



ISSN Eletrônico: **2525-5908**

revista.farol.edu.br

ISSN Impresso: **1807-9660**

Vol. 19, Nº 19. 2023 - AGOSTO

Contato: revista@farol.edu.br

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO LEVE
FABRICADO COM POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

Gustavo Amaral Holanda

Ricardo Holando dos Santos

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO LEVE FABRICADO COM POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

Gustavo Amaral Holanda¹
Ricardo Holando dos Santos²

Resumo: Na atualidade, o concreto é um dos materiais mais aplicado na construção civil, e as suas qualidades de resistência mecânica e durabilidade promovem este cenário favorável, entretanto seu peso específico ainda é um fator que demanda altos gastos para sua implementação. Por esse motivo, novas pesquisas e estudos buscam reduzir o seu peso por meio da aplicação de agregados leves em sua composição, os chamados concreto leves, descritos como concretos de baixa massa específica e com capacidades isolantes térmicas e acústicas. Dentre os agregados leves, o material que se destaca são as pérolas de poliestireno expandido (EPS) que quando anexados a mistura de concreto tem uma enorme tendência de aplicação, especialmente quanto à fabricação de lajes, vedações, blocos de concreto, peças pré-fabricadas, com baixa densidade e massa específica. O concreto com EPS, se assemelha ao convencional quanto a sua produção, embora seja um produto com características inovadoras, onde é composto basicamente dos mesmos materiais com exceção a adição de EPS, que funciona como substituto ao agregado graúdo tipo brita. As perolas de EPS operam como elementos de enchimento e incorporador de ar, e devem ser integrados a mistura juntamente com os agregados pesados: cimento e areia, para um melhor alcance de resistência após a cura. Perante o exposto, foi realizado um estudo baseado na produção de corpos de prova em concreto leve com EPS, substituindo totalmente o agregado graúdo (brita), expondo as características de resistência a compressão, massa do corpo e absorção de água, baseados no estudo experimental e bibliográfico.

Palavras chaves: Concreto leve, propriedades mecânicas, agregados e EPS.

ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE MADE WITH EXPANDED POLYSTYRENE (EPS)

Abstract: Currently, concrete is the most widely used material in civil construction and its qualities of mechanical resistance and lifetime promote this favorable scenario; however, its specific weight is still an element that claims high expenses for its deployment. This is the reason that new researches and studies seek to reduce its weight, through the application of lightweight mixtures in its composition, the so-called lightweight concrete, described as concrete with low specific mass and thermal and acoustic insulating capabilities. Among the lightweight mixtures, the material that stands out are the expanded polystyrene beads (EPS) that when added to the concrete mixture has a huge aim of application, especially regarding the manufacture of concrete slabs, sealing, concrete blocks, prefabricated parts, with low density and specific mass. Concrete with EPS is similar to conventional concrete in its production, although it is a product with innovative features, where it is basically composed of the same materials with the exception of the addition of EPS, which works as a substitute for coarse mixture such as gravel. The EPS pearls operate as filler and air-incorporator elements, and should be included into the mixture along with the heavy aggregates: cement and sand, for a better range of resistance after curing, as mentioned above this study was conducted based on the production of lightweight concrete specimens with EPS, totally replacing the coarse aggregate (gravel), exposing the characteristics of compressive strength, body mass and water absorption, based on the experimental and bibliographic study.

Keywords: Lightweight concrete, mechanical properties, aggregates, and EPS.

¹ Graduado em Engenharia Civil pela FAROL. E-mail: g2000halanda@gmail.com.

² Sob orientação do Professor engenheiro civil, especialista em gestão financeira. E-mail: ricardo.santos@farol.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A construção civil, fomentada pelos contínuos lançamentos de grandes empreendimentos e desenvolvimento de novas tecnologias, busca primordialmente a qualidade de seus materiais e a excelência de seus métodos construtivos. Por consequência, a engenharia sempre carece de inovações no sistema de produtos e métodos construtivos, com propriedades especiais, aplicação vantajosa e ambientalmente sustentáveis.

O concreto desponta como um dos materiais mais utilizados do planeta, sua enorme versatilidade permite que modificações sejam realizadas em seus métodos de produção e formas de aplicação, e principalmente, na sua composição, de maneira que seja possível o aprimoramento de suas características físicas e químicas (BARBAR, 2016).

A enorme procura e aplicação do concreto convencional, se deve ao fato de que o cimento juntamente com seus agregados são excelentes materiais de construção, pois dentre suas melhores características estão a durabilidade, a alta resistência a compressão, rigidez e um valor agregado relativamente baixo. Contudo, alguns pontos desfavoráveis não podem ser esquecidos, como: o peso próprio da estrutura, pouca resistência a tração e passividade ao ataque de agentes químicos (CORTEPASSI; CARBONARI, 2008).

As inovações no campo das tecnologias do concreto, proporcionaram o surgimento de diferentes formas de trabalhar o material, desde a aplicação de aditivos variáveis (plastificantes, incorporadores de ar, modificadores de pega etc.), a modificação dos métodos de dosagem e a substituição dos agregados convencionais, resultando por fim no surgimento e desenvolvimento dos chamados concretos especiais. Alguns exemplos desses concretos são o de alta resistência (CAR), alto desempenho (CAD), alto adensável (CAA), leves e coloridos.

O concreto leve se baseia na substituição do agregado graúdo, ou correlação do mesmo em menor quantidade, por materiais que possuem massa específica relativamente baixa e que produzam uma maior quantidade de vazios no produto. Podendo ser constituídos por diferentes tipos de agregados e incorporadores de ar, como por exemplo o poliestireno expandido (EPS), a argila expansiva, escória, pedra-pomes e entre outros.

A utilização do concreto com agregado leve promove grandes benefícios e facilidades, possibilitando a diminuição do peso próprio da estrutura, facilita a montagem e carregamento de peças de elementos pré-moldados ou pré-fabricados e promove uma melhoria expressiva no isolamento termoacústico da edificação. Conforme disposto na NBR 8953/2015 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 02), o concreto leve se

trata do material cuja massa específica seca, com base na NBR 9778/2005, seja inferior a 2000 Kg/m³.

