

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR - MG
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
MAYARA RODRIGUES RIBEIRO

VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO
AGREGADO GRAUDO NO COMPOSTO DE CONCRETO LEVE

FORMIGA – MG
2018

MAYARA RODRIGUES RIBEIRO

VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO
AGREGADO GRAUDO NO COMPOSTO DE CONCRETO LEVE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR- MG,
como requisito para a obtenção do título de
Engenheira Civil.

Orientador: Prof^a. Esp. Mariana Del Hoyo Sornas

FORMIGA – MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UNIFOR-MG

R484 Ribeiro, Mayara Rodrigues.
Viabilidade da utilização do poliestireno expandido como agregado
graúdo no composto de concreto leve / Mayara Rodrigues Ribeiro. – 2018.
62 f.

Orientadora: Mariana Del Hoyo Sornas.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Construção civil. 2. Densidade. 3. Sustentabilidade. I. Título.

CDD 690

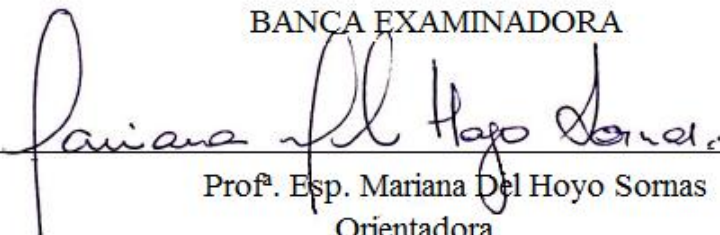
Catalogação elaborada na fonte pela bibliotecária
Regina Célia Reis Ribeiro – CRB 6-1362

Mayara Rodrigues Ribeiro

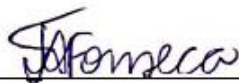
VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO
AGREGADO GRAUDO NO COMPOSTO DE CONCRETO LEVE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR- MG,
como requisito para a obtenção do título de
Engenheira Civil.

BANCA EXAMINADORA



Prof^ª. Esp. Mariana Del Hoyo Somas
Orientadora



Prof^ª. M. Tânia Aparecida de Oliveira Fonseca
UNIFOR



Cintian Carla Silva
Engenheira Civil

Formiga, 24 de outubro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Chega o momento de redigir os agradecimentos, e primeiramente, agradeço a Deus, por ter me dado forças e nunca ter me deixado desistir diante das dificuldades encontradas ao longo desta caminhada. A Nossa Senhora por me cobrir com seu manto protetor, e me amparar diante de todos os obstáculos.

Ao meu pai que me ensinou a ser uma vencedora, não mediu esforços para a realização desse sonho e me ensinou a lutar por tudo aquilo que acredito e jamais desistir. A minha mãe, pelo afeto, preocupação, e por me transmitir confiança para atingir meus objetivos. Agradeço as minhas irmãs, que sempre me apoiaram e auxiliaram em todos os momentos. Com minha família vibrei a cada conquista, carregando a certeza que nunca estarei só.

Talvez não existam palavras suficientes e significativas que permitam agradecer as pessoas que me ajudaram nesta trajetória. Com todo o carinho e de coração eu agradeço também, ao meu namorado pelo apoio, incentivo, companheirismo, e por todo amor e dedicação. A todos meus amigos, que junto a mim, vivenciaram e compartilharam momentos tão importantes em minha vida.

Aos meus professores do UNIFOR-MG, por acrescentarem tanto para meus conhecimentos profissionais. Em especial, a minha orientadora Mariana Del Hoyo Sornas, pelo suporte nas dificuldades, sendo sábia nos conselhos dados, me tornando mais confiante durante o desenvolvimento deste trabalho.

Nessa comunhão de sentimentos, não faria sentido comemorar este momento sem reconhecer os esforços de todos aqueles que amo, e me deram o suporte necessário para vencer este desafio.

Por tudo que fizeram e fazem por mim, agradeço a todos, que de alguma forma contribuíram para que este momento se concretizasse afinal ninguém se faz feliz sozinho, sempre será necessária uma atitude de amor para seguirmos em frente.

RESUMO

O concreto é o material mais consumido na construção civil, e sua utilização gera riscos irreversíveis ao meio ambiente, a partir da produção do cimento *Portland* com a emissão de gases poluentes juntamente com a degradação ambiental para a produção dos agregados. Em busca de reduzir esses impactos, novas técnicas e materiais são criados para se buscar uma construção sustentável, e o objetivo deste trabalho é analisar experimentalmente a viabilidade de utilização do agregado reciclado poliestireno expandido (EPS) como agregado graúdo, em substituição ao agregado convencional brita. Diante disso, este estudo analisou as propriedades do concreto com substituição de 30%, 60% e 90% da brita por EPS e comparou-as com as do concreto convencional. Para isso, foram produzidos corpos de prova, e em todos os ensaios realizados foram utilizadas estas proporções. Para determinação da granulometria dos agregados areia e brita, foram realizados ensaios de peneiramento, e no estado fresco do concreto verificou a consistência da massa fresca. No estado endurecido foram adotados quatro traços de dosagem com três corpos de prova cada, para avaliar a massa específica e a resistência à compressão do concreto com 28 dias de idade. Os resultados permitiram verificar que a consistência do concreto diminuiu consideravelmente com o aumento da adição de EPS substituindo a brita, proporcionando um concreto menos trabalhável comparado ao concreto convencional. Ao mesmo tempo, a massa específica e a resistência também apresentaram grandes variações, sendo que a diminuição destas propriedades já era esperada na realização deste estudo. Portanto, essa abordagem atingiu resultados satisfatórios para a utilização do concreto mais leve com EPS, no entanto, foi excluída sua aplicação para fins estruturais.

Palavras-chave: Construção Civil. Densidade. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Concrete is the most consumed material in construction, and its use generates irreversible risks to the environment, from the production of *Portland* cement with the emission of polluting gases together with the environmental degradation for the production of the aggregates. In order to reduce these impacts, new techniques and materials are created to seek a sustainable construction, and the objective of this work is to analyze experimentally the feasibility of using the expanded polystyrene (EPS) recycled aggregate as a large aggregate, replacing the conventional aggregate aggregate. Therefore, this study analyzed the properties of concrete with 30%, 60% and 90% replacement of expanded polystyrene and compared them with conventional concrete. For this, test specimens were produced, and in all tests performed these proportions were used. To determine the granulometry of sand and gravel aggregates, sieving tests were performed, and in the fresh state of the concrete, the consistency of the fresh mass was verified. In the hardened state, four dosage traces with three specimens were used to evaluate the specific mass and compressive strength of the 28-day old concrete. The results allowed to verify that the consistency of the concrete decreased considerably with the increase of the addition of EPS replacing the gravel, providing a less workable concrete compared to the conventional concrete. At the same time, the specific mass and the resistance also presented great variations, where the diminution of these properties was already expected in the accomplishment of this study. Therefore, this approach achieved satisfactory results for the use of lighter concrete with EPS, however, its application was excluded for structural purposes.

Keywords: Civil Construction. Density. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Concreto com pérolas de EPS.....	23
Figura 2 - Efeito da frequência de vibração	25
Figura 3 - <i>Slump-test</i>	26
Figura 4 - Comparação de massa específica.....	29
Figura 5 - Pérolas de Eps.....	35
Figura 6 - <i>Slump Test</i> com 30% (A), 60% (B) e 90% (C) de EPS	49
Figura 7 - Vista superior dos corpos de provas	50
Figura 8 - Comparação corpos de prova convencional e com 60%(A) e 90 % (B) de EPS.....	50
Figura 9 - Moldagem dos corpos de prova.....	52
Figura 10 - Corpos de prova desmoldados	52
Figura 11 - Corpo de prova sendo rompido.....	53
Figura 12 - Corpos rompidos de concreto com utilização de EPS	55
Gráfico 1 - Curva de Gauss	32
Gráfico 2 - Curva Granulométrica agregado areia utilizado	46
Gráfico 3 - Curva Granulométrica agregado graúdo brita utilizado.....	47
Gráfico 4 - Variação do ensaio <i>Slump Test</i>	48
Gráfico 5 - Massa específica aparente dos concretos	51
Gráfico 6 - Resistência a compressão dos concretos.....	54
Quadro 1 – Composição media granulométrica do agregado miúdo areia.....	45
Quadro 2 – Composição media granulométrica do agregado graúdo brita.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dosagem dos agregados para a produção dos concretos em massa.....	38
Tabela 2 - Densidade dos agregados	38
Tabela 3 - Dosagem dos agregados para a produção dos concretos em volume.....	39
Tabela 4 - Massa mínima por amostra de ensaio.....	39
Tabela 5 - Resultados de massa específica aparente dos concretos	51
Tabela 6 - Resultados do ensaio de compressão.....	53
Tabela 7 - Análise estatística das resistências do concreto	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento <i>Portland</i>
ABESC	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAPEX	Associação Brasileira do Poliestireno Expandido.
ACEPE	Associação Industrial do Poliestireno Expandido
EPS	Poliestireno Expandido
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NM	Número

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	OBJETIVOS.....	13
2.1.	Objetivo geral.....	13
2.2.	Objetivos específicos.....	13
3.	JUSTIFICATIVA.....	14
4.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
4.1.	Concreto de cimento <i>Portland</i>	15
4.1.1.	Definição e aplicação do concreto de cimento <i>Portland</i>	15
4.1.2.	Insumos que o compõem.....	16
4.1.3.	Processo de produção do concreto de cimento <i>Portland</i>	18
4.1.4.	Impactos ambientais.....	19
4.2.	Concreto leve.....	20
4.2.1.	Insumos que compõe o concreto leve.....	21
4.2.1.1.	Poliestireno expandido (EPS).....	22
4.2.2.	Processo de produção do concreto leve.....	24
4.3.	Propriedades do concreto fresco.....	25
4.3.1.	Consistência.....	25
4.3.2.	Trabalhabilidade.....	26
4.3.3.	Homogeneidade.....	27
4.3.4.	Pega do concreto.....	27
4.4.	Propriedades do concreto endurecido.....	28
4.4.1.	Massa específica.....	28
4.4.2.	Resistência mecânica do concreto.....	30
4.4.2.1.	Resistência à compressão.....	30
4.4.2.2.	Resistência à tração.....	33
5.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
5.1.	Materiais utilizados.....	34
5.1.1.	Cimento <i>Portland</i>	34
5.1.2.	Água.....	34
5.1.3.	Agregados: areia e brita.....	35
5.1.4.	Agregado: EPS.....	35
5.1.5.	Balança de precisão e Becker.....	35

5.1.6.	Peneiras.....	35
5.1.7.	<i>Slump Test</i>	36
5.1.8.	Prensa para ensaio de compressão	36
5.2.	Métodos para a produção do concreto.....	36
5.2.1.	Escolha do traço.....	36
5.2.2.	Ensaio granulométrico da areia	39
5.2.3.	Ensaio granulométrico da brita	41
5.3.	Mistura e amassamento.....	41
5.4.	Ensaio de consistência <i>Slump Test</i>	42
5.5.	Moldagem dos corpos de prova	42
5.6.	Cura do concreto.....	43
5.7.	Determinação da massa específica aparente	43
5.8.	Determinação da resistência à compressão	43
5.9.	Análise Estatística	44
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
6.1.	Ensaio granulométrico do agregado miúdo areia	45
6.2.	Ensaio granulométrico do agregado graúdo brita.....	46
6.3.	Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone	48
6.4.	Massa específica aparente	50
6.5.	Resistência à compressão	52
6.6.	Análise estatística	55
7.	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é o setor onde mais se utiliza e consome recursos naturais, como na produção do cimento, um dos produtos mais consumido pelo homem no planeta. Desde o surgimento do concreto convencional, os agregados (miúdos e graúdos) utilizados para sua produção são de origem natural, onde é necessário degradar determinados ambientes, para extrair e queimar a matéria-prima, causando assim impactos ambientais ao meio ambiente.

Nos últimos anos, há inúmeras inovações na produção do concreto, e cada tipo de concreto é específico para cada ocasião. Há casos em que é preciso atingir determinada resistência em poucos dias, concreto que possui facilidade de fluir dentro das formas sem utilização de vibrador, ou então concreto que necessite ser mais leve, diminuindo assim o peso das estruturas.

Com a utilização de diversas técnicas e desenvolvimento de novos agregados alternativos aos convencionais, o desenvolvimento do concreto com agregados leves, vem permitindo grandes avanços. Segundo Rossignolo (2009) a utilização desse material é caracterizada aos benefícios promovidos pela diminuição da massa específica, proporcionando menores esforços no solo, além de possuir excelente propriedade de isolamento térmico acústico. Para tanto, é necessário, inicialmente, conhecer as alterações significativas desse tipo de concreto, como a baixa resistência mecânica e a influência dos agregados leves na trabalhabilidade do concreto.

Vários agregados podem ser utilizados na produção do concreto leve, dentre eles o EPS, resultando em alternativas viáveis para o meio ambiente, como a redução da extração de recursos naturais, da poluição ao meio ambiente e conseqüentemente reutilização desse material no emprego da construção civil.

Dessa forma, o estudo pretende analisar a viabilidade de utilização de um novo agregado na produção do concreto, além de avaliar o efeito da substituição de 30%, 60% e 90% da brita por EPS na produção do concreto leve.

2. OBJETIVOS

Esta seção destina-se a apresentar os objetivos do vigente trabalho, divididos em objetivo geral e objetivos específicos conforme descritos a seguir.

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar as características e propriedades do concreto convencional e do concreto com a substituição parcial do agregado graúdo brita por agregado leve de EPS.

2.2. Objetivos específicos

Para atender o objetivo geral, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- Verificar a influência da substituição parcial da brita por EPS no concreto convencional;
- Realizar o ensaio de granulometria dos agregados: areia e brita;
- Executar o *Slump Test*, e comparar a trabalhabilidade do concreto convencional e do concreto com EPS;
- Comparar a massa específica do concreto convencional e do concreto com substituição de 30%, 60% e 90% do agregado graúdo brita por EPS;
- Realizar em laboratório ensaio de compressão com 28 dias de cura, utilizando 3 corpos de prova para cada traço, com diferentes proporções de brita: concreto convencional (0% de EPS), e com substituição de 30%, 60% e 90% da brita por (EPS); e
- Analisar e comparar os resultados obtidos, e assim traçar gráficos das curvas granulométricas, variação do ensaio *Slump Test*, resistência mecânica à compressão e massa específica do concreto convencional e do concreto com EPS.

