

## SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO GRAÚDO NATURAL POR POLIESTIRENO EXPANDIDO: CONCRETO LEVE

### SUBSTITUTION OF NATURAL COARSE AGGREGATE BY EXPANDED POLYSTYRENE: LIGHTWEIGHT CONCRETE

### SUSTITUCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO NATURAL POR POLIESTIRENO EXPANDIDO: HORMIGÓN LIGERO

João Paulo Anselmo Churocof<sup>1</sup>

**RESUMO:** A prevenção quanto a extinção da natureza, seja de qual for o tipo, se encontra, no caso da construção civil, na utilização de novos métodos quanto a forma de se construir. Uns dos métodos que sugiro nesse artigo científico, é a substituição do agregado graúdo, comumente conhecido como brita, por poliestireno expandido (EPS) na fabricação do concreto. Não é segredo de que o concreto, fabricado na sua forma popular, é o produto mais consumido em muitos tipos de construção. A utilização do poliestireno expandido é bastante adequada quando não utilizada como um elemento estrutural, devido a sua baixa resistência à compressão diante o concreto produzido popularmente com água potável, agregado miúdo, agregado graúdo e cimento Portland. No entanto, utilizando o poliestireno expansível como agregado graúdo, obtive resultados satisfatórios quanto a redução da massa específica, isolamento térmico e acústico, além de um desempenho bem superior quanto absorção por capilaridade.

358

**Palavras-chave:** Concreto Leve. Construção Civil. Materiais não Estruturais.

**ABSTRACT:** The prevention of the extinction of nature, whatever the type, is found, in the case of civil construction, in the use of new methods as to how to build. One of the methods that I suggest in this scientific article is the replacement of coarse aggregate, commonly known as gravel, by expanded polystyrene (EPS) in the manufacture of concrete. It is no secret that concrete, manufactured in its popular form, is the most consumed product in many types of construction. The use of expanded polystyrene is quite suitable when not used as a structural element, due to its low resistance to compression in face of concrete popularly produced with drinking water, fine aggregate, coarse aggregate and Portland cement. However, using the expandable polystyrene as coarse aggregate, I obtained satisfactory results regarding the reduction of specific mass, thermal and acoustic insulation, besides a much better performance as capillary absorption.

**Keywords:** Lightweight Concrete. Civil Construction. Non-structural Materials.

---

<sup>1</sup>Pós- Graduado em Engenharia Civil Residencial, Industrial e Especiais pela FACULDADE FUTURA- Campus Votuporanga ORCID: 0000-0003-1902-4339 Sócio Proprietário da Proyekt Gestão e Projetos.

**RESUMEN:** La evitación de la extinción de la naturaleza, sea del tipo que sea, se encuentra, en el caso de la construcción civil, en la utilización de nuevos métodos en cuanto a la forma de construir. Uno de los métodos que sugiero en este artículo científico es la sustitución del árido grueso, comúnmente conocido como grava, por poliestireno expandido (EPS) en la fabricación del hormigón. No es ningún secreto que el hormigón, fabricado en su forma popular, es el producto más demandado en muchos tipos de construcción. El uso de poliestireno expandido es bastante conveniente cuando não se utiliza como elemento estructural, debido a su baja resistencia a la compresión frente al hormigón popularmente producido con agua potable, árido fino, árido grueso y cemento Portland. Sin embargo, utilizando el poliestireno expandible como agregado grueso, obtuve resultados satisfactorios en cuanto a la reducción de la masa específica, el aislamiento térmico y acústico, además de un desempeño mucho mejor como absorción capilar.

**Palabras-clave:** Hormigón ligero. Construcción civil. Materiales no estructurales.

## INTRODUÇÃO

### OBJETIVO

O trabalho com o concreto é comum e muito difundido na indústria da construção civil, porém a sua utilização, muitas das vezes, ocorre para o nivelamento de pisos, arquitetônico e embonecamento de canalizações. Por este motivo, a necessidade de redução das cargas sobre as estruturas se faz presentes em muitos aspectos da construção civil, além é claro da redução financeira necessário num mundo que vive ao fantasma da recessão econômica. Por tais motivos se faz importante o estudo da utilização do concreto leve em muitas fases de uma construção devido principalmente à redução financeira de uma obra e redução da exploração mineral, conservando assim a nossa fauna e flora. Com os devidos estudos, hoje podemos com segurança buscar alternativas sustentáveis e financeiramente competitivas quanto à utilização do concreto, essa preocupação se faz válida, pois o setor da construção civil é o setor que mais se utiliza dos minerais conhecidos como agregado graúdo e agregado miúdo. Rossignolo (2009) aprova a utilização do poliestireno expandido na fabricação do concreto na indústria da construção civil, tanto pelo fato de diminuição da massa específica distribuída ser menor sobre as estruturas, quanto a propriedade térmica e acústica. Quando falamos de baixa massa específica do concreto que se utiliza do poliestireno expandido, estamos falando de uma redução de 80% de quilograma por metro cúbico. E o concreto fabricado com poliestireno