A presente pesquisa visa instigar uma busca aprofundada acerca da produção, dosagem e aplicações do concreto leve. Através do procedimento de substituição do agregado graúdo (brita) pelo poliestireno expandido (EPS) e testando os concretos produzidos a fim de expressar por escrito algumas de suas características mecânicas, acerca de sua massa específica, absorção de água e de modo bibliográfico a sua capacidade de resistir a compressão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCRETO – BREVE HISTÓRICO

O concreto utilizado atualmente sofreu inúmeras inovações com o passar dos séculos. Sua primeira aparição pode ser relacionada com a civilização romana, que durante a expansão de seu império buscaram soluções diferentes para os métodos construtivos da época, descobrindo e aplicando os primeiros exemplares do que viria a se denominar concreto de cimento hidráulico.

De acordo com Fusco (2012), a mistura aglomerante produzida pelos romanos, utilizava pozolanas naturais ou produzidas pela moagem de elementos calcinados como material aglomerante. A mistura da cal com adição de pozolanas, areia e água, resultava em uma reação química que causava o rápido endurecimento do material. O concreto a partir disso, foi amplamente utilizado em construções romanas, causando uma verdadeira evolução construtiva, possibilitando a execução de formas abobadadas, intensa utilização em arcos, fabricação de “blocos” para a construção de estradas e as plataformas de concreto para fundações.

A exemplo dessa evolução, estão as famosas obras como o Coliseu e o Pantheon, esse último detém uma abóbada, de 45 metros de diâmetro, construída com o concreto romano, obras que ultrapassaram milênios.

2.1.1 Concreto convencional

A tecnologia do concreto acabou caindo em “esquecimento” a partir da derrocada do império romano, as construções de grandes magnitudes e as inovações foram deixadas de lado, e o surgimento do feudalismo marcou o fim das grandes cidades, ocasionando a diminuição do crescimento urbano e utilização do material cimentício.

O concreto voltou a operar em alta em meados do século XVIII, com a patente do cimento Portland obtida em 1824 por Joseph Aspdin, um construtor de Leeds (Inglaterra). Tal cimento era produzido com base no aquecimento da mistura argilosa moída e calcário, colocados em fornos até que se extinguisse o CO₂, de modo que após o processo o aglomerante com a água formasse compostos de alta capacidade cimentícia (NEVILLE, 2016).

Segundo Neville (2013, p. 02) “a definição de concreto, no sentido mais amplo, se trata de qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante. Geralmente esse meio se trata do produto da reação entre um cimento hidráulico e água”.

Pedroso (2009) coloca em pauta alguns motivos para o uso tão disseminado do concreto. O primeiro se trata de sua alta resistência a água, visto a sua pouca deterioração quando se encontra em contato com o fluido, oposto do que ocorre com o aço e a madeira. O segundo é sua plasticidade, que quando dosado da maneira correta, possibilita a construção de obras magníficas e de diferentes formas. Além de outras vantagens, como a alta disponibilidade de matéria prima (cimento, brita, areia) e seu baixo custo de exploração e comercialização.

Entretanto, pontos devem ser considerados, limitações vinculadas ao concreto são amplamente conhecidas e observadas. Segundo Tezuko (1989 apud CORTEPASSI; CARBONARI, 2008, p.2953) “essas limitações são principalmente relacionadas ao peso próprio elevado, baixa resistência a tração e resistência a agentes químicos insuficiente”.

Desde a sua origem até o início da década de 1970, o concreto era uma mistura de agregados, cimento e água, sem que houvesse grandes inovações que proporcionassem mudanças significativas no desempenho de suas propriedades mecânicas. Entretanto, nas últimas décadas, uma grande evolução aconteceu nos métodos produtivos desse material, e principalmente aos estudos técnicos e aprimoramentos nos testes do concreto, assim como a utilização de novos materiais (ROSSIGNOLO, 2009).

Nessa proposta, a rápida evolução e o avanço significativo nos setores produtivos do concreto, se tornou indispensavelmente na aplicação de seus métodos construtivos, fez se necessário a utilização de novos materiais que solucionassem as necessidades das construções modernas (CORTEPASSI; CARBONARI, 2008).

2.2 CONCRETO LEVE

Os concretos leves apresentam uma massa específica baixa em relação aos concretos convencionais, devido a substituição de uma parcela de seus materiais sólidos por ar, geralmente variando entre 2000 kg/m³ a 2800 kg/m³. Classificados como concreto com agregados leves, concreto celular e concreto sem finos. (ROSSIGNOLO, 2009).

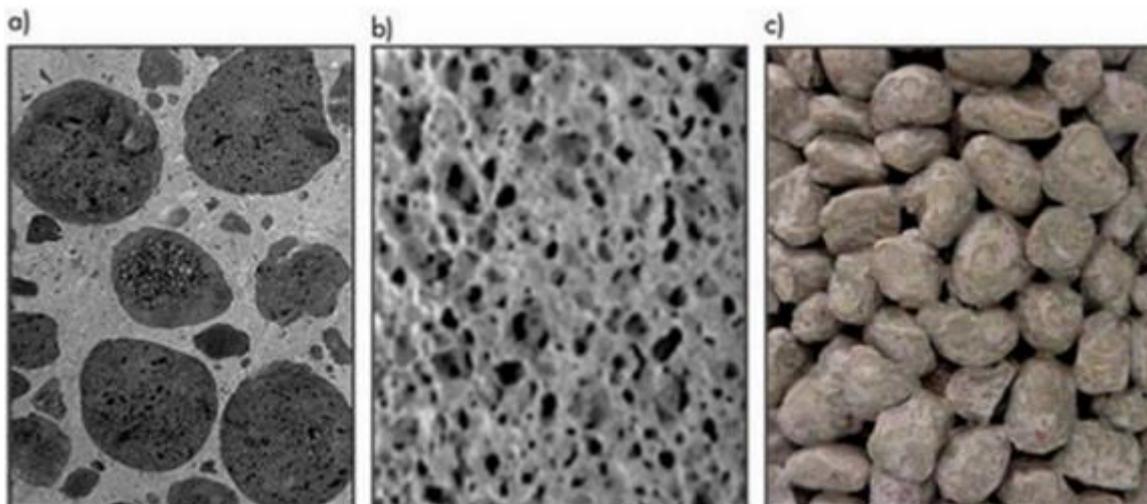
De acordo com Neville (2013, p.339), “os vários agregados leves disponíveis possibilitam uma alternância da massa específica do concreto variando de 300 até 1850 kg/m³ e com uma resistência mecânica que apresenta intervalo de 0,3 até valores acima dos 17 MPa”.

