

Ana Clara Rohden Negri

ESTUDO COMPARATIVO: análise das propriedades de um concreto convencional e concretos leves composto com EPS em flocos e vermiculita expandida

Palmas – TO

2019/2

Ana Clara Rohden Negri

ESTUDO COMPARATIVO: análise das propriedades de um concreto convencional e concretos leves composto com EPS em flocos e vermiculita expandida

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II do curso de bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Me. Roldão Pimentel Junior.

Palmas – TO

2019/2

Ana Clara Rohden Negri

**ESTUDO COMPARATIVO: análise das propriedades de um concreto convencional e concretos leves composto com EPS em flocos e vermiculita expandida**

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II do curso de bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Me. Roldão Pimentel Junior.

Aprovado em: 25 / 11 / 2019

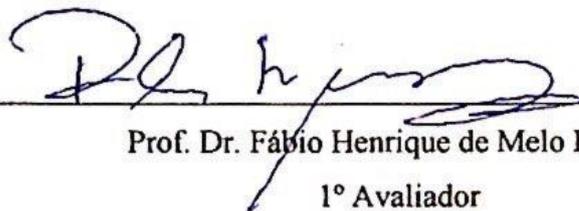
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Me. Roldão Pimentel Junior

Orientador

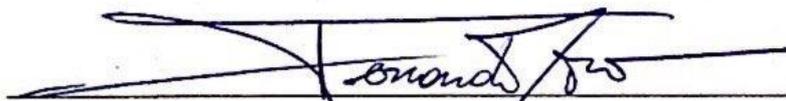
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA



Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

1º Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA



Prof. Me. Fernando Moreno Suarte Junior

2º Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA

Palmas – TO

2019/2

**“Dedico este trabalho a minha mãe e a minha irmã, pilares do meu desenvolvimento como ser humano. Sem elas coisa alguma seria possível.”**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por me conceder forças para continuar e nunca desistir, me iluminando e me abençoando para que eu tomasse as melhores decisões.

A minha mãe Lucia, por ser uma mulher guerreira que sempre batalhou para que eu conseguisse chegar até aqui. Sempre sendo meu alicerce e se dedicando ao máximo para que eu alcançasse meus sonhos.

A minha irmã Raquel e a minha sobrinha Julia, que mesmo com dificuldades e momentos ruins sempre me deram carinho e forças para continuar.

Ao meu namorado Thiago Alves, pelo apoio, incentivo e muita paciência nos dias ruins.

A coordenadora do curso Kenia Parente, por sempre e sempre me proporcionar chances de continuar, sempre com uma doçura e humildade inigualável me dando apoio e os melhores conselhos.

Ao professor Fernando Suarte, por não me deixar desistir, nos períodos de desespero. Nos instantes mais difíceis, sempre me acolhendo e me resguardando do pior.

Ao meu orientador Roldão, pela paciência, por me direcionar e me acompanhar nessa jornada.

A Wanessa Rolim, por me ajudar nos momentos difíceis e decisivos. Sempre com seu imenso conhecimento, me alertando e indicando as melhores formas de prosseguir.

Ao professor Fábio Ribeiro, por aceitar ser meu avaliador e não só por isso, como também me ajudar a prosseguir com o meu estudo.

A minha amiga Sandra Birk, por me ajudar na realização dessa pesquisa e sempre ser presente e disposta.

“Procure a sabedoria e aprenda a escrever os capítulos mais importantes de sua história nos momentos mais difíceis de sua vida.”

Augusto Cury

## RESUMO

NEGRI, Ana Clara R. **ESTUDO COMPARATIVO: análise das propriedades de um concreto convencional e concretos leves composto com EPS em flocos e vermiculita expandida em diferentes proporções.** 2019. 75 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas/TO, 2019.

Com os avanços na construção civil e o aumento significativo de estruturas mais esbeltas, se faz necessário o desenvolvimento de estudos com inovações no uso dos materiais, por exemplo, para obtenção de estruturas mais leves. Sendo o concreto hoje, um dos materiais mais utilizado nas edificações, surgiu a ideia de executá-lo com agregados diferentes, procurando obter concreto leves, buscando obter resultados para melhorar o custo-benefício das obras e que atendam às necessidades de cada uso.

Em vista disso, esse trabalho evidencia as divergências e semelhanças entre o concreto convencional, constituído com agregados tradicionais: areia e brita, e concretos denominados leves, confeccionados com diferentes proporções de poliestireno expandido (EPS) e vermiculita expandida. Ou seja, essa pesquisa analisa os resultados das propriedades mecânicas e físicas de corpos-de-prova com composições diferentes. Os ensaios para a obtenção desses resultados foram efetuados em diferentes idades, 7 e 28 dias, com quatro diferentes composições de concreto, sendo um traço referência (sem substituições) e três traços substituindo os agregados em diferentes proporções: 10%, 30% e 100%. Sendo o seixo britado substituído por EPS (agregado graúdo) e a areia por vermiculita expandida (agregado miúdo).

Os resultados atingidos nos ensaios com os concretos leves apresentaram significativas variações nas massas específicas, nas consistências e nas resistências quando comparadas ao concreto convencional. Como por exemplo, conseqüentemente com o acréscimo de agregados leves, ocorreu uma redução nas resistências. Sendo assim, os traços com substituições de 30 % e 100%, descartados para exercer função estrutural, porém, com resultados satisfatórios para serem aplicados em diversas formas nas construções.

**Palavras-chave:** Concreto leve; Estudo comparativo; Propriedades mecânicas.

## ABSTRACT

NEGRI, Ana Clara R. **COMPARATIVE STUDY: analysis of the properties of a conventional concrete and lightweight concrete composed with flake EPS and expanded vermiculite in different proportions.** 2019. 75 p. Course Completion Paper (Bachelor of Civil Engineering). Lutheran University Center of Palmas. Palmas / TO, 2019.

With advances in construction and the significant increase in slender structures, it is necessary to develop studies with innovations in the use of materials, for example, to obtain lighter structures. As concrete today is one of the most widely used materials in buildings, the idea arose to execute it with different aggregates, seeking to obtain lightweight concrete, seeking results to improve the cost-benefit of the works and that meet the needs of each use.

In view of this, this work shows the divergences and similarities between conventional concrete, constituted with traditional aggregates: sand and gravel, and so-called lightweight concrete, made with different proportions of expanded polystyrene (EPS) and expanded vermiculite. That is, this research analyzes the results of the mechanical and physical properties of specimens with different compositions. The tests to obtain these results were performed at different ages, 7 and 28 days, with four different concrete compositions, one reference trait (without substitution) and three traits replacing the aggregates in different proportions: 10%, 30% and 100. %. The crushed pebble being replaced by EPS (coarse aggregate) and the sand by expanded vermiculite (fine aggregate).

The results achieved in light concrete tests showed significant variations in specific masses, consistencies and strengths when compared to conventional concrete. As for example, consequently with the addition of light aggregates, a reduction in resistances occurred. Thus, the traces with 30% and 100% substitutions, discarded to perform structural function, but with satisfactory results to be applied in various forms in the constructions.

**Keywords:** Lightweight concrete; Comparative study; Mechanical properties.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - a) material dúctil e b) material frágil .....	18
Figura 2 - Concreto leve: a) com agregados leves; b) celular; e c) sem finos.....	20
Figura 3 - Variações da massa específica de concretos fabricados com diversos agregados leves. .....	21
Figura 4. Relação entre a quantidade de cimento e a resistência de concretos com dois tipos de agregados. ....	22
Figura 5 - Processos: a) Sinterização e b) Forno Rotativo .....	24
Figura 6 - Resistência à compressão do EPS.....	27
Figura 7 - Amostra de vermiculita: (a) natural e (b) expandida a 900°C por 5 minutos. ....	28
Figura 8. Detalhamento e nomenclaturas adotadas de cada concreto fabricado. ....	32
Figura 9. Diagrama do planejamento experimental.....	33
Figura 10. Propriedades do cimento Ciplan utilizado nesse estudo. ....	34
Figura 11. Tabela de classificação de acordo com a porosidade e absorção de água proposta por Helene (1983). ....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características do EPS.....	27
Tabela 2- Propriedades específicas do concreto leve com vermiculita. ....	29
Tabela 3. Proporções dos materiais utilizados em cada composição. ....	32
Tabela 4. Quantidade de corpos de prova utilizadas em cada traço. ....	33
Tabela 5 – Composição granulométrica do agregado graúdo. ....	34
Tabela 6. Massas do Agregado Graúdo.....	35
Tabela 7 – Distribuição Granulométrica da Areia.....	35
Tabela 8. Massas do Agregado Miúdo. ....	36
Tabela 9. Características do VERMIFLOC SUPERFINO.....	37
Tabela 10. Consistências dos concretos produzidos.....	43
Tabela 11. Resultados - Massa específica dos concretos no estado fresco. ....	44
Tabela 12. Resultados - Resistência à compressão axial dos concretos produzidos. ....	46
Tabela 13. Resultados - Resistência à tração por compressão diametral. ....	48
Tabela 14. Resultados - Massa específica, absorção de água e índice de vazios.....	49
Tabela 15. Tabela de Aceitabilidade. ....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABIQUIM	Associação Brasileira de Indústria Química
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAPEX	Associação Brasileira do Poliestireno Expandido
ACI	American Concrete Institute – Instituto Americano de Concreto
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CP	Cimento Portland
EPS	Expanded PolyStyrene - Poliestireno Expandido
ISO	International Organization for Standardization - Organização Internacional de Normatização
MF	Módulo de Finura
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
TO	Tocantins

## LISTA DE SÍMBOLOS

Cm	Centímetro
Fck	Feature Compression Know - Resistência Característica do Concreto à Compressão
g/cm <sup>3</sup>	Gramas por centímetro cúbico
°C	Grau Celsius
Kpa	Kilopascal
L/m <sup>3</sup>	Litro por metro cúbico
Mpa	Mega-Pascal
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
µm	Micrômetro
mm	Milímetro
%	Porcentagem
Kg	Quilograma
kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por metro cúbico
a/c	Relação água/ cimento

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS .....	14
<b>1.1.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>14</b>
1.2 JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1 CONCRETO.....	16
<b>2.1.1 Propriedades do concreto .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2 Agregados .....</b>	<b>18</b>
2.2 CONCRETO LEVE .....	20
<b>2.2.1 Panorama histórico.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2 Agregados leves.....</b>	<b>23</b>
2.2.2.1 Poliestireno expandido (EPS).....	25
2.2.2.2 Vermiculita expandida.....	27
2.3 TRABALHOS RELACIONADOS .....	29
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
3.1 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL .....	31
3.2 MATERIAIS .....	34
<b>3.2.1 Cimento Portland .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.2 Agregado Graúdo .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.3 Agregado Miúdo .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.4 Poliestireno Expandido (EPS).....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.5 Vermiculita Expandida .....</b>	<b>36</b>
3.3 CONCRETO.....	37
<b>3.3.1 Mistura dos materiais.....</b>	<b>37</b>
3.3.1.1 Concreto de Referência .....	38
<b>3.3.2 Ensaio dos concretos no estado fresco .....</b>	<b>38</b>
3.3.2.1 Consistência.....	38
3.3.2.2 Massa específica .....	39
<b>3.3.3 Moldagem e cura dos corpos-de-prova.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3.4 Ensaios dos concretos no estado endurecido .....</b>	<b>39</b>
3.3.4.1 Massa Específica, Índice de vazios e Absorção de água .....	39

3.3.4.2 Resistência à compressão axial.....	41
3.3.4.3 Resistência à tração por compressão diametral .....	41
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>43</b>
4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS – ESTADO FRESCO.....	43
<b>4.1.1 Consistência (Tronco de Cone).....</b>	<b>43</b>
<b>4.1.2 Massa Específica .....</b>	<b>44</b>
4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS – ESTADO ENDURECIDO.....	45
<b>4.2.1 Resistência à Compressão Axial.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.3 Massa Específica, absorção de água e índice de vazios .....</b>	<b>48</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A serventia do concreto na construção civil tem aumentado gradativamente. Um dos motivos desse aumento é a facilidade com que os seus agregados são obtidos e por ser um elemento que se adequa a diversos tipos de situações. Por ser muito utilizado, e por necessidade de acompanhar as inovações, nos últimos decênios sucedeu-se um grande avanço em sua composição, como o emprego de diversos tipos de adições e utilização de outros agregados, transformando assim, o concreto convencional em concreto leve que apresenta massa específica ínfera, proporcionando uma diminuição no peso total e nos esforços de uma estrutura, e, conseqüentemente uma moderação nos custos. Outras particularidades do concreto também sofrem alterações, como a resistência mecânica, a consistência, que influencia diretamente na trabalhabilidade, a durabilidade, o módulo de deformação, entre outros. (ROSSIGNOLO, 2009).

Por apresentar características relevantes e viáveis para a construção civil, além de ser acessível, a aplicação de concreto leve se torna gradativamente mais habitual na construção civil. A sua fabricação sucede de diversas maneiras, sendo que a mais elementar é a substituição parcial do agregado corriqueiro por um agregado leve, pois em conformidade com Mehta e Monteiro (2008), os agregados são utilizados para o preenchimento da composição do concreto, e apresentam particularidades significativas, como a influência na quantidade de poros, na sucção de água, na forma e textura, na resistência à compressão, entre outros aspectos.

Sendo assim, novos agregados vem sendo alvo de pesquisadores, tendo como exemplo, o poliestireno expandido (EPS) e a vermiculita expandida que compõem as variáveis de estudo desse projeto. Pois além de ambos serem considerados como agregado leves por apresentarem baixas massas específicas, no Brasil, os estudos sobre vermiculita são bem escassos.

Para colaborar com o progresso de concretos leves, esta pesquisa evidencia a comparação e análise das características de concretos (convencional e leves), nos estados fresco – consistência e massa específica - e endurecido – massa específica, índice de vazios, absorção de água, resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral.

Para a efetivação deste trabalho, foram elaboradas três diferentes dosagens, através da substituição dos agregados graúdos e miúdos (seixo britado por EPS e areia por vermiculita expandida) em proporções de 10%, 30% e 100% de cada componente.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral comparar as propriedades físicas e mecânicas, entre um concreto convencional e três concretos leves produzidos através da substituição dos agregados comuns por agregados leves. Sendo que, os concretos leves foram confeccionados substituindo simultaneamente, o agregado graúdo tradicional (seixo britado) por poliestireno expandido em flocos (EPS) e o agregado miúdo tradicional (areia) por vermiculita expandida, em proporções de 10%, 30% e 100% de cada agregado.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os agregados minerais (areia e seixo britado);
- Avaliar as propriedades dos concretos no estado fresco: Ensaio pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test); Massa específica;
- Avaliar as propriedades dos concretos no estado endurecido: Ensaio de resistência à compressão axial; Ensaio de resistência à tração por compressão diametral; Massa específica, índice de vazios e absorção de água.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Na intenção de executar projetos arrojados e inovadores, que vêm sendo lançados atualmente, e atendendo às demandas da construção moderna, surgem para auxiliar os serviços dos profissionais da engenharia civil, materiais que possam promover a execução da obra com excelência, qualidade e sofisticação, como o uso de novos tipos de concretos.

