa foi a obtenção desse material, o recolhimento de restos de EPS das construções e a trituração deles. Tal processo foi feito manualmente, com a separação em pequenas partículas.

Realizou-se a análise da composição granulométrica e massa unitária dos agregados graúdos e miúdos utilizados na produção do concreto, conforme a ABNT NBR NM 248:2003 e ABNT NBR NM 45:2006. Foram verificados os seguintes ensaios: para o agregado graúdo, absorção de água, massa específica e massa específica aparente de acordo com a ABNT NBR NM 53:2009 e, para o agregado miúdo, de acordo com a ABNT NBR 6467:2006, o inchamento; ABNT NBR NM 52: 2009, massa específica e massa específica aparente; a ABNT NBR 30:2001, a absorção de água.

Com conhecimento das características do agregado, foi feita a dosagem do concreto, seguindo o modelo proposto pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). Posteriormente, foram confeccionados os corpos de prova, para conhecimento das características físicas e mecânicas do concreto produzidas com e sem substituição de EPS. O preparo do concreto seguiu os parâmetros da ABNT NBR 12655:2015. Foram produzidos corpos de prova com a composição de 0%, 5%, 10% e 15% de EPS. A moldagem e cura seguiram os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 5738:2008.

Para cada um dos traços produzidos, foi feito o teste de consistência. Após passarem pela cura, foram avaliadas características como sua capacidade de absorção, baseada na ABNT NBR 9778:2005, e resistência, segundo a ABNT NBR 5739:2007. Os corpos foram rompidos no Laboratório de Tecnologia de Materiais de Construção do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para todos os agregados utilizados, foi verificada a massa unitária, repetindo-se o processo três vezes para obter-se a média. Os valores encontrados estão apresentados no Quadro 1 e, na Figura 1, a verificação das massas unitárias da areia fina, areia média e brita 0.

Quadro 1 – Valores de massa unitária dos agregados

| Agregado | Massa Unitária (Kg/m ³) |
|-------------|-------------------------------------|
| Areia Fina | 1557,5 |
| Areia Média | 1626,2 |
| Brita 0 | 1551,8 |

Fonte: Dos autores, 2018.

Figura 1 – Agregados na verificação das massas unitárias

Fonte: Dos autores, 2018.

Posteriormente à verificação das massas unitárias dos agregados, foi feito o ensaio de massa específica, duas repetições, para as areias e para a brita, conforme os resultados obtidos nos Quadros 2 e 3.

Quadro 2 – Massa específica das areias

| Agregado | Massa Específica (g/cm ³) |
|-------------|---------------------------------------|
| Areia Fina | 2,66 |
| Areia Média | 2,63 |

Fonte: Dos autores, 2018.

Quadro 3 – Massa específica da brita

| Massa específica - Brita 0 | |
|--|------------------------|
| Massa específica do agregado seco | 2,89 g/cm ³ |
| Massa específica do agregado na condição de saturado à superfície seca | 2,86 g/cm ³ |
| Massa específica aparente do agregado seco | 2,83 g/cm ³ |
| Absorção de água | 0,61% |

Fonte: Dos autores, 2018.

Conforme já mencionado, os agregados utilizados foram areia fina, areia média e brita. Para cada um desses materiais, foram realizados dois ensaios de granulometria, Figura 2, para obter uma média dos resultados alcançados. Os valores relacionados ao módulo de finura e dimensão máxima característica estão listados no Quadro 4.

Quadro 4 – Ensaio de Granulometria

| Ensaio de Granulometria | | |
|-------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Agregado | Módulo de finura médio | Dimensão máxima característica |
| Areia Fina | 1,88 | 1,20 mm |
| Areia Média | 2,72 | 4,75 mm |
| Brita | 6,77 | 9,5 mm |

Fonte: Dos autores, 2018.

Figura 2 – Ensaio de granulometria realizados com os agregados



Fonte: Dos autores, 2018.

