



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

GUSTAVO RIBEIRO SOARES

AVALIAÇÃO DA OBTENÇÃO DE CONCRETO LEVE ESTRUTURAL PELA  
SUBSTITUIÇÃO DA BRITA POR AGREGADO LEVE

Palmas – TO

2018

GUSTAVO RIBEIRO SOARES

AVALIAÇÃO DA OBTENÇÃO DE CONCRETO LEVE ESTRUTURAL PELA  
SUBSTITUIÇÃO DA BRITA POR AGREGADO LEVE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Fabio Henrique de Melo Ribeiro

Palmas – TO

2018

GUSTAVO RIBEIRO SOARES

AVALIAÇÃO DA OBTENÇÃO DE CONCRETO LEVE ESTRUTURAL PELA  
SUBSTITUIÇÃO DA BRITA POR AGREGADO LEVE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II  
elaborado e apresentado como requisito parcial  
para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil pelo Centro Universitário  
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Fabio Henrique de Melo Ribeiro

Aprovado em: 12 / 11 / 2019

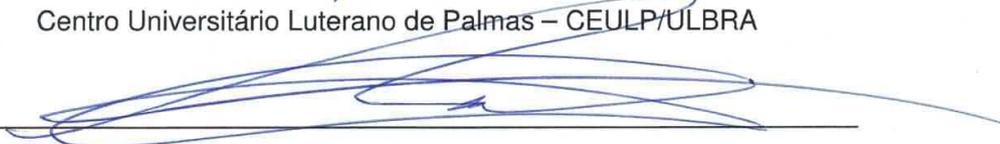
BANCA EXAMINADORA



Prof. MSc. Fabio Henrique de Melo Ribeiro

Orientador

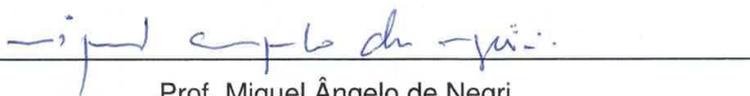
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA



Prof. MSc. Murilo de Pádua Marcolini

Professor Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA



Prof. Miguel Ângelo de Negri

Professor Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA

SOARES, Gustavo Ribeiro. **Avaliação Da Obtenção De Concreto Leve Estrutural Pela Substituição Da Brita Por Agregado Leve**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil – CEULP/ULBRA. Palmas/TO.

## RESUMO

Com a modernização e o grande avanço na tecnologia da engenharia, o uso de materiais alternativos tem aparecido cada vez mais nas soluções construtivas, como o concreto leve estrutural que por sua vez contribui na redução do peso próprio de estruturas e conseqüentemente no custo final da obra. O presente trabalho avaliou o concreto leve estrutural com a substituição parcial do agregado graúdo convencional por agregado leve, a fim de diminuir a massa específica do concreto, e mantendo a resistência mecânica, e ainda contribuindo com a sustentabilidade. Foi dosado um traço de referência, e a partir deste traço foram feitas as substituições em diferentes quantidades de argila a fim de reduzir a massa específica do concreto. O concreto teve suas características físicas avaliadas através de ensaios laboratoriais de resistência a compressão e tração, massa específica e absorção de água. Com a análise dos resultados constatou-se que com o aumento do teor de argila no concreto a massa específica diminuiu consideravelmente, mas não houve a manutenção da resistência, já que esta teve uma redução significativa. Sendo assim, nenhum dos traços produzidos ficou dentro dos parâmetros especificados de resistência e massa específica adequada para um concreto leve e resistência à compressão superior a mínima especificada para concretos leves estruturais.

**Palavras-chave:** Concreto Leve; Estrutural; Argila Expandida;

SOARES, Gustavo Ribeiro. **Evaluation of Structural Lightweight Concrete by Replacement of Brita by Light Aggregate**. 2018. Work of Completion of Course in Civil Engineering, Lutheran University Center of Palmas / Lutheran University of Brazil - CEULP / ULBRA. Palmas / TO.

### **ABSTRACT**

With the modernization and the great advance in the engineering technology, the use of alternative materials has appeared more and more in the constructive solutions, like the structural light concrete that in turn contributes in the reduction of the own weight of structures and consequently in the final cost of the work . The present work evaluated the light structural concrete with the partial replacement of the conventional aggregate by light aggregate, in order to reduce the specific mass of the concrete, maintaining the mechanical resistance, and also contributing to sustainability. A reference trait was dosed, and from this trait were made the substitutions in different quantities of clay in order to reduce the specific mass of the concrete. The concrete had its physical characteristics evaluated through laboratory tests of resistance to compression and traction, specific mass and water absorption. With the analysis of the results it was verified that with the increase of the clay content in the concrete the specific mass decreases considerably, but there was no maintenance of the resistance, since this one had a significant reduction. Therefore, none of the traces produced was within the specified parameters of resistance and specific mass suitable for lightweight concrete and higher than minimum compressive strength specified for structural concretes.