Conforme Rossignolo (2009) afirma, na construção civil, entre todos os materiais, o concreto é o mais utilizado. Sendo assim, a procura por novos insumos para a compor o concreto é constante, para se obter por exemplo, concretos resistentes e ao mesmo tempo leves.

As estruturas feitas com concreto convencional possuem um peso próprio muito elevado e isso acarreta diversas desvantagens que influenciam diretamente no custo e tempo de execução da obra. A título de exemplo, a necessidade de elementos estruturais com maiores seções e quantidades de aço, além de fundações mais rigorosas.

Com a aplicação do concreto leve, é possível obter não só a diminuição de esforços nas estruturas, mais também uma moderação no uso de fôrmas. Além de que, através da substituição de agregados convencionais por agregados leves, são obtidas modificações relevantes nas características do concreto, como a diminuição da massa específica e conseqüentemente uma redução de carga na estrutura (lajes, vigas e pilares). (ROSSIGNOLO, 2009).

Apesar do uso de concreto leve apresentar várias vantagens, ainda não está em vigor uma norma que estabeleça critérios para concreto leve estrutural. Durante muito tempo, vem sendo executado um projeto de norma que irá direcionar a utilização e critérios para este tipo de concreto, tornando assim, esta pesquisa ainda mais relevante.

Segundo alguns autores, para se obter concretos leves, uma das alternativas é alterar a composição do concreto convencional, como por exemplo, substituir os compostos sólidos por ar. Desta forma, a utilização de poliestireno expandido (EPS) como agregado graúdo e vermiculita expandida como agregado miúdo se adequa a essa alteração, pois ambos são compostos basicamente de ar.

O EPS, possui diversas características, como distintas formas e tamanhos, leveza e isolamento térmico, além de ser composto 98% de ar. E no caso da vermiculita expandida, o estudo sobre a mesma, no Brasil ainda é limitado, e devido ser uma alternativa na alteração de agregados comuns, por apresentar propriedades interessantes, é válido e essencial o seu conhecimento. Além de que, segundo o Grupo Lufa (2011), esse material concilia uma boa resistência mecânica com um baixo peso.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CONCRETO

O consumo de concreto teve um aumento significativo de outras décadas até hoje. Apesar de não ser o material mais resistente e rígido utilizado na construção civil, o concreto é mais utilizado por outros motivos. Como por exemplo, a boa resistência a água, o qual se difere do aço e da madeira, tornando viável a sua utilização nas construções de barragens e estruturas para transporte e armazenamento de água, por exemplo. Além de, em seu estado fresco, por ser fluído, se adaptar facilmente aos formatos das fôrmas, proporcionando uma diversidade nos formatos e tamanhos dos elementos de concreto. E após se corporizar, se torna um material rígido. (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Além das diversas vantagens citadas acima, o concreto é basicamente composto por água, agregados e cimento Portland, e esses componentes são particularmente acessíveis, possibilitando assim, obter um elemento de menor custo e muito utilizado em obras. Após a sua execução - o concreto, quando comparado ao aço - não gera despesa, pois sendo executado de maneira certa, dificilmente necessita de manutenção, e sua resistência progride com o tempo. (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

#### 2.1.1 Propriedades do concreto

- Massa específica, absorção de água e índice de vazios

A massa específica é uma característica física do concreto e é relacionada indiretamente com as características dos agregados, por exemplo, quanto menor for a massa específica destes materiais, conseqüentemente menor será a massa específica do concreto, ou seja, mais leve o concreto será. (LOPES, 2017).

Segundo Neville (2016), ao dividir a somatória das massas dos componentes do concreto pela somatória dos volumes dos mesmos é possível computar a massa específica.

Geralmente, a propósito de cálculos, adota-se massa específica de 2400 kg/m<sup>3</sup> e 2500 kg/m<sup>3</sup> para concretos simples e armados, respectivamente. (PINHEIRO, MUZARDO E SANTOS, 2004).

Outras propriedades do concreto, importantes de serem analisadas são a absorção de água e índice de vazios, pois ambas estão diretamente ligadas a durabilidade do material. Ao realizar o ensaio segundo a ABNT NBR 9778:2009 (Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica) é possível determinar o total de poros permeáveis na composição do concreto (absorção de água), e a quantidade de poros totais presentes na estrutura do material (índice de vazios). (LEVY, 2001).

- **Consistência/ Trabalhabilidade**

A consistência do concreto é diretamente relacionada às características do material e consequentemente com a associação dos seus compostos e a sua capacidade de deslocar-se. Essa propriedade é variável, podendo ser alterada à medida que a quantidade de água do traço é alterada, ou que se substitui os agregados devido os mesmos apresentarem formas e texturas distintas. (PORTAL DO CONCRETO, 2018).

Como citado acima, alguns elementos afetam a consistência, como os fatores próprios do concreto – quantidade e tipo do cimento; textura, forma e tamanho dos agregados; relação entre a água e materiais secos; teor presente de argamassa; e o traço - e fatores extrínsecos – como o concreto será transportado e lançado; taxa de aço e posição das armaduras; nível de esbeltez das peças estruturais; entre outros. (HELENE E ANDRADE, 2010).

Para se obter a indicação de consistência do concreto no estado fresco, basta realizar o ensaio de abatimento pelo tronco de cone, regido pela ABNT NBR NM 67:1998, e a partir dos resultados desse ensaio, segundo Helene e Andrade (2010), é possível aferir a trabalhabilidade do material.

Trabalhabilidade é a disposição do concreto de ser executado sem a perda da homogeneidade. Ou seja, é a praticidade com que o concreto é combinado, conduzido, projetado e condensado. (FREITAS JR, 2013).

Conforme Mehta e Monteiro (2008), a trabalhabilidade se resume em dois segmentos, a fluidez e a coesão. O primeiro está relacionado ao quanto o concreto é fluído, ou seja, se relaciona com a agilidade de se locomover. O segundo se refere ao quanto o concreto resiste à exsudação e à separação dos componentes.

- **Resistência à compressão**

O conceito desta propriedade mecânica é relacionado ao concreto ser submetido a cargas e resistir, ou seja, é a capacidade de suportar as tensões e não romper ou sofrer deformação excedente. (LOPES, 2017).

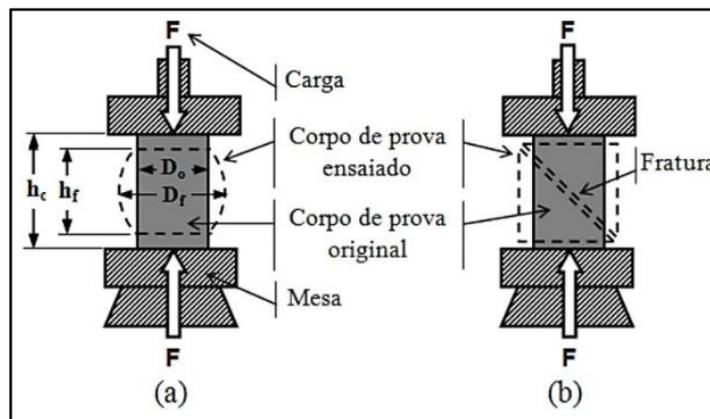
Diversas propriedades do concreto podem ser definidas a partir da análise de resistência, como o módulo de elasticidade, impermeabilidade e outras resistências. (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Helene e Andrade (2010), especifica que para verificar quanto o concreto resiste a compressão é fundamental a efetuação do ensaio de resistência à compressão. Para a iniciação é preciso coletar as amostras, seguindo a ABNT NBR NM 33:1998 (Concreto - Amostragem de concreto fresco), moldar e curar os corpos-de-prova, de acordo com a ABNT NBR

5738:2016 (Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova) e ABNT NBR 5739: 2018 (Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos).

Após finalizar o processo de cura, os corpos de prova serão comprimidos em uma máquina universal de ensaios, conectada a um computador onde ao fim do ensaio, mostrará a carga que foi aplicada, a deformação, o diagrama de tensão e deformação, entre outros. (BIOPDI, 2019). Na Figura 1 tem a demonstração de uma parte do ensaio.

Figura 1 - a) material dúctil e b) material frágil



Fonte: BIOPDI.

- Resistência a tração

A resistência à tração é influenciada por diversos fatores, mais tem como principal a aderência da argamassa com os agregados. (ALMEIDA, 2002).

Para a limitação de quanto o concreto resiste à tração, existem diversos ensaios. Porém, o mais comum é o ensaio de resistência à tração por compressão diametral normatizado pela ABNT NBR 7222: 2011 (Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos).

### 2.1.2 Agregados

Agregados, termo comumente utilizado entre profissionais do âmbito da construção civil e vulgarmente conhecido como areia, pedra, brita, seixo, entre outros, possuem diversos tamanhos e tipos. São apontados de acordo com a origem, tamanho das partículas e o peso específico aparente. (BAUER, 2008)

Segundo Bauer (2008) a origem dos agregados se dividem em dois, aqueles que são facilmente encontrados na natureza com forma definida, denominados como naturais, como por exemplo, cascalho e areia. E os industrializados, como o próprio nome anuncia, é a partir de

procedimentos industriais que parte de seus componentes são adquiridos, como por exemplo, escória de alto-forno, argila e rocha.

Conforme Lopes (2017), existem mais duas classificações dos agregados quanto a origem, os que apresentam dimensões modificadas pela operação do homem, denominados com artificiais. E os reciclados que são resultados de resíduos que sobram nas obras.

Os agregados são definidos como leves (vermiculita, argila expandida e escória granulada, médios (calcário, arenito, granito, areia, basalto, cascalho e escória) e pesados (barita, hematita e magnetita) conforme a constituição das partículas. Ou seja, segundo o peso específico aparente. E, conforme o tamanho das partículas, nos estudos sobre concreto, divide-se em agregado miúdo e agregado graúdo. (BAUER, 2008)

Ao definir as peneiras em conformidade com a ABNT NBR NM ISO 3310-1:2010 (Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação) e realizar os ensaios segundo a ABNT NBR NM 248:2003 (Agregados - Determinação da composição granulométrica), os grãos que ficarem retidos na peneira 4,75 mm e passarem pela peneira de 75 mm são denominados agregados graúdos. (NBR 7211, 2005, p. 03).

Os agregados miúdos e graúdos são utilizados, como elemento de preenchimento do concreto. Em torno de 70% é composto por esses agregados, acarretando assim, um menor custo para a fabricação, além de tornar o concreto mais resistências a desgastes. (RIBEIRO, PINTO E STARLING, 2006).

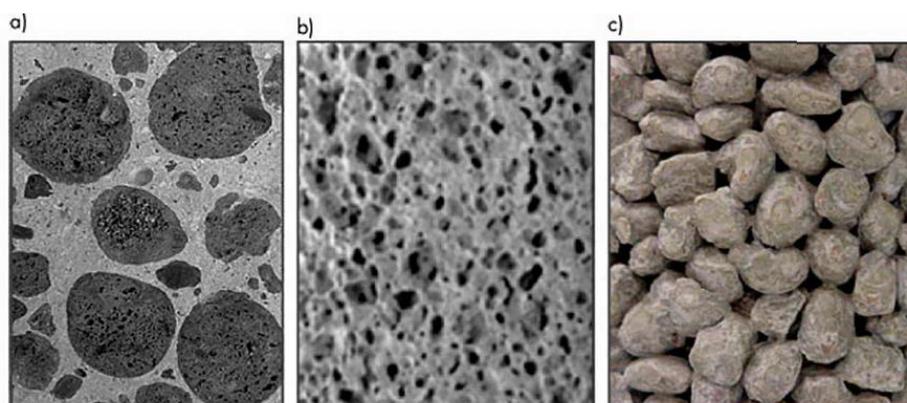
Segundo Mehta e Monteiro (2008), além das características citadas acima, a forma e textura dos agregados influenciam nas características do concreto, como a massa unitária e específica, no módulo de elasticidade e na estabilidade dimensional do concreto. E, mesmo apresentando propriedades mais resistentes que os outros compostos do concreto, os agregados não influenciam diretamente na resistência e sim indiretamente, pois quanto maior for o agregado, mais chance se tem de acúmulo de água em torno do mesmo, prejudicando a zona de transição do agregado e da pasta, provocando um acontecimento denominado exsudação.

Ainda segundo Bauer (2008), outras propriedades do concreto podem ser afetadas de acordo com a forma do agregado graúdo, como a trabalhabilidade quanto as limitações para bombear, lançar e adensar o material. Sendo necessário por exemplo, uma quantidade maior de pasta ao utilizar agregados que apresentem partículas mais ásperas.

## 2.2 CONCRETO LEVE

A ABNT NBR 8953:2015 (Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência) denomina o concreto leve como aqueles que apresentam massa específica seca menor que  $2000 \text{ kg/m}^3$ , e segundo Rossignolo (2009) para que ocorra uma diminuição na massa específica, constituindo assim um concreto leve, basta substituir os componentes sólidos, presentes no concreto convencional, por ar. E ainda os classifica de acordo com a Figura 2.

Figura 2 - Concreto leve: a) com agregados leves; b) celular; e c) sem finos.



Fonte: Adaptado de Rossignolo (2009).

Neville (2016) define os três tipos de concreto leve de acordo com a localização do ar:

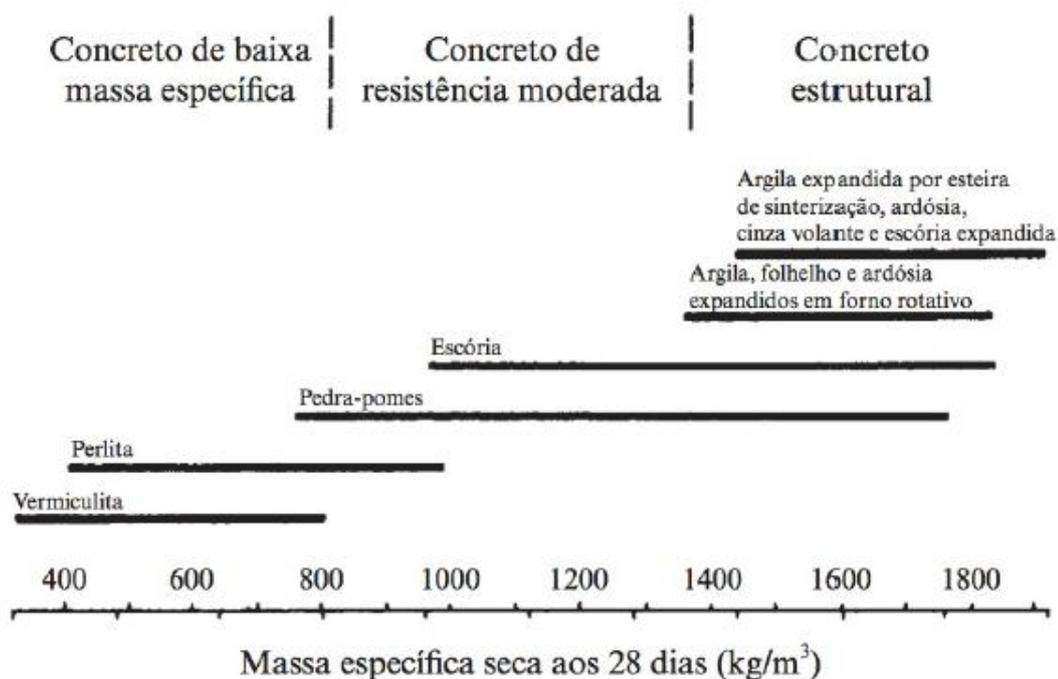
- a) Agregados leves – o ar está presente nas partículas dos agregados;
- b) Celular – o ar está localizado na pasta de cimento; e
- c) Sem finos – o ar está inserido entre as partículas de agregados graúdos e não se utiliza agregado miúdo.