3. JUSTIFICATIVA

Devido aos impactos causados pela construção civil ao meio ambiente, principalmente durante a extração de recursos naturais para a obtenção dos agregados utilizados na fabricação do concreto, a redução de cargas em diversos elementos construtivos tem sido cada vez mais solicitada na construção civil, substituindo esses tipos de agregados por outros que possuem massa específica menor.

Em meio a essas preocupações, surge à possibilidade de utilização do concreto leve fabricado com EPS como agregado, o que se torna uma opção natural. Além de oferecer condições favoráveis como principalmente o seu baixo peso e a baixa condutividade térmica e acústica, o EPS é um material 100% reciclável. Muitas vezes descartado de forma incorreta na natureza, esse material reciclado pode ter ampla utilização como insumo para concreto leve, embora a maior dificuldade encontrada de reciclar esse material é por ser leve e ocupar muito espaço.

O concreto leve fabricado, principalmente com EPS, torna o material mais sustentável ambiental e economicamente. Com os problemas ambientais existentes devido aos resíduos da construção civil, ele surge também como uma ótima opção, levando em conta a preocupação por uma melhor qualidade ao ambiente construído.

Assim, é de grande valia uma análise sobre a viabilidade de substituição do agregado graúdo convencional por pérolas de EPS, com o objetivo de suprir a maioria das desvantagens que o concreto convencional apresenta, uma vez que o principal é a extração de recursos naturais, que estão cada vez mais escassos, e o elevado peso próprio.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os conceitos teóricos necessários para a compreensão do trabalho proposto, por meio do embasamento teórico obtido por meio de pesquisas em literaturas existentes, trabalhos de conclusão de curso e experimentos já realizados.

4.1. Concreto de cimento *Portland*

O concreto é o material mais importante da construção civil, e, durante séculos, o seu desenvolvimento vem permitindo grandes inovações nesse setor (LIMA et al., 2014). Posteriormente serão expostas suas principais características como: definição, aplicação, insumos que podem conter durante o seu processo de produção e os impactos ambientais que podem causar ao meio ambiente, conforme o aumento significativo da necessidade de matérias-primas utilizadas no constante aumento das obras civis.

4.1.1. Definição e aplicação do concreto de cimento *Portland*

A combinação de cimento *Portland* com água, areia e brita dá origem à formação do concreto de cimento *Portland*, esse material que vem possibilitando ao homem transformar o meio em que vive conforme suas necessidades (LIMA, 2011).

A água e o cimento são os responsáveis pelo processo de hidratação do concreto, e a partir de reações químicas são gerados produtos, em que algumas horas após o seu preparo possuem características de pega, endurecimento, e com o passar dos dias adquirem elevada resistência mecânica, tornando-se um material dotado das mesmas características de uma rocha (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

Diante da grande resistência e da capacidade de suportar toda a estrutura da edificação, o concreto se tornou o componente essencial à civilização moderna, e ainda, responsável pela transformação da mistura dos componentes das argamassas e concretos na transformação do produto final desejado, seja uma laje, viga, revestimento, entre outras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO *PORTLAND*, 2002).

Existe uma grande variedade de concreto, e suas aplicações variam conforme as exigências nas construções, sendo que são encontradas em diversas bases estruturais, e na utilização de pré-moldado nas alvenarias de diversas formas e tamanhos, resultando em maior

agilidade na obra, ou até aplicado diretamente no local desejado, onde suas funções dependem da necessidade exposta nos projetos (LIMA et al., 2014).

O concreto pode ser classificado em relação a sua resistência e densidade, como pesado, normal e leve (LIMA et al., 2014). Contudo, a ABCP (2002) também classifica em armado, o concreto com adição de armadura, que é muito utilizado em estruturas de fundação, pilares, vigas e laje. Já o concreto simples (sem armadura) pode ser usado na fabricação de blocos de concreto, brocas de fundação, construções de tubulações, pisos. Há também concreto para meios agressivos (água do mar e de esgotos), e concreto magro para passeios e enchimentos, dentre outros.

Segundo Valin Junior et al., (2013), sua ampla utilização é devido à sua resistência, durabilidade e versatilidade, e como exemplo da aplicação do concreto podem ser citadas as construções de casas, pontes, barragens, obras hidráulicas, rodovias, estradas, edifícios mais altos do mundo, usinas nucleares, hidrelétricas, obras de saneamento e até mesmo em plataformas de extração petrolíferas.

O concreto é um material amplamente disseminado, e também pode ser implantado em construções rurais, na execução de pavimentações, bebedouros, mata burros, cisternas, canaletas, canais, cochos, entre outras (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

4.1.2. Insumos que o compõem

O cimento é o aglomerante mais utilizado na construção civil, é mundialmente conhecido como cimento *Portland* (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006). É caracterizado como um pó fino pulverulento que possui propriedades aglomerantes, que endurece em contato com a água (ABCP, 2002).

De acordo com Bauer (2012), o cimento *Portland* é o produto resultante da pulverização clínquer, que se caracteriza por ser um material de natureza granulosa, obtido através da calcinação de uma mistura constituída de silicatos hidráulicos de cálcio, com proporções de sulfato de cálcio natural, e com certas adições que trazem novas propriedades ou tornam seu uso mais acessível.

A água é um dos principais componentes usados para a confecção do concreto de cimento *Portland*, e os principais problemas com relação à água de amassamento não são os elementos que nela estão contidos, mas o excesso da quantidade empregada (PETRUCCI, 1998).

A fluidez da pasta de cimento é totalmente dependente da quantidade de água utilizada e da distribuição granulométrica dos grãos de cimento, essa relação é conhecida como relação água/cimento, que quanto mais fluida a pasta, maior será essa relação, influenciando, assim, na resistência à compressão do concreto (HELENE; ANDRADE, 2007).

O termo agregado é dado aos materiais acrescentados ao cimento e à água, de modo a produzir concretos e argamassa. Uma vez em forma de grãos, os agregados areia e brita não devem provocar reações indesejáveis, por isso é necessário que sejam inertes (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006).

Segundo o mesmo autor, aproximadamente, 70% do volume total do concreto podem ser constituídos por agregados, garantindo ao cimento e à água uma menor retração das pastas e aumento da resistência ao desgaste dos concretos.

Os agregados possuem propriedades físicas, químicas e térmicas que influenciam diretamente no desempenho do concreto, e a NBR 7211(ABNT, 2005) fixa as principais características e propriedades dos agregados graúdos e miúdos:

- **Origem:** os agregados são classificados pela origem quando são encontrados na própria natureza, fragmentados sem nenhum processo industrial ou resultante da britagem de rochas;
- **Peso específico:** classificados em leves, médios e pesados;
- **Granulometria:** Os agregados podem ser classificados de acordo com o tamanho dos grãos, são definidos como agregado miúdo quando o grão passa pela peneira com abertura de malha de 4,75mm ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,150 mm, já os graúdos passam na peneira de 75 mm e ficam retidos na peneira de 4,75 mm.

A norma NBR 7389-1(ABNT, 2009) afirma que em relação à forma dos grãos dos agregados, são analisados o grau de esfericidade, o grau de arredondamento, as vértices e arestas que podem estar como arredondadas e angulosas, e também as dimensões que podem ser encontradas como: equidimensionais, lamelares, achatadas, ou também alongadas.

O agregado mineral muito utilizado na indústria da construção civil é a areia lavada, sendo um dos agregados miúdos mais utilizados na produção dos concretos, são considerados ideais os tipos média e grossa, e que possuem maior concentração de quartzo em sua composição (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2005).

Outro insumo essencial na produção do concreto é o agregado graúdo, brita, que é um tipo de mineral extraído de áreas ricas em granito e calcário, o qual por meio do processo

produtivo resultam diferentes tipos de brita: brita graduada, brita 1, brita 2, brita 3, brita 4, pedrisco misto, pedrisco limpo, pó de pedra e areia (OLIVEIRA et al., 2008).

4.1.3. Processo de produção do concreto de cimento *Portland*

A tecnologia para produção do concreto de cimento *Portland* com qualidade requer uma série de cuidados e operações, sendo a primeira delas o cuidado na escolha dos seus materiais e determinação da dosagem, posteriormente é feita a mistura que pode ser manual ou através de equipamentos betoneiras, e o concreto fresco é produzido, transportado para a correta aplicação e, então, lançado nas fôrmas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇO DE CONCRETAGEM, 2007).

A dosagem do concreto conhecida como traço é a proporção de cada componente para a produção do volume de concreto desejado, partindo do pressuposto de que todo concreto deve possuir características capazes de atender a certos requisitos do projeto da estrutura como condições de trabalhabilidade, durabilidade e resistência (PEREIRA, 2008).

Após a dosagem, realiza-se o processo de mistura, no qual a pasta de cimento e água devem envolver todos os grãos de areia e brita, formando, assim, uma pasta homogênea em que todos os componentes estejam em contato entre si, evitando, dessa forma, o decréscimo de resistência e durabilidade (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006).

O transporte do concreto é a terceira etapa da produção, que após a mistura, dependerá da distância entre o local de amassamento do concreto ou da descarga do caminhão betoneira até o local de concretagem, onde passa a ser obrigatório ter cuidado com o meio de transporte utilizado, com finalidade de evitar a desagregação, separação dos constituintes do concreto, ou perda de água por evaporação e de pasta por vazamentos, conforme diz a NBR 14931 (ABNT, 2004).

Ainda segundo a norma, o lançamento consiste na operação de colocação do concreto fresco nos locais previstos, de modo que toda a armadura e componentes embutidos sejam envolvidos pela pasta de concreto, deve-se levar em consideração o tempo entre a produção e o lançamento. Uma vez iniciada a operação, não deve ser interrompida, evitando perda de trabalhabilidade do concreto.

Imediatamente após o lançamento das fôrmas, procede-se ao adensamento por meio de equipamentos manuais ou mecânico, e, a fim de se obter um material homogêneo e compactado, são utilizados vibradores de imersão, eliminando os vazios existentes da massa de concreto (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

A qualidade das peças concretadas é prejudicada em função da falta de vibração e excesso delas, portanto alguns cuidados básicos devem ser seguidos para alcançar resultados desejados, como o preenchimento de todos os recantos das fôrmas e evitando a migração do material fino e da água para a superfície (CARVALHO; FIGUEREDO FILHO, 2016).

A cura do concreto é a última operação da produção do concreto, e consiste num conjunto de medidas adotadas que tem por finalidade evitar a evaporação precoce da água utilizada na mistura, essa que deverá reagir com o cimento, hidratando-o (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006).

A função da cura é evitar a perda de água pelo ambiente, e o fenômeno de retração responsável pelo aparecimento de fissuras e trincas (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006). Segundo a NBR 14931 (ABNT, 2004) o procedimento de proteção contra fissuras, começa nos primeiros 7 dias, contados a partir dos lançamentos do concreto, molhando constantemente a superfície do concreto ou mantendo uma lâmina de água sobre a peça concretada.

4.1.4. Impactos ambientais

A mineração é uma das atividades mais importantes e positivas para o desenvolvimento social e econômico do mundo. Vem se intensificando desde a origem da humanidade, e é vista como, exclusivamente, extrativa de riquezas minerais do solo e de formações rochosas que compõem a estrutura terrestre. Em vista disso, essas atividades conseqüentemente são geradoras de danos irreversíveis ao meio ambiente, já que as riquezas minerais são recursos não renováveis, ou seja, podem se esgotar futuramente (DAMASCENO, 2017).

Os impactos ambientais da mineração afetam ambientes hidrológicos, interferindo na qualidade do ar, da água, e potencialidade do solo, e dentre esses impactos está à emissão de material para atmosfera, destruição de espaços onde há seres vivos, alteração da estrutura natural, paisagística e de todo um ciclo natural (SILVA, 2005).

Segundo Santos (2007), o aproveitamento de bens minerais é fundamental para a sociedade humana, o setor da construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais, e os agregados: areia e brita são materiais indispensáveis na mistura do concreto, sua produção se dá a partir da extração de rochas, gerando grande agressividade ao meio ambiente.

Diante disso, têm-se aumentado gradativamente as restrições para a extração desses minerais, e em virtude de diminuir o impacto que ela causa ao meio ambiente, tem sido grande a busca de fontes alternativas para a substituição desses agregados (GUACELLI, 2010).

A maior parte dos impactos nos canteiros de obra atinge primeiramente o meio físico envolvendo a água, solo e ar, e posteriormente são causados impactos ambientais no meio biótico afetando diretamente a fauna e flora, e no meio antrópico que são os trabalhadores vizinhanças e comunidades, do local onde a obra está inserida (DIAS, 2001).

O dano ambiental é um impacto não autorizado por órgãos ambientais, portanto, as atividades de extração envolvem uma necessidade de avaliação e monitoramento, com planejamento e preocupação com o meio ambiente, podendo compensar e evitar riscos futuros, causados por erros cometidos anteriormente (SILVA, 2005).

Ainda segundo o mesmo autor, para contribuir de forma decisiva para o bem-estar e melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, a atividade de mineração, deve ser operada com responsabilidade socioambiental.

4.2. Concreto leve

O concreto leve é reconhecido pelo seu reduzido peso específico e elevada capacidade de isolamento térmico e acústico, e sua produção tem como base a utilização de agregados leves, resultando na redução da massa específica de aproximadamente dois terços da densidade do concreto normal feito com agregado natural (METHA MONTEIRO, 2008).

Ainda segundo os mesmos autores, as vantagens com a utilização do concreto leve, além do conforto térmico e acústico é a redução dos custos e peso das estruturas, além da pouca permeabilidade, levando em consideração que, no concreto leve, o que se busca como prioridade é a diminuição da massa específica e não a resistência.