expandido como agregado graúdo tem uma resistência considerável quando comparado ao concreto que normalmente conhecemos, possui uma ótima durabilidade, baixa densidade e um custo competitivo quando comparado ao concreto fabricado com agregados miúdos e graúdos.

## IMPACTOS AMBIENTAIS

É óbvio que a mineração contribui muito para o desenvolvimento social e econômico ao redor do mundo. Porém essa atividade vem se intensificando cada vez mais e em muitos locais tal atividade gera, gerou ou gerará danos irreversíveis ao meio ambiente, pois é sabido de que as riquezas minerais não são renováveis (DASMACENO, 2017). Isso comento de início, pois ainda há a degradação hidrológica. Sabemos que ainda a indústria da construção civil não se sustenta sem o consumo de recursos naturais como agregados graúdos e miúdos e devido ao aumento gradativo de restrições para extração de tais recursos naturais se faz urgente a busca de novas tecnologias e fontes alternativas para substituição de agregados, no caso desse estudo, o agregado graúdo (Guacelli, 2010).

A utilização de novas tecnologias se faz necessária, para a fabricação do concreto, hoje mais do nunca, pois dessa forma poderemos evitar impactos irreversíveis sobre primeiro, o meio físico como água, solo e ar, e o meio biótico e antrópico.

Claramente que há as extrações legais que devem continuar a serem fiscalizadas no rigor da lei e assim compensar e evitar riscos futuros, operando com responsabilidade a atividade de mineração.

## O CONCRETO LEVE

Um das características mais conhecidas do concreto leve é sua baixa massa específica por quilograma por metro cúbico, combinado com sua capacidade inerente de isolamento térmico e isolamento acústico.

Claro que sua fabricação ocorre com insumos leves, que veremos logo mais a frente nesse estudo. As vantagens da utilização do concreto leve, quando não há necessidade de resistência à grandes esforços estruturais, além do conforto térmico e acústico, é a redução financeira referente aos custos e peso sobre as estruturas, destacando-se a baixa permeabilidade. Ressalto que busco com o concreto leve uma

redução da massa específica de quilograma por metro cúbico, e não resistência. Então, quando não há a exigência de grandes esforços, o concreto leve pode ser utilizado buscando suas outras qualidades, outrora já mencionadas.

Destaco que para a utilização desse tipo de concreto é imprescindível o conhecimento técnico tanto quanto a aplicação do material quanto a alteração de resistência mecânica, condutividade térmica, durabilidade, trabalhabilidade, entre outras, pois as alterações na sua propriedade são inevitáveis (ROSSIGNOLO, 2009).

Podemos produzir o concreto leve utilizando vários materiais, porém nesse estudo em específico, trataremos da utilização de material poroso leve, ou poliestireno expandido, que é constituído somente 2% de material plástico e 98% de ar.