A aplicação de concreto com baixa massa específica ocasiona diversos benefícios para elementos estruturais. Por exemplo, ao fabricar estruturas com esse concreto especial, as peças irão apresentar um menor peso próprio - quando comparadas com as feitas com concreto convencional - e isso irá promover uma redução nas seções dos elementos de suporte, e, conseqüentemente viabilizar a execução de obras em solos com menores capacidades de sustentação. (NEVILLE, 2016).

Segundo Neville (2016), as classes de massas específicas influenciam diretamente na classificação dos concretos quanto a utilização. Aqueles que apresentam valores entre  $1350$  e  $1900 \text{ kg/m}^3$  são denominados como concreto leve estrutural, enquanto que, os que possuem

valores entre 300 e 800 kg/m<sup>3</sup> são ditos concreto com baixa massa específica e não são aplicados para fins estruturais. A Figura 3 retrata algumas propriedades de concretos leves.

Figura 3 - Variações da massa específica de concretos fabricados com diversos agregados leves.



Fonte: Neville (2016).

O concreto leve, apresenta uma diferenciação no consumo de água, em referência ao concreto convencional. Em virtude de a forma dos grãos dos agregados, é necessário realizar uma alteração na demanda do cimento para que a relação água/ cimento ( $a/c$ ) seja mantida. Seguindo o mesmo motivo, a granulometria dos agregados, os dois tipos de concreto, ambos fabricados com o mesmo abatimento, desenvolvem trabalhabilidades diferentes. Possuindo uma melhor consistência o produzido com agregados leves. (NEVILLE, 2016).

Segundo Rossignolo (2009), ao transportar o concreto leve é necessário levar em consideração as baixas massas específicas dos agregados para que não ocorra uma segregação do material, porém, esse fenômeno pode ser controlado dosando o concreto na consistência adequada. Também é fundamental que no procedimento de cura dos concretos leves, se tenha um controle da temperatura, pois o calor de hidratação é superior aos dos concretos convencionais em razão dos agregados leves apresentarem uma condutividade térmica menor.

Ao substituir os agregados convencionais por agregados leves é perceptível que haverá algumas mudanças nas propriedades dos concretos, já esses materiais caracterizam a maior parte da composição dos mesmos. Como tendo como exemplo, nas resistências à compressão e

à tração. (ROSSIGNOLO, 2009). E conforme Neville (2016) afirma, não há uma relação direta para determinar que, para se obter um concreto com a mesma resistência com agregados diferentes – convencionais e leves - seja necessário um elevado consumo de cimento. Pois, esse fator pode ser alterado com a consumação de agregados menores. A Figura 4 apresenta a associação entre o gasto de cimento e a resistência.

Figura 4. Relação entre a quantidade de cimento e a resistência de concretos com dois tipos de agregados.

<b>Resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (MPa)</b>	<b>Consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
	<b>Com agregado miúdo leve</b>	<b>Com agregado miúdo normal</b>
17	240–300	240–300
21	260–330	250–330
28	310–390	290–390
34	370–450	360–450
41	440–500	420–500

Fonte: Neville, 2016.

### 2.2.1 Panorama histórico

O surgimento do concreto leve ocorreu na cidade de El Tajin, no México, por volta de 1100 a. C., através da fabricação de elementos estruturais com o emprego de pedra-pomes, cinzas vulcânicas e cal. (ROSSIGNOLO, 2009).

Porém, com o propósito de diminuir o peso das estruturas, os romanos fizeram com que a aplicação de concretos leves destaca-se na Itália, através da fabricação com sólidos vulcânicos e aglomerante à base de cal na construção do Porto de Casa, Coliseu de Roma e a cobertura do Panteão. (ACI 213R-03, 2003).

Segundo a ACI 213R-03 (2003), já no século XX, um engenheiro chamado Stephen J. Hayde, ao fabricar tijolos em sua fábrica em Kansas/ Estados Unidos, notou que ao colocar no forno e aquecer mais rapidamente, os tijolos se expandiam e se tornavam leves. E, que se diminuísse o tamanho desses tijolos e os expusessem ao rápido aquecimento, os mesmos serviriam, em formas de agregados, para a confecção de concretos leves. Porém, só em 1918, após muitos anos de experimentos, o engenheiro resolveu patentear a fabricação de alguns agregados leves através do processo de expansão de partículas de xisto, argila e ardósia.

Após registrar o seu conhecimento, os agregados leves fabricados por Hayde foram utilizados no decorrer da Primeira Guerra Mundial, na estruturação de embarcações com concreto leve executadas pela American Emergency Fleet Building Corporation. Embarcações

essas, feitas com aproximadamente 2000 m<sup>3</sup> de concreto com argila expandida, apresentando massa específica de 1905 kg/m<sup>3</sup> e resistência à compressão de 38,5 Mpa aos 28 dias de cura. (ROSSIGNOLO, 2009).

Segundo Rossignolo (2009), na construção civil, as primeiras utilizações desses agregados leves foi na cidade de Kansas, primeiro no levantamento de edificações no ginásio da Westport High School em 1922, sendo que o motivo para se utilizar o concreto leve foi moderar os custos previstos para a fundação, devido à baixa capacidade de carga que o solo apresentava. E o segundo, em 1929, na ampliação do edifício da Southwestern Bell Telephone Company, construído primeiramente com quatorze pavimentos. Pois, ao ser projetado, esse edifício foi designado para futuramente acolher mais oito pavimentos. Porém, ao analisar e concluir que ao empregar concreto leve na estrutura, conseguiriam acrescentar mais seis pavimentos, os projetistas optaram por executar a estrutura dos outros quatorze pavimentos com concreto leve que apresentariam uma resistência à compressão de 25 Mpa aos 28 dias de cura.

Em 1930, ainda nos Estados Unidos, o uso de concreto com agregados leves proporcionou uma redução na quantidade de aço, ocasionando uma diminuição nos custos na edificação da pista superior da ponte na baía de San Francisco- Oakland, em aproximadamente três milhões de dólares. (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Conforme Rossignolo (2009), em 1965, no Brasil, foi fundada pelo Grupo Rabello e a empresa Compact Engenharia Ltda., a Construção Industrializada Nacional (Cinasa), com o propósito de elaborar pré-fabricados em concreto armado. Porém, só em 1966 a Cinasa iniciou seus processos produtivos para construir quatro habitações por dia. E, buscando melhorias no desempenho das habitações e mais facilidade no transporte e montagem dos elementos, a empresa analisou a viabilidade de substituir o concreto convencional, utilizado nos pré-fabricados por concreto leve. No entanto, com a escassez de fornecedores de agregados leves no Brasil, o Grupo resolveu empreender uma nova empresa localizada em Jundaí, intitulada Cinasita, para produzir argila expandida.

A partir daí as particularidades do concreto leve se tornaram alvo de estudos em diversos lugares do Brasil, tendo como um dos principais meios de divulgação os canais do Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON. (ROSSIGNOLO, 2009)

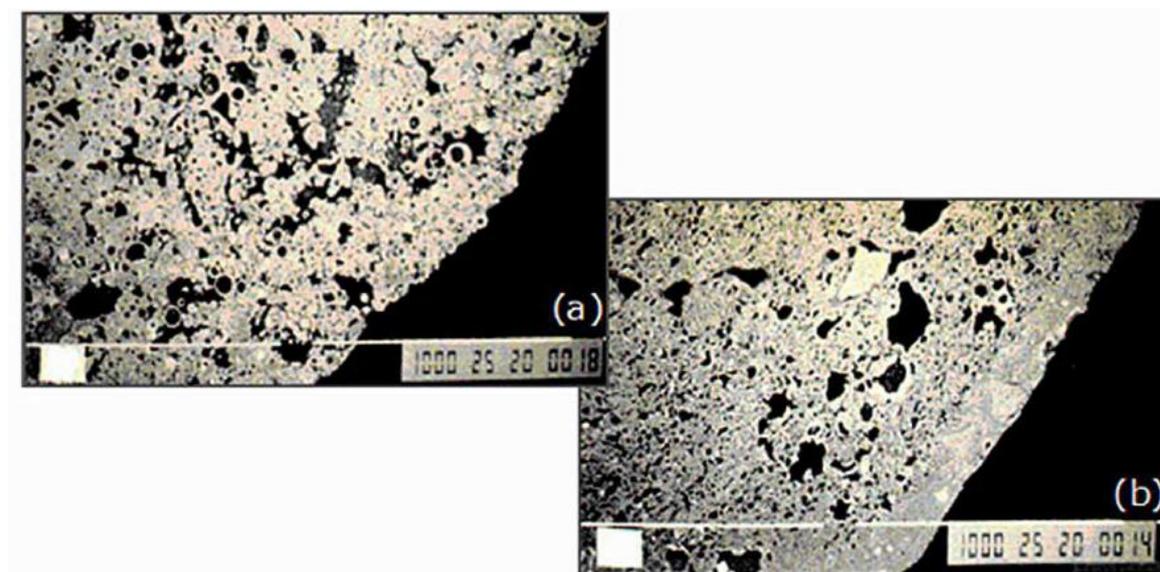
### **2.2.2 Agregados leves**

Agregados leves tem como principal propriedade a baixa massa específica devido ao seu elevado índice de porosidade e são classificados quanto à origem, em naturais e artificiais. (NEVILLE, 2016).

Conforme Rossignolo (2009), os agregados naturais, como o próprio nome já diz, são obtidos através de extração direta da natureza, ou seja, a retirada direto das jazidas e só passam pelo processo de classificação granulométrica. Enquanto que os artificiais, para ser obtidos é obrigatório que passem por um dos dois tipos de procedimentos industrializados, a sinterização e/ou forno rotativo. Sendo que, o primeiro processo é feito com a mistura da matéria-prima com um combustível e em seguida, essa mistura é submetida a elevadas temperaturas. E, o segundo já é realizado com as próprias propriedades expansíveis do material, porém, expostos a temperaturas que variam entre 1000 e 1350 °C.

Os agregados provenientes do primeiro procedimento apresentam massas específicas que alteram entre 650 kg/m<sup>3</sup> e 900 kg/m<sup>3</sup> e grandes índices de absorção, devido à grande quantidade de poros abertos e sem recobrimento. Já no segundo processo são gerados agregados leves porosos, porém com uma camada externa vitrificada que auxilia na diminuição da absorção de água. (ROSSIGNOLO, 2009). A Figura 5 diferencia os agregados obtidos pelos dois jeitos.

Figura 5 - Processos: a) Sinterização e b) Forno Rotativo



Fonte: Rossignolo (2009), apud Zhang; Gjorv (1991).

Conforme Neville (2016), essa característica dos agregados leves de serem porosos, ou seja, apresentarem eficiência na absorção de água e possivelmente na pasta de cimento, se diferencia dos agregados comuns. E, segundo Rossignolo (2009), quando a água e/ou a pasta são absorvidas, além do valor da massa específica de o agregado aumentar, o consumo de cimento também eleva. Porém, a forma e quantidade que ocorrem essas absorções variam conforme alguns fatores, como:

- a) Porosidade total;
- b) Ligação entre os poros;
- c) Atributos da face do agregado; e
- d) Umidade do agregado antes do uso.

Para que os agregados tradicionais se diferenciem dos agregados leves, isto é, para se tornarem leves, é necessário incluir estruturas porosas, para que os mesmos apresentem menores valores de massas específicas. Ou seja, é preciso modificar a estrutura interna dos agregados convencionais, e essa modificação interna influencia diretamente não só na resistência mecânica e na alteração dos agregados leves, tornando-os menos resistentes, mais também em algumas particularidades do concreto endurecido, como uma maior retração por secagem. Porém, existe algumas vantagens provenientes dessa mudança como uma melhora na zona de transição entre a pasta de cimento e o agregado. (ROSSIGNOLO, 2009).

#### 2.2.2.1 Poliestireno expandido (EPS)

Em 1949, nos laboratórios da Basf na Alemanha, os químicos Fritz Stasny e Karl Buchholz descobriram o poliestireno expandido, vulgarmente conhecido como Isopor. A sua composição química é formada através do petróleo, devido a formação de um hidrocarboneto líquido, constituído por polímeros e monômeros de estireno. Ao combinar com gases, esses compostos se expandem, instituindo assim, o formato do EPS. Os gases utilizados para essa expansão não são mais agressivos para a camada de ozônio como antes, pois houve uma substituição de clorofluorcarbonetos por pentano para que não seja gerado nenhum dano. (MUNDO ISOPOR, 2019).

Segundo Mundo Vestibular (2019), sem alterar as propriedades químicas, é primordial que ocorra uma alteração física dos insumos através de três etapas:

##### **1. Pré-expansão**

Para que ocorra a expansão do poliestireno, o mesmo é aquecido através da proximidade com vapor de água. Ao fim desse procedimento, o poliestireno apresenta um aumento no seu volume de aproximadamente cinquenta vezes em relação ao seu tamanho inicial.

##### **2. Armazenamento intermediário**

Essa fase é importante para que, através do resfriamento do material, as células do poliestireno sejam preenchidas com ar.

##### **3. Moldagem**

Ao ser submetidas ao vapor de água, as células de isopor colocadas dentro de moldes se solidificam formando um material dilatado, rígido e com grande proporção de ar.

Devido a forma de fabricação, o poliestireno expandido é constituído basicamente de ar, pois da sua composição total apenas 2% é matéria-prima. A partir disso, por ser formado por 98% de ar o EPS é designado como 100% reciclável, se tornando cada vez mais utilizável por apresentar um melhor comportamento ambiental durante o seu ciclo de vida. (KNAUF ISOPOR STYROCORTE, 2019)

Conforme ao Mundo Isopor (2019), ao notar que mesmo alteando, esse material apresentava características significativas - dispor de baixa massa específica e compreender diferentes formas e dimensões - o EPS se tornou útil não só para a confecção de barcos da guarda costeira dos Estados Unidos na época da Segunda Guerra Mundial, como também, ao se popularizar, fez-se proficiente para a aplicação em elementos da construção civil, caixas e embalagens, automobilística, etc.