Portanto, quando não há necessidade de resistência a grandes esforços, o concreto leve pode ser usado em vários componentes da construção civil, e, além das suas vantagens, apresenta também um bom comportamento em relação ao fogo devido à sua baixa condutividade térmica (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006).

Para a utilização do concreto leve, é de extrema importância o conhecimento da aplicação do material e suas modificações como alteração da resistência mecânica, trabalhabilidade, módulo de deformação, durabilidade, estabilidade dimensional, resistência a

altas temperaturas, condutividade térmica, entre outras, pois este promove alterações importantes em suas propriedades (ROSSIGNOLO, 2009).

Segundo Neville (2016), para se produzir o concreto leve, existem três maneiras: a primeira delas é chamada de concreto celular com a incorporação de bolhas de ar na mistura. A segunda consiste numa mistura sem utilização de agregados miúdos, conhecido como concreto sem finos. A terceira baseia-se na utilização de agregados porosos leves.

4.2.1. Insumos que compõe o concreto leve

Os agregados empregados no concreto leve são obtidos da extração direta em jazidas que podem ser classificadas em naturais, e artificiais quando possuem composição particulada, e obtidos em processos industriais, nesta sua expansão se dá através da sinterização ou forno rotativo, e podem ser classificados conforme sua matéria-prima e processo de fabricação (MAYCÁ; RECENA; CREMONINI, 2008).

A vermiculita é um agregado leve, comercializado em sua forma natural, porém a sua utilização, na maioria das vezes, acontece na forma expandida, na qual o concreto leve, utilizando este agregado, é o mais indicado para uso não estruturais como: aplicações em rebaixos, contrapisos, rebocos térmicos e acústico, material de enchimento, entre outros (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008).

Esse insumo supracitado é um mineral de argila, quimicamente inerte, que possui baixa densidade e condutividade, com peso específico aparente de acordo com sua distribuição granulométrica de 800 a 1600 N/m³, e, quando levado ao forno com temperaturas de aproximadamente 500°C, se expande cerca de vinte vezes (BAUER, 2012).

Outro agregado bastante utilizado na produção de concreto leve é a argila expandida que se trata de um material formado em proporções de silicato de alumínio, óxidos de silício, ferro e magnésio, obtido pelo aquecimento da argila natural em temperaturas de aproximadamente 1200°C, e expandindo-se em até sete vezes o seu volume inicial (MORAVIA et al., 2006).

A principal utilização da argila expandida é como agregado leve para concreto de enchimento, estrutural ou de pré-fabricados, com resistência variando de até 30 MPa (BAUER, 2012).

Entre os agregados mais leves que existem está a Perlita expandida, que é conhecida por ser uma rocha, um mineral do grupo da sílica, encontrado mediante um processo industrial de fabricação, possui massa específica entre 30 a 240 kg/m³ (POWER, 2016).

A capacidade de expansão da perlita é uma de suas principais características que a difere de outros materiais, pois, quando exposta a altas temperaturas, chega a aumentar de 4 a 20 vezes o seu volume real, podendo ser utilizada em contrapisos leves, cargas de tetos, entre outras (SCHUMACER INSUMOS, 2018).

A seguir, serão descritas as características do agregado leve EPS utilizado para a confecção do concreto leve analisado neste trabalho.

4.2.1.1. Poliestireno expandido (EPS)

O poliestireno expandido é um produto ecológico que não contamina o solo, nem a água e nem ao menos o ar, além de ser um material reciclável e reaproveitável (BALBO; TOSTA, 2012).

Sua produção se dá a partir da polimerização do estireno que é utilizado para o processo de polimerização, no qual a matéria-prima deve possuir um grau de pureza de 99,6% para evitar contaminantes, que podem afetar seu peso molecular (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO E SOCIAL, 2002).

O processo para a produção do EPS é constituído pelas seguintes etapas: (Coelho; Manzanares; Menedez, 2014):

- **Recebimento da matéria-prima:** A matéria-prima é recebida em sacos plásticos, posteriormente levada ao pré expansor;
- **Pré-expansão:** Processo no qual a matéria-prima é aquecida em pré-expansores através do vapor de água transformando em pérolas celulares, ou seja, esta ganha volume e perde densidade, ficando cada vez mais leve;
- **Maturação:** Ocorre nos silos que deixam a matéria-prima já expandida repousarem para estabilização de tamanho;
- **Moldagem Final:** As pérolas são transportadas por tubos até silos para serem transformadas em peças. Com isso, são injetadas dentro de moldadores e através do vapor de água são fundidas e moldadas em diversas formas;
- **Secagem:** As peças ficam dispostas dentro da estufa para que a umidade proveniente do vapor utilizado na moldagem evapore; e
- **Embalagem:** As peças são embaladas conforme padrão pré-estabelecido.

Abrapex (2018) ainda ressalta que, no produto resultante da polimerização, são utilizadas pérolas de até 3 mm de diâmetro, que serão destinadas à expansão, e, em processo

de transformação, essas pérolas podem se expandir em até 50 vezes o seu tamanho real. A sua expansão se deve à estrutura molecular da matéria-prima que é constituída por milhares de células fechadas com diâmetros muito pequenos, alguns décimos de milímetro, e possuem paredes de aproximadamente 1 mm (ASSOCIAÇÃO INDUSTRIAL DO POLIESTIRENO EXPANDIDO, 2018).

Esse material tem sido reconhecido por apresentar vantagens na produção de edificações, por ter como características sua leveza, facilidade de manuseio com elevada resistência mecânica, e, ainda, possui baixa absorção de água mantendo suas características térmicas e mecânicas mesmo sob a ação da umidade (MORAES; BRASIL 2015).

Outras opções de utilização do EPS na construção civil, segundo Associação Brasileira do Poliestireno Expandido (2018), são:

- Proteção contra incêndio em estruturas metálicas;
- Peças pré-moldadas não estruturais;
- Bases para calçamento;
- Contrapisos;
- Muros pré-moldados.

Tessari (2006) afirma que, ainda que o EPS seja considerado um material totalmente reciclável e representando apenas 0,1% do lixo produzido, quando descartado de forma incorreta, esse material pode se tornar nocivo ao meio ambiente.

Ainda segundo o mesmo autor, a reciclagem do EPS, muitas vezes se torna inviável devido à sua composição (98% de ar, 2% de material plástico). Seu transporte até as indústrias de reciclagem não é visto com bons olhos, pelo fato do material ser leve e por ocupar grandes espaços.

A FIG. 1 ilustra uma composição do concreto leve utilizando pérolas de EPS.

Figura 1 - Concreto com pérolas de EPS



Fonte: CATOIA, 2012.

4.2.2. Processo de produção do concreto leve

O concreto com agregados leves apresenta os mesmos métodos de produção do concreto convencional, no entanto, deve-se dar uma atenção especial a sua dosagem, e considerar os fatores adicionais como a relação água/cimento em função da grande absorção de água do agregado poroso após a preparação do concreto, com a necessidade de produzir um concreto com massa específica particular em função do tamanho do agregado leve utilizado, e a influência da alta porosidade nas propriedades do concreto fresco e endurecido, diferentemente do que acontece no concreto convencional (ROSSIGNOLO, 2009).

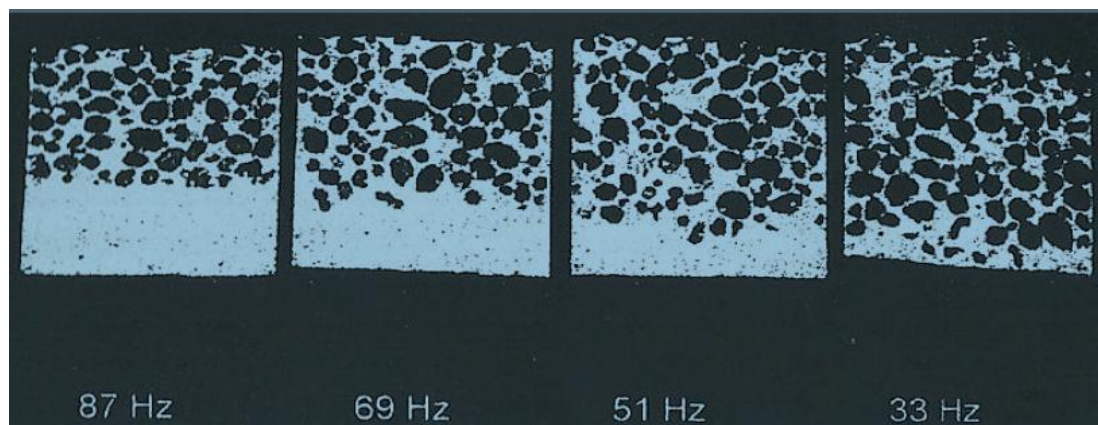
A operação de mistura do concreto leve pode ser manual ou mecanizada e, em alguns casos, a relação água/cimento pode ser um fator ainda mais importante, sobre o qual deve-se, primeiramente fazer a pré-saturação dos agregados leves com valores elevados de absorção, ou acrescentar a água que será absorvida pelo agregado leve (NEVILLE, 2016).

Após a mistura, no processo de transporte do concreto leve, deve-se considerar a tendência de separação do agregado leve e a sua flutuação para a superfície da pasta, e para se obter um bom resultado no transporte, faz-se necessária uma análise em relação à consistência adequada, e controlar o fator água/cimento, evitando fenômenos indesejáveis (ANGELIN, 2014).

Ainda segundo o mesmo autor, após o transporte, deve-se, então, proceder ao lançamento direto na estrutura ou pelo procedimento de bombeamento. No bombeamento, a pré-saturação do agregado leve tem grande importância, pois a pressão hidrostática contribui com a entrada de água nos agregados e, conseqüentemente, causa perda de trabalhabilidade do concreto leve.

Rossignolo (2009) ressalta que, em decorrência de menores valores da massa específica dos agregados leves, normalmente para concretos leves, podem ser usadas técnicas usuais de adensamento. Porém, estes exigem uma energia maior de vibração e vibradores com baixa frequência, evitando a formação de vazios ao redor do agregado leve e a sua flutuação, como ilustra a FIG. 2.

Figura 2 - Efeito da frequência de vibração



Fonte: VIEIRA, 2000.

O procedimento de cura do concreto leve também é similar ao concreto convencional, faz-se necessário molhar constantemente a superfície do concreto leve, evitando a formação de fissuras térmicas em função de ambientes com baixas temperaturas é recomendado, também, utilizar mantas isolantes ou adiar a retirada das fôrmas (ROSSIGNOLO, 2009).

4.3. Propriedades do concreto fresco

Uma das fases do material concreto é a denominada concreto fresco, que nas primeiras horas de produção, na ordem de 1h a 5h, apresenta-se em um estado capaz de ser misturado, transportado, lançado e adensado (HELENE; ANDRADE, 2007).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o concreto leve possui os mesmos fatores que influenciam propriedades do estado fresco em relação ao concreto convencional, estes devem possuir como principais propriedades: consistência, trabalhabilidade, homogeneidade.

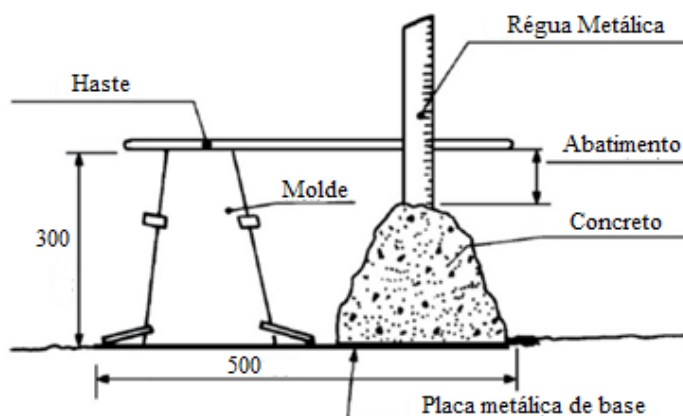
4.3.1. Consistência

A consistência é a primeira propriedade do concreto fresco a ser considerada, pois corresponde à fluidez do concreto fresco e aptidão para ser manuseado, é definida como a maior ou menor capacidade do concreto de se deformar sob a ação da sua própria massa (CARVALHO; FIGUEREDO FILHO, 2016).

Em geral, segundo os mesmos autores, a consistência do concreto é modificada conforme a quantidade de água empregada, quanto maior a consistência, menor a quantidade de água na mistura, alterando assim suas características perante os esforços.

A NBR NM 67 (1998) especifica o método de ensaio para definir o abatimento do tronco de cone, também conhecido como *Slump Test* utilizado para medir a consistência do concreto fresco, por meio da diferença entre a altura do molde tronco cone e a altura do corpo de prova desmoldado, ilustrado na FIG.3.

Figura 3 - *Slump-test*



Fonte: ADAPTADO DA NBR NM 67 (1998).

A forma adequada de avaliar a consistência dos concretos leves também é o *Slump Test*, e deve ser considerado o valor da massa específica do agregado leve. Este, por ser mais leve, exige menos esforço no lançamento, na compactação e acabamento, no entanto no ensaio de abatimento do tronco de cone, este sofre menor deformação pela ação da gravidade (METHA E MONTEIRO, 2008).

Ainda segundo os mesmos autores, o abatimento em torno de 50 a 70 mm para concreto leve tem um comportamento suficiente para a mesma consistência do concreto com agregado convencional com abatimento 100 a 125 mm, assim, o concreto leve tem menor abatimento e melhor consistência em relação ao convencional.

4.3.2. Trabalhabilidade

Nas diversas situações de concretagem, a trabalhabilidade do concreto fresco é a propriedade que determina a maior ou menor facilidade do concreto de ser manipulado, portanto o material deve se adequar às necessidades de operações, visando à dimensão das peças, ao afastamento e à distribuição das barras das armaduras, levando em consideração os métodos que serão utilizados nas obras como: transporte, lançamento, e adensamento (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

O concreto considerado trabalhável é aquele que apresenta componentes principais como: fluidez, que consiste na mobilidade do concreto fresco, a coesão, na qual o concreto não deve apresentar sinais de segregação que é onde os componentes da mistura do concreto se separam um dos outros, e exsudação que é o surgimento de água na camada superior do concreto recém-lançado e adensado ainda fresco (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

No entanto, ao contrário do que se pensa, a trabalhabilidade correta não depende unicamente da água utilizada na mistura do concreto, faz-se necessário levar em consideração o tipo de agregado empregado, a granulometria e suas proporções, que causam enorme influência nessa propriedade (MARTINS, 2008).