## **SOBRE O EPS – POLIESTIRENO EXPANDIDO**

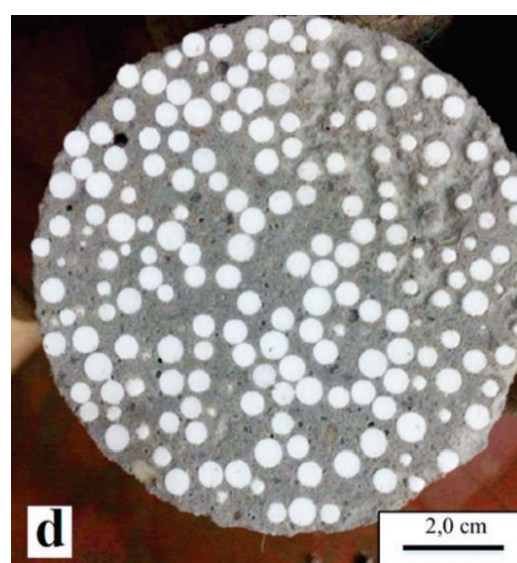
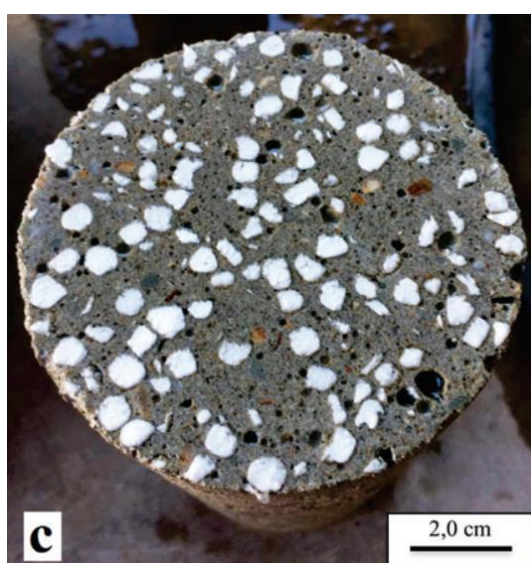
O EPS vem sendo utilizado de diversas maneiras na construção civil, segundo a Associação Brasileira do Poliestireno Expandido (2018) pode-se destacar: peças pré-moldadas sem função estrutural, base para calçamento, contrapisos. Isso se dá devido pelo fato de o Poliestireno Expandido ser:

- 100% reciclável,
- isolante,
- leve,
- resistente
- Inerte, Inodoro e Atóxico
- Não apresenta risco ao meio ambiente em contato com o solo
- Fungos e bactérias não se proliferam no EPS

A utilização do poliestireno expandido pode ser entremeada com o concreto convencional, aumentando, quando necessário, sua resistência final, no entanto mantendo as características de impermeabilidade, conforto térmico e acústico e baixa massa específica.

Nessa pesquisa, utilizei o poliestireno expandido de duas formas, uma encontrada facilmente no mercado, que é a forma em pérolas, e o reciclado.

**Figuras 1 – Formato dos Corpos de Provas obtidos**



Fonte: Autor

## PRODUÇÃO DO CONCRETO LEVE

A fabricação do concreto leve se utiliza do mesmo *modus operandi* que o concreto convencional, dando as devidas atenções as dosagens como de relação água/cimento, podendo ser produzido por meios mecânico ou manuais. Mas o cuidado da relação água/cimento é muito importante, principalmente para o transporte do produto em seu

estado fresco, pois durante o transporte, pode haver a flutuação do agregado poliestireno expandido para a nata do concreto.

Então para evitar que essa não conformidade ocorra é importantíssimo que se faça o devido estudo para que o concreto tenha a consistência adequada, cuidando principalmente do fator água/cimento (ANGELIN, 2014). O lançamento do concreto na estrutura deve ocorrer de modo direto às formas ou por meio de bombeamento.

Pelo fato de haver valores menores correspondentes a massa específica do agregado leve, poliestireno expandido, deve-se ser utilizado as formas usuais de adensamento do concreto, contudo, exigindo uma maior energia de vibração, a fim de se evitar a flutuação dele.

Quanto ao processo de cura do concreto leve, é correlato ao do concreto convencional, sendo necessário a hidratação constante do concreto para o processo de cura ocorra de forma correta, evitando assim a formação de fissuras ocasionadas pela cura acelerado do concreto (ROSSIGNOLO, 2009).

Mesmo sendo o poliestireno expandido um material de baixa densidade, ele apresenta uma facilidade no seu manuseio quando a dispersão no concreto. Conforme demonstrado na figura 1 – C/D, é possível ver a olho nu as partículas do poliestireno expandido, tanto em pérolas (IMAGEM D) quanto o reciclado (IMAGEM C).

É de conhecimento que o concreto fresco é assim denominado entre 1 a 5 horas desde a sua produção, pois nesse período o concreto consegue ser misturado, transportado, lançado e adensado adequadamente. O concreto leve possui as mesmas características influenciadoras que o concreto convencional quanto as suas propriedades: homogeneidade, consistência e trabalhabilidade.

A consistência se diz respeito a fluidez do produto enquanto fresco e sua trabalhabilidade. Não obstante, essa consistência pode ser modificada conforme a quantidade de água utilizado na sua fabricação. É de conhecimento geral o método de ensaio capaz de medir a consistência do concreto fresco, tal ensaio é comumente conhecido como *Slump Test*. A NBR NM 67 de 1998 especifica o modo que tal ensaio deve ser produzido. Porém, quanto ao concreto leve deve se considerar o valor da massa específica do agregado leve, que faz com que ele sofra menor deformação pela ação da gravidade.