Os agregados leves são classificados conforme sua origem, sendo eles naturais ou artificiais. Os naturais são extraídos diretamente de jazidas e classificados conforme sua granulometria; e artificiais, produzidos a partir de procedimentos industrializados e classificados de acordo com a matéria prima utilizada e seus processos de produção (MAYCÁ et al., 2008 apud ANGELIN, 2014).

A partir da introdução de ar na massa cimentícia, pode se obter três tipos de concreto, podendo ser produzido de três formas:

- a) Inserindo agentes incorporadores de ar, que formam gases ou espumas estáveis, que ficam aprisionadas no interior da massa. Gerando dessa forma o concreto celular;
- b) Produzido somente com o material aglomerante (cimento) e o agregado graúdo (brita ou seixo), criando assim um material que apresente vazios entre a pasta cimentícia e o agregado, conhecido como concreto sem finos;
- c) Utilizando agregados leves, que apresentem em sua composição ar incorporado, fazendo a substituição completa ou parcial dos agregados convencionais pelos porosos. Denominados de concreto com agregado leve.

Figura 1 - Tipos de Concreto Leve: a) agregado leve, b) celular e c) sem finos.



Fonte: Rossignolo (2009).

Outra maneira de categorizar os concretos com agregados leves é conforme suas propriedades físicas e aplicabilidade. Conforme o ACI 213R (2003) são três classificações:

- a) Para emprego em concretos isolantes: o concreto produzido apresenta massa específica entre 300 kg/m^3 e 800 kg/m^3 e resistência mecânica desprezível;
- b) Para a fabricação de concretos com resistência média: nessa situação os concretos apresentam resistência à compressão em torno de 7 MPa e 17 MPa e não podem ser aplicados em funções estruturais;
- c) Para produção de concretos estruturais: o concreto apresenta boa resistência à compressão e, apresentam capacidade de aplicação estrutural.

2.3 PANORAMA HISTÓRICO

As primeiras aparições da utilização de concretos com agregados leves datam de aproximadamente 1100 a.C., onde construtores pré-colombianos, da região da atual cidade de El Tajin (México), produziram uma mistura de pedra-pomes com um material ligante a base de cinza vulcânica e cal, para a construção de elementos estruturais (ROSSIGNOLO, 2009).

Já nas primeiras aplicações do concreto leve utilizando o cimento Portland como agente aglomerante, ocorreu durante a ocorrência da Primeira Guerra Mundial, quando a American Emergency Fleet Bulding produziu embarcações com o concreto leve. Como é o caso do USS Selma, com seus 120 m de comprimento e 2000 m^3 de concreto leve com argila

expansiva, possuía valores de resistência a compressão na casa dos 38,5 MPa e massa específica de 1905 kg/m³ (ROSSIGNOLO, 2009).

Figura 2 - Navio USS Selma.



Fonte: Mack (2014).

A partir da década de 1960, o uso do CLE fora ampliado para a execução de edifícios de múltiplos pavimentos, como por exemplo, o Australia Square Tower (Austrália) em 1967, Park Regis (Austrália) em 1968, Standart Bank (África do Sul) em 1970 e o BMW Building (Alemanha) em 1972. E foi na segunda metade do século, que o concreto leve foi utilizado em uma das suas aplicações mais vantajosas, as construções pré-moldadas (ANGELIN, 2014).

Figura 3 – Australia Square



Fonte: Adan (2001).

Figura 4 – BMW Building

Fonte: Diego (2012).

No Brasil, a utilização dos concretos leves começou em meados da década de 1970, com a implementação de uma indústria de produção de agregados leves (argila expansiva) pelo Grupo Rabello e a Cinastina S.A (atual CINEXOAN S.A), com o intuito de produzir o insumo para a CINASA – Construção Industrializada Nacional, para a produção de elementos pré-fabricados leves (Angelin, 2014). Entre as construções que se destacam, estão o Rio Centro (Rio de Janeiro), o pavilhão de exposição de Anhembi (São Paulo), o edifício da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FEA) da USP e o hotel Grand Hyatt, em seus painéis da fachada (ROSSIGNOLO e AGNESINI, 2005 apud CÁTOIA, 2012).

Figura 5 - Pavilhão de Exposições do Anhembi

Fonte: Diego (2012).

Figura 6 - Hotel Grand Hyatt

Fonte: Hotéis.com (2021).

2.3.1 Poliestireno expandido novo e reciclado (EPS)

O poliestireno expansivo (EPS), no Brasil comercialmente conhecido como “isopor”, refere-se a um plástico rígido, obtido através da polimerização do estireno em água. Para a utilização específica, pérolas já expandidas são comercializadas, e são formadas por uma célula fechada que apresentam em sua composição 98% de ar e 2% de poliestireno. Desta forma, esse material ostenta baixa permeabilidade, não absorvem água, não são produtos contaminantes e são totalmente recicláveis (ABRAPEX, 2006 apud ÓZORIO, 2016).

De acordo com a NBR 11752/07 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 01) “o material se trata de um plástico celular rígido, de cor branca, fabricado pela expansão de pérolas pré-expandidas de poliestireno, moldadas em sua forma ou cortadas de blocos, produzidos por um processo contínuo ou descontínuo, fabricados de modo a retardar ou não as chamas”.

Inúmeras são as aplicações do EPS, e grande parcela do material é destinada para a construção civil. Utilizado para o preenchimento de lajes, forramento de ambientes, paredes termoacústicas, produção de concreto leve, entre outros. E seus rejeitos podem ser reaproveitados como matéria prima para a moldagem de novas placas, blocos, para drenagens pluviais, na aeração de substâncias para decomposição, e podem ser reutilizados na construção civil em alguns casos podem gerar energia elétrica através de sua combustão (TESSARI, 2006).

2.3.2 O concreto leve com EPS

O concreto leve com EPS é fabricado a partir da mistura com as devidas proporções, seguindo uma ordem específica e pré-dimensionada, aplicando as pérolas de poliestireno expandido (EPS) na argamassa de cimento, areia natural, água, aditivos, adições minerais, entre outros. Desenvolvido de maneira a assegurar a melhora na utilização e eficiência das atuais composições para a produção de concretos leves. (KERBAUY, 2011 apud ÓZORIO, 2016).