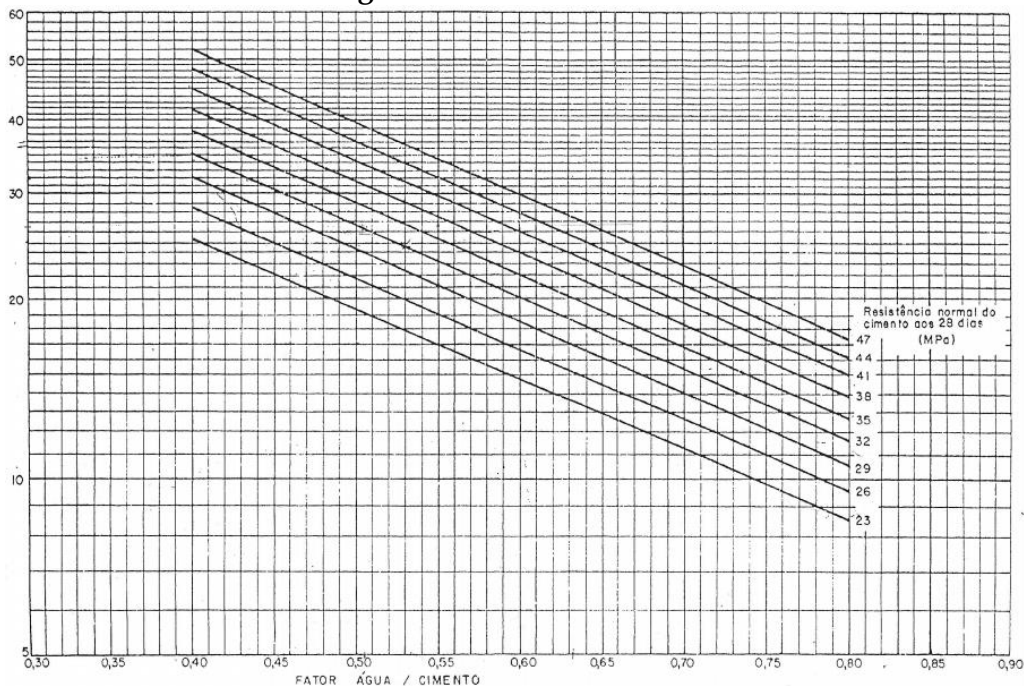
O traço de dosagem do concreto foi calculado utilizando-se do o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), sendo obtidos os seguintes resultados:

1º passo: foi estabelecido o abatimento do concreto entre 60 a 80 mm e a resistência à compressão do concreto e do cimento Portland aos 28 dias:

- $f_{ck28} = 30$ MPa – $f_{cm28} = 37$ MPa, para desvio-padrão da dosagem = 4,0 Mpa.
- resistência do cimento aos 28 dias de idade = 40 Mpa.

Adotando-se as características do concreto e do cimento, foi possível encontrar o fator água cimento ($a/c = 0,49$), relação estimada por meio da curva de Abrams, Figura 3.

Figura 3 – Curva de Abrams



Fonte: Clube do concreto, 2015.

2º passo: após, partiu-se para a estimativa do consumo de água ($C_{ag} = 225 \text{ l/m}^3$) do concreto, o que consta do Quadro 5.

Quadro 5 – Estimativa de consumo de água por m^3 de concreto

| ABATIMENTO DO TRONCO DO CONE | DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (Φ_{\max}) | | | | |
|------------------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 9,5mm | 19mm | 25mm | 32mm | 38mm |
| 40 a 60mm | 220 l/m^3 | 195 l/m^3 | 190 l/m^3 | 185 l/m^3 | 180 l/m^3 |
| 60 a 80mm | 225 l/m^3 | 200 l/m^3 | 195 l/m^3 | 190 l/m^3 | 185 l/m^3 |
| 80 a 100mm | 230 l/m^3 | 205 l/m^3 | 200 l/m^3 | 200 l/m^3 | 190 l/m^3 |

Fonte: Clube do concreto, 2015.

Já de posse das estimativas de consumo de água e da relação a/c, foi possível estimar o consumo de cimento ($C = 464 \text{ Kg/m}^3$) por meio da Equação 1.

$$C = \frac{C_{ag}}{(a/c)} \quad (1)$$

Onde:

C = Consumo de cimento por metro cúbico de concreto (Kg/m^3).

C_{ag} = Consumo de água por metro cúbico de concreto (l/m^3).

(a/c) = Relação água/cimento (Kg/Kg).

3º passo: posteriormente, a estimativa de consumo dos agregados se deu pelo uso do Quadro 6 e das Equações 2, 3 e 4.

Quadro 6 – Volume compactado seco de agregado graúdo por m^3 de concreto

| MÓDULO DE FINURA DA AREIA | DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (Φ_{\max}) | | | | |
|---------------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| | 9,5mm | 19mm | 25mm | 32mm | 38mm |
| 1,8 | 0,645 | 0,770 | 0,795 | 0,820 | 0,845 |
| 2,0 | 0,625 | 0,750 | 0,775 | 0,800 | 0,825 |
| 2,2 | 0,605 | 0,730 | 0,755 | 0,780 | 0,805 |
| 2,4 | 0,585 | 0,710 | 0,735 | 0,760 | 0,785 |
| 2,6 | 0,565 | 0,690 | 0,715 | 0,740 | 0,765 |
| 2,8 | 0,545 | 0,670 | 0,695 | 0,720 | 0,745 |
| 3,0 | 0,525 | 0,650 | 0,675 | 0,700 | 0,725 |
| 3,2 | 0,505 | 0,630 | 0,655 | 0,680 | 0,705 |
| 3,4 | 0,485 | 0,610 | 0,635 | 0,660 | 0,685 |
| 3,6 | 0,465 | 0,590 | 0,615 | 0,640 | 0,665 |

Fonte: Clube do concreto, 2015.