O mesmo autor ressalta, ainda, que a trabalhabilidade se dá por meio do resultado da consistência do concreto, uma das propriedades básicas do concreto que devem ser atendidas considerando as particularidades da sua utilização, caso contrário, na prática, fica impossível moldá-lo e consolidá-lo para ser aplicado em determinadas estruturas, podendo afetar o custo quanto à qualidade final do concreto.

4.3.3. Homogeneidade

Homogeneidade consiste na distribuição de todos os componentes do concreto, portanto a qualidade da estrutura depende dos grãos do agregado graúdo, quanto mais uniformes e dispersos na massa, melhor é a qualidade do concreto quanto à permeabilidade, tendo os devidos cuidados também durante o transporte, lançamento nas formas e adensamento, o resultado é um melhor acabamento, sem necessidade de reparos (CARVALHO; FIGUEREDO FILHO, 2016).

4.3.4. Pega do concreto

Além das principais propriedades do concreto fresco, também se destaca a pega do concreto, a qual geralmente é definida pelo fenômeno ocorrido no momento em que a pasta de cimento adquire certa consistência e não é mais trabalhável, tornando-a imprópria para as operações de lançamento de fôrmas e adensamento, e não admitindo remistura do concreto (BAUER, 2012).

Segundo o mesmo autor, a pega e o endurecimento são dois aspectos da hidratação do cimento, tendo sua caracterização em dois tempos: o tempo de início de pega usado para determinar o tempo que o concreto necessita para começar a endurecer e o tempo de fim de

pega que ocorre com o endurecimento completo do concreto, com retirada das fôrmas e início do ganho de resistência mecânica.

Segundo a NBR 14931 (ABNT, 2004), o tempo de início de pega, não pode ultrapassar o período de 2h e 30min, e após as etapas de lançamento do concreto nas fôrmas e adensamento da massa, deve-se tomar providências para reduzir a perda prematura de água do concreto durante o processo de cura.

No entanto, o tempo fim de pega é caracterizado como o endurecimento no período de 5 a 10 horas para cimentos normais, e esse tempo pode ser reduzido em caso de cimentos que possuem pega rápida (PETRUCCI, 1998).

4.4. Propriedades do concreto endurecido

A fase denominada de concreto endurecido inicia-se na hidratação dos grãos de cimento, e é concluída com o endurecimento da mistura de concreto estendendo por toda a vida da estrutura (FARIAS; PALMEIRA, 2007).

O endurecimento começa poucas horas após a produção do concreto e as principais características de interesse são as mecânicas, destacando-se a resistência à tração e compressão (CARVALHO; FIGUEREDO FILHO, 2016).

4.4.1. Massa específica

Define-se como massa específica a relação da massa dos grãos de agregados sob o volume que este ocupa no recipiente, excluindo os vazios existentes, uma vez que, no concreto, os agregados podem ser classificados pela massa unitária, sendo a relação entre massa e volume dos sólidos dentro do recipiente, junto aos espaços entre um grão e outro (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006).

Dependendo do tipo e aplicação a que se destinam, seguindo os preceitos da NBR 8953 (ABNT, 2015) os concretos podem ser classificados como leve, quando se obtém uma massa específica inferior a 2000 kg/m^3 ; normais na ordem de 2000 kg/m^3 a 2800 kg/m^3 ; e pesado ou denso com massa específica superior a 2800 kg/m^3 , como ilustra a FIG. 4.

Figura 4 – Comparação de massa específica



Fonte: ECOPORE (2018).

Vale apontar que a massa específica do concreto leve tem variações, pois esta depende da densidade dos agregados utilizados nas composições, levando em consideração a substituição total ou parcial do agregado a ser substituído, tendo a água como um fator importante, visto que uma quantidade elevada desse fluido pode levar à formação de vazios no concreto, reduzindo, assim, sua densidade (METHA e MONTEIRO, 2008).

Na construção civil, uma menor massa específica do concreto leve resulta em vantagens estruturais, suportará menores pressões, menores seções transversais, e poderá representar uma significativa redução nas fundações, diferente do que acontece, quando utilizado o concreto convencional (NEVILLE, 2016).

De acordo com autor supracitado, a massa específica é interessante devido à resistência do concreto estar associada a ela, dessa maneira é possível caracterizar o uso do concreto leve em três categorias conforme aponta-se a seguir:

- **Concreto leve:** possui a menor massa específica, variando de 300 kg/m^3 a 800 kg/m^3 , e sua resistência é desprezível, e, por sua vez, é utilizado apenas para fins não estruturais e principalmente para isolamento térmico;
- **Concreto de resistência moderada:** suas propriedades possibilitam aplicá-lo na construção civil, em locais que necessitam de uma resistência de 7 e 17 MPa, tem sido empregado em isolamentos intermediários e não tem função estrutural; e
- **Concreto leve estrutural:** esse concreto possui massa específica em torno de 1350 kg/m^3 e 1900 kg/m^3 , com resistência mínima de 17 MPa, utilizado principalmente para fins estruturais.

4.4.2. Resistência mecânica do concreto

A resistência de um material se define pela sua capacidade em resistir a uma tensão sem qualquer rompimento, dessa forma, a resistência do concreto é relacionada com a tensão que ele requer para causar sua ruptura (METHA E MONTEIRO, 2008).

No estado endurecido, o concreto deve possuir capacidade de resistir às diversas condições de carregamento, destacando-se a resistência à compressão e tração, e flexão ao cisalhamento (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

Segundo Metha e Monteiro (2008), existem vários ensaios para a determinação da resistência do concreto: na compressão o corpo de prova é pressionado e, mesmo não havendo sinais visíveis de fratura na parte externa, é considerado rompido e, na tração, a fratura do corpo de prova normalmente significa ruptura.

Além disso, Carvalho e Figueiredo Filho (2016) ressaltam, ainda, que independentemente do procedimento de ensaio utilizado ou solicitado, o concreto é mais resistente aos esforços de compressão do que tração, e diversos fatores influenciam na variação da resistência do concreto, como a relação água e cimento, forma e granulometria dos agregados presente na mistura, e idade do concreto.

A relação água e cimento é um fator de suma importância na resistência mecânica do concreto, e quanto menor a quantidade de água usada no amassamento, maior será a resistência do concreto (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

A granulometria dos agregados é obtida através do peneiramento, assim, os vazios dos grãos maiores podem ser preenchidos com os grãos menores, e, com isso, apresentar um bom entrosamento na mistura, com pequenos volumes de espaços vazios entre suas partículas, possibilitando um aumento da resistência (FREITAS, 2012).

A resistência padrão pode ser obtida nos ensaios realizados com 28 dias de idade, e a resistência mecânica do concreto progride após a concretagem, assim como sua hidratação que pode se processar ao longo do tempo devido às reações químicas (NEVILLE, 2016).

4.4.2.1. Resistência à compressão

A resistência à compressão é a principal propriedade do concreto, adotado para garantir a qualidade e segurança da construção e para o dimensionamento de uma estrutura, medida pela força por unidade de área, expressa em MPa (ADAO, HEMERLY, 2010).

Por ser o requisito primordial solicitado em seu estado endurecido, os projetos de engenharia especificam que grande parte da resistência à compressão final do concreto convencional é atingida aos 28 dias de idade, embora seja observado um crescimento de resistência até os 360 dias (BAUER, 2000). Rossignolo (2009) ressalta que o concreto com agregado leve estabiliza os valores finais de resistência a compressão mais rapidamente, ou seja, apresentam baixo ganho de resistência após os 28 dias de idade.

Dessa forma, a resistência à compressão do concreto leve pode ser afetada pela granulometria e o tipo de agregado utilizado onde a estrutura interna dos agregados leves possui uma grande quantidade de poros menos resistentes que os agregados convencionais (ROSSIGNOLO, 2009)

Tendo em vista as variáveis que influenciam nas características e propriedades mecânicas do concreto, vários corpos de provas são submetidos ao teste de compressão, por meio de uma prensa com carregamento contínuo (GIONGO, 2007).

Os corpos de provas devem ser moldados conforme a NBR 5738 (ABNT, 2018) e para moldes cilíndricos a altura do corpo de prova deve ser igual ao dobro do diâmetro, e este deve ser 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm.

Ainda segundo a norma, após ser moldado o corpo de prova, deve ser transportado para o local de armazenamento. É imprescindível que sejam locais planos, sem vibrações, e a partir de um dia de idade (24 horas) os corpos de provas devem ser desmoldados e protegidos das condições climáticas até a data do rompimento do corpo de prova, e o ensaio deve ser realizado com 28 dias de idade.

Para o ensaio de ruptura, deve ser atendido o método NBR 5739 (ABNT, 2007) que ressalta que o corpo de prova deve ser posicionado de forma centrada, coincidindo o eixo do corpo de prova com o da máquina, fazendo com que a resultante das forças passe pelo centro do corpo de prova.

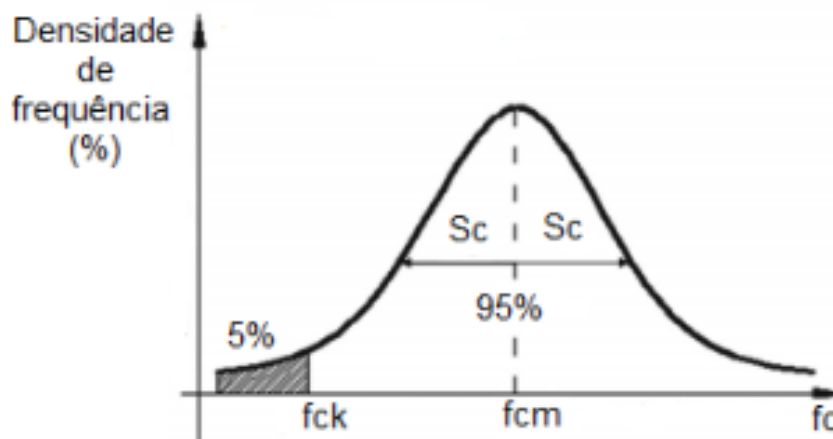
A ruptura do corpo de prova do concreto leve começa com microfissuras nos agregados, atravessando o grão de agregado leve até o colapso. Já o concreto convencional resulta em uma linha de fratura ao redor do agregado (ROSSIGNOLO, 2009).

Após o rompimento, variando de uma obra a outra, é fundamental avaliar a resistência característica do concreto f_{ck} , utilizado nas vigas, lajes e pilares, por isso dependendo da dimensão da obra, são confeccionados vários corpos de provas padronizados, para possibilitar que resultados diferentes de resistências possam ser comparados (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO 2016).

Ainda segundo os mesmos autores, as operações de ensaios de compressão são estabelecidas para obter um gráfico, e unindo os pontos das colunas, obtém-se uma curva, conhecida como Curva de Gauss.

Almeida (2002) define a curva de Gauss da seguinte maneira: no eixo das abscissas, são representados os valores das resistências (f_c), desvio padrão obtido a partir do rompimento de vários corpos de prova pertencentes à mesma amostra de concreto, versus o eixo das ordenadas denominado de frequência de ocorrência, valores apresentados em porcentagem, que representa a quantidade de corpo de prova que obteve de resistências (f_c) iguais, como mostra o GRAF. 1.

Gráfico 1 – Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão



Fonte: PINHEIRO, MUZARDO E SANTOS (2004).

Nota: f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão, f_{cm} = resistência média do concreto à compressão, s_c = desvio padrão.

Após traçados o gráfico e a Curva de Gauss, são encontrados dois valores fundamentais para a determinação da qualidade do lote de concreto a ser utilizado na obra: valor de f_{cm} determinado pela resistência média dos valores da resistência de f_c dos corpos de provas ensaiados, e por meio desse valor, determina-se o f_{ck} que consiste na resistência em MPa característica do concreto, aos 28 dias de idade como mostrado na Equação 1 (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s \quad (1)$$

Pacheco e Helene (2013) ressaltam que, na obra, o f_{ck} é adotado como referência para os projetos estruturais, portanto o valor de 1,65 corresponde aos 5% do total de volume do

lote de concreto que são eliminados, por apresentar menores valores de resistência obtidos no ensaio de compressão, e os outros 95% do restante são utilizados como f_{cm} , devido ao fato de possuírem resistências maiores com $f_c \geq f_{ck}$.

4.4.2.2. Resistência à tração

O concreto é menos resistente à tração, e seu dimensionamento tem uma característica significativa para as estruturas, podendo estar relacionada com a capacidade resistente da peça (FUSCO, 2008).

Carvalho e Figueiredo Filho (2016) afirmam que existem três ensaios diferentes para se obter a resistência à tração: ensaio de flexotração, de compressão diametral (tração indireta) e tração pura.

Para Metha e Monteiro (2008), o ensaio de compressão diametral consiste na aplicação de forças de compressão opostas ao plano, com carga de velocidade constante de 0,7 a 1,3 MPa até o rompimento do corpo de prova, e ensaio de flexotração com carregamentos nas extremidades do vão, onde são utilizadas vigas com 150 mm de comprimento por 15 mm de largura e 15 mm de altura, com aplicação de carga de velocidade 0,8 a 1,2 MPa, até sua ruptura.

Os ensaios de tração pura são determinados aplicando-se tração axial até a ruptura, são pouco utilizados devido a sua difícil execução, os resultados são influenciados pela forma de proceder à tração na máquina de ensaio (ALMEIDA, 2002).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram realizados alguns ensaios técnicos em ambos os concretos. Para executar os mesmos foi efetuado uma revisão bibliográfica sobre o tema proposto para obter mais informações sobre ambos, foram utilizados livros, artigos científicos, revistas, teses e dissertações como material de consulta, além de um conjunto de normas e manuais preexistentes á respeito dos mesmos.