As construções envolvendo o poliestireno expandido, trazem a sustentabilidade para mais próximo nos canteiros de obras, fornecem rapidez e segurança, diminuem o consumo de matérias primas constituintes do concreto (areia e brita), reduzem o consumo de energia durante sua produção, transporte e execução da obra. Além de contribuir na racionalização de energia elétrica, devido a suas propriedades isolantes.

Figura 7 - Concreto com EPS



Fonte: Cátoia (2012).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O referencial teórico e parte dos resultados e discussões, se desenvolveram baseado nas pesquisas bibliográficas, utilizando variadas fontes, desde sites, artigos, livros, trabalhos de conclusão de cursos, dissertações e teses relacionados direta ou indiretamente ao tema debatido no projeto. Como especificado por Severino (2010, p.122) “a pesquisa bibliográfica

utiliza-se de dados ou de categorias teóricas já trabalhados por outros pesquisadores e devidamente registrados”, ou seja, por meio dos trabalhos antecedentes, busca-se o entendimento do que já fora descoberto e quais rumos a pesquisa vindoura irá seguir.

Para a pesquisa, tomou-se como base alguns autores, dentre eles João A. Rossignolo (2009); Thiago Cátoia (2012); Bianca Ozório (2016); Eduardo M. Cortelassi (2008); entre outros pesquisadores e estudantes.

Durante a realização de pesquisa foi possível a execução de parte dos experimentos requeridos, visto problemas encontrados com o maquinário do laboratório, portanto os dados relacionados a resistência a compressão dos corpos de prova partiram de ensaios de outros autores. E a partir do estudo de suas obras foi possível determinar a resistência máxima para o concreto leve com EPS e verificar sua aplicabilidade em edificações.

A pesquisa utilizou-se da abordagem quantitativa, possibilitando o desenvolvimento da teoria e a participação efetiva do pesquisador na realização do processo. O método quantitativo segundo Prodanov e Freitas (2013, p.69) “considera tudo que possa ser quantificável, o que significa traduzir em números, opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. E contará com a aplicação do método de pesquisa dedutivo, caracterizado pela objetividade, identificação e descrição detalhada do assunto.

3.1 PROCESSO EXPERIMENTAL

Os experimentos foram realizados no laboratório de engenharia da faculdade de Rolim de Moura – FAROL. Durante a execução do processo, foram produzidos corpos de prova utilizando cimento Portland, agregado miúdo (areia) e os agregados graúdos leves (pérolas de poliestireno expandido novo e EPS reciclado), materiais provenientes de compras pela internet e encontrados na cidade de Rolim de Moura - RO.

Os traços utilizados para a produção do concreto leve foram selecionados conforme a massa específica, 1300 kg/m³ e 1600 kg/m³ conforme mostrado na tabela 1, a opção de elaborar dois traços com intervalos de massas específicas, consiste em demonstrar a interferência da quantidade de EPS na mistura, e a diferença de peso entre os dois concretos.

Tabela 1 – Traços para o concreto leve com EPS.

Concreto leve de EPS com 50 kg de Cimento						
Massa Específica (Kg/m ³)	EPS (litros)	Adesivo (kg)	Água para Adesivo (litros)	Cimento (Kg)	Areia (litros)	Água Total (litros)
700	140	0,14	2,8	50	15	14,7
800	130	0,13	2,6	50	24	16
900	118	0,12	2,4	50	30	17
1000	109	-	-	50	39	22,5
1100	101	-	-	50	48	22,5
1200	95	-	-	50	60	22,8
1300	87	-	-	50	69	22,8
1400	80	-	-	50	80	23
1500	73	-	-	50	81	23
1600	65	-	-	50	102	23,3

Fonte: Adaptado do livro Manual de utilização de EPS na construção civil / ABRAPLEX – Associação Brasileira de Poliestireno Expandido. São Paulo: Pini, 2006.

E transpassando para as abreviações de traço do concreto, fica da seguinte forma T1 = 1:2,04:1,3:0,466 e T2 = 1:1,38:1,74:0,456 (cimento, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (EPS), água).

Para os corpos de prova produzidos em concreto convencional, o traço foi escolhido a partir do livro Manual de Traços de Concreto (SILVA, 1975), onde o autor estabelece um traço de 25 MPa para uso geral. E as proporções do traço ficaram da seguinte forma, T3 = 1:1,65:2,08:0,49.

A mistura do material ocorreu por meio do misturador betoneira. A inserção de ingredientes obedeceu a seguinte sequência: colocação do agregado miúdo juntamente com o EPS e metade da quantidade de água estipulada, após homogeneização é inserido o cimento e o restante da água de amassamento.

Antes da realização da moldagem dos corpos de prova foi realizado o ensaio de trabalhabilidade da mistura, definida por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone, o Slump Test, de acordo com a NBR 16889 (2020).

Imagem 1 – Slump Test

Fonte: Próprio Autor, 2022.

As moldagens foram realizadas conforme a NBR 5738:2015, com adensamento manual para os corpos de prova e estes em formato cilíndrico com dimensões de 10 cm de diâmetros e 20 cm de altura (10x20 cm).

Imagem 2 – Moldagem do corpo de prova.



Fonte: Próprio Autor, 2022.

A retirada dos corpos de prova de suas formas foi realizada 24 horas após a moldagem e em seguida encaminhados para cura úmida com período de 28 dias. Após a cura, os corpos passaram por testes de determinação do índice de absorção de água e de massa específica.

A determinação do índice de absorção de água e da massa específica dos corpos de prova, seguiu os passos determinados em norma, utilizando como base a NBR 9778:2005, onde é realizado a pesagem do corpo de prova saturado e seco após 72 h em estufa.

Conforme os resultados encontrados, para calcular a absorção de água, utilizou-se as fórmulas descritas abaixo:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100$$

Onde:

A = absorção de água;

m_{sat} = massa da amostra saturada;

m_s = massa da amostra seca.

E para a determinação da massa específica, faz-se o uso da seguinte fórmula, de acordo com a norma regulamentadora brasileira:

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i}$$

Onde:

ρ_s = massa específica seca;

m_s = massa da amostra seca;

m_{sat} = massa da amostra saturada;

m_i = massa da amostra imersa em água.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

A resistência à compressão e a massa específica se trata das propriedades mais importantes na caracterização dos concretos leves, e dependem do agregado utilizado. Além disso, essas propriedades estão relacionadas com a granulometria, visto que massa específica dos agregados leves é inversamente proporcional à sua dimensão.