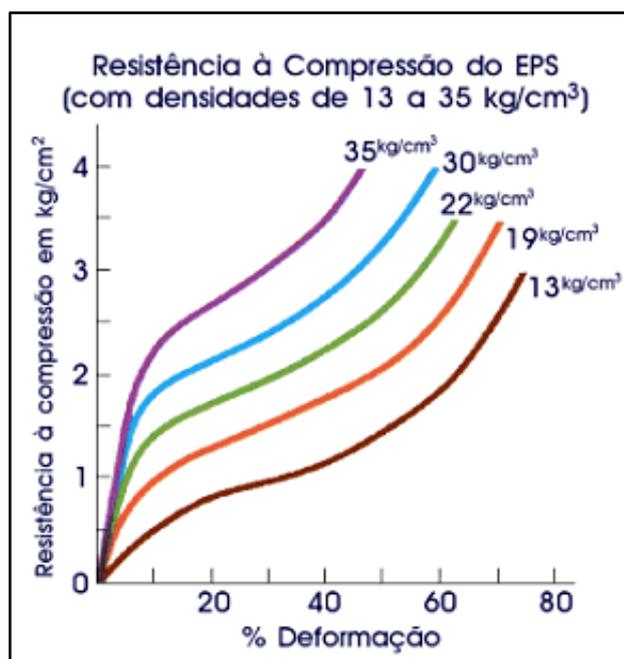
Segundo o Mundo Isopor (2019), apesar de ter sido descoberto na década de 40, o poliestireno expandido só foi empregado no Brasil nos anos 60 e patenteado em 1998 após a empresa Knauf Isopor® comprar a Basf Isopor®. Conforme a Knauf Isopor, maior fabricante de EPS do país, são produzidas 100 mil toneladas do material por ano, em inúmeros modelos, dimensões e densidades.

Com exceção das características citadas acima, o EPS detém de boas resistências à compressão e à difusão do vapor, propriedades isolantes constituindo-se um baixo condutor térmico, além de apresentar baixa absorção de umidade e água. Atendendo assim, as diversas necessidades da construção civil e promovendo uma diminuição nos custos e no tempo das edificações. (EPS BRASIL, 2019).

Como dito anteriormente, o poliestireno é proveniente do petróleo e segundo EPS Brasil (2019), o seu uso na construção civil pode possibilitar o surgimento de fogo, causando aflições ao fazer o uso do mesmo. Só que com a modernização, tornou-se possível a fabricação de um material que se auto dissipasse e não reproduzisse chamas. Proporcionado um material de maior interesse para construtoras.

A Figura 6 e a Tabela 1 apresentam respectivamente, o gráfico de tensão deformação e as características impostas para o EPS pela ABNT NBR 11752:2016 (Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial – Especificação).

Figura 6 - Resistência à compressão do EPS.



Fonte: ABRAPEX, 2019.

Tabela 1. Características do EPS.

Propriedades	Métodos de Ensaio	Unid.	Classe P			Classe F		
			I	II	III	I	II	III
<b>Tipo de Material</b>			I	II	III	I	II	III
<b>Massa específica aparente</b>	NBR 11949	Kg/m <sup>3</sup>	13–16	16–20	20-25	13–16	16–20	20-25
<b>Resistência à compressão com 10% de deformação</b>	NBR 8082	Kpa	≥ 60	≥ 70	≥ 100	≥ 60	≥ 70	≥ 100
<b>Resistência à flexão</b>	ASTM C - 203	Kpa	≥150	≥190	≥240	≥150	≥190	≥ 240
<b>Absorção de água Imersão em água</b>	NBR 7973	g/cm <sup>3</sup> x100	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
<b>Permeabilidade ao vapor de água</b>	NBR 8081	ng/ Pa.s.m	≤ 7	≤ 5	≤ 5	≤ 7	≤ 5	≤ 5
<b>Coefficiente de condutiv. Térmica a 23°C</b>	NBR 12904	X/ (m.k)	0,042	0,039	0,037	0,042	0,039	0,037
<b>Flamabilidade</b>	NBR 1948		Material não retardante à chama			Material retardante à chama		

Fonte: Adaptado de ABRAPEX, 2019.

### 2.2.2.2 Vermiculita expandida

O termo vermiculita vem do latim *vermiculus* cujo significado é pequeno verme. Quando submetidas ao aquecimento, as partículas desse material se mobilizam de modo

análogo a movimentação de vermes, por isso a origem dessa nomenclatura. (LUZ E LINS, 2008).

O emprego da vermiculita no Brasil começou vagarosamente nos anos 50, na cidade de Tatuí/ São Paulo, e só passou a ser explorada com mais intensidade a partir de 1971 com a iniciação da mina de São Luiz de Montes Belos, localizada no estado de Goiás. Um dos produtores mais fortes do material no país é o Brasil minério, que em 2007 já era responsável por 90% da comercialização. A comercialização é feita de duas maneiras: vermiculita não expandida e expandida. Sendo que, na segunda forma é necessário que o material seja exposto a altas temperaturas para que ocorra a expansão. (SZNELWAR E SCALABRIN, 2009).

Segundo Luz e Lins (2008), o processo de expansão baseia-se em retirar o mais rápido possível a água agregada ao mineral, através do aquecimento do material. Ao aquecer o mineral, a água interlamelar evapora, originando a forma expandida. Finalizado o processo de expansão, a vermiculita é vendida com um volume de oito a doze vezes maior, mesmo sendo capaz de expandir em até quarenta vezes o seu tamanho primordial. A Figura 7 demonstra a vermiculita da marca Brasil Minérios nas formas natural e expandida.

Figura 7 - Amostra de vermiculita: (a) natural e (b) expandida a 900°C por 5 minutos.



Fonte: Ugarte e Monte, 2005.

A vermiculita se tornou útil em inúmeras áreas, como na agricultura, indústrias químicas, construção civil, etc. Isso é conveniente das características relevantes que a mesma oferece, como baixa condutividade térmica e baixa massa específica. (LUZ E LINS, 2008).

Para Neville (2016), a vermiculita é denominado como um agregado leve artificial, e de acordo com Sznelwar e Scalabrin (2009), na construção civil a vermiculita expandida apresenta diversas funcionalidades, dentre elas:

- Fabricação de concreto, com o emprego de agregado leve, substituindo os agregados convencionais;

- Constituição de argamassas com isolamento térmico e acústico;
- Formação de elementos com proteção ao fogo; entre outras.

Em conformidade com Neville (2016), a Tabela 2 apresenta as características específicas do concreto fabricado com vermiculita.

Tabela 2- Propriedades específicas do concreto leve com vermiculita.

<b>Tipo de concreto</b>	<b>Massa unitária do agregado (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa específica do concreto seco (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia à compressão (Mpa)</b>	<b>Retração por secagem (10<sup>-6</sup>)</b>	<b>Condutividade térmica (J/m<sup>2</sup> s x °C)</b>
Vermiculita	60 – 200	300 – 700	0,3 – 3	3.000	0,10

Fonte: Adaptado de Neville, 2016.

Segundo Nandhini e Vallabhy (2008), o emprego de vermiculita em concretos proporcionará uma melhora na resistência à retração e rachadura e ao fogo.

### 2.3 TRABALHOS RELACIONADOS

Segundo Angelin (2014), o concreto ainda é um componente revolucionário e por isso é digno de estudos. A autora buscou através da sua pesquisa, analisar algumas características dos concretos obtidas a partir de dosagens com proporções distintas de argila expandida. Com a execução dos ensaios regidos por normas, ela obteve resistências à compressão equivalentes a 40 Mpa e resistências à tração no intervalo permitido para ser classificado como concreto leve estrutural. Ao final do estudo, concluiu-se que a massa específica e a resistência dos concretos são diretamente proporcionais. Resumindo, o concreto que foi adicionado argila em sua composição, quando comparado ao concreto de referência, apresentou uma menor massa específica e conseqüentemente uma menor resistência.

Conforme Araujo (2017), por mais que atualmente as construções estão sendo executadas mais rapidamente, as obras ainda apresentam custos elevados. E é necessário desenvolver estudos e materiais que contribuem para a diminuição desse custo. Com isso, o autor decidiu associar o emprego de dois agregados leves (poliestireno expandido - EPS e argila expandida) ao concreto convencional para buscar um melhoramento no isolamento do concreto. Ao mensurar as características do concreto no estado fresco e endurecido, notou-se que a adição de EPS e argila expandida na composição de concretos pode ser favorável, pois os mesmos, apresentaram baixas massas específicas e útil para sistemas de vedação.

Matos, Freitas, Almeida e Mendes (2018), certifica que a procura por materiais diversos para compor novos concretos é constante, e isso se deve as condições impostas na construção civil. Os autores decidiram analisar alguns atributos do concreto como a massa específica, a consistência e as resistências, adicionando vermiculita expandida em sua constituição. Executaram três traços, sendo um de referência e dois com adição de vermiculita expandida em diferentes proporções. Ao fim, concluíram que o concreto de referência apresentou massa específica e resistência à compressão axial superior ao das massas dos concretos com vermiculita, porém, no ensaio de abatimento com tronco de cone, o concreto que teve a composição modificada apresentou melhores resultados.

Ao realizar estudos sobre dosagem e características mecânicas de concreto elaborado com pérolas de EPS, a autora Ozório (2016) afirma que a utilização de poliestireno expandido na composição do concreto propõe uma redução nos custos da obra, independente se for pela redução da massa específica do material ou pelo melhor dimensionamento das peças estruturais. Através dessas considerações, a autora realizou uma dosagem inicial e em seguida realizou nove tipos de traços, considerando a variação na granulometria do EPS, mistura de areia fina e média, redução no teor de EPS, adição de fibras de aço, substituição de cimento por sílica ativa, adição de fibras de polipropileno e por último, um traço com redução de EPS e composto com areia fina, sílica ativa. Após a realização de diversos ensaios obteve resultados como: quanto mais graduado foram as dimensões das pérolas de EPS, melhor foram as características do concreto leve; ao utilizar metade de areia fina e metade a areia média melhor foram as características mecânicas e o índice de durabilidade; quanto menor foi a proporção de EPS utilizada, maior foi o valor da massa específica e conseqüentemente maior a resistência à compressão; a utilização de fibras de aço proporcionaram resultados semelhantes a redução de EPS; a substituição de cimento por sílica concedeu um aumento nos valores das resistências mecânicas; com a adição de fibras de polipropileno não se obteve valores satisfatórios para as propriedades em análise; e por fim, a junção de areia fina, com sílica e uma menor quantidade de EPS apresentou valores melhores nas características do concreto.

### 3 METODOLOGIA

O procedimento metodológico realizado foi experimental, pois analisou quais as variáveis que influenciam nas propriedades do concreto, ou seja, verificou-se no que os agregados convencionais, o poliestireno expandido e a vermiculita expandida interferem nas características físicas e mecânicas do concreto. O estudo em questão se tratou de uma pesquisa laboratorial, pois a metodologia para a avaliação do objeto de estudo foi toda realizada no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP, com resultados qualitativo e quantitativo do concreto produzido.

#### 3.1 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Para a efetuação dessa pesquisa foram executados os procedimentos em etapas, tendo como fases fundamentais a determinação dos materiais, produção dos concretos não estruturais com traço dosado em conformidade com o método do American Concrete Institute (ACI) - resistência à compressão ( $f_{ck}$ ) de projeto igual a 25 MPa - e execução dos ensaios nos estados fresco (consistência e massa específica) e endurecido (massa específica, absorção de água, índice de vazios, resistência a compressão axial e resistência à tração diametral).

O traço utilizado neste estudo foi determinado através dos resultados obtidos a partir dos ensaios de caracterização dos materiais. O passo a passo para a dosagem do traço está detalhado em apêndice.

Traços utilizados:

**1: 2,31: 1,99: 0,52** (Traço em massa)

**50: 1,54: 1,47: 0,52** (Traço misto)

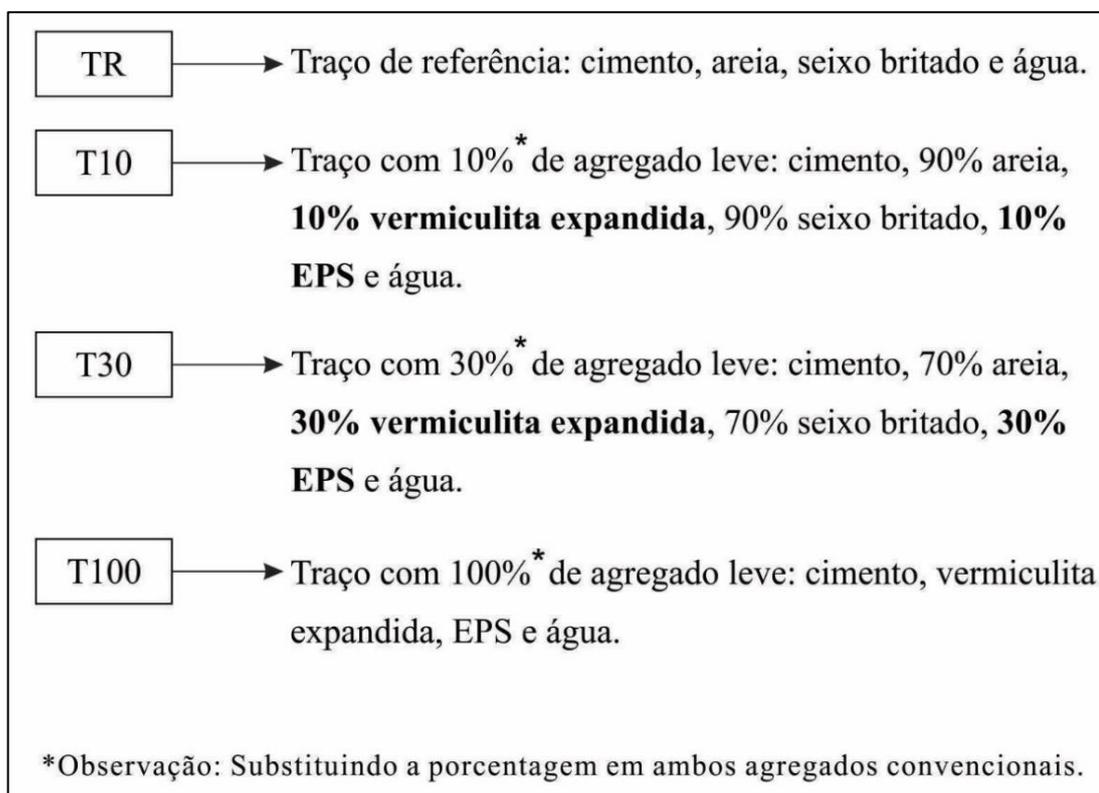
A fim de atestar uma linha de comparação entre os concretos, o traço que foi determinado não sofreu nenhuma alteração, utilizando o mesmo fator água cimento para a realização de todas as composições, alterando apenas a porcentagem de substituição de cada agregado.

Optou-se por não corrigir o traço para verificar quais as reais alterações no estado fresco e no estado endurecido que as propriedades dos agregados leves provocariam. Ressaltando que, por se tratar de estudos realizados em laboratório, é válida a não correção. Porém, em caso de utilização no dia a dia, seria necessário corrigir o traço.

Na etapa de produção, foram confeccionadas diversas composições, sendo uma convencional (sem substituições), e três leves com 10%, 30% e 100% de substituição

simultânea dos agregados (gráudo e miúdo), cuja nomenclaturas adotadas foram respectivamente, TR, T10, T30 e T100, exemplificadas na Figura 8.

Figura 8. Detalhamento e nomenclaturas adotadas de cada concreto fabricado.



Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 3 exemplifica as substituições feitas no estudo, indicando respectivamente as proporções e quantidades (apresentadas em quilograma para melhor de entendimento) utilizadas em cada composição.