Já com respeito a trabalhabilidade do concreto tem algumas características que devem ser observadas, como a fluidez novamente, sem segregação dos componentes e sem exsudação (MEHTA E MONTEIRO, 2008). A granulometria do poliestireno expandido também pode influenciar quanto a trabalhabilidade do concreto em seu estado fresco, sendo assim um estudo antes da fabricação do concreto é de extrema importância semelhante a que consiga moldá-lo e consolidá-lo de forma correta.

Por fim destaco a homogeneidade do concreto, que depende da dispersão e uniformidade do poliestireno expandido afim que se obter um concreto com menor permeabilidade. Por isso ressalto o cuidado quanto ao transporte e lançamento do concreto nas formas e o seu devido adensamento, de modo a se evitar não conformidades futuras (CARVALHO, FIGUEREDO FILHO, 2006)

## MÉTODOS E MATERIAIS PARA ESTUDO

Realizei alguns ensaios técnicos para o embasamento do meu estudo, sendo que me baseei na Norma Técnica para concretos para a fabricação do concreto com poliestireno expandido. Os testes realizados foram do ensaio de abatimento e de compressão. Para os testes, utilizei:

- Cimento Portland
- Água
- Agregado Miúdo
- Poliestireno Expandido
- Prensa Manual (Agradecimento à ETEC Guaracy Silveira por ter disponibilizado o equipamento)

O traço escolhido para a fabricação do concreto foi na proporção de 1:2:3, sendo que a ordem descrita é: cimento, areia e poliestireno expandido.

No caso da confecção do copo de prova, segui a NBR 5738 – 2003, onde se especifica como deve ser a moldagem do corpo de prova cilíndrico e prismáticos. Dessa forma consegui a informação sobre o número de camadas para modelagem do corpo de prova, sendo preciso 9 (nove) camadas com adensamento manual em 225 golpes, sendo 25 golpes por camada. Utilizei um cálculo simples para objetivar a densidade e quantificar o volume de concreto no corpo de prova:

$$\text{VOLUME DO CILINDRO} = \pi r^2 h = m^3$$

Para chegar ao valor da densidade utilizei:

$$\text{Densidade} = \frac{\text{MASSA}}{\text{VOLUME}} = \frac{\text{KG}}{\text{M}^3}$$



Figura 2-Fonte: Autor

Para a identificação da massa específica do concreto, o corpo de prova, após 24 horas de cura, foi pesado e com o volume do corpo de prova já calculado, calculei a massa aparente do concreto, seguindo:

$$\gamma = m / v$$

Sendo:

$\gamma$  = Massa específica do corpo de prova em Kg/m<sup>3</sup>;

$m$  = massa do corpo de prova em Kg;

$v$  = volume do corpo de prova em m<sup>3</sup>

Dizendo a respeito da resistência à compressão, eu realizei os testes após 28 dias de cura do corpo de prova, seguindo as normas ABNT 5739 de 2007. O corpo de prova fora inserido ao centro da prensa manual e o carregamento ocorreu de forma interrompido e sem choques.

Foi verificado que o concreto com poliestireno expandido necessita de um menor número de abatimento de tronco de cone, procedimento adequado para medir a trabalhabilidade do concreto leve em comparação ao concreto convencional.



Foi notório de que quanto maior a quantidade de poliestireno expandido colocado junto ao concreto, menor foi o abatimento do concreto, chegando até mesmo a 0, conforme demonstrado na figura 2.

Segundo Neville (2016), menores valores de abatimento não influencia em nada a trabalhabilidade do concreto leve. Já outros estudiosos sobre o assunto, como Xavier, Bassari e Mendes (2016) afirmam que isso se dá pelo fato de o poliestireno expandido possuir baixíssima massa específica, o que por sua vez diminui a massa específica do concreto, e tendo menor o concreto menor massa especifica ele sofre uma menor deformação pela ação da gravidade.

Pode se afirmar que o concreto leve, com respeito a trabalhabilidade, a alta fluidez encontrada na pasta de concreto pode resultar na segregação e flutuação do poliestireno expandido. Contudo, durante a fabricação do corpo de prova não se observou tal segregação das pérolas do poliestireno expandido como demonstra a imagem a seguir.