A autora Ozório (2016), dispõe em seu estudo um serie de traços e a revisão deles, a fim de propiciar o alcance de uma resistência satisfatória e usual do concreto leve. Como pode ser observado na tabela 5 abaixo, onde é apresentado o traço 1 e as respectivas propriedades mecânicas encontradas pela pesquisa.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios com corpos de prova, com ênfase a resistência a compressão

TRAÇO I	Proporção - 1:1:1:0,28:0,7% (cimento, agregado miúdo, EPS, relação água/cimento e aditivo: Viapol – Plastol 4685)				
CP	Massa aparente (kg/m³)	Carga (kN)	Tensão (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	
1	1457,5	114,8	14,6	Dinâmico	Estático
Resistência à compressão: 1 dia	1457,5	114,8	14,6		
2	1451,9	138,5	17,6		
3	1456,8	137,6	17,5		
Resistência à compressão: 7 dias	1454,3	138,1	17,6		
4	1469,3	150,7	19,2		
5	1431,4	163,9	20,9	13,8	---
Resistência à compressão: 28 dias	1450,4	157,3	20,0	14,5	---

Fonte: OZÓRIO, 2016.

O procedimento realizado acima testou a resistência mecânica de corpos de prova com perolas de EPS. E Foi constatado que os corpos produzidos com EPS utilizando o traço mencionado acima, com a cura completa (28 dias) alcançaram resultados satisfatórios quanto a resistência a compressão (destacado a média de 20 MPa).

Para o segundo traço foi adicionado mais EPS a massa de concreto e consequentemente a relação água/cimento aumentou, de forma que os resultados relatados variassem quanto ao primeiro traço. Como pode ser verificado nos dados tabelados abaixo.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios com corpos de prova, com ênfase a resistência a compressão

TRAÇO II	Proporção - 1:1:1,15:0,31:0,8% (cimento, agregado miúdo, EPS, relação água/cimento e aditivo: Viapol – Plastol 4685)				
CP	Massa aparente (kg/m³)	Carga (kN)	Tensão (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	
1	1358,4	64,1	8,2	Dinâmico	Estático
Resistência à compressão: 1 dia	1358,4	64,1	8,2		
2	1180,3	88,0	11,2		
3	1407,1	96,8	12,3		
Resistência à compressão: 7 dias	1293,7	92,4	11,8		
4	1251,4	96,6	12,3		
5	1256,8	96,5	12,3	10,2	---
6	1193,5	97,4	12,4	9,7	---
Resistência à compressão: 28 dias	1233,9	96,8	12,3	10,0	---
7	1222,6	87,4	11,1	9,6	11,6
8	1206,5	93,8	11,9	9,2	10,8

Fonte: OZÓRIO, 2016.

Pode-se ver uma considerável diminuição de resistência a compressão (11,9 MPa) do concreto leve, porém fica claro a diferença em comparação com a massa específica, aproximadamente 200 kg/m³ mais “leve” que os corpos produzidos com o traço anterior. Existe uma correlação entre o agregado leve (EPS) e as propriedades mecânicas do concreto, quanto maior a porcentagem de agregado menor a resistência do concreto e sua massa específica.

A mesma situação pode ser observada na pesquisa de Cátoia (2012), onde o autor faz o uso do poliestireno expansivo na mistura do concreto em substituição da brita e busca por meio de ensaios mecânicos, verificar a aplicação do concreto leve em elementos estruturais. A tabela 4 demonstra os resultados dos ensaios e a correlação com o tempo de cura.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios com corpos de prova

Características		Unidades	Concretos		
			A	B	C
Estado Fresco	γ_f	kg/m ³	1209	1272	1373
1 dia	γ_1	kg/m ³	1195	1263	1325
	f_{c1}	MPa	7,8	8,7	9,3
	FE_1	MPa.dm ³ /kg	6,5	6,9	7,0
7 dias	γ_7	kg/m ³	1140	1268	1328
	f_{c7}	MPa	10,2	14,4	14,3
	FE_7	MPa.dm ³ /kg	8,9	11,4	10,8
28 dias	γ_{28}	kg/m ³	1191	1279	1355
	f_{cm}	MPa	13,3	15,9	17,2
		Desvio padrão	1,13	0,91	0,26
	FE_{28}	MPa.dm ³ /kg	11,2	12,4	12,7
	$f_{ck,est}$	MPa	11,4*	14,4	16,8*
	ϵ_{cc}	mm/m	1,99	1,93	1,88
	E_{ci}	GPa	8,98	11,36	12,17
		Desvio padrão	0,80	0,95	0,57
	E_{cs}	GPa	8,08	10,08	11,02
		Desvio padrão	0,85	0,44	0,48
$f_{ctm,sp}$	MPa	1,04	1,11	1,35	
	Desvio padrão	0,13	0,14	0,26	

Fonte: CATÓIA, 2012.

É possível verificar que o maior valor de resistência a compressão encontrado foi de 16,8 MPa, contando com uma massa específica de 1355 Kg/m³. Para os 3 concretos ensaiados, os valores para a resistência a compressão e a massa específica do material são

satisfatórios, visto que os concretos resistem a esforços consideráveis e ainda continuam abaixo dos 2000 kg/m³ de massa específica descrito pela ABNT NBR 8953/2015 para concretos leves.

As autoras Moraes e Lima (2019) realizaram a pesquisa do concreto leve com EPS associado a brita. A tabela 05 correlaciona os corpos de prova produzidos com o concreto convencional e o EPS (25%, 50%, 75% e 100% de substituição da brita pelo EPS) e dispõe os valores encontrados pelos ensaios em MPa.