Tabela 3. Proporções dos materiais utilizados em cada composição.

TRAÇOS	PROPORÇÕES					ÁGUA (%)
	CIMENTO (%)	Agregado Miúdo (%)		Agregado Graúdo (%)		
		AREIA	VERMICULITA	BRITA	EPS	
<b>TR</b>	100	100	-	100	-	100
<b>T10</b>	100	90	10	90	10	100
<b>T30</b>	100	70	30	70	30	100
<b>T100</b>	100	-	100	-	100	100

Fonte: Autor, 2019.

Os ensaios executados foram realizados com os concretos fabricados, nos estados fresco e endurecido. Para a consumação dos ensaios no estado endurecido - resistência à compressão

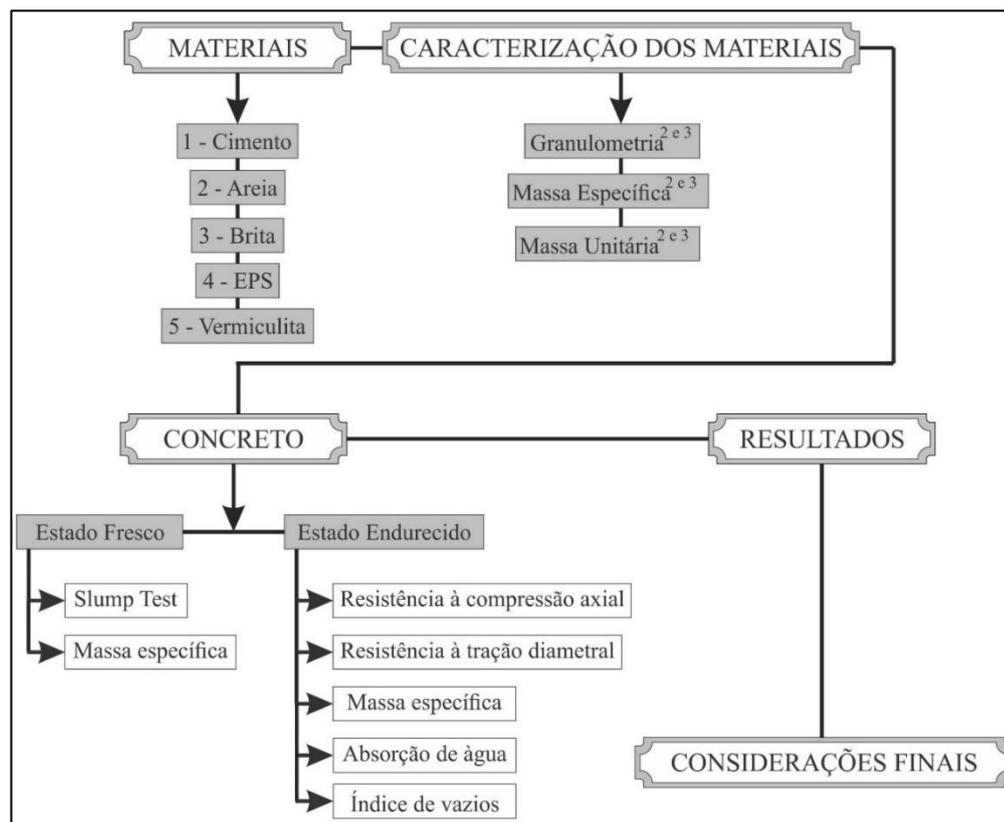
axial, resistência à tração por compressão diametral, massa específica, índice de vazios e absorção de água - foram moldados segundo a ABNT NBR 5738/2016 (Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova), 12 corpos-de-prova para cada traço. Totalizando 48 corpos-de-prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura cada. Os testes de resistência a compressão axial foram executados em dois períodos, ou seja, três corpos-de-prova para cada etapa, aos 7 e 28 dias de cura do concreto, enquanto que os demais, foram estimados aos 28 dias. A Tabela 4 exemplifica a quantidade de corpos de provas para cada ensaio e a Figura 9 demonstra e exemplifica o diagrama com as fases que foram realizadas para alcançar o objetivo desta pesquisa.

Tabela 4. Quantidade de corpos de prova utilizadas em cada traço.

Ensaio	Resistencia à Compressão		Resistencia à Tração	Massa Específica / Absorção de água/ Índice de vazios	TOTAL
	7 dias	28 dias	28 dias	28 dias	
Idade	7 dias	28 dias	28 dias	28 dias	
Qtd./ Traço	3	3	3	3	12

Fonte: Autor, 2019.

Figura 9. Diagrama do planejamento experimental.



Fonte: Autor, 2019

## 3.2 MATERIAIS

### 3.2.1 Cimento Portland

Na efetivação desse estudo, para a fabricação dos quatro concretos foi empregue o cimento Portland CP II – F32 da marca Ciplan, representado por “Cimento Uso Geral”, com massa específica igual a 3150,00 Kg/m<sup>3</sup>, e propriedades indicadas na Figura 10 apresentadas pelo próprio fabricante.

Figura 10. Propriedades do cimento Ciplan utilizado nesse estudo.

ENSAIOS FÍSICOS *						
Resistência 1 dia	Resistência 3 dias	Resistência 7 dias	Resistência 28 dias	Blaine	Início de Pega	Fim de Pega
15,0 MPa	23,0 MPa	28,0 MPa	33,0 MPa	5000	195 min	270 min

Fonte: Ciplan.

### 3.2.2 Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado para a elaboração dos concretos foi a brita, oriundo da região de Palmas/TO. Para a especificação das propriedades do agregado foram utilizados os métodos em conformidade com as normas existentes.

A Tabela 5 mostra os resultados da distribuição granulométrica do agregado graúdo, segundo a ABNT NBR NM 248: 2003 (Agregados – Determinação da composição granulométrica).

Tabela 5 – Composição granulométrica do agregado graúdo.

PENEIRAS	DETERMINAÇÃO		
	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA	
(mm)		Simplex	Acumul.
50,00	-	-	-
38,00	-	-	-
32,00	-	-	-
25,00	-	-	-
19,00	0,0	-	-
12,50	9,1	0,91	0,91
9,50	148,0	14,80	15,71
6,30	515,4	51,54	67,25
4,80	207,3	20,73	87,98
2,40	115,8	11,58	99,56
1,20	-	-	99,56
0,60	-	-	99,56
0,30	-	-	99,56
0,15	-	-	99,56
FUNDO	4,80	0,48	100,04

TOTAL	1.000,40	100,04	
TOTAL DA AMOSTRA	1.000,00	100,00	
DIF. DA AMOSTRA	(0,40)	(0,04)	
MÓDULO DE FINURA	6,70		
DIMENSÃO MÁXIMA	12,50		

Fonte: Autor, 2019.

Os ensaios realizados para a definição das massas específica e unitária do seixo britado, determinadas no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP, segundo a ABNT NBR NM 53: 2009 (Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água) e a ABNT NBR NM 45: 2006 (Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios), estão representados na Tabela 6.

Tabela 6. Massas do Agregado Graúdo.

<b>SEIXO BRITADO</b>	
<b>Massa específica (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2630,0
<b>Massa Unitária (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1360,0

Fonte: Autor, 2019.

### 3.2.3 Agregado Miúdo

O agregado miúdo consumido na produção dos concretos foi a areia, procedente da cidade de Palmas/TO. E para que não altere os resultados, o mesmo foi exposto ao processo de secagem em estufa durante 24 horas.

Para a designação das características da areia foram realizados ensaios no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP, conforme as normas vigentes.

A Tabela 7 apresenta os resultados do ensaio de granulometria do agregado miúdo, seguindo a ABNT NM 248:2003 (Agregados – Determinação da composição granulométrica).

Tabela 7 – Distribuição Granulométrica da Areia.

PENEIRAS	DETERMINAÇÃO		
	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA	
(mm)		Simplex	Acumul.
9,5		-	-
6,3		-	-
4,8	21,5	2,15	2,15

2,4	82,7	8,27	10,42
1,2	113,5	11,35	21,77
0,6	170	17,00	38,77
0,3	421	42,10	80,87
0,15	160	16,00	96,87
FUNDO	28,8	2,88	99,75
TOTAL	997,50	99,75	
TOTAL DA AMOSTRA	1.000,00	100,00	
DIF. DA AMOSTRA	2,50	0,25	
MÓDULO DE FINURA		2,51	
DIMENSÃO MÁXIMA		4,8	

Fonte: Autor, 2019.

Os ensaios realizados para a definição das massas específica e unitária da areia, determinadas no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP, conforme a ABNT NBR NM 52: 2009 (Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente) e com a ABNT NBR NM 45: 2006 (Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios), estão representados na Tabela 8.

Tabela 8. Massas do Agregado Miúdo.

<b>AREIA</b>	
<b>Massa específica (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2630,0
<b>Massa Unitária (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1500,0

Fonte: Autor, 2019.

### 3.2.4 Poliestireno Expandido (EPS)

Para esse estudo, foi empregado em três dosagens com diferentes proporções (T10, T30 e T100), como agregado graúdo leve, o poliestireno expandido industrializado em flocos, da marca FortLajes, com granulometria variada e com massa específica igual a 10 Kg/m<sup>3</sup>.

### 3.2.5 Vermiculita Expandida

A vermiculita expandida, da marca Brasil Minérios, foi empregada em três dosagens realizadas nesse estudo, substituindo o agregado miúdo convencional em proporções distintas. As características determinadas pelo fabricante são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9. Características do VERMIFLOC SUPERFINO

Parâmetro	Especificação		Método de Ensaio
<b>Massa Específica Aparente (MEA), em g/cm<sup>3</sup> (kg/cm<sup>3</sup>)</b>	100 a 140		IT.003
<b>Umidade (%)</b>	Max. 8,0 (1)		IT.004
<b>Distribuição Granulométrica. (via seca)</b>	Peneiras (mm)		% Retido Simples
	8	0,00 a 0,00	IT.010
	4	0,00 a 0,00	
	2,4	0,00 a 1,00	
	1,2	20,00 a 60,00	
	0,6	35,00 a 65,00	
	0,3	5,00 a 18,00	
	0,15	1,00 a 5,00	
	< 0,15	0,00 a 3,00	
<b>1) Produto higroscópico – pode absorver umidade do ar, podendo haver variação de peso entre diferentes datas de amostragem e realização de ensaio.</b>			
<b>(2) IT.003 - Determinação da massa específica aparente</b>			
<b>(3) IT.010 - Análise granulométrica de vermiculita expandida</b>			
<b>(4) IT.004 - Determinação de umidade de vermiculita expandida</b>			

Fonte: Autor, 2019.

### 3.3 CONCRETO

#### 3.3.1 Mistura dos materiais

Após fazer a caracterização dos materiais, com o auxílio da ABNT NBR 12821:2009 (Preparação de concreto em laboratório – Procedimento) foi efetivada a mistura dos insumos.

A dosagem foi determinada seguindo o método do American Concrete Institute (ACI), no qual analisa tabelas e gráficos obtidos com ensaios experimentais.

O traço utilizado para o concreto convencional foi em massa:

**1: 2,31: 1,99: 0,52**

Já para o concreto leve utilizando o traço misto foi:

**50: 1,54: 1,47: 0,52**

O traço utilizado para a fabricação do concreto leve, foi misto. Foi escolhido dessa forma, devido a existência de agregados leves, como o EPS em flocos e vermiculita expandida. Pois, optando pelo traço em massa, além de necessitar grandes quantidades desses materiais, se tornaria difícil efetivar a pesagem apurada dos mesmos.

#### 3.3.1.1 Concreto de Referência

Para a metodologia de mistura foi utilizada uma betoneira basculante, sendo a mesma, umedecida antes do uso, para que a mesma não consuma a água do traço. Após o umedecimento foi colocado os insumos na seguinte ordem: o seixo britado, metade da água, o cimento, a areia e o restante da água. Lembrando que o equipamento permanece ligado durante a inclusão dos materiais.

#### 3.3.1.2 Concreto leve

O procedimento para a elaboração do concreto leve aconteceu com a betoneira basculante previamente umedecida para que a mesma não absorva a água do concreto, e a mistura dos materiais foi semelhante a utilizada por Ozório (2016). Os materiais foram inseridos na seguinte ordem: primeiro misturou-se o agregado miúdo, a vermiculita expandida, o EPS em flocos, a brita e metade da água. Logo em seguida, o cimento e o restante da água. Lembrando que, como não foi realizado o índice de saturação, 24 horas antes de fabricação do concreto, foi necessário saturar a porção de vermiculita utilizada, para que a mesma, por ser um material poroso, ao entrar contato com a pasta, não absorva água da mesma, causando desfalque na proporção da dosagem anteriormente determinada e prejudicando a consistência do concreto. Segundo Fonseca (2006), muitos estudos já foram realizados a respeito da absorção de água dos agregados não convencionais e ainda restam muitas dúvidas a respeito do tempo que o material deve ficar imerso. Sendo assim, optou-se por esse prazo de saturação da vermiculita expandida.

### **3.3.2 Ensaio dos concretos no estado fresco**

#### 3.3.2.1 Consistência

Ao finalizar a fabricação dos concretos, foram executados dois ensaios em estado fresco. O primeiro foi para determinar as consistências de acordo com a ABNT NM 67:1998 (Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone).

### 3.3.2.2 Massa específica

Após a efetivação do primeiro ensaio, realizou-se o segundo ensaio, conforme a ABNT NBR 9833:2009 (Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico) para determinar a massa específica do concreto.

### 3.3.3 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Após a realização dos primeiros ensaios, o próximo passo se dá com a moldagem dos corpos-de-prova para futuramente, com 7 e 28 dias de cura, obter a avaliação dos concretos no estado endurecido. Os processos de moldagem e cura foram fundamentados na ABNT NBR 5738:2016 (Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova).

### 3.3.4 Ensaios dos concretos no estado endurecido

Após a moldagem e curas dos corpos de prova, os mesmos foram ensaiados em determinadas idades, para a obtenção de resultados no estado endurecido.

#### 3.3.4.1 Massa Específica, Índice de vazios e Absorção de água

Para determinar a massa específica, o índice de vazios e o teor de absorção de água foram ensaiados três corpos-de-prova para cada dosagem aos 28 dias de cura. E parte dos procedimentos para a efetivação do ensaio ocorreram segundo a ABNT NBR 9778:2009 (Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica).

Primeiramente, os corpos de prova foram pesados: em estado saturado e imerso. Após isso, foram colocados na estufa sendo submetidos a uma temperatura de 60°C para que após 24 horas fossem pesados em estado seco. Lembrando que, a temperatura estabelecida segundo a ABNT NBR 9778 é (105 ± 5)°C, porém, de acordo com Babu e Babu (2003), os concretos foram submetidos a essa temperatura, para não alterar os resultados da pesquisa, pois o poliestireno expandido se liquefaz quando expostos a temperaturas de aproximadamente 80°C.