O consumo do agregado graúdo ($C_p = 858 \text{ kg/m}^3$) é dado pela Equação 2.

$$C_p = V_{pc} * MU_c$$

(2)

Onde:

 C_p = Consumo de agregado graúdo por metro cúbico de concreto (Kg/m^3). V_{pc} = Volume compactado seco do agregado graúdo por metro cúbico de concreto. MUc = Massa unitária compactada do agregado graúdo por metro cúbico de concreto (Kg/m^3).

Já as estimativas do consumo de agregados miúdos ($C_a = 865 \text{ kg}/\text{m}^3$) basearam-se nas Equações 3 e 4.

$$V_a = 1 - \left(\frac{C}{\gamma_c} + \frac{C_p}{\gamma_p} + \frac{C_{ag}}{\gamma_{ag}} \right) \quad (3)$$

Onde:

 V_a = Volume do agregado miúdo por metro cúbico de concreto.

$\gamma_c, \gamma_p, \gamma_{ag}$ = Massa específica do cimento, agregado graúdo e água.

$$C_a = \gamma_a * V_a \quad (4)$$

Onde:

 C_a = Consumo do agregado miúdo por metro cúbico de concreto (Kg/m^3).

γ_a = Massa específica do agregado miúdo (Kg/m^3).

Quando no concreto se utilizam de dois agregados miúdos, é importante se atentar para a escolha e proporcionamento deles, de modo que a quantidade de vazios seja a menor possível; neste trabalho foi definida a proporção de 60 % de areia média e 40 % de areia fina por meio dos ensaios de massa unitária.

4º passo: após, foi possível obter o traço do concreto, sendo representado respectivamente por cimento: areia média: areia fina: brita: água:

1: 1,11: 0,75 : 1,85: 0,49

Com base no traço determinado, foram moldados 4 corpos de prova para cada percentual de adição de EPS (0%, 5%, 10% e 15%), Figura 4. Dentre esses 4 corpos de prova, dois foram rompidos aos 7 dias, e os outros dois, aos 28 dias, Quadro 7.

Figura 4 – Corpos de Prova

Fonte: Dos autores, 2018.

Quadro 7 – Resultados dos rompimentos dos corpos de prova

| Resultados – Resistência | | | | |
|--------------------------|----|--------------|-------------------|-----------|
| Substituição (%) | CP | Idade (dias) | Resistência (MPa) | Fck (MPa) |
| 0 | 1 | 7 | 40,8 | 51,7 |
| | 2 | | 44,7 | |
| | 3 | 28 | 46,4 | |
| | 4 | | 51,7 | |
| 5 | 5 | 7 | 39,7 | 45,0 |
| | 6 | | 37,6 | |
| | 7 | 28 | 45 | |
| | 8 | | 43 | |
| 10 | 9 | 7 | 34,1 | 41,4 |
| | 10 | | 35,2 | |
| | 11 | 28 | 41,4 | |
| | 12 | | 39,6 | |
| 15 | 13 | 7 | 33,1 | 38,4 |
| | 14 | | 30,6 | |
| | 15 | 28 | 37,1 | |
| | 16 | | 38,4 | |

Fonte: Dos autores, 2018.

Observa-se que, gradualmente com a adição do EPS, a resistência média em Mpa foi diminuindo. Justamente por tal fato, o uso do concreto leve com adição de EPS não é indicado para fins estruturais. Portanto, esse concreto poderá ser uma ótima solução para pisos, enchimento e regularização de lajes e em elementos com necessidade de isolamento térmico e acústico.

Para cada traço de concreto produzido, foi feito também o teste de *Slump*, Figura 5; o Quadro 8 apresenta os resultados obtidos.

Figuras 5 – Teste de *Slump*

Fonte: Dos autores, 2018.

Quadro 8 – Teste de *Slump*

| Adição de EPS | <i>Slump</i> |
|---------------|--------------|
| 0 % | 6 cm |
| 5% | 6 cm |
| 10% | 9 cm |
| 15 % | 10 cm |

Fonte: Dos autores, 2018.

De acordo com a ABNT NBR 9778: 2005 de argamassas e concreto endurecidos, realizou-se um ensaio de absorção de água, índices de vazios e massa específica. O tipo das amostras utilizadas foram corpos de prova cilíndricos, nas dimensões 10 x 20 cm, com concreto em idade de 32 dias, pelo método de cura de submersão. O Quadro 9 apresenta os resultados obtidos em tal ensaio para todas as substituições de EPS utilizadas.