Tabela 5 – Resultados à compressão de acordo com a idade de cada corpo de prova

%	CP	28 DIAS	unidade	21 DIAS	unidade	14 DIAS	unidade	7 DIAS	unidade
CONV.	1	28,01	Mpa	17,52	Mpa	13,45	Mpa	9,67	Mpa
	2	27,89	Mpa	17,68	Mpa	14,78	Mpa	10,03	Mpa
	3	27,59	Mpa	18,23	Mpa	15,91	Mpa	11,17	Mpa
	4	28,19	Mpa	19,01	Mpa	16,54	Mpa	12,9	Mpa
25% EPS	1	13,12	Mpa	14,77	Mpa	9,73	Mpa	8,3	Mpa
	2	14,76	Mpa	12,11	Mpa	13,82	Mpa	7,07	Mpa
	3	14,82	Mpa	13,77	Mpa	9,42	Mpa	7,3	Mpa
	4	16,91	Mpa	11,07	Mpa	6,12	Mpa	7,65	Mpa
50% EPS	1	5,94	Mpa	7,52	Mpa	8,62	Mpa	6,17	Mpa
	2	8,05	Mpa	9,7	Mpa	9,22	Mpa	6,96	Mpa
	3	7,07	Mpa	8,76	Mpa	6,97	Mpa	6,6	Mpa
	4	7,16	Mpa	7,43	Mpa	8,19	Mpa	6,59	Mpa
75% EPS	1	7,24	Mpa	6,25	Mpa	4,73	Mpa	4,58	Mpa
	2	6,88	Mpa	6,54	Mpa	4,24	Mpa	3,88	Mpa
	3	6,73	Mpa	5,84	Mpa	4,48	Mpa	4,05	Mpa
	4	7,11	Mpa	4,95	Mpa	4,07	Mpa	3,95	Mpa
100% EPS	1	6,39	Mpa	3,72	Mpa	3,27	Mpa	4,3	Mpa
	2	6,58	Mpa	3,99	Mpa	2,71	Mpa	4,26	Mpa
	3	6,25	Mpa	3,50	Mpa	3,15	Mpa	4,02	Mpa
	4	7,29	Mpa	3,83	Mpa	3,24	Mpa	4,27	Mpa

Fonte: MORAIS e LIMA, 2019.

Dentre os dados, a porcentagem de menor concentração de EPS mostrou-se mais eficaz perante a resistência a compressão com valores de 16,91 MPa para o 4º corpo de prova com 25% de EPS em sua composição.

A resistência do concreto leve fica submetida a valores abaixo dos recomendáveis nas normativas brasileiras, se caracterizando como concreto leve sem fins estruturais, onde sua resistência fica em torno de 7 a 17 MPa. Para o seguimento correto da NBR 6118:2014, o mínimo de resistência característica deveria ser de 20 MPa. Conforme tabela mostrada abaixo.

Tabela 6 – Relação entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (2014).

4.2 TRABALHABILIDADE

A tabela 6 apresenta os resultados do *slump test* para os corpos de prova.

Tabela 7 – Abatimento do tronco do cone (cm)

NM 67: 1998	
Concretos	Abatimento do cone (cm)
CP I - TC	14
CPL II - T1	11
CPL III - T2	10

Fonte: Próprio autor (2022).

Conforme aumenta a porcentagem de presença de EPS na massa, pode-se notar uma diminuição do abatimento de tronco de cone da mistura, o CP I em concreto convencional apresenta uma diferença de 4 cm para o CP III com traço em concreto com EPS em maior porcentagem. E a partir disso é possível verificar a diminuição da massa específica do concreto leve, entretanto essa característica não interfere na trabalhabilidade da mistura, visto que a diminuição dos valores é devida à menor deformação do concreto leve pela ação da gravidade.

4.3 MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA

Na tabela 7 está representado os valores relacionados a massa específica e absorção de água do concreto leve e concreto convencional, de acordo com seus respectivos traços.

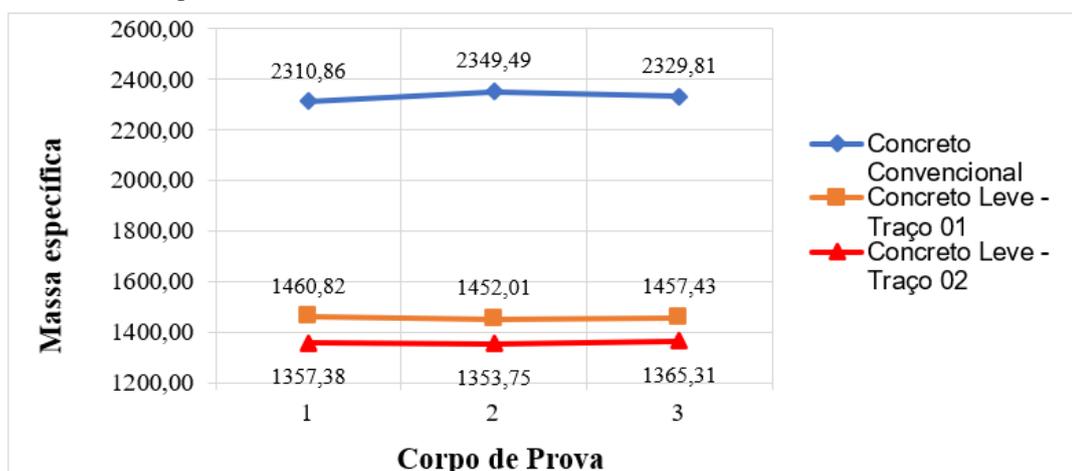
Tabela 8 – Massa específica e absorção de água dos concretos

Corpo de prova	Massa específica (kg/m ³)	Absorção de água (%)
Traço 01		
CP 1L - T1	1460,82	6,84%
CP 2L - T1	1452,01	6,85%
CP 3L - T1	1457,43	7,06%
<i>Média</i>	<i>1456,8</i>	<i>6,91%</i>
Traço 02		
CP 4L - T2	1357,38	7,17%
CP 5L - T2	1353,75	7,21%
CP 6L - T2	1365,31	7,52%
<i>Média</i>	<i>1358,8</i>	<i>7,30%</i>
Traço Convencional		
CP 7L - T3	2310,86	3,59%
CP 8L - T3	2349,49	4,13%
CP 9L - T3	2329,81	4,01%
<i>Média</i>	<i>2330,1</i>	<i>3,91%</i>

Fonte: Próprio Autor (2022).

No gráfico 1 demonstra-se os resultados de massa específica dos corpos de prova de concreto leve e concreto convencional, onde é visível a diferença entre os concretos.