Assim, obtidas as informações necessárias, foi possível analisar e determinar as características do concreto convencional e do concreto contendo parcialmente pérolas de EPS. Foi realizado o ensaio granulométrico dos agregados e no estado fresco do concreto foi feito o ensaio de abatimento conhecido como tronco de cone. Já no estado endurecido foi realizado o ensaio de compressão, e também se verificou a densidade dos corpos de prova.

Para a realização destes ensaios foram utilizados os seguintes materiais e métodos descritos a seguir.

5.1. Materiais utilizados

Para a realização dos ensaios: granulométrico, *Slump Test* e resistência à compressão nos concretos convencional e leve foram utilizados os seguintes insumos e equipamentos, descritos a seguir:

5.1.1. Cimento *Portland*

Na produção e moldagem dos corpos de provas do concreto convencional e concreto com EPS, empregou-se cimento *Portland* CII- 32 F, especificado como cimento *Portland* com adição de Filler.

5.1.2. Água

Este material poderia influenciar diretamente na qualidade dos concretos, sendo assim, foi utilizada água potável fornecida pelo sistema publico de abastecimento COPASA, sendo que a mesma estava visivelmente limpa, atendendo os critérios necessários para ser usada no amassamento dos concretos.

5.1.3. Agregados: areia e brita

O agregado miúdo utilizado na produção dos moldes de corpos de provas foi a areia média, e o agregado graúdo foi a brita 2.

5.1.4. Agregado: EPS

Na produção do concreto foram utilizadas pérolas de EPS, que apresentaram diâmetro em torno de 2 mm a 5 mm, com densidade de 18 kg/m^3 conforme especificado pelo fabricante (FIG. 5).

Figura 5 - Pérolas de Eps



Fonte: A autora (2018).

5.1.5. Balança de precisão e Becker

A balança analítica utilizada para a pesagem dos materiais do ensaio granulométrico foi da marca Oleman, caracterizada por dar dados exatos e específicos em relação ao peso de determinados elementos. E na pesagem dos materiais com massa acima de 1200 kg foi usada à balança da marca Digi – Tron.

Para garantir um traço em volume bem dimensionado, na medição dos insumos dos concretos contou-se com o apoio de um Becker de plástico.

5.1.6. Peneiras

Na realização deste ensaio, foi usado um conjunto de peneiras empregado para a determinação das dimensões das partículas da areia e da brita e um agitador de peneiras. A

malha das mesmas seguiam padrões internacionais, com dimensões em milímetros e polegadas.

5.1.7. *Slump Test*

Para o ensaio de abatimento de tronco de cone *Slump Test* foi utilizado um conjunto de equipamentos cedido por uma empresa, situada na cidade de Arcos- MG.

5.1.8. Prensa para ensaio de compressão

A máquina para a realização dos ensaios foi a WAW-1000, disponibilizado pelo laboratório Ciências da Terra do Centro Universitário de Formiga- UNIFOR-MG, onde foi realizado o ensaio de compressão, na qual os corpos de prova foram submetidos a uma força axial e rompidos.

5.2. Métodos para a produção do concreto

Para a realização dos ensaios experimentais, foram utilizados os métodos descritos a seguir.

5.2.1. Escolha do traço

O traço utilizado para a produção dos corpos de prova foi com as proporções 1:2:3:0,5 sendo cimento, areia, agregado graúdo e a água respectivamente. Na prática, para a produção do traço de concreto, utiliza-se como unidade de medida o volume para a medição das quantidades de materiais necessários, porém, buscando uma exatidão, primeiramente calculou-se a massa de todos os materiais que seriam utilizados, e após, transformou-se essas quantidades em volumes, por se tornar mais fácil a medição no campo de obras e devido ao EPS ser um agregado muito leve com massa específica bem inferior ao da brita.

As proporções utilizadas no traço do concreto se mantiveram as mesmas em todos os traços, variando-se apenas as proporções do agregado graúdo brita e do EPS.

Na dosagem do concreto utilizado para preencher os moldes de corpos de prova, foi necessário determinar primeiramente o volume do concreto que preencheria 1 molde de corpo de prova, conforme demonstra a Equação 2

$$V = h \cdot \pi \cdot r^2 \quad (2)$$

onde:

V = volume do molde corpo de prova em m³;

h = altura molde corpo de prova em m;

r = raio do molde corpo de prova em m.

Tendo conhecido o volume de 1 molde de corpo de prova foi possível calcular o volume total de concreto que seria utilizado para preencher os 12 corpos de provas que foram confeccionados, e através do resultado do volume total, dosar a quantidade de consumo de cimento utilizado para o traço 1:2:3:0,5 considerando uma taxa de desperdício de 20% utilizando a Equação 3:

$$C = \frac{V}{\frac{1}{\rho_c} + \frac{2}{\rho_a} + \frac{3}{\rho_b} + 0,5} \times 0,2 \quad (3)$$

onde:

C = consumo de cimento, kg;

V = volume de concreto, dm³;

ρ_c , ρ_a e ρ_b = massas específicas, respectivamente do cimento, areia e brita em kg/dm³ (VARELA, 2012).

Com o volume do cimento encontrado, calculou os outros agregados através das proporções 1:2:3:0,5 que é o traço utilizado, onde determinou as quantidades necessárias de areia, brita e água utilizados na produção do concreto, conforme demonstram as Equações 4, 5 e 6.

$$Qtd \text{ de areia} = qtd \text{ cimento} \times 2 \quad (4)$$

$$Qtd \text{ de brita} = qtd \text{ cimento} \times 3 \quad (5)$$

$$Qtd \text{ de água} = qtd \text{ cimento} \times 0,5 \quad (6)$$

Para a realização dos ensaios foram desenvolvidos três corpos de prova cilíndricos (10 x 20cm) para cada tipo de concreto produzido, sendo um concreto sem a substituição do

agregado graúdo que foi o concreto convencional, outro com a substituição de 30% do volume da brita por EPS, outro com a substituição de 60% do volume da brita por EPS, e mais um com a substituição de 90% do volume da brita por EPS, conforme identificados nas TAB. 1.

Tabela 1 - Dosagem dos agregados para a produção dos concretos em massa

TRAÇO	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Eps (Kg)	Água(kg)
Convencional	2,05	3,419	5,167	0	1,025
30% de EPS	2,05	3,419	3,617	0,01053	1,025
60% de EPS	2,05	3,419	2,067	0,02106	1,025
90% de EPS	2,05	3,419	0,516	0,03159	1,025

Fonte: A autora (2018).

Para a confecção dos corpos de prova, com a substituição do agregado graúdo por EPS, devido o mesmo ser muito leve comparado à brita, foi necessário utilizar os agregados em litros, assim como a água e o cimento. Conforme já citado anteriormente, no canteiro de obras, a utilização dos agregados em volume proporciona maior facilidade para as medições das quantidades necessárias. Com isso utilizou-se a equação 7 para transformar a massa dos agregados em volume.

$$Volume = \frac{Massa\ da\ amostra}{Densidade\ da\ amostra} \quad (7)$$

A TAB. 2 demonstra os valores da densidade adotada para os componentes utilizados na dosagem, sendo a densidade do EPS especificada pelo fabricante.

Tabela 2 – Densidade dos agregados

Cimento (Kg/dm ³)	Areia (Kg/dm ³)	Brita (Kg/dm ³)	EPS (Kg/dm ³)	Água (Kg/dm ³)
3,150	2,630	2,650	0,018	1

Fonte: Adaptada de Varela (2012).

A TAB. 3 demonstra a quantidade dos agregados em volume para a confecção dos concretos.

Tabela 3 - Dosagem dos agregados para a produção dos concretos em volume

Traço	Cimento (L)	Areia (L)	Brita (L)	Eps (L)	Água(L)
Convencional	0,650	1,300	1,950	0,000	0,325
30% de EPS	0,650	1,300	1,365	0,585	0,325
60% de EPS	0,650	1,300	0,780	1,170	0,325
90% de EPS	0,650	1,300	0,195	1,755	0,325

Fonte: A autora (2018).

5.2.2. Ensaio granulométrico da areia

Este ensaio consistiu na avaliação das propriedades do agregado areia. Para sua execução foi necessário seguir as diretrizes e regras da NBR NM 248 (ABNT, 2003), que normaliza os experimentos para materiais de construção. Para a realização da análise, separou uma amostra de no mínimo 0,3 kg conforme recomenda a norma para agregados menores de 4,8 mm, seguindo os parâmetros da TAB. 4.

Tabela 4 - Massa mínima por amostra de ensaio

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Massa mínima amostra de ensaio (Kg)
<4,75	0,30
9,50	1,00
12,50	2,00
19,00	5,00
25,00	10,00
37,50	15,00
50,00	20,00
63,00	35,00
75,00	60,00
90,00	100,00
100,00	150,00
125,00	300,00

Fonte: NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003), para o ensaio granulométrico da areia utilizou-se peneiras de aço com abertura de malha de: 4,75 mm, 2,00 mm, 1,18 mm, 0,85 mm, 0,435mm, 0,3 mm, 0,15 μm e o fundo, com abertura de ordem crescente na base do topo. Utilizando uma balança analítica pesaram-se duas amostras de no mínimo 300 gramas cada, e procedeu-se o ensaio separadamente com cada uma.

O ensaio consistiu no encaixe das peneiras previamente limpas ate formar o conjunto, e em seguida adicionou-se a amostra na peneira superior do conjunto, iniciando o peneiramento por 3 minutos com o uso de um agitador mecânico. Com a agitação, os grãos maiores ficarão retidos nas peneiras da parte superior e os menores passaram para as peneiras inferiores devido à abertura de sua malha. Ao termino do processo, retirou o material retido nas peneiras, colocou em bandejas identificadas, e posteriormente procedeu com as pesagens, onde foi encontrado a quantidade retida de material em cada peneira.

Tendo conhecido a quantidade de material retido em cada peneira, seguindo a NBR 7211 (ABNT, 2005), calculou a porcentagem de retenção utilizando a Equação 8.

$$\% \text{ do material retido} = \frac{(MR \times 100)}{MT} \quad (8)$$

onde:

MR = material retido em gramas na peneira, e

MT = massa total utilizada em gramas.

Para o cálculo da amostra retida acumulada em cada peneira, somou os percentuais retidos nas peneiras superiores juntamente com o percentual retido na peneira em estudo, que foi calculado utilizando a equação 9:

$$\% \text{ de material retido acumulado} = RA + RT \quad (9)$$

onde:

RA = porcentagem de material retido acumulado nas peneiras superiores;

R.T = porcentagem de material retido na peneira em estudo.

Depois de encontrada a porcentagem retida acumulada da areia, foi verificada a sua dimensão máxima característica, e conforme a NBR 7211 (ABNT, 2005), para a classificação desta grandeza foi utilizado uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5% em massa do agregado analisado.

O modulo de finura decresce na medida em que o agregado vai se tornando mais fino, e foi calculado utilizando a Equação 10:

$$MF = \frac{MRA}{100} \quad (10)$$

onde:

MRA = é a soma da porcentagem de material retido acumulado nas peneiras de serie normal em estudo, exceto a do fundo.

5.2.3. Ensaio granulométrico da brita

Para o ensaio granulométrico da brita, de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003), foi pesado duas amostras com 5 kg cada, e procedeu-se o ensaio separadamente com cada uma. O peneiramento obedeceu à mesma sequência de procedimentos da areia, porém as peneiras utilizadas foram: 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm e fundo.

Após o peneiramento, pesou o material retido em cada peneira registrando-os, para logo após ser calculado a porcentagem retida de amostra em cada peneira, utilizando a Equação 8, e para o cálculo do percentual retido acumulado na peneira em estudo utilizou a Equação 9.

Para a verificação da dimensão máxima característica da brita também foi utilizada a NBR 7211 (ABNT, 2005), onde para a classificação desta grandeza foi utilizado uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5% em massa do agregado analisado.

5.3. Mistura e amassamento

Depois da pesagem dos materiais, e retirada das impurezas da areia através do peneiramento, o amassamento foi à primeira etapa para a produção do concreto, que teve como objetivo a obtenção de uma mistura homogênea onde as proporções utilizadas no traço,

deveriam entrar em contato entre si. Em seguida adicionou a água até se conseguir uma massa de aspecto uniforme.

O amassamento foi realizado sob uma superfície plana, resistente e impermeável. E o roteiro para o amassamento manual foi da seguinte forma: primeiramente espalhou a areia formando uma camada e adiciona o cimento, e utilizando uma enxada mexeu a areia e o cimento, formando uma mistura homogênea e uniforme, e após espalhar esta mistura adicionou o agregado graúdo brita. Logo em sequência, misturou todos os agregados e posteriormente fez um monte com uma coroa (buraco) no meio onde foi adicionada a água aos poucos, evitando que ela escorresse.

5.4. Ensaio de consistência *Slump Test*

A trabalhabilidade do concreto convencional e do concreto com perolas de EPS foi analisada conforme o que estabelece o método de ensaio para a determinação da consistência dos concretos pelo abatimento do tronco de cone. O *Slump Test* consistiu na utilização de um molde metálico oco em formato tronco de cone, que possuía uma altura de 300 mm, diâmetro superior de 100 mm, e diâmetro inferior de 200 mm.

Seguindo a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), para a realização do ensaio colocou o molde com a abertura de menor diâmetro para cima sobre uma placa metálica de base 500 x 500 x 3 mm, e com a amostra fresca coletada do traço procedeu com o preenchimento de 3 camadas de volume aproximadamente iguais de concreto. Para o adensamento de cada camada, foi utilizada uma haste metálica de socamento, onde foram dados aproximadamente 25 golpes uniformemente distribuídos em cada camada.

Após rasar a superfície superior do concreto, o molde foi retirado lentamente e cuidadosamente, e colocado ao lado da amostra de concreto. Utilizando o molde como referência de medida e a haste de socamento, mediu-se a distância entre a amostra e a haste. Em seguida, com a ajuda de uma trena mediu a diferença entre a altura da amostra e do molde, obtendo assim os resultados dos abatimentos do concreto convencional e do concreto com pérolas de EPS, expresso em milímetros.