**Figura 3**-Fonte: Autor

No entanto, a substituição de brita por poliestireno expandido na fabricação do concreto leve, após a cura, observamos um concreto mais poroso, o que pode ser nocivo à durabilidade do concreto pois essa porosidade o torna mais propenso a agentes nocivos devido aos poros da parte externa. Chego à conclusão de que quanto maior a substituição de brita por poliestireno expandido, maior a porosidade da superfície externa do concreto.

Vemos na figura abaixo a clara evidência desse fenômeno nocivo, quando comparado os corpos de provas de concreto convencional e o concreto com a utilização de poliestireno expandido como agregado graúdo para a fabricação de concreto leve. Na figura em questão, o concreto indicado com as letras CV se refere ao concreto convencional, e ao lado direito da imagem temos o concreto leve utilizando o poliestireno expandido.



**Figura 3**-Fonte: Autor

Quanto a massa específica aparente, verifiquei ser uma verdade obtida por meio desse estudo de que a utilização do poliestireno expandido como agregado graúdo para a fabricação de concreto leve, reduz consideravelmente a massa específica do concreto. Verificamos a diferenciação quanto ao corpo de prova com concreto convencional e o concreto leve, utilizando o poliestireno expandido como agregado graúdo para a fabricação de concreto leve na tabela demonstrada a seguir.

CONCRETO	MASSA DO CORPO DE PROVA (G)	VOLUME DO CORPO DE PROVA (dm <sup>3</sup> )	MASSA ESPECIFICA (g/dm <sup>3</sup> )	MÉDIA MASSA ESPECIFICA (g/dm <sup>3</sup> )
Convencional	3694	1,57	2312	2270
	3656	1,57	2298	
	3606	1,57	2201	
Concreto Leve	2167	1,57	1396	1410
	2201	1,57	1406	
	2239	1,57	1428	

**Tabela 1**-Fonte: Autor

Reforço que pelo entendimento da NBR 9778, um concreto se classifica como leve quando a sua massa específica no estado solido é inferior a  $2000\text{Kg}/\text{m}^3$ .

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Realizei o teste de resistência à compressão respeitando a NBR 5729 – 2018, sendo que após 24 horas após enformados, o corpo de prova fora desenformado e mergulhado em um recipiente com água e lá deixado até completarem 28 (Vinte e Oito) dias.

Assim sendo, considerando todos os fatores influenciadores que norteiam o concreto fresco e endurecido diante os ensaios mecânicos, os corpos de prova foram submetidos ao rompimento por compressão aos 28 (Vinte e Oito) dias, por meio uma prensa com carregamento ininterrupto.

Considero que o objetivo principal do presente estudo não é busca de uma maior resistência do concreto exposto a grandes esforços, mas sim a redução da massa específica.



**Figura 4**-Fonte: Autor

Resultado dos Ensaio de Teste à Compressão:

CONCRETO	CORPO DE PROVA	F(N)	Ø (mm)	TENSAO DE RUPTURA (Mpa)	MÉDIA TENSÃO, RUPTURA (Mpa)
Convencional	1	183624,954	100	22,84	22,83
	2	161013,220	100	23,42	
	3	188568,562	100	23,23	
Concreto Leve	1	35365,205	100	4,05	4,33
	2	39578,883	100	4,31	
	3	36548,289	100	4,65	

**Tabela 2**-Fonte: Autor

Notamos então ser uma verdade descrita por Neville (2016), de que há sim uma estreita relação entre a massa específica do concreto e a sua resistência. Assim sendo, fica comprovado de que o concreto fabricado com poliestireno expandido, substituindo o agregado graúdo, pode ser aplicado para diversos fins, como isolante térmico, isolante acústico e nivelamento de piso. Porém, não deve ser aplicado como um elemento estrutural, aja ser que devido a sua baixa massa específica, a sua resistência é despiciendo.

Um concreto com fim estrutural deve ter ao mínimo 17 Mpa, diante do exposto, o concreto leve mesmo que fazendo uma junção de agregados graúdos entre brita e poliestireno expandido, não deve ser utilizado para fins estruturais em nem um momento. A contribuição retorno financeiro utilizando, pouco que seja, do poliestireno expandido junto brita, não faz jus ao investimento da construção.

É de conhecimento de que há uma solicitação de 1 Mpa à compressão em residências unifamiliares. Podendo ser possível, embora não viável financeiramente, dosar o poliestireno expandido com brita para que se consiga alcançar uma resistência a compressão de 20 Mpa, a vantagem dessa técnica seria obtenção de uma maior fluidez do concreto no seu estado fresco.