Após a realização das pesagens, para estimar os valores das massas específicas, basta efetuar cálculos através da Equação 1 e logo em seguida calcular a média aritmética para cada concreto.

$$\rho = \frac{ms}{msat - mi} \quad (1)$$

Onde:

$\rho$  → Massa específica do concreto (Kg/m<sup>3</sup>);

$m_s$  → Massa do corpo de prova seco (Kg);

$m_{sat}$  → Massa do corpo de prova saturada com a superfície seca (Kg); e

$m_i$  → Massa do corpo de prova imerso (Kg)

Segundo Neville (2016), a absorção de água está diretamente ligada as características do concreto, pois quanto maior for a quantidade de vazios presentes no concreto, menor é a resistência. Ainda em conformidade com o autor, a resistência do concreto pode reduzir em até 30% se o concreto apresentar 5% de vazios.

Para a determinação da absorção de cada dosagem, utilizou-se o mesmo procedimento de pesagem no ensaio de massa específica, sendo três corpos de prova para cada dosagem. Através da Equação 2 e de média aritmética entre os resultados, foram obtidos os valores em estudo.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

A → Absorção de água (%);

$m_{sat}$  → Massa do corpo de prova saturada com a superfície seca (Kg); e

$m_s$  → Massa do corpo de prova seco (Kg)

Mehta e Monteiro (2008) afirmam que o índice de vazios afeta diretamente a durabilidade do concreto. Isso ocorre, pois, a proporção de poros presentes no concreto influenciam na permeabilidade do mesmo.

Para obter o valor referente ao índice de vazios de cada dosagem, utilizou-se o mesmo procedimento de pesagem no ensaio de massa específica, sendo três corpos de prova para cada dosagem. Através da Equação 3 e de média aritmética entre os resultados, foram obtidos os valores em estudo.

$$I_V = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$I_v$  → Índice de vazios (%);

$m_s$  → Massa do corpo de prova seco (Kg);

$m_{sat}$  → Massa do corpo de prova saturada com a superfície seca (Kg); e

$m_i$  → Massa do corpo de prova imerso (Kg)

### 3.3.4.2 Resistência à compressão axial

Segundo Neville (2016), umas das propriedades mais importantes de concreto é a resistência, por estar ligada a qualidade do mesmo. Essa resistência é a razão entre a carga de ruptura e a área da seção transversal do corpo de prova, embasada pela ABNT NBR 5739:2018 (Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos).

Para a realização desse ensaio foram utilizados vinte e quatro corpos-de-prova, sendo cada dosagem composta por seis, três ensaiados com 7 dias e três com 28 dias de cura.

O valor resistente de cada dosagem, foi embasado na Equação 4 e em seguida, realizado o cálculo da média aritmética entre os resultados.

$$f_c = \frac{P}{A_c} \quad (4)$$

Onde:

$f_c$  – Tensão de ruptura à compressão do corpo de prova (MPa);

P – Valor da carga de ruptura (N); e

$A_c$  – Área da seção transversal do corpo de prova (mm<sup>2</sup>)

### 3.3.4.3 Resistência à tração por compressão diametral

As fissuras ocasionadas em estruturas de concreto, geralmente são provenientes das tensões de tração vindas de retração restringida. (Mehta e Monteiro, 2008)

Com isso, se faz necessário verificar as resistências à tração. Neste ensaio foram utilizados três corpos-de-prova para cada dosagem, sendo os valores alcançados na idade de 28 dias. Todo o procedimento para a efetivação do ensaio ocorreu em conformidade com a ABNT NBR 7222: 2011 (Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos).

O valor resistente de cada dosagem, foi embasado na Equação 5 e em seguida, realizado o cálculo da média aritmética entre os resultados.

$$f_{t,d} = \frac{2 \times F}{\pi \times d \times L} \quad (5)$$

Onde:

$f_{t,d}$  - Resistência à tração por compressão diametral em (MPa);

F – Valor da carga de ruptura obtida no ensaio, em (N);

d – Diâmetro do corpo de prova (mm); e

L – Comprimento do corpo de prova (mm).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados alcançados e análise de cada um dos ensaios realizados, para o comparativo das características físicas e mecânicas entre o concreto de referência e os concretos com substituição de diversas proporções de agregados leves.

### 4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS – ESTADO FRESCO

#### 4.1.1 Consistência (Tronco de Cone)

Para todos os traços foi utilizado o fator água/cimento igual a 0,52, sendo assim, houve grandes variações nos valores obtidos no Slump Test, conforme estão apresentados na Tabela 10 e no Gráfico 1.

Tabela 10. Consistências dos concretos produzidos.

CONSISTÊNCIAS DOS CONCRETOS				
TRAÇOS	TR	T10	T30	T100
Abatimento do Tronco de Cone (mm)	67,0	41,0	32,0	20,0

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 1. Consistências dos concretos produzidos.



Fonte: Autor, 2019.

Inicialmente, para efetivar o cálculo do traço, pré-determinou-se um abatimento na ordem de  $75 \pm 10$  mm. Os resultados apresentaram grandes variações, e apenas o concreto de referência alcançou o que havia sido pré-definido. No caso dos concretos com adições de EPS em flocos e vermiculita expandida, os valores foram inferiores quando comparados aos de referência, e as possíveis causas dessas variações se dá pela diferença das características dos materiais, como diferença na forma, textura e porosidade. Por exemplo, a vermiculita expandida é bem mais porosa que a areia. Sendo assim, mesmo sendo umedecida 24 horas antes da sua aplicação, conforme determinado no item 3.3.1.2, acaba absorvendo água da pasta. O resultado obtido para o concreto composto com 100% de agregados leves, poderia ser dispersado pois, segundo a NBR NM 67 (1998) não se considera os valores, pois o mesmo não é coeso o suficiente para a realização precisa deste ensaio.

Ao comparar os valores dos abatimentos obtidos: 67,00 – 41,00– 32,00 e 20,00 mm, nota-se uma redução quando relacionados ao concreto referência, de 38,81% no concreto T10; 52,24% no concreto T30 e 70,15% no concreto T100.

#### 4.1.2 Massa Específica

Segundo a ABNT NBR 8953: 2015 (Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência) e a ABNT NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto — Procedimento), para concretos serem caracterizados como leves, é necessário que os mesmos apresentem uma massa específica inferior a 2000 Kg/m<sup>3</sup>.

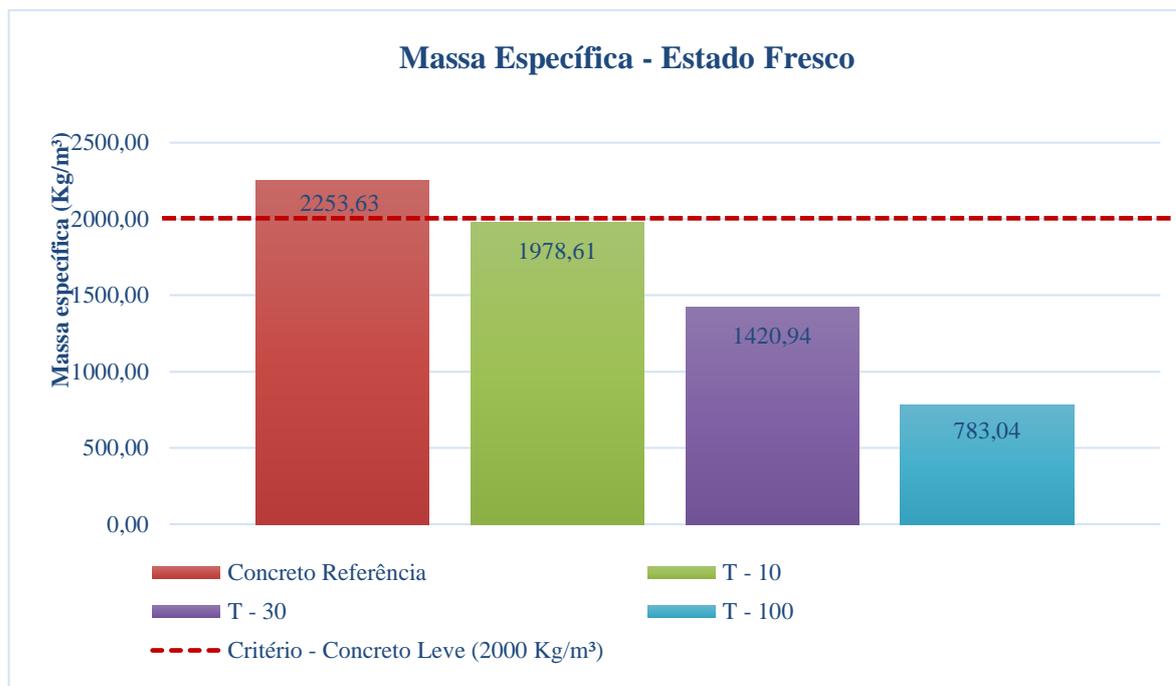
Sendo assim, em harmonia com os resultados obtidos e apresentados a seguir na Tabela 11 e no Gráfico 2, os concretos que foram substituídos em proporções de 10%, 30% e 100% são determinados concretos leves.

Tabela 11. Resultados - Massa específica dos concretos no estado fresco.

<b>MASSA ESPECÍFICA (Kg/m<sup>3</sup>)</b>					
<b>Resultados</b>	<b>M<sub>recip.</sub> (Kg)</b>	<b>M<sub>total.</sub> (Kg)</b>	<b>M<sub>conc.</sub> (Kg)</b>	<b>V (d<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\rho_{ap}</math> (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>TR</b>	4,20	21,90	17,70	7,85	2253,63
<b>T10</b>	4,20	19,74	15,54	7,85	1978,61
<b>T30</b>	4,20	15,36	11,16	7,85	1420,94
<b>T100</b>	4,20	10,35	6,15	7,85	783,04

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 2. Massa específica dos concretos no estado fresco.



Fonte: Autor, 2019.

O concreto T10 uma redução de 12,20%. O concreto T30 expressou um valor de 36,95%, e o concreto T100, ostentou um valor ainda mais significativo de 65,25 % em relação ao concreto de referência.

Concretos confeccionados com materiais com baixas densidades, como vermiculita e poliestireno expandido podem ser utilizados como enchimentos de rebaixo de lajes, nivelamento de pisos, contrapisos, isolamento térmica e acústica, isolamento de cobertura, paredes divisórias, painéis leves, pré-moldados, elementos de vedação e entre outros. (Ripper, 1995).

Por meio dos resultados apresentados acima, se torna explícito que a utilização de agregados leves, como o EPS em flocos e a vermiculita expandida, na composição de concretos se torna viável, pois o mesmo pode ser aplicado em diversas formas, além de reduzir o peso da estrutura em um todo.

## 4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS – ESTADO ENDURECIDO

### 4.2.1 Resistência à Compressão Axial

Ao realizar o ensaio de resistência à compressão em duas idades, aos 7 e aos 28 dias, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 12.

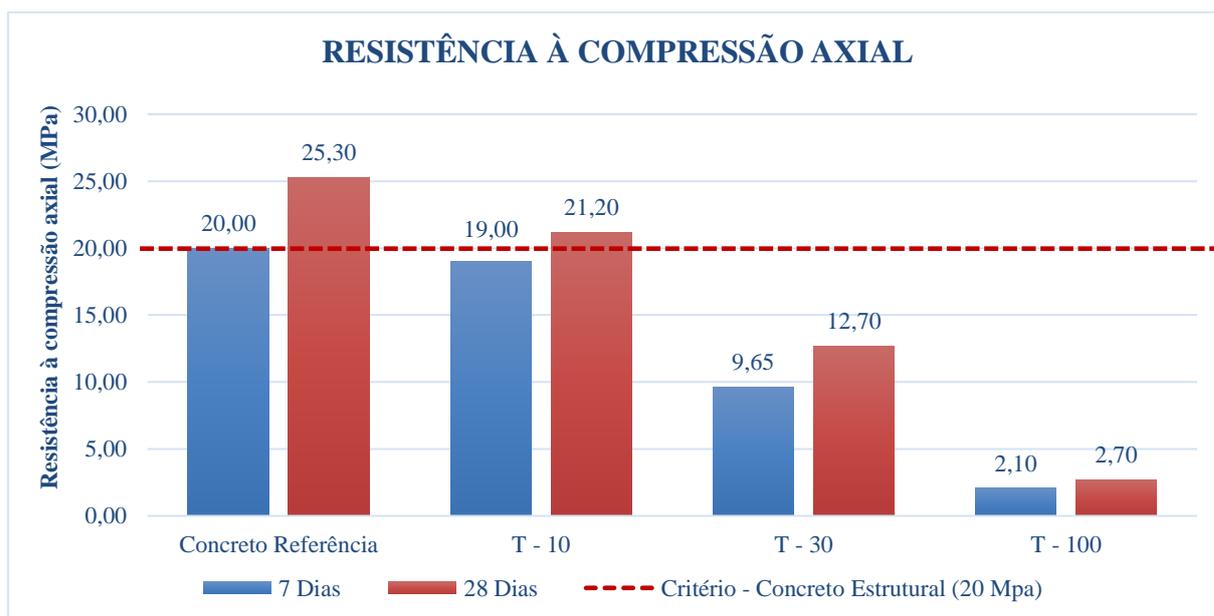
Tabela 12. Resultados - Resistência à compressão axial dos concretos produzidos.

TRAÇO	IDADE	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO (MPa)
TR	7	20,00
	28	25,30
T10	7	19,00
	28	21,20
T30	7	9,65
	28	12,70
T100	7	2,10
	28	2,70

Fonte: Autor, 2019.

Ao observar os dados acima dispostos, é notório uma discrepância significativa nos valores das resistências nos concretos. Observa-se que quanto maior a proporção adicionada de EPS em flocos e vermiculita expandida, menor foi a resistência à compressão. No Gráfico 3 é possível verificar como os diferentes tipos de concreto influencia na resistência, além da variação desta característica no decorrer de cada idade.

Gráfico 3. Resistência à compressão axial dos concretos produzidos.



Fonte: Autor, 2019.

Aos 7 dias de cura, os corpos de prova do concreto referência atingiram resistência média de 20,00 Mpa e aos 28 dias de 25,30 Mpa. Ou seja, aumentando 26,50% dos 7 aos 28 dias. Enquanto que as amostras do concreto T10 alcançaram 19,00 Mpa e 21,20 Mpa, com um aumento de 11,58% no decorrer dos 28 dias; o T30 obtiveram 9,65 Mpa e 12,70 Mpa,

aumentando 31,61% dos 7 aos 28 dias; e o T100 de 2,10 Mpa e 2,70 Mpa, adicionando 28,57% ao fim do período de cura.

Ao relacionar os concretos leves T10, T30 e T100, com o de referência, é possível notar reduções nas resistências aos 7 dias de cura, respectivamente, de 5%, 51,75% e 89,5. E aos 28 dias, de 16,21%, 49,80% e 89,33% respectivamente.

De acordo com Babu e Babu (2003), a resistência do concreto é ligada à resistência dos agregados, sendo assim, já era previsto a diminuição nas resistências à compressão dos concretos compostos com poliestireno expandido e vermiculita expandida. Pois, por serem agregados com menores massas específicas, quando comparados com os agregados convencionais, conseqüentemente, apresentam menores resistências.