5.5. Moldagem dos corpos de prova

A moldagem seguiu os preceitos apresentados pela NBR 5738 (ABNT, 2018), com corpos de provas cilíndricos com 10 cm de diâmetro, 20 cm de altura, confeccionados com

material de cano de PVC. Foram utilizados 12 corpos de provas, sendo três para cada tipo de concreto. O volume de cada corpo de prova foi preenchido por 2 camadas de concreto, e o adensamento das mesmas foi realizado manualmente com 12 golpes uniformes.

5.6. Cura do concreto

Em todas as amostras analisadas, após 24 horas da moldagem dos corpos de provas, procedeu com a desmoldagem dos corpos de prova utilizando uma esmerilhadeira, e em seguida identificou cada um deles. Posteriormente os 12 corpos de provas foram imersos em água com cal até a data da realização do ensaio de compressão.

5.7. Determinação da massa específica aparente

Quanto à identificação da massa específica aparente para os diferentes tipos de concreto, após a retirada dos corpos de prova dá água com cal, procedeu com a secagem dos mesmos em temperatura ambiente por um período de 24 horas. Os 12 corpos de provas foram pesados individualmente, e com o volume do corpo de prova determinado anteriormente na Equação 3, a massa específica foi calculada através da Equação 11.

$$Y = \frac{m}{v} \quad (11)$$

onde:

Y = massa específica do corpo de prova em Kg/m^3 ;

m = massa do corpo de prova em Kg ;

v = volume do corpo de provas em m^3 .

5.8. Determinação da resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado com 28 dias após a cura imersa dos 12 corpos de provas cilíndricos seguindo as orientações da NBR 5739 (ABNT, 2007).

Conforme a norma, os corpos de provas foram colocados na posição central da máquina, e o carregamento aplicado de forma contínua e sem choque. Ao fim da ruptura dos 12 corpos de prova, com os dados obtidos, foi possível a realização do cálculo da resistência a compressão dos concretos, utilizando a Equação 12.

$$f_c = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \quad (12)$$

onde:

f_c = resistência à compressão em MPa;

F = força máxima alcançada em N;

D = diâmetro do corpo de prova em mm.

5.9. Análise Estatística

Para fins de análise estatística, foi utilizado o software SISVAR 5.6 – 2018, e os dados foram submetidos ao teste de Scott – Knott, a 5% de probabilidade, para a realização das médias. E assim realizou um experimento de variância segundo delineamento inteiramente casualizado com tratamento, consistindo da porcentagem de substituição da brita por EPS, nos teores de 0%, 30%, 60% e 90%, resultando em três repetições, sendo as variáveis resposta a resistência do concreto a compressão.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a finalidade de melhorar a compreensão dos resultados e para obtenção de conclusões confiáveis, foram realizados todos os ensaios já citados nos concretos produzidos, e após, os resultados foi elaborado tabelas, quadros e gráficos que fundamentam tal pesquisa.

6.1. Ensaio granulométrico do agregado miúdo areia

A determinação da granulometria do agregado miúdo areia, foi realizada de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). O QUADRO 1 apresenta a média dos resultados do ensaio granulométrico das duas amostras de 300 gramas da areia utilizada na produção dos corpos de provas.

Quadro 1 – Composição media granulométrica do agregado miúdo areia

Peneira	1º Determinação		2º Determinação		% Retida Média	% Retida Acumulada	% que passa
	Malha (mm)	Massa retida (g)	%Retida (%)	Massa retida (g)			
4,75	12,4	4,13	11,2	3,73	3,93	3,93	96,07
2,00	21,86	7,29	20,46	6,82	7,05	10,98	89,01
1,18	97,26	32,42	94,46	31,49	31,95	42,93	57,06
0,85	63,84	21,28	78,84	26,28	23,78	66,71	33,28
0,425	81,9	27,30	73,10	24,37	25,83	92,55	7,45
0,30	9,96	3,32	13,5	4,50	3,91	96,46	3,54
0,15	10,32	3,44	5,60	1,87	2,65	99,11	0,88
Fundo	2,47	0,82	2,86	0,95	0,89	100,00	0,00
Total	300	100	300	100	100	100	0

Fonte: A autora (2018).

A partir do exposto, vale ressaltar que todo o agregado utilizado no ensaio granulométrico se encontrava seco. Seguindo os conceitos da norma NBR 7211 (ABNT, 2005), para a areia, a dimensão máxima característica foi de 4,75 mm, com um modulo de finura de 2,42, sendo classificada como areia “média”.

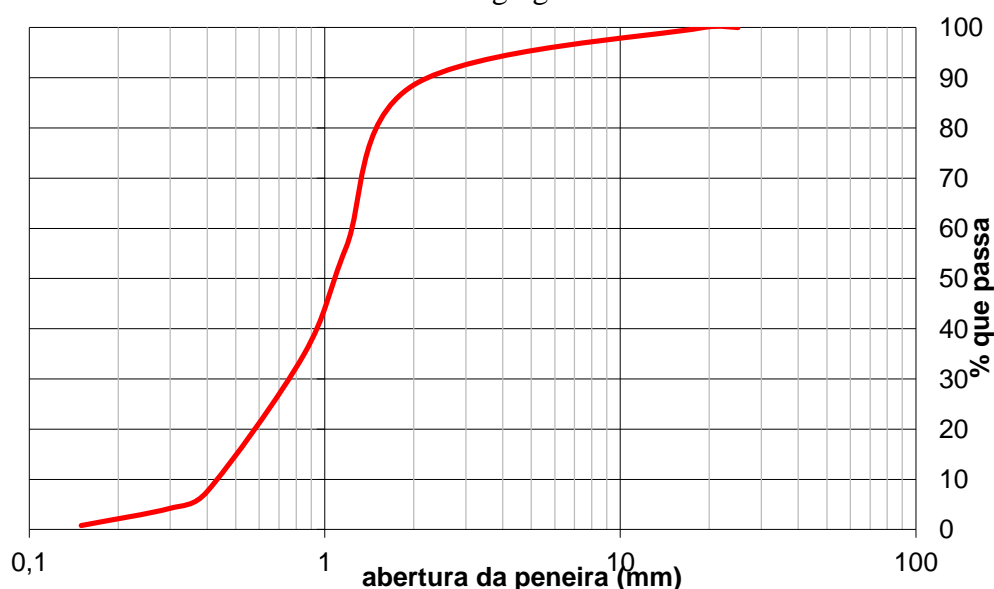
Segundo a NBR 7211 (2009) quando se tem uma porcentagem alta de material fino

(pulverulento), ou seja, menor que 0,15 μm , exigem aumento de água para amassamento, e consequentemente de cimento.

O material ensaiado apresentou uma porcentagem média de 0,88% de material fino que passou na peneira de 0,15 μm , com isso o material estava de acordo com o que exigia na norma para uma porcentagem máxima de 5%.

Em seguida foi construído um gráfico com os resultados obtidos na tabela, onde mostra a curva granulométrica do agregado miúdo areia, de tal forma que no eixo X foi colocado as quantidades de material retido nas peneiras de 2,00 mm até 0,15 mm, e no eixo Y, as porcentagens que passa nas peneiras em estudo, conforme ilustra o GRAF. 2.

Gráfico 2 – Curva Granulométrica agregado areia utilizado



Fonte: A autora (2018).

O resultado da análise granulométrica pode ser interpretado muito mais facilmente quando representado graficamente, e a curva possibilitou a determinação das características físicas do agregado. Diante disso, foi possível notar que a granulometria da areia foi descontínua, favorecendo na resistência final dos concretos, com menores quantidades de vazios na pasta devido à variação dos diâmetros, deixando o concreto menos poroso.

6.2. Ensaio granulométrico do agregado graúdo brita

O QUADRO 2 apresenta a média dos resultados das duas amostras de 5 kg da brita, utilizadas no ensaio granulométrico, e na produção dos corpos de provas.

Quadro 2 – Composição media granulométrica do agregado graúdo brita

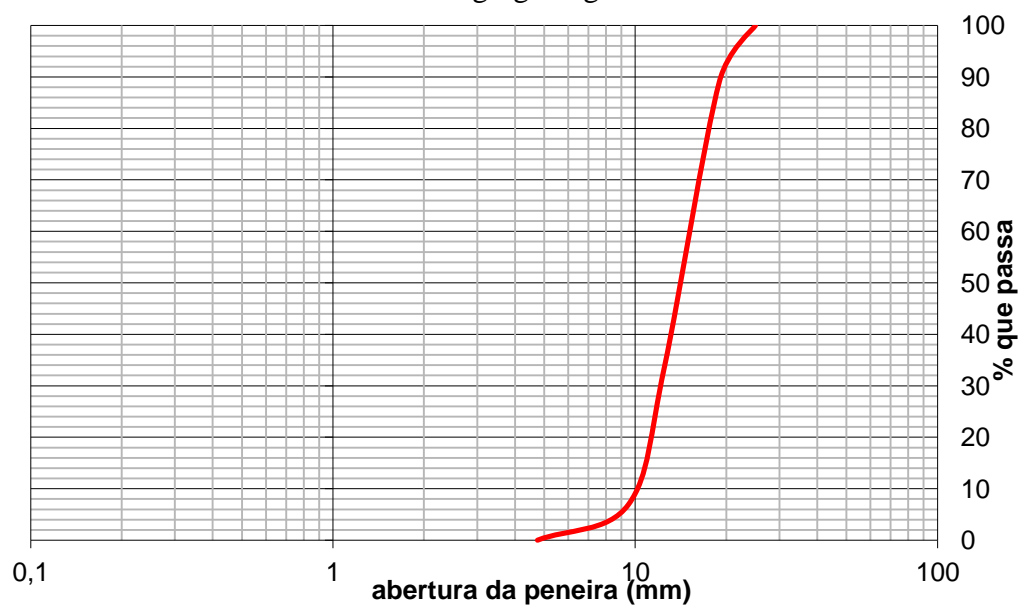
Peneira	1º Determinação		2º Determinação		% Retida Média	% Retida Acumulada	% que passa
	Massa retida (g)	%Retida (%)	Massa retida (g)	% retida			
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
19	471,50	9,43	614,10	12,28	10,86	10,86	89,14
12,5	2.999,50	59,99	2.543,51	50,87	55,43	66,29	33,71
9,5	1.252,00	25,04	1.425,30	28,51	26,77	93,06	6,94
4,75	277,00	5,54	417,09	8,34	6,94	100,00	0,00
Fundo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
Total	5000	100	5000	100	100	100	0

Fonte: A autora (2018).

Após uma análise nos dados da tabela, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005) pode-se afirmar que a classificação da brita quanto sua dimensão máxima característica foi de 25 mm, sendo classificada como Brita 2, muito utilizada em concreto convencionais.

E para auxiliar na interpretação dos resultados, foi construído o GRAF. 3, representando a curva granulométrica do agregado graúdo brita, de tal forma que no eixo X foram colocados os grãos das peneiras de 25 mm até 4,75 mm, e no eixo Y, as porcentagens que passa nas peneiras.

Gráfico 3 – Curva Granulométrica agregado graúdo brita utilizado



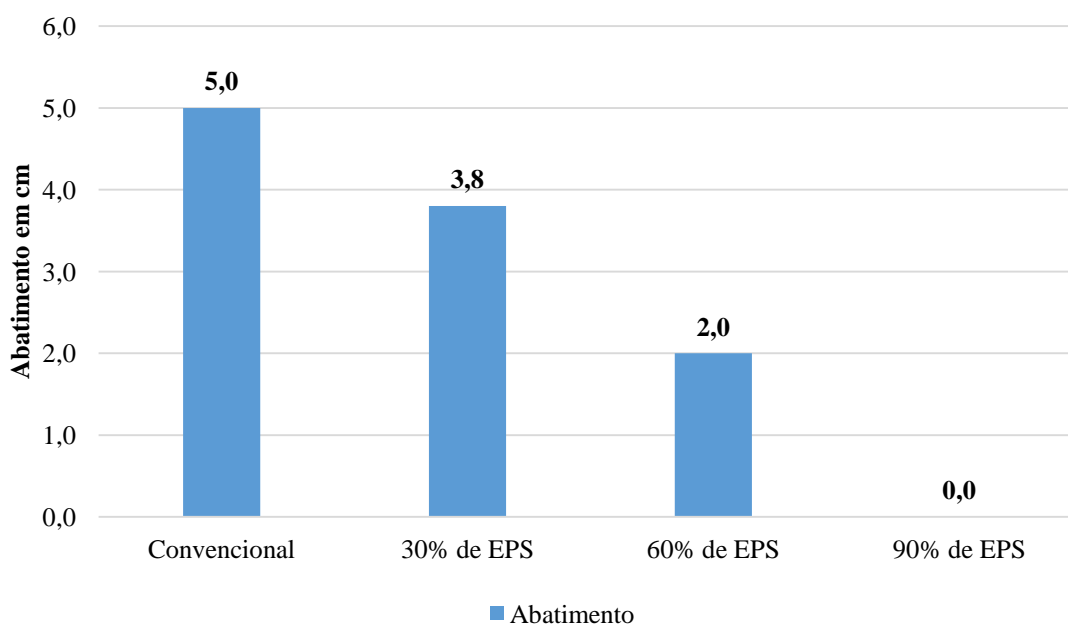
Fonte: A autora (2018).

Com a curva granulométrica foi possível notar que a granulometria da brita também foi descontínua, onde a transição da curva dos tamanhos maiores para os menores não ocorreram de maneira gradual, ou seja, não teve uma graduação uniforme nas peneiras, podendo observar poucos diâmetros de grãos com porcentagens de retenção alta, favorecendo na resistência do concreto e homogeneidade da massa, com o preenchimento dos vazios existentes.

6.3. Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone

O concreto fresco foi submetido ao ensaio de abatimento de tronco de cone de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998). O GRAF. 4 apresenta os resultados do ensaio de consistência pelo abatimento tronco de cone, *Slump Test* do concreto convencional e do concreto com substituição com substituição de 30%, 60% e 90% da brita pelo EPS.