A pouca resistência à compressão do concreto leve se deve ao fato de o poliestireno expandido possuir em sua composição 98% de ar e somente 2% de material plástico, que no que lhe concerne se torna clara sua baixa resistência diante de outros tipos de agregados graúdos.

Com os corpos de prova rompidos, é nítido as falhas no interior do corpo de prova contendo poliestireno expandido, sendo visível a deformação em volta das perolas de poliestireno expandido, podendo sim o concreto leve apresentar fissuras com mais facilidade pelo fato de que o poliestireno expandido utilizado como agregado graúdo, não possuir a mesma resistência que a brita quanto utilizada como agregado graúdo na fabricação do concreto.

Porém, há um ponto positivo; de que houve uma boa distribuição das pérolas de poliestireno expandido, homogeneidade granulométrica. Isso se torna positivo, pois se agregado graúdo estiver bem distribuído isso contribuirá para a qualidade do concreto.



**Figura 5**-Fonte: Autor

## CAPILARIDADE

Claro que é um desafio crescente a busca pela sustentabilidade na indústria de construção civil. Por isso, nós estudantes e trabalhadores do setor de construção civil buscamos a cada dia inovações economicamente viáveis, seguras e sustentáveis para a construção.

370

E o poliestireno expandido, hoje, vem sendo bem aceite no ramo da construção civil, pelo fato de facilidade na trabalhabilidade desse material. Por disso, nesse estudo observamos como o concreto leve se diferencia do concreto convencional e locais onde seria viável e seguro a sua utilização dentro de uma obra ou reforma.

Infelizmente a utilização de poliestireno expandido na fabricação do concreto leve demonstrou uma resistência a compressão muito menor que o concreto convencional, não sendo seu recomendado para fabricação de peças estruturais, isso se deve a porosidade encontrada no concreto leve fabricado com poliestireno expandido. Um concreto leve na sua fabricação aproximadamente 70% de agregados, responsáveis diretos pela resistência a compressão.

Claro que a substituição total de brita como agregado graúdo por poliestireno expandido se mostrou satisfatório quanto aos resultados, principalmente quanto a massa específica e a trabalhabilidade quando comparado com o concreto convencional, já que a redução da massa específica foi o resultado procurado por meio desse estudo, porque uma

massa específica menor reduz significativamente os esforços solicitantes gerado pelo próprio peso, diminuindo os custos das construções de uma forma geral.

Ressaltando que o concreto fabricado com o poliestireno expandido não alcança o mínimo exigido pela NBR 6118 – 2014, *não sendo permitido a sua utilização para confecção de peças estruturais.*

Falando sobre outra característica do concreto leve, mostrou ser muito mais eficaz no isolamento térmico quando comparado ao concreto convencional. O concreto leve pode apresentar uma diferença na absorção de temperatura, quando comparado ao concreto convencional, de até 42°F.

Recomendo a utilização do concreto leve fabricado poliestireno expandido para locais que exigem pouco esforço a tração, como: fechamento de painéis, regularização de piso e piso, laje e talvez até para fabricação de acessórios domésticos ou de uso público como bancos.

Refrear impactos ambientais ocasionados por extração de minerais para a indústria da construção civil pode ser um dos motivos principais pela busca de novas técnicas para a construção civil, por isso podemos nos utilizar e estudar novas técnicas para dirimir cada vez mais a deterioração pelo homem no meio ambiente.

Fica para próximos estudos, outros tipos de materiais que podem ser utilizados como agregados graúdos leves para a fabricação de concreto leve, talvez até mesmo elevando a resistência a compressão.

## REFERÊNCIAS

ANGELIN, A. F. Concreto leve estrutural: desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais. 2014. 126p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias) - Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

\_\_\_\_\_. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

\_\_\_\_\_. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

\_\_\_\_\_. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

\_\_\_\_\_. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO. ABRAPEX: Reciclagem e Reaproveitamento de EPS. Disponível em: Acesso em: 27 jan. 2023.

DAMASCENO, G.C. Geologia, mineração e meio ambiente. Cruz das Almas. 2017. 64p.

GUACELLI, P. A. G. Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassa de revestimento. 2010. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. In: Isaias, G. C. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2007, v.2 p. 905-944.

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

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.

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

WATANABE, P. S. 2008. Concretos especiais – propriedades, materiais e aplicações. Bauru: s.n., 2008.