Segundo Catoia (2012), os flocos de EPS não são resistentes às tensões, desta forma, para que os valores das resistências fossem semelhantes, seria necessário melhorar a argamassa para compor os vazios feito pelo EPS. Como o fator água/cimento permaneceu o mesmo para todas as dosagens, os resultados foram inversamente proporcionais. Ou seja, quanto maior a quantidade de EPS e vermiculita expandida adicionada, menor foram as resistências.

A ABNT NBR 8953:2015 esclarece que um dos critérios para se ter concreto estrutural, o mesmo necessita apresentar uma resistência à compressão de no mínimo 20Mpa. Com isso, pode-se afirmar, que ao analisar apenas a resistência à compressão, o concreto de referência e o fabricado com a 10% de cada agregado leve, pode ser considerado como concreto estrutural, pois apresentou resistência igual a 21,20 Mpa aos 28 dias de cura, ou seja, maior que a norma exige. Porém, o concreto leve T10 não pode ser adotado como estrutural, devido à insuficiência de informações, como o módulo de elasticidade, não realizado neste estudo. Além de, Ripper (1995) afirmar que concretos que possuem EPS e vermiculita em sua composição não são considerados estruturais pois as resistências desses materiais é praticamente igual a zero.

#### **4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral**

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias, foi realizado apenas com o traço de referência (TR), pois segundo Ozório (2017), a resistência à tração equivale a 10% da resistência à compressão. Sendo assim, os resultados dos concretos em estudo são apresentados na Tabela 13 e no Gráfico 4.

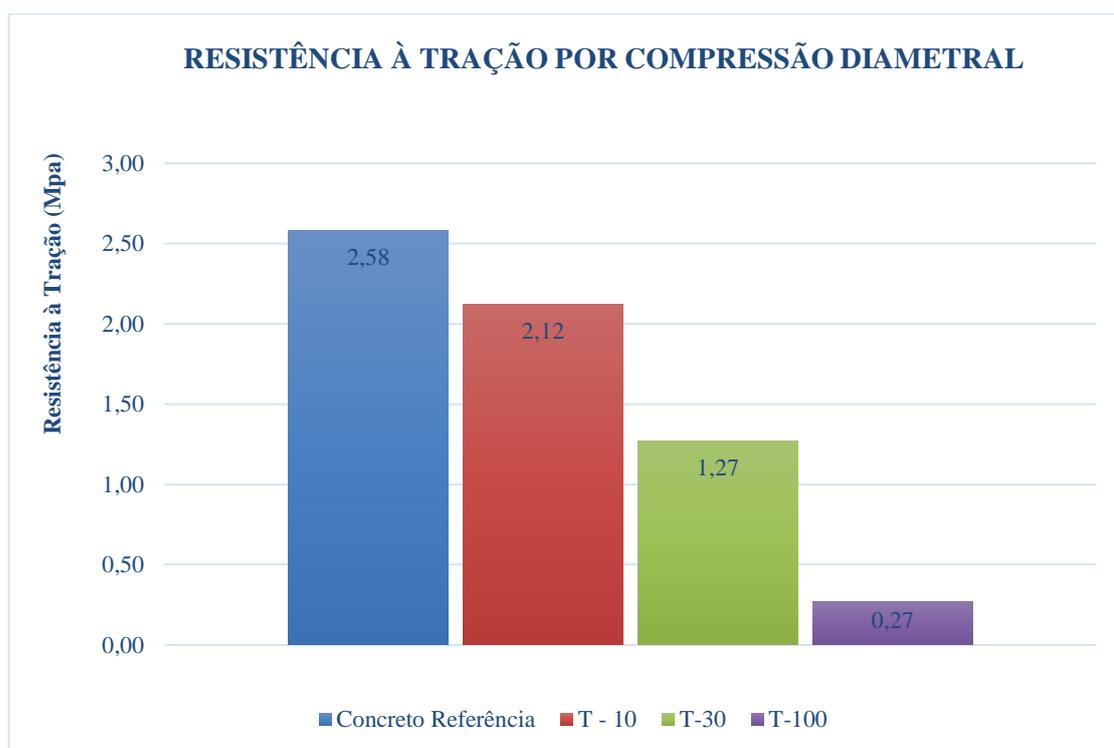
Da mesma forma que a resistência citada no item 4.1.3 diminuiu com o aumento das proporções de EPS em flocos e vermiculita expandida, a resistência à tração, conseqüentemente, reduz por ser equivalente a uma certa proporção da resistência à compressão.

Tabela 13. Resultados - Resistência à tração por compressão diametral.

TRAÇO	IDADE	RESISTÊNCIA MÉDIA À TRAÇÃO (MPa)
<b>TR</b>	28	2,58
<b>T10</b>	28	2,12
<b>T30</b>	28	1,27
<b>T100</b>	28	0,27

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 4. Resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Autor, 2019.

#### 4.2.3 Massa Específica, absorção de água e índice de vazios

Os resultados dos ensaios executados aos 28 dias para a obtenção dos valores das massas específicas secas, absorção de água e índice de vazios estão apresentados a seguir, na Tabela 14 e nos Gráficos 5 e 6.

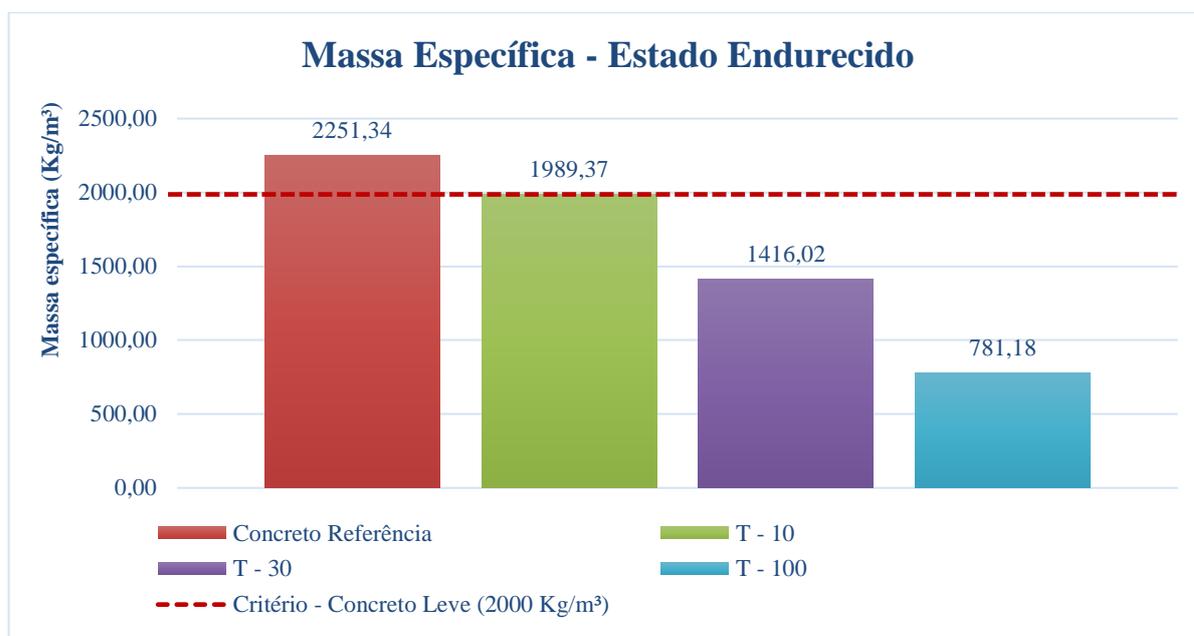
É evidente e já esperado, a diminuição das massas específicas em estudo, devido aos agregados utilizados na composição dos concretos, o EPS em flocos e a vermiculita expandida apresentarem baixas densidades.

Tabela 14. Resultados - Massa específica, absorção de água e índice de vazios

TRAÇO	IDADE (dias)	MASSA ESPECÍFICA SECA (kg/m <sup>3</sup> )	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	ÍNDICE DE VAZIOS (%)
TR	28	2251,34	2,62	6,52
T10	28	1989,37	3,14	7,08
T30	28	1416,02	3,99	10,10
T100	28	781,18	17,60	-

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 5. Massa específica seca.

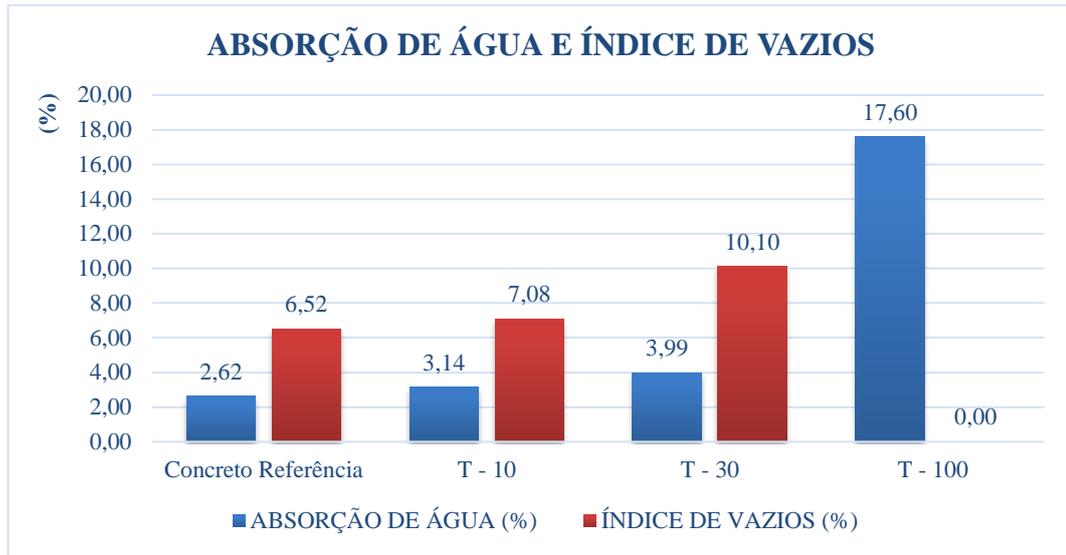


Fonte: Autor, 2019.

Ocorreu uma pequena discrepância nos valores das massas específicas em relação aos resultados evidenciados no item 4.1.2. devido aos métodos de ensaios/ fórmulas/ variáveis distintas. Porém, as discussões e análises que condizem sobre as massas específicas, seguem o mesmo embasamento citado no item 4.1.2. Ou seja, os concretos T10, T30 E T100 foram classificados como concreto leve segundo a ABNT NBR 8953: 2015 (Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência).

Não foi apresentado o índice de vazios do concreto T100 na Tabela 14 e no Gráfico 6, devido a não obtenção da massa imersa do mesmo. Pois, por possuir densidade menor que a da água, ao colocar dentro do reservatório com água ele “flutuou”, impossibilitando a realização da pesagem precisa do material.

Gráfico 6. Absorção de água e índice de vazios



Fonte: Autor, 2019.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a água ocasiona vários processos físicos e químicos que afetam a durabilidade do concreto, sendo esta característica, diretamente relacionada com a absorção de água e o índice de vazios.

Ao analisar essas propriedades, absorção de água e índice de vazios, é possível determinar respectivamente, a quantidade de poros impermeáveis e a quantidade de poros presentes na estrutura do concreto. Ou seja, esses dados proporcionam um conhecimento sobre a maneira que os agentes agressivos irão percorrer até o interior da massa de concreto, por exemplo. Com base nisso, Helene (1983), estabeleceu critérios de durabilidade em relação a estas propriedades, apresentados na Figura 11.

Figura 11. Tabela de classificação de acordo com a porosidade e absorção de água proposta por Helene (1983).

Tabela 1-1 Proposta para classificação dos concretos segundo HELENE<sup>28</sup> de acordo com a porosidade e a absorção de água.\*

Propriedade	Qualidade do concreto	< 10%	10 a 15%	> 15%
Porosidade	Concretos duráveis			
	Concretos normais			
	Concretos deficientes			
		< 4,2%	4,2 a 6,3%	> 6,3%
Absorção de água	Concretos duráveis			
	Concretos normais			
	Concretos deficientes			

\*Observação: Para concretos sem aditivos

Fonte: Levy (2001), apud Helene (1983).

As amostras confeccionadas nesse estudo apresentaram grandes variações quanto a porcentagem de absorção de água e índice de vazios e conforme citado nos itens 4.2.1 e 4.2.2, quanto maior for a adição de EPS em flocos e vermiculita expandida, menor a resistência alcançada. Isso acontece também, devido ao grande índice de vazios que os agregados citados proporcionam.

Relacionando os concretos leves com o de referência, é possível notar grandes aumentos na absorção de água, principalmente no concreto composto por 100% de agregados leves que resultou em aproximadamente setes vezes mais que o concreto convencional.

Segundo os critérios estabelecidos por Helene (1983), em relação a absorção de água, o concreto referência, o T10 e o T30 foram admitidos como concretos duráveis enquanto que o T100 foi classificado como concreto deficiente. Em comparação ao índice de vazios, apenas o concreto referência e o T10 foram considerados duráveis, enquanto que o T30 é dito como normal e o T100 permanece como concreto deficiente.

Para finalizar e comparar os dados obtidos neste estudo, segue abaixo a Tabela 15 na qual resume e especifica o aceite em relação aos critérios estabelecidos e demonstrados nos itens 4.1 e 4.2.

Tabela 15. Tabela de Aceitabilidade.

<b>TABELA DE ACEITABILIDADE</b>					
<b>Traço</b>	Resistência à Compressão	Resistência à Tração	Consistência	Absorção de água	Concreto Leve
<b>TR</b>	A	A	A	A	N.A
<b>T10</b>	A	A	R	A	AP
<b>T30</b>	R	R	R	A	AP
<b>T100</b>	R	R	R	R	AP

- Aceito (A)/ - Rejeitado (R)/ - Aplica (AP)/ - Não Aplica (NA)

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 15 determina as classificações de cada traço de acordo com as normas nacionais e internacionais. No caso da característica de resistência à compressão, segundo a ABNT NBR 8953:2015 estabelece uma resistência (fck) mínima de 20,0 MPa para concretos estruturais. Sendo assim, apenas o TR e o T10 foram aceitos no critério de concreto estrutural, pois apresentaram resistências de 25,30 MPa e 21,20 MPa aos 28 dias de cura.

No quesito de consistência, foi determinado como aceite ou rejeitado levando em consideração o intervalo determinado anteriormente de  $75 \pm 10$  mm. Ao analisar essa

característica, apenas o concreto TR foi aceito, pois os demais (T10, T30 e T100) apresentaram respectivamente valores de 41, 32 e 20mm, ou seja, fora do intervalo estabelecido para o abatimento pelo tronco de cone.

Segundo alguns autores, para o concreto ser considerado durável, o mesmo deve apresentar valores de absorção de água menor que 4,2%, conforme apresentado anteriormente na Figura 11. Com isso, ao comparar os valores obtidos em cada concreto, é possível afirmar que os concretos T30 e T100 foram rejeitados como duráveis, por apresentarem valores de absorção superior ao estabelecidos anteriormente. Enquanto que, os concretos TR e T10 foram aceitos quanto ao critério de durabilidade utilizado nesse estudo.