Gráfico 4 – Variação do ensaio *Slump Test*



Fonte: A autora (2018).

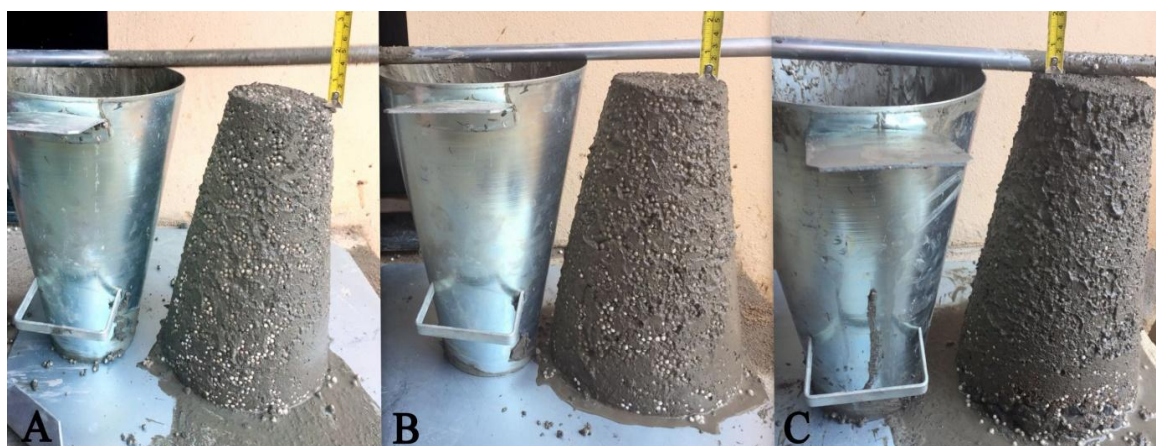
Os concretos com substituições da brita por EPS apresentaram menores abatimentos de tronco de cone, procedimento utilizado para mensurar a trabalhabilidade do concreto leve em relação ao concreto convencional com 100% de brita.

Através deste ensaio ficou comprovado que, quanto maior a quantidade de perolas de EPS utilizada na dosagem, menores foram os valores de abatimento dos concretos, resultando em 3,8 cm para concreto com substituição de 30% da brita por EPS, e 0 cm para o concreto com substituição de 90% da brita por EPS.

Pode se afirmar o que Neville (2016), concluiu, onde ressalta que menores valores de abatimento não influenciam na trabalhabilidade do concreto com agregados leves. Já os autores Xavier, Bassari e Mendes (2016) relatam que um fator que causa a diminuição do abatimento tronco de cone se deve essencialmente, ao próprio EPS, por possuir baixa massa específica, o que conseqüentemente diminui a massa específica do concreto, e sendo o concreto mais leve, este sofre menor deformação pela ação da gravidade.

A FIG. 6 ilustra o ensaio de *Slump Test* realizado nos concretos.

Figura 6 – *Slump Test* com 30% (A), 60% (B) e 90% (C) de EPS



Fonte: A autora (2018).

Este fato também foi relatado por Guidio et al. (2014), através do ensaio os autores obtiveram um abatimento do tronco de cone 6,5 cm no teor de substituição de 5%, e 4,5 cm na substituição de 15% da brita por EPS. Os autores Braga, Mota e Barbosa (2016) em experimento obtiveram um abatimento em media de 6,5 cm na substituição de 10% e 0 cm na substituição de 50% da brita por EPS, que também constataram que quão maior a porcentagem de substituição da brita por EPS, menor trabalhabilidade o concreto possui.

Em concreto com agregado leve, no que se refere à trabalhabilidade, a alta fluidez da pasta de concreto resulta na flutuação do agregado leve para a superfície. Após a moldagem dos corpos de prova, não se observou o fenômeno de segregação das pérolas de EPS, como mostra a FIG. 7.

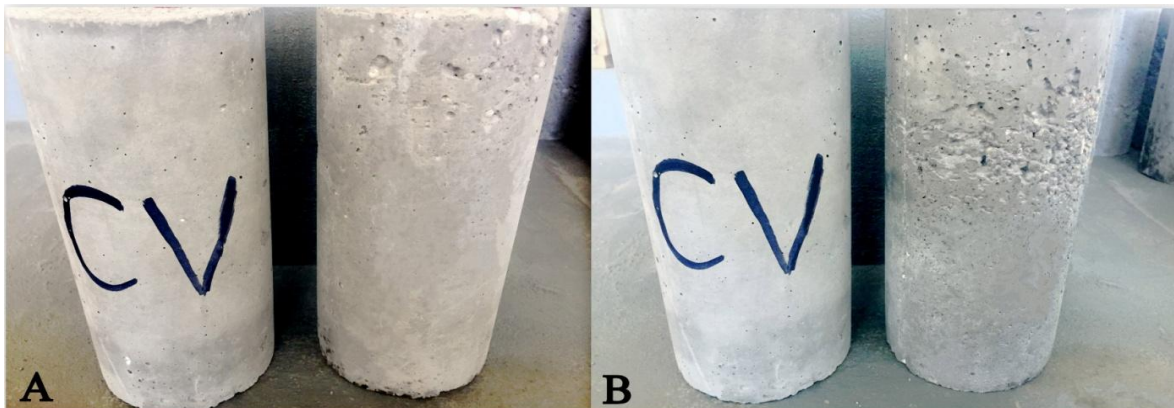
Figura 7 – Vista superior dos corpos de provas



Fonte: A autora (2018).

Os corpos de prova com 100% de brita, e com substituição de 30% da brita por EPS, apresentaram uma semelhança na trabalhabilidade, apresentando um aspecto externo uniforme. Já os corpos de prova com substituição de 60% e 90% apresentaram um aspecto mais propenso à ação de agentes nocivos à durabilidade, devido aos poros da parte externa dos corpos de prova. Contudo, quanto maior o teor de substituição mais porosa a superfície externa, como mostra a FIG. 8.

Figura 8 – Comparação corpos de prova convencional e com 60% (A) e 90 % (B) de EPS



Fonte: A autora (2018).

6.4. Massa específica aparente

Quanto aos valores obtidos no ensaio de massa específica aparente do concreto endurecido, o concreto com substituição de 90% foi o que obteve menor massa específica, ou seja, houve uma redução em média de 62 % em relação ao convencional, como apresenta a TAB. 5.

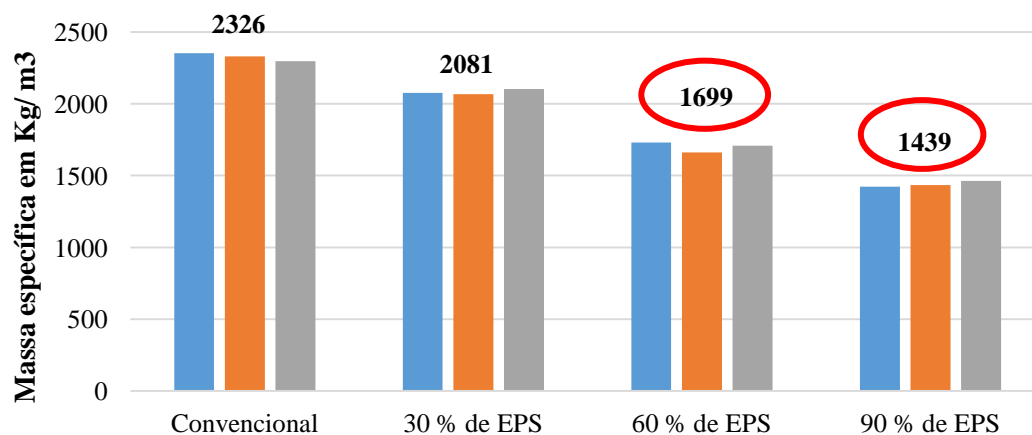
Tabela 5 – Resultados de massa específica aparente dos concretos

Concreto	Massa do corpo de prova (g)	Volume do corpo de prova (dm ³)	Massa específica (g/dm ³)	Média Massa específica (g/dm ³)
Convencional	3694	1,57	2353	2326
	3656	1,57	2329	
	3606	1,57	2297	
30% de EPS	3258	1,57	2075	2081
	3244	1,57	2066	
	3300	1,57	2102	
60% de EPS	2714	1,57	1729	1699
	2606	1,57	1660	
	2680	1,57	1707	
90% de EPS	2234	1,57	1423	1439
	2250	1,57	1433	
	2296	1,57	1462	

Fonte: A autora (2018).

O GRAF. 5 demonstra as variações dos valores de massa específica aparente dos concretos.

Gráfico 5 – Massa específica aparente dos concretos



Fonte: A autora (2018).

Segundo a NBR 8953 (ABNT, 2015), um concreto convencional com massa específica em torno de 2326 kg/dm³ e um concreto com 30% de substituição da brita por EPS com massa específica de 2081 kg/dm³ se classificam como concreto normal. Já os concretos

com 60% e 90% de substituição da brita por EPS, resultaram em massa específica 1699 kg/dm³ e 1439 kg/dm³ respectivamente, sendo classificados como concreto leve.

6.5. Resistência à compressão

Para a realização do ensaio de resistência a compressão, os corpos de prova foram moldados conforme a NBR 5738 (ABNT, 2018), como ilustra a FIG. 9.

Figura 9 – Moldagem dos corpos de prova



Fonte: A autora (2018).

Após 24 horas da moldagem dos corpos de provas, os mesmos foram desmoldados conforme ilustra a FIG. 10.

Depois de serem desmoldados os mesmos foram colocados imersos na água até a data de rompimento, onde o ensaio foi realizado com 28 dias de idade.

Figura 10 – Corpos de prova desmoldados



Fonte: A autora (2018).

Considerando os fatores que influenciam nas propriedades do concreto fresco e endurecido perante aos ensaios mecânicos, após 28 dias, os corpos de provas foram submetidos ao teste de rompimento à compressão, através de uma prensa com carregamento contínuo, como ilustra a FIG. 11.

Figura 11 – Corpo de prova na prensa



Fonte: A autora (2018).

Considerando que em concretos com agregados leves o que se busca é a redução da massa específica, não tendo a necessidade de resistência a grandes esforços, a TAB. 6 apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão dos concretos.

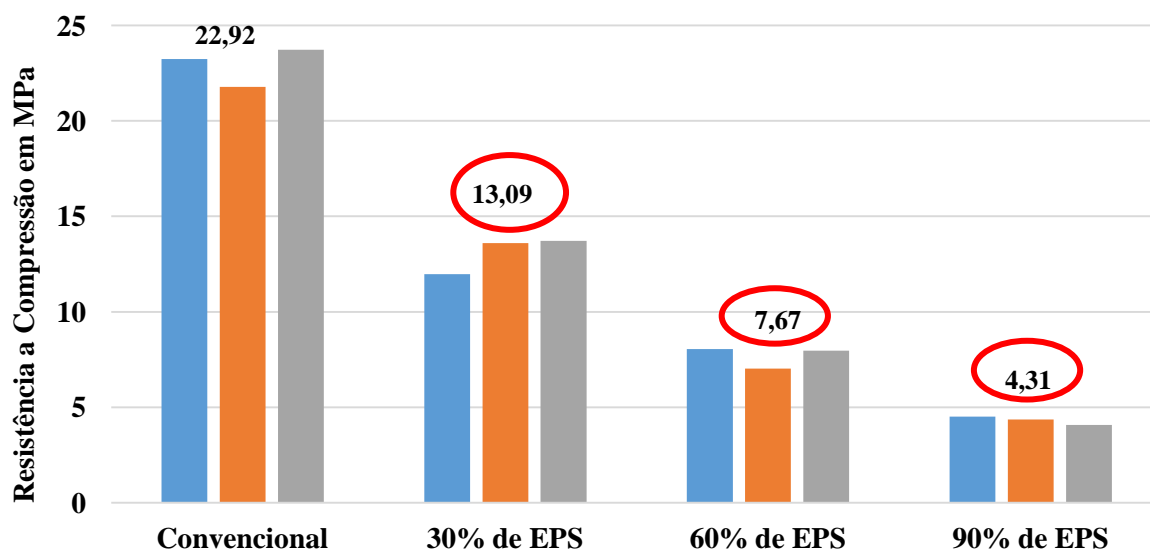
Tabela 6 – Resultados do ensaio de compressão

Concreto	Corpo de Prova	F (N)	Ø (mm)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Média da Tensão de Ruptura (Mpa)
Convencional	1	182637,875	100	23,25	22,92
	2	171024,219	100	21,78	
	3	186353,469	100	23,73	
30% de EPS	1	94028,438	100	11,97	13,09
	2	106828,133	100	13,60	
	3	107645,172	100	13,71	
60% de EPS	1	63241,707	100	8,05	7,67
	2	55109,004	100	7,02	
	3	62521,328	100	7,96	
90% de EPS	1	35374,406	100	4,50	4,31
	2	34274,883	100	4,36	
	3	32000,000	100	4,07	

Fonte: A autora (2018).

O GRAF. 6 demonstra as variações das resistências à compressão dos concretos

Gráfico 6 – Resistência à compressão dos concretos



Fonte: A Autora (2018).

Os corpos de prova com 100% de brita e com substituição de 30%, 60% e 90% apresentaram grandes oscilações nos resultados de resistência a compressão. Já os corpos de provas de concreto convencional, apresentaram valores próximos ao esperado para o traço padrão 1:2:3 para uma resistência ideal de 25 Mpa.

Diante dos resultados obtidos nos ensaios, e de acordo com Neville (2016) ficou comprovado que a massa específica está associada à resistência do concreto, portanto, o concreto com substituição de 90% da brita por EPS, pode ser aplicado para fins não estruturais, como por exemplo, isolamento térmico, devido sua resistência ser desprezível, e possuir baixa massa específica. Já o concreto com substituição de 60% e 30% da brita por EPS, pode ser empregado em isolamentos intermediários, e em locais que necessite de uma resistência entre 7 e 17 MPa, sem função estrutural.