Gráfico 1 – Massa Específica



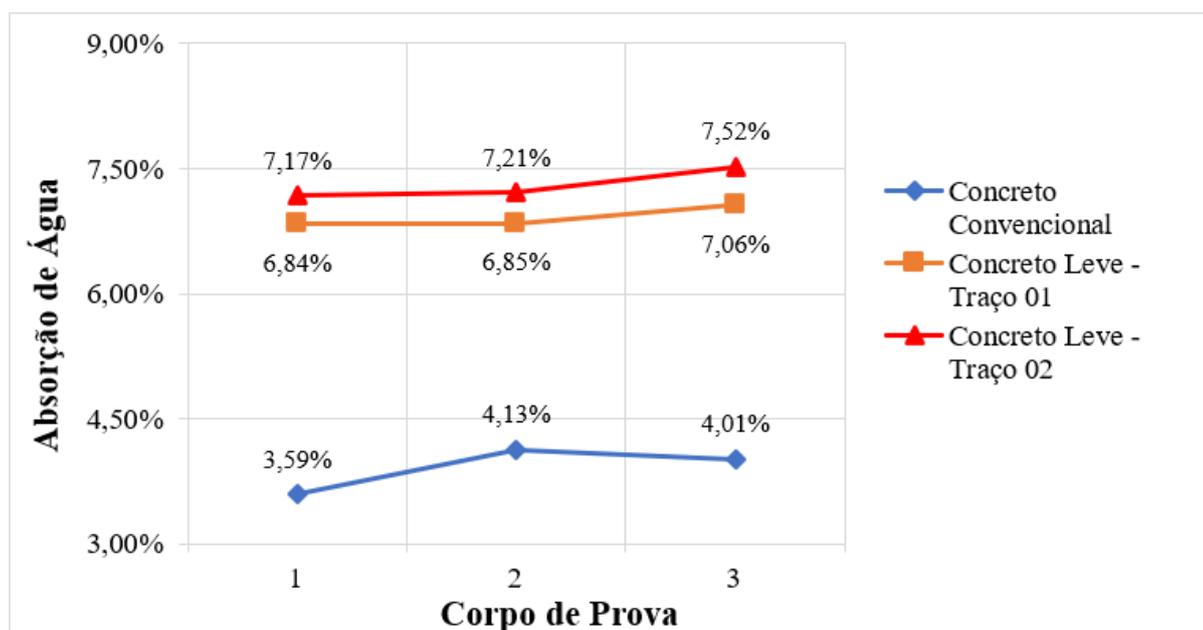
Fonte: Próprio Autor (2022).

O concreto leve, em média, possui sua massa específica 40% inferior à do concreto convencional, demonstrando que as pérolas de EPS foram as responsáveis pela diminuição.

Os valores são expressivos, podendo chegar a uma diferença próxima de 1000 kg/m³ no peso dos dois concretos, e a principal característica dos agregados leves se trata da diminuição da massa específica para aplicação do concreto nas construções. Ouve uma pequena variação nos valores quanto ao estipulado pelo traço da fabricante, visto que os traços escolhidos estavam relacionados a quantidade de EPS e o alcance da massa específica estipulada, que para T1 era de 1600 kg/m³ e T2 1300 kg/m³, entretanto alcançaram as expectativas quanto a classificação de concretos leves.

O gráfico 2 informa os valores coletados sobre a absorção de água dos corpos de prova com concreto convencional e concreto leve.

Gráfico 2 – Absorção de água



Fonte: Próprio Autor, 2022.

Os concretos leves se apresentam como mais passíveis de absorverem água, principalmente pela inserção de vazios na mistura, visto que o poliestireno possui em sua composição 98% de ar e 2% de poliestireno, aproximadamente 55% superior a absorção do concreto convencional.

Entretanto, os valores expostos ainda são menores quando comparados com outros agregados leves, como a argila por exemplo. O índice de absorção pode também estar

relacionado ao tipo de EPS utilizado e ao tamanho de suas pérolas, assim como sua densidade, e ainda devido à falta de aderência do EPS com a pasta de cimento, ocasionando um vazio no entorno do agregado, o que pode facilitar a absorção e permeabilidade da água. E essa absorção mais elevada pode vir a se tornar um fator limitante quanto a aplicação do concreto leve em estruturas expostas, em caso de inexistência de tratamento superficial.

4.4 CONCRETO CONVENCIONAL VERSUS CONCRETO LEVE

O concreto convencional como elemento construtivo se comporta bem perante inúmeras situações, apresenta grande resistência mecânica, a durabilidade é enorme e sua versatilidade diversa, podendo ser utilizado em pequenas residências e barracões até obras de “faraônicas” como prédios, barragens e pontes. Entretanto, outras propriedades devem ser observadas, o peso da estrutura, principalmente o consumo de matéria prima (cimento, brita, areia, madeira etc.), e a disponibilidade de solo adequado, e o tempo de execução e entre outros. Questões que em diversos casos tornam a aplicação desse método construtivo inviável.

O agregado leve detém um poder de utilização enorme na construção civil, independentemente de sua origem ou de qual matéria prima ele é extraído (EPS, argila, espuma, pedra pomes), podendo ser aplicado como material termoacústico, como vedação e preenchimento e ainda adicionado a mistura cimentícia como agregado graúdo.

Os resultados expostos para algumas propriedades do concreto leve, mostram sua capacidade de manuseio e funcionalidade, é certo a diminuição da massa específica do concreto, a redução da absorção de água e em casos específicos o alcance de resistências a compressão significativas. Além de proporcionar maior durabilidade aos elementos fabricados e inclusive proporcionar o ato da sustentabilidade de uma obra ou um sistema construtivo, possibilitando a diminuição no consumo das matérias primas, e proporcionando a reciclagem de insumos utilizados nas construções.

4.4.1 Vantagens e desvantagens

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens do concreto leve e convencional.

Concreto	Vantagens	Desvantagens
Leve	<p>Diminuição da massa específica Redução dos esforços nas estruturas e fundação; Redução no custo da hora de seu transporte e montagem; Facilidade de execução; Elevado isolamento termoacústico; Facilita no design das estruturas; Alta durabilidade; Material Sustentável.</p>	<p>Baixa resistência a compressão; Falta de interação entre a fabricante e o consumidor; Pouca oferta de material específico para o uso na construção; Restrições a fins estruturais.</p>
Convencional	<p>Disponibilidade de materiais; Mão de obra abundante; Resistência a água; Alta resistência mecânica; Resistência ao fogo, tempo, choques e vibrações.</p>	<p>Peso próprio da estrutura; Tempo de execução da obra; Grande quantidade de mão de obra e materiais; Pouco ecológica; Alto consumo de aço devido ao peso próprio; Seção de elementos estruturais enormes; Altos custos de demolição.</p>

Fonte: Próprio Autor, 2022.