Por fim, segundo a norma nacional ABNT NBR 8953:2015 e a internacional RILEM (1975) e CEB-FIP (1977), os concretos T10, T30e T100 foram aceitos como concretos leves por apresentarem massas específicas inferiores a 2000 Kg/m<sup>3</sup>. Já segundo as normas CEN prEN 206-25 (1999) e ACI 213-87 (1997), apenas o T30 e T100 foram aceitos como concretos leves, pois os limites estabelecidos por essas normas internacionais são de até 1850 Kg/m<sup>3</sup>.

## 5 CONCLUSÃO

Baseado nos resultados obtidos e analisados, considera-se que objetivo desse estudo, de comparar as propriedades físicas e mecânicas entre um concreto convencional e concreto leve, sendo este, produzido através da substituição dos agregados tradicionais (seixo britado e areia) por respectivamente, EPS em flocos e vermiculita expandida, em proporções de 10%, 30% e 100% de cada componente, foi alcançado.

Notou-se que a aplicação de poliestireno expandido (EPS) e vermiculita expandida em concretos em diferentes proporções, proporciona valores satisfatórios quando comparados aos concretos fabricados com agregados minerais (seixo britado e areia), como por exemplo, reduções de 11,64% no concreto T10; de 37,10% no concreto T30; e 65,30% no concreto T100; quando comparado ao concreto de referência. Sendo assim, uma opção viável e eficaz para casos em que necessita de elementos mais leves, devido essas reduções nas massas específicas.

As características mais significativas que passam por modificações são as massas específicas e as resistências mecânicas. De acordo com os ensaios realizados, quanto maior foi a porcentagem de substituição dos agregados em estudo, menor foram os resultados obtidos das mesmas. Isso ocorre, tendo como um dos relevantes fatores, o aumento dos vazios no concreto, ou seja, ao adicionar EPS e vermiculita expandida, a porosidade do concreto eleva, reduzindo conseqüentemente a densidade e resistências do mesmo.

Com relação ao ensaio de abatimento pelo tronco de cone, os resultados obtidos nos concretos leves, foram baixos quando relacionados ao concreto referência. Mesmo assim, dependendo da sua utilidade, como em contrapisos, por exemplo, o material se torna útil.

De modo geral, com a efetivação deste trabalho, determina-se que a alteração parcial ou total, entre o agregado graúdo convencional por poliestireno expandido e o agregado miúdo convencional por vermiculita expandida, revelou-se exequível em concretos que possam ser leves e que não demandem de elevadas resistências. Sendo o mesmo, aplicado em qualquer situação que necessite o emprego do concreto convencional, sem que exerça função estrutural.

O concreto em estudo pode ser empregado em diversas situações, como por exemplo, em calçadas, em painéis para fechamento, bancos para ambientes externos, quadras de esportes, entre outros.

Espera-se que com as inovações e evoluções na construção civil, os agregados utilizados neste estudo, poliestireno expandido (EPS em flocos) e vermiculita expandida, sejam alvos de novas pesquisas. Principalmente a vermiculita, que possui características peculiares e ainda é um objeto de estudo bem reduzido. Pois, assim que os estudos e pesquisas se tornarem mais habituais, novos resultados serão alcançados, seja eles vantajosos e praticáveis ou não.

## **5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Com o objetivo de continuar com estudos de concretos fabricados com vermiculita expandida e EPS em flocos, sugere-se a elaboração de estudos visando o conforto térmico e acústico.

Quanto as características físicas e mecânicas, recomenda-se o uso de aditivos que melhorem a consistência do concreto e facilite a aderência dos agregados leves com a argamassa. Além da correção do traço para possíveis aumentos nas resistências à compressão, e conseqüentemente a utilização dos concretos para fins estruturais.

Podem ser realizados estudos comparativos de custos, ao se utilizar o concreto com adição de vermiculita expandida e EPS em flocos e o concreto convencional.

## REFERÊNCIAS

ROSSIGNOLO, João Adriano. **Concreto Leve Estrutural**: produção, propriedades, microestrutura e aplicações. 1 ed. São Paulo: Pini, 2009. 144 p.

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

LUZ, Adão Benvindo; LINS, Fernando Antonio Freitas. **Rochas e Minerais Industriais**. 1 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. 727 p.

ABRAPEX. Associação Brasileira de Poliestireno Expandido. **Poliestireno Expandido (EPS)**. Disponível em:  
<<http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>> Acesso em 12 mar. 2019.

LUFA. Grupo. **Concreto Leve de Vermiculita Expandida**. Disponível em:  
<<http://www.lufa.com.br/refratrios/vermicultura/29-concreto-leve-de-vermiculita-expandida.html>> Acesso em 26 mar. 2019.

LOPES, Livia de Farias. **Materiais da Construção Civil I**. 1 ed. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 192 p.

RIBEIRO, Carmem Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil**. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2002. 102 p.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**: Concreto, Madeira, Cerâmica, Metais, Plástico, Asfalto – Novos Materiais para Construção Civil. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 488 p.

CARLOS, Engenheiro. **Tipos de Cimento**. Disponível em: <<http://engcarlos.com.br/tipos-de-cimento/>> Acesso em 08 abr. 2019.

ITAMBÉ, Cimentos. **Cimento Portland Composto com Fíler**. Disponível em:  
<<https://www.cimentoitambe.com.br/produtos/cp-ii-f-40/>> Acesso em 08 abr. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para Concreto: Especificação. Rio de Janeiro, 2005

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

PINHEIRO, Libânio M.; **Fundamentos Do Concreto E Projeto De Edifícios**. 1 ed. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2004. 380 p.

FREITAS JR, José de Almendra. **Materiais de Construção: Propriedades do Concreto Fresco**. 1 ed. Paraná: Universidade Federal do Paraná, 2013. 64 p.

BIOPDI. **Ensaio de Compressão**. Disponível em: <<https://biopdi.com/artigos/ensaio-de-compressao/>> Acesso em 09 abr. 2019.

ALMEIDA, Luiz Carlos de. **Concreto**. 1 ed. Campinas: Universidade Federal de Campinas, 2002. 24 p.

CIPLAN. **Cimentos Portland**. Disponível em: <<http://www.ciplan.com.br/pt-br/produtos#cimento-portland>> Acesso em 20 abr. 2019.

ABIQUIM. **EPS**. Disponível em: <<http://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html>> Acesso em 21 abr. 2019.

ANGELIN, Andressa Fernanda. **Concreto Leve Estrutural – Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais**. Campinas: Universidade Federal de Campinas, 2014. 126 p.

ARAUJO, Guilherme da Silva. **Concreto Leve Estrutural com argila expandida e incorporação de poliestireno expandido**. Campinas: Universidade Federal de Campinas, 2017. 96 p.

MATOS, Wandenilton Silva de; FREITAS, Jorge Luiz Melo de; ALMEIDA, Daniel Damião Almeida de; MENDES, André Soares. **Obtenção de concreto leve estrutural pela adição de vermiculita expandida**. Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM), 2018. 5 p.

MAPA DA OBRA. **TIPOS DE BRITA**. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/conheca-os-tipos-de-brita/>> Acesso em 12 mai. 2019

PEDREIRÃO. **MASSA ESPECÍFICA**. Disponível em: <<https://pedreiro.com.br/wp-content/uploads/2013/11/Tabela-Massa-Especificas-Construcao.pdf>> Acesso em 14 mai. 2019

THE VERMICULITE ASSOCIATION. **VERMICULITE CONCRETE**. Disponível em: <<https://www.vermiculite.org/wp-content/uploads/2014/10/Vermiculite-Concrete.pdf>> Acesso em 15 mai. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11752**: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e em câmaras frigoríficas. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11948**: Poliestireno expandido para isolamento térmico. Determinação da flamabilidade. Rio de Janeiro, 2007.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12821**: Preparação de concreto em laboratório – Procedimento. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776**: Agregados. Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833**: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

HELENE, P. R.L. **La Agressividad del Medio y la Durabilidad del Hormigón**. Hormigón, AATH, n. 10 p. 25-35, ago. 1983.

BRASIL MINÉRIOS. **FISPQ – Vermiculita**. Goiânia - GO, 2016.

BABU, K. G.; BABU, D. S. Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume. **Cement and Concrete Research**, v.33. p.755 – 762, 2003.

CATOIA, T. **Concreto Ultraleve Estrutural com pérolas de EPS: Caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2012.

RIPPER, E. **Manual prático de materiais de construção**. São Paulo: Pini, 1995. 253p.

LEVY, Salomon Mony. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil., 2001. 208 p.

FONSECA, Adriana Pinheiro. **Estudo comparativo de concretos com agregado graúdo reciclado de telha cerâmica e agregado graúdo natural**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

## APÊNDICES

APÊNDICE A - Procedimento de cálculo para determinação do traço.

1. **Abatimento = 75 +/- 10** (adotado)
2. **Diâmetro máximo do agregado graúdo = 12,5 mm**
3. **Teor de água = 205L/m<sup>3</sup>; Teor de ar = 2,5 %** (requisitos estimados segundo o método, em função do item 1 e 2).
4. **a/c = 0,52** (valor obtido através da equação 1 e 2)

Dados: (valores adotados conforme a necessidade do estudo)

SD = 4 Mpa

fck = 25 Mpa

$$f_{cj28} = f_{ck} + 1,65 \times SD \quad (1)$$

$$f_{cj28} = 25 + 1,65 \times 4$$

$$f_{cj28} = 31,6 \text{ MPa}$$

Através da Tabela 1 foi estimado a relação água/cimento, porém, é necessário fazer uma interpolação para se obter um valor mais preciso.

$$f_{cj28} \text{ (1)} = 28,00 \rightarrow a/c \text{ (1)} = 0,57 \quad f_{cj28} \text{ (2)} = 34,00 \rightarrow a/c \text{ (2)} = 0,48$$

$$a/c = 0,48 + \left[ \left( \frac{0,48 - 0,57}{34,00 - 28,00} \right) \times (31,60 - 28,00) \right] \quad (2)$$

$$a/c = 0,52$$

Tabela 1 - Relação água/cimento em função da resistência de projeto.

f <sub>cj28</sub> (MPa)	Relação água/cimento		
	Mehta & Monteiro		Ciminas
	Concreto sem ar incorporado	Concreto com ar incorporado	
41	0,41	-	0,44
34	0,48	0,40	0,50
28	0,57	0,48	0,58
21	0,68	0,59	0,68
14	0,82	0,74	-

Fonte: Adaptado do Método ACI.

5. **Teor de cimento = 506,70 Kg** (estimado através da equação 3)

Dados:

$$a/c = 0,52$$

Teor de água = 205 L

$$\frac{\text{Teor de água}}{\text{Teor de cimento}} = a/c \quad (3)$$

$$\frac{205}{c} = 0,52 \rightarrow c = \mathbf{394,23 \text{ Kg}}$$

6. **Teor de brita = 786,08 Kg; Volume de brita = 0,299 m<sup>3</sup>**

Dados:

MF areia = 2,52

D<sub>máx</sub> = 12,5 mm

Para determinar o teor de agregado graúdo, basta multiplicar o valor determinado através da Tabela 2 (em razão do módulo de finura da areia e o diâmetro máximo da brita) pela massa unitária do agregado, conforme a equação 4.

Tabela 2 - Volume agregado em relação ao volume de concreto.

φ <sub>máximo</sub>	Volume de agregado graúdo / unid. de volume do concreto									
	Módulo de finura da areia									
	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65
38	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81

Fonte: Adaptado do Método ACI.

% de brita = 0,578

γ<sub>brita</sub> = 1360 Kg/m<sup>3</sup>

$$m = \% \text{ brita} \times \gamma_{\text{brita}} \quad (4)$$

$$m = 0,578 \times 1360$$

$$m = \mathbf{786,08 \text{ Kg}}$$

Com o teor determinado, através da equação 5, é possível obter o volume de seixo britado.

$$\gamma_{\text{brita}} = 2630 \text{ Kg/m}^3$$

$$V = \frac{m}{\gamma_{\text{brita}}} \quad (5)$$

$$V = \frac{786,08}{2630,00}$$

$$V = \mathbf{0,299 \text{ m}^3}$$

#### 7. Volume de areia = 0,346 m<sup>3</sup>; Teor de areia = 909,98 Kg

Dados:

$$V_{\text{água}} = 205/1000 \rightarrow V_{\text{água}} = 0,205 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cimento}} = 394,23/3150 \rightarrow V_{\text{cimento}} = 0,125 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{brita}} = 786,08/2630 \rightarrow V_{\text{brita}} = 0,299 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{ar}} = 2,5/100 \rightarrow V_{\text{ar}} = 0,025 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 1 \text{ m}^3$$

Com os dados acima é possível determinar o volume e o teor de areia através das equações 6 e 7.

$$V_{\text{água}} + V_{\text{cimento}} + V_{\text{brita}} + V_{\text{ar}} + V_{\text{areia}} = V_{\text{total}} \quad (6)$$

$$0,205 + 0,125 + 0,299 + 0,025 + V_{\text{areia}} = 1,00$$

$$V_{\text{areia}} = \mathbf{0,346 \text{ m}^3}$$

$$m = V_{\text{areia}} \times \gamma_{\text{areia}} \quad (7)$$

$$m = 0,346 * 2630,00$$

$$m = \mathbf{909,98 \text{ Kg}}$$

8. O Traço em massa se obtém através da divisão das massas dos compostos pela massa do cimento, conforme a equação 8.

Dados:

Mareia = 909,98 Kg

Mbrita = 786,08 Kg

Mágua = 205,00 Kg

$$\frac{M_{cim}}{M_{cim}} : \frac{M_{areia}}{M_{cim}} : \frac{M_{brita}}{M_{cim}} : \frac{M_{água}}{M_{cim}} \quad (8)$$

$$\frac{394,23}{394,23} : \frac{909,98}{394,23} : \frac{786,08}{394,23} : \frac{205,00}{394,23}$$

**1: 2,31: 1,99: 0,52** (Traço em massa)

**50: 1,54: 1,47: 0,52** (Traço misto)

APÊNDICE B – Foto do Cimento Portland utilizado no estudo.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE C – Foto do agregado graúdo convencional utilizado no estudo.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE D – Foto das peneiras utilizadas no ensaio granulométrico – agregado graúdo.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE E – Foto do ensaio para determinação da massa específica e massa unitária – agregado graúdo.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE F – Foto do agregado Miúdo convencional utilizado na pesquisa.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE G – Foto das peneiras utilizadas no ensaio granulométrico – agregado miúdo.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE H – Foto do ensaio para determinação da massa específica e massa unitária – agregado miúdo.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE I – Foto dos flocos de EPS utilizados neste estudo.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE J – Foto da vermiculita expandida.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE K – Foto do Slump Test feito com o concreto de referência.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE L – Foto do Slump Test feito com o concreto T10.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE M – Foto do Slump Test feito com o concreto T30.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE N – Foto do Slump Test feito com o concreto T100.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE O – Foto dos corpos de prova com desmoldantes.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE P – Foto da moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE Q – Foto dos corpos de prova moldados segundo a NBR 5738:2016.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE R – Foto da pesagem amostra seca.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE S – Foto da pesagem – amostra saturada em 72horas.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE T – Foto da pesagem - amostra submersa.



Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE U – Foto do ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autor, 2019.