O concreto leve para ter função estrutural, sua resistência mínima deve apresentar 17 Mpa. Diante dos resultados, as propriedades físicas e mecânicas do concreto leve produzido com 30%, 60% e 90%, possibilitam a uso somente em locais sem função estrutural, não podendo ser aplicado em fundações, vigas, lajes e pilares, onde é necessária uma resistência maior do concreto produzido.

As resistências menores do concreto com agregado leve, se deve ao fato do agregado de EPS possuir em sua composição 98% de ar e 2% de material plástico, sendo assim menos resistentes quando comparados com agregado convencional utilizado.

No entanto, também foi possível verificar que as falhas nos corpos de prova contendo o EPS (FIG. 12), foram mais deformáveis ao redor das partículas de EPS. Com todos os corpos de prova rompidos, comprovou-se que, no concreto com maior concentração de EPS, a tendência no aparecimento de fissuras foi maior, pelo motivo do agregado leve não possuir a mesma rigidez da brita.

Figura 12 – Corpos de provas com EPS rompidos



Fonte: A Autora (2018).

Na FIG.12 ilustrada anteriormente, nota-se também a distribuição uniforme das partículas de EPS, sendo positiva a homogeneidade granulométrica do concreto com EPS, pois quanto mais distribuídos estiverem os grãos de agregados, melhor a qualidade do concreto.

6.6. Análise estatística

Com os resultados referentes ao ensaio de compressão, foi realizada a média aritmética dos diferentes tipos de corpos de provas. Sendo assim, com a análise em questão, foi possível obter precisamente a distribuição de resistência à compressão e o coeficiente de variação (CV) das mesmas, como são apresentadas são apresentadas na TAB. 7.

Tabela 7 - Análise estatística das resistências do concreto

Tratamento	Resistência Média (Mpa)
Com 0% de EPS	22,92 a
Com 30% de EPS	13,09 b
Com 60% de EPS	7,67 c
Com 90% de EPS	4,31 d
CV (%)	6,39

Fonte: A autora (2018).

Nota: Médias seguidas por letras diferentes na coluna se diferem entre si pelo test de Scott – Knott, a 5% de probabilidade.

Com os resultados obtidos do experimento, foi possível concluir estatisticamente que, com o aumento do teor de EPS houve estatisticamente uma redução da resistência á compressão do concreto. Para os estudos dos resultados obtidos, nas substituições estudadas, matematicamente, houve diferenças significativas entre os resultados dos concretos. Desta forma, foi observado que a substituição da brita por EPS, alterou a resistência à compressão, verificando assim a diferença estatística entre o concreto convencional (a), com o concreto com 30% (b), 60% (c) e 90% (d) de EPS.

Este fato também foi relatado pelos autores Xavier, Bassari e Mendes (2016), que afirmam em seus estudos que, com o aumento da substituição da brita por EPS, houve estatisticamente uma redução da resistência à compressão. Através dos intervalos, pode-se afirmar que o tratamento do concreto convencional com 0% de EPS analisado, se diferenciou de todos os outros, essa análise é representada pelas letras na lateral direita da tabela 7, e os tratamentos que tem a mesma letra não se diferenciam, e os que possuem letras diferentes se diferenciam estatisticamente, o que aconteceu na análise deste estudo, sendo que as letras foram todas diferentes.

Observando os dados encontrados na dispersão, pode-se analisar os resultados dos testes mais precisamente, sendo que os valores encontrados no concreto convencional, dificilmente serão encontrados para o concreto que possui EPS, podendo concluir que o concreto convencional é estatisticamente diferente dos demais analisados, pelo fato de ser o que possui maior resistência.

7. CONCLUSÃO

O desafio do setor da construção civil é adotar obras cada vez sustentáveis. Para isso, são criadas e desenvolvidas técnicas para a utilização do EPS, um material que vindo sendo reconhecido por proporcionar a humanidade uma eficiência na sua utilização. Assim, através do estudo experimental, foi possível comparar as propriedades em que o concreto leve se diferencia do concreto convencional.

Dentre os ensaios, a massa específica e a resistência à compressão foi às propriedades que mais sofreram alterações com o uso do EPS. Um dos principais fatores da redução da resistência se deve a porosidade, pois há um aumento de vazios, e conseqüentemente a diminuição dos valores obtidos.

Sendo responsável por compor em média 75% do concreto, os agregados são responsáveis pelas principais propriedades físicas do concreto. Assim, a realização dos ensaios granulométricos foi essencial para se conhecer os agregados utilizados na produção dos concretos, pois os mesmos influenciam na quantidade de água a ser adicionada, agindo na capacidade de resistência e trabalhabilidade do concreto.

Os concretos com substituição da brita por EPS obtiveram resultados de resistência à compressão com diferenças significativas em relação ao concreto convencional. Sendo assim, levando em consideração as normas observadas e os resultados obtidos estaticamente, o concreto com EPS não pode ser comparado ao concreto convencional para fins estruturais, pois apresentou resistência a compressão inferior a mínima exigida de 17MPa.

As substituições de 30% e 60% e 90% da brita por EPS alcançaram resultados positivos quanto à massa específica e desempenho mecânico, podendo ser usados em locais com poucos esforços, e para fins não estruturais, como regularização de laje, fechamento de painéis, bancos de praças, pois nos horários mais quentes se torna impossível sentar-se em bancos de concreto convencional, dentre outras.

A utilização do EPS nas edificações é viável, levando em consideração o alívio significativo de cargas, gerando facilidade no transporte do material por ser mais leve, e uma redução do custo no valor final da obra. Minimizar o impacto sobre o meio ambiente é o objetivo principal da substituição do agregado convencional pelo reciclado de EPS, sendo uma solução para os impactos ambientais, baseada na utilização de recursos naturais e recicláveis, com o reaproveitamento total dos entulhos produzidos, reforçando assim a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ADÃO, F. X.; HEMERLY, A. C. **Concreto Armado**: novo milênio, cálculo prático e econômico. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 224 p.

ALMEIDA, L. C. **Concreto**: Notas de aula da disciplina AU414 - Estruturas IV– Concreto armado. 2002. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

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

ARAÚJO, R. C.L.; RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://engenhariaconcursos.com.br/arquivos/Materiais/concretosimples.pdf>> Acesso em 25 de mar.2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL –**ABESC**. Manual do Concreto Dosado em Central. São Paulo, 2007. 35 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO *PORTLAND* – **ABCP**. Guia Básico da Utilização do Cimento *Portland*. São Paulo, 2002. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO. **ABRAPEX**: Reciclagem e Reaproveitamento de EPS. Disponível em:<<http://www.abrapex.com.br/06Reciclagem.html>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

_____. **NBR 7389-1**: Agregados – Análise petrográfica de agregado para concreto – Parte 1: Agregado miúdo. Rio de Janeiro, 2009. 5 p.

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

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015. 7p.

_____. **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 248**: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 59 p.

ASSOCIAÇÃO INDUSTRIAL DO POLIESTIRENO EXPANDIDO - **ACEPE**. Disponível em <http://www.acepe.pt>. Acesso em 15 de Mai. 2018.

BALBO, T. D.; TOSTA, Y. F. Análise da opinião do consumidor em relação ao descarte de EPS e seus impactos ambientais. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, Campinas, v. 8, 6p., 2012. Disponível em: <<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/nova/index.php/be310/article/viewFile/308/239>> Acesso em: 1 mai. 2018

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção 1**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 441 p.

_____. **Materiais de construção 2**. 5 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 488 p.

COELHO. C. P.; MANZANARES. G.; MENEDEZ. L.M **Reutilização do poliestireno expandido na produção de impermeabilizante e aditivo para tintas**. 2014. 45f. Trabalho (Prêmio CRQ-IV 2014) - Conselho Regional de Química – IV Região, Campinas, 2014.

BNDES- **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Aspectos Gerais do Poliestireno**. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 11 de mai. 2018.

BRAGA, Y.S.B.; MOTA, W.V.; BARBOSA, A. Q. Estudo das propriedades do concreto leve produzido com a substituição parcial da brita por pérolas de poliestireno expandido. In: Semana de Pesquisa da Universidade Tiradentes, 18., 2016, Tiradentes. **Anais...** Acaraju, 2016. Disponível em: < <https://eventos.set.edu.br/index.php/sempeq/article/viewFile/4046/1354> > Acesso em 20 set.2018

CARVALHO, R. C.; FIGUEREDO FILHO, J. R. **Concreto armado**. 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2016. 415 p.

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

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

DIAS, E. G. S. **Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no estado de São Paulo**: a etapa de acompanhamento. 2001. 283f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ECOPORE. **ECOFOAM – Aditivo Espumante pra Concreto Celular** Disponível em: <http://www.ecopore.com/ecofoam/> Acesso em: 12 jun. 2018.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. Concreto de cimento *portland*. In: Isaia, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1.Ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2007, v.1, p.481-523.

FREITAS, R. P. **Controle de qualidade em concreto endurecido**: ensaios mecânicos. 2012. 55f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

FUSCO, P.B. **Tecnologia do concreto estrutural**: tópicos aplicados a componentes, durabilidade, resistência mecânica, corrosão e compressão. 1ed. São Paulo, PINI, 2008. 179p.

GIONGO, J. S. **Concreto armado**: introdução e propriedade dos materiais. 2007. 71f. Matérias lesionadas na (disciplina SET 409 – Estruturas de Concreto Armado I) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd_Prop_Materiais.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2018.

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.

GUIDIO; B; P. et al. Análise das propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido com poliestireno expandido (EPS). **Revista Colloquium Exactarum**, São Paulo –SP, v.6, p. 40-48., 2014. Disponível em : < https://www.researchgate.net/publication/285126097_analise_das_propriedades_fisicas_e_mecanicas_do_concreto_produzido_com_poliestireno_expandido_eps > Acesso em: 20 set. 2018.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento *portland*. In: Isaia, 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.

LIMA, A. B. **O processo Produtivo do Cimento Portland**. 2011. 38 f. Monografia (Especialista em Engenharia de Recursos Minerais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LIMA, V. I. C. et al. **Ciências exatas e tecnológicas**. Maceió, 2014. v.1.n.1 p. 31-40.

MARTINS. B. M. M. **Influência da granulometria agregado miúdo na trabalhabilidade do concreto**. 2008. 93f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana. 2008.

MAYCÁ, J.; Recena, F.A.P.; Cremonini, R.A. **Contribuição ao estudo da argila expandida nacional como alternativa de agregado graúdo para concretos leves estruturais**. 2008. 16p. Curso – (Especialização em construção civil) Escola de Engenharia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (3) Norie, 2008.

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

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA SECRETARIA-EXECUTIVA. **Relatório de gestão do ministério de minas e energia exercício de 2005**. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/documents/10584/1290756/Relatxrio_de_Gestxo.pdf/4f317f61-083d-420b-ae71-397d9d798004>. Acesso: 04 abr. 2018.

MORAES, C. B.; BRASIL, P. de. C. **Estudo da Viabilidade do Poliestireno Expandido (EPS) na produção de edificações com baixo impacto ambiental.**

Trabalho apresentado no 4º Seminário Nacional de Construções Sustentáveis. Passo Fundo, 2015. Disponível em:

<[https://www.imed.edu.br/Uploads/Estudo%20da%20Viabilidade%20do%20Poliestireno%20Expandido%20\(EPS\).pdf](https://www.imed.edu.br/Uploads/Estudo%20da%20Viabilidade%20do%20Poliestireno%20Expandido%20(EPS).pdf)>

MORAVIA, W. G et al. Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. **Revista Cerâmica**, São Paulo, n. 322, p.193-199.,2006. Bimestral. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/ce/v52n322/30586.pdf> >. Acesso em: 05 mai. 2018.

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

OLIVEIRA, A. V. M. et al Avaliação de cartéis: o caso das pedras britadas. **Revista de Direito da Concorrência**, v. 18, 121p, 2008.

PACHECO, J.; HELENE, P. Boletín Técnico: Controle da resistência do concreto. **Revista Concreto & Construções**. 20p. 2013. Disponível em: < <http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B9-Control-da-Resist%C3%Aancia-do-Concreto.pdf> >. Acesso em: 02 mai. 2018.

PEREIRA, M. R. **Estudo da adição de argila expandida na formulação de concretos leves**, 2008. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 11 ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987. 307 p.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Estruturas de concreto**. 2004. Disponível em:

<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2018.

POWER, G. **Perlita - Benefícios na jardinagem**. 2016. Disponível em:

<<http://www.greenpower.net.br/blog/perlita-beneficios-na-jardinagem/>>. Acesso em: 21 maio 2018.

RIBEIRO, C. C.; PINTO J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011. 99 p.

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

SANTOS, E. C. G. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas se solo reforçado**. 2007. 168 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SCHUMACER INSUMOS. **Perlita Expandida para Construção Civil**. 2018. Disponível em: < <http://www.schumacherinsumos.com.br/perlita.htm>>. Acesso em 10 de abr. 2018.

SILVA, J. A .P. **A Mineração de Brita na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

TESSARI, J. **Utilização de Poliestireno Expandido e Potencial de Aproveitamento de seus Resíduos pela Construção Civil**. 2006. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

UGARTE, J. F. O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Rochas e Minerais Industriais**. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2008, v.1, p. 865-887.

VALIN JUNIOR, M. de O.; et al. **Concreto de alto desempenho: alternativa sustentável no uso dos recursos naturais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 55, 2013, Gramado.

VIEIRA, M. G. **Betões de elevado desempenho com agregados leves: durabilidade e microestrutura**. 2000. 217f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2000.

VARELA M. **Mini Curso De Dosagem de Concreto método ABCP/ACI**. 2012. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/materiais-de-construcao/aula-7-dosagem-do-concreto/aula-7-dosagem-do-concreto-texto> > Acesso em: 3 set. 2018

XAVIER, B. C.; BASSARI, F.; MENDES, A. S. **Avaliação do Concreto Leve Estrutural com EPS Reciclado**. 2016. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/311959270_Avaliacao_do_Concreto_Leve_Estrutural_com_EPS_Reciclado > Acesso em: 21 set. 2018