**Keywords:** Lightweight Concrete; Structural; Expanded Clay;

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Pirâmides do Egito .....   | 14 |
| Figura 2 - Panteão Romano.....  | 15 |
| Figura 3 - Tipos de areia quanto às dimensões.....  | 17 |
| Figura 4 - Britas de dimensões variadas.....  | 17 |
| Figura 5 - Microestrutura do Concreto Convencional.....   | 19 |
| Figura 6 - Microestrutura do Concreto Convencional.....   | 20 |
| Figura 7 – Argilas CINEXPAN.....  | 26 |
| Figura 8 - Pérolas de EPS.....  | 27 |
| Figura 9- Concreto leve com EPS. ....   | 28 |
| Figura 10 – Comparativo dos Slumps obtidos na pesquisa .....  | 38 |
| Figura 11 – Comparativo das resistências à compressão obtidas na pesquisa .....   | 42 |
| Figura 12 – Comparativo das resistências à tração obtidas na pesquisa .....   | 43 |
| Figura 13 – Comparativo do Módulo de Elasticidade obtidos na pesquisa.....  | 44 |
| Figura 14 – Ensaio de Módulo de Elasticidade sendo realizado .....  | 45 |
| Figura 15 – Gráfico de Relação da Resistência, Massa Especifica e percentual de substituição de Argila Expandida. ....  | 46 |
| Figura 16 – Gráfico de Relação da Resistência, Índice de vazios e percentuais de substituição de Argila Expandida. .... | 47 |
| Figura 17 – Gráfico de Relação da Resistência, Absorção e percentuais de substituição de Argila Expandida. ....         | 47 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Abatimento recomendado para vários tipos de construção. ....                               | 21 |
| Tabela 2 - Normativos internacionais para massa específica de um CLE.....                             | 24 |
| Tabela 3 - Valores de resistência à compressão e massa específica para concreto leve estrutural. .... | 25 |
| Tabela 4 - Granulometria da argila expandida .....  | 25 |
| Tabela 5 – Dosagem Traço Referencia (TR) em Massa Kg/m <sup>3</sup> .....                             | 32 |
| Tabela 6 – Dosagem Traço 10% de Adição de argila (T10) em Massa Kg/m <sup>3</sup> .....               | 32 |
| Tabela 7 – Dosagem Traço 20% de Adição de argila (T20) em Massa Kg/m <sup>3</sup> .....               | 32 |
| Tabela 8 – Dosagem Traço 40% de Adição de argila (T40) em Massa Kg/m <sup>3</sup> .....               | 33 |
| Tabela 9 - Moldagens de Corpo de Prova .....  | 33 |
| Tabela 10 - Características físicas da areia.....   | 34 |
| Tabela 11 - Características físicas da brita. ....  | 35 |
| Tabela 12 – Resultado de ensaio de absorção. ....   | 36 |
| Tabela 13 – Resultados do ensaio de Abatimento.....   | 37 |
| Tabela 14 - Resultado dos ensaios da NBR 9778:2005.....   | 39 |
| Tabela 15 - Classificação dos traços quanto a massa específica. ....                                  | 40 |
| Tabela 16 – Resultados do ensaio de resistência a compressão. ....                                    | 41 |
| Tabela 17 - Resultados do ensaio de tração por compressão diametral .....                             | 42 |
| Tabela 18 - Resultados do ensaio de Modo de Elasticidade (GPa) .....                                  | 43 |

## SUMÁRIO

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1.</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                                     | <b>10</b> |
| 1.2       | OBJETIVOS   | 11        |
| 1.2.1     | <b>Objetivo Geral</b>                                 | <b>11</b> |
| 1.2.2     | <b>Objetivos Específicos</b>                          | <b>11</b> |
| 1.3       | JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO               | 12        |
| <b>2.</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>                            | <b>13</b> |
| 2.1       | CONCRETO  | 13        |
| 2.2       | HISTÓRIA DO CIMENTO                                   | 13        |
| 2.3       | AGREGADOS   | 15        |
| 2.3.1     | <b>Definição</b>                                      | <b>16</b> |
| 2.3.2     | <b>Origem</b>   | <b>16</b> |
| 2.3.3     | <b>Dimensões</b>                                      | <b>16</b> |
| 2.3.4     | <b>Obtenção dos agregados graúdo naturais</b>         | <b>17</b> |
| 2.3.5     | <b>Propriedades dos agregados de densidade normal</b> | <b>18</b> |
| 2.4       | MICROESTRUTURA DO CONCRETO                            | 19        |
| 2.4.1     | <b>Zona de Transição</b>                              | <b>19</b> |
| 2.4.2     | <b>Trabalhabilidade</b>                               | <b>21</b> |
| 2.4       | CONCRETOS ESPECIAIS                                   | 22        |
| 2.5       | CONCRETO LEVE ESTRUTURAL (CLE)                        | 22        |
| 2.5.1     | <b>Justificativa do uso do CLE</b>                    | <b>23</b> |
| 2.5.2     | <b>Parâmetros do Concreto Leve Estrutural