Quadro 9 – Resultados obtidos no ensaio

| Adição de EPS | Amostra seca Ms (g) | Amostra submersa MI (g) | Amostra saturada com superfície seca Msat (g) | Absorção de água A (%) | Índices de vazios Iv (%) | Massa específica da amostra seca ps (g/cm ³) | Massa específica da amostra saturada psat (%) (g/cm ³) | Massa específica real pr (%) |
|---------------|---------------------|-------------------------|---|------------------------|--------------------------|--|--|------------------------------|
| 0% | 3695,9 | 2156,0 | 3798,9 | 2,78 | 6,26 | 2,25 | 2,36 | 2,4 |
| 5% | 3615,9 | 2108,7 | 3743,0 | 3,51 | 7,77 | 2,21 | 2,40 | 2,4 |
| 10% | 3532,5 | 2048,1 | 3657,7 | 3,54 | 7,77 | 2,19 | 2,38 | 2,4 |
| 15% | 3484,5 | 2002,7 | 3611,4 | 3,64 | 7,89 | 2,17 | 2,35 | 2,4 |

Fonte: Dos autores, 2018.

Observa-se um acréscimo nos valores de absorção de água e no índice de vazios dos concretos com o aumento das porcentagens de EPS adicionado, contudo não houve alteração da massa específica dos concretos.

7 CONCLUSÕES

Com base nos estudos feitos e nos resultados obtidos, considera-se a pesquisa bastante satisfatória, uma vez que a resistência dos corpos de prova foi considerável, mesmo quando o percentual de EPS foi o maior, correspondendo a 15%. Ainda em se tratando da resistência, obteve-se, inclusive, um resultado um pouco maior do que foi previsto no traço inicial.

Cabe salientar que os resultados obtidos nos demais ensaios também se apresentaram satisfatórios e dentro dos intervalos de valores esperados. Isso se deve ao fato de que, em todos os ensaios realizados, seguiram-se exatamente as prescrições das normas pertinentes, e todas as dosagens e aferições foram realizadas com cuidado e atenção.

Por fim, pode-se afirmar que a utilização de concreto leve produzido com EPS é viável e vantajosa quando usada corretamente, pois apresenta características interessantes, como redução do peso próprio e reaproveitamento de um resíduo a ser descartado na natureza.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e Concreto Endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de Vazios e Massa Específica. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11752**. Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**. Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Agregado graúdo – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

Associação Brasileira de Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (Abrecon). **Aplicação dos Resíduos**. 2015. Disponível em: <http://www.abrecon.org.br/Conteudo/8/Aplicacao.aspx>. Acesso em: 18 fev. 2015.

BASTOS, S. S. P. **Estruturas de concreto armado**. Bauru: Unesp, 2014.

BAUER, F. A. L. **Materiais de construção**. 5. ed. São Paulo: Grupo Editora Nacional, 2011.

CONCREBRAS: o concreto do Brasil. **Concreto leve não estrutural**. Disponível em: <http://www.concrebras.com.br/concreto-leve-nao-estrutural.html>. Acesso em: 1º março 15.

FROEHLICH, A. **Construção civil**. Grupo RBS. 2014. Disponível em: <http://anoticia.clicrbs.com.br/sc/noticia/2014/07/sistema-que-utiliza-isopor-como-base-reduz-em-ate-40-o-tempo-de-obras-4551383.html>. Acesso em: 12 fev. 2014.

HELENA, S. M. **Estudo para aplicação de poliestireno expandido (EPS) em concretos e argamassas**. Criciúma: UNESC, 2009.

ISAIA, C. G. **Concreto: ciência e tecnologia: a evolução do concreto estrutural**. São Paulo: IBRACON, 2011. vol. I.

JOHN, M, V. **Concreto: ciência e tecnologia: concreto sustentável**. São Paulo: IBRACON, 2011. vol. II.

MARINOSKI, D. **Alvenarias: conceitos, alvenaria de vedação, processo executivo**. Florianópolis: UFSC, 2011.

MELO, A. V. S. **Diretrizes para a produção de agregado reciclado em usinas de reciclagem de resíduos da construção civil**. Salvador: Dissertação (Mestrado em

engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2011.

OLIVEIRA, S. L. **Reaproveitamento de resíduos de poliestireno expandido (isopor) em compósitos cimentícios**. São João Del Rei: UFSJ, 2013.

ROSSIGNOLO, A. J; AGNESSI, C. V. M. **Concreto: Ciência e Tecnologia: Concreto Leve Estrutural**. São Paulo: IBRACON, 2011. vol. II.

SANTOS, M. **A importância do isopor na construção civil**. Blog da Engenharia, 2015.

SOUZA, M. L. **Agregado reciclado: um novo material da construção civil**. Tocantins: UFSM, 2013.

TESSARI, J. **Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil**. Santa Catarina: UFSC, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/88811>. Acessado em: 18 fev. 2015.