4.4.2 Aplicabilidade

A utilização do concreto leve induz a uma diminuição de 50% nos esforços acumulados nas estruturas (paredes, pisos, mobiliário), proporcionando uma economia nas fôrmas e cimbramentos, diminuição nos valores de transporte e montagem de edificações pré-fabricadas (OZÓRIO, 2016).

Além disso, a aplicação de uma alvenaria, com o uso de painéis de concreto leve com EPS em edifícios multipavimentos, se propõe a reduzir a carga sobre a estrutura em cerca de 20%, causando conseqüentemente uma redução de 18% na armadura utilizadas nas peças, sem que haja a alteração no volume de concreto presente e na quantidade de pilares.

Existem diversas aplicações para a mistura, podendo ser utilizada para: elementos pré-moldados / pré-fabricados, elementos de isolamento acústico e/ou térmicos, resistentes a propagação de fogo, painéis de fechamento (vedação), blocos de concreto, pavimentos (calçadas, pisos residenciais e estacionamento), regularização de lajes, execução de lajes de fechamento e podendo ser aplicado em áreas de lazer.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por uma forma de aplicação do desenvolvimento sustentável, assim como a prática da eficiência e economia no modelo construtivo tradicional, fez com que a presente pesquisa analisasse a manipulação do concreto tradicional, de modo que sua composição fosse alterada para a aplicação de EPS e quais as consequências resultantes de tal substituição.

Foi possível verificar a influência do agregado leve na trabalhabilidade do concreto, onde os valores variaram conforme aplicação de EPS, cerca de 4 cm para o convencional, sendo a mistura classificada com de baixa trabalhabilidade, podendo estar relacionado à absorção de água pelas pérolas de EPS.

Constatou-se a diminuição expressiva da massa específica dos concretos, onde os valores encontrados ficaram abaixo de 1680 kg/m³, máximo estipulado pela ABNT NM 35:1995, se alocando em média no intervalo de 1350 a 1460 kg/m³. E é notável que quanto maior a aplicação de EPS maior a absorção de água pela mistura, chegando a ser 55% maior a absorção dos corpos de prova de concreto leve.

Conforme os resultados, é plausível a não aplicação do concreto com EPS para elementos estruturais, visto os valores estipulado pela NBR 6118:2014 e NBR 8953:2015, onde a resistência mínima para elementos estruturais é de 20 MPa, para que os concretos resistentes a classe de agressividade mínima e para elementos estruturais em concreto armado. Tornando o concreto leve com EPS

Devido a problemas encontrados nos maquinários do laboratório durante a fabricação dos corpos de prova e a execução dos ensaios, não foi possível verificar a resistência a compressão do concreto leve com o poliestireno expansível e consequentemente a comparação com o concreto convencional. Portanto, a parte relacionada a resistência fora escrita baseada nos resultados encontrados nos testes de autores que realizaram estudos aprofundados sobre o concreto com EPS e expuseram a comunidade, a fim de informar e proporcionar formas sustentáveis e eficientes de se trabalhar o concreto com elementos especiais.

A utilização do EPS como agregado leve parte da proposta de que se pode produzir novos métodos e tecnologias que mudem a utilização do concreto, visando tornar essa mistura mais sustentável e eficiente. E a partir da aplicação do EPS, reduziria em parte a quantidades de resíduos gerados nas obras, ao mesmo tempo que proporcionaria ideias de também dar fim

a outros materiais que iriam para o lixo e que podem se tornar agregados ou serem reciclados, a fim de tornar as obras mais sustentáveis, econômicas e seguras.

Para a realização de pesquisas futuras, é necessário realizar ajustes nos traços e na granulometria do agregado leve, assim como o controle do fator água e cimento da mistura, que é essencial para o alcance de sua resistência, e conseqüentemente a utilização de aditivos redutores de água, medidas que podem auxiliar na difusão do concreto com EPS e na diversificação de suas finalidades.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Guide for structural lightweight aggregate concrete. ACI 213R-03. USA, 1999.

ANGELIN, A. F. Concreto leve estrutural – Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais. Limeira, 2014. Dissertação – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, 126p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO (ABRAPEX). Manual da utilização de EPS na construção civil. São Paulo: Pini, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 35: Agregados leves para o concreto estrutural. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto: procedimentos de moldagem e cura de corpos de prova. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: Concretos para fins estruturais – Classificação pela massa específica e consistência. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. 2014.

BARBAR, J. S. Influência do teor de ar incorporado no desempenho de concreto com diferentes teores de agregados. São Carlos, 2016. Tese – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 151p

CORTELASSI, E. M.; CARBONARI, B. M. T. Concretos espumosos de alto desempenho – Avaliação do comportamento de durabilidade. Guimarães, 2008. Encontro nacional betão estrutural. Disponível em: <http://www.hms.civil.uminho.pt/events/be2008/143.pdf>. Acesso em: 20 de outubro de 2021.

CÁTOIA, T. Concreto ultraleve estrutural com pérolas de EPS: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes. Tese – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

FUSCO, P. B. Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados. 2. ed. São Paulo: Pini, 2012.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002, p. 48.

MORAIS, B. S. LIMA, D.M.F. Poliestireno expandido na construção civil: concreto leve com pérolas de EPS. Trabalho de conclusão de curso. Universidade de São Francisco. Bragança Paulista, 2019.

NEVILLE, A. M. ADAM, M. Propriedades do concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OZÓRIO, B. P. M. Concreto leve com pérolas de EPS: estudo de dosagens e de características mecânicas. São Paulo, 2016. Tese – Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 156p.

PEDROSO, L. F. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Revista concreto e construções – São Paulo IBRACON: 2009, p.14.

PRODANOV, C. C. FREITAS, E. C. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Editora Freevale, 2013, p. 69.

ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações. São Paulo: Pini, 2009.

SEVERINO, A. J. Metodologia do trabalho científico. 23. ed. São Paulo: Editora Cortez, 2010, p.122.

SILVA, G.R. Manual de traços de concreto. São Paulo: Nobel, 1975. 113p.

TESSARI, J. Utilização do poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos pela construção civil. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006, 102p.

Recebido para publicação em junho de 2023.
Aprovado para publicação em agosto de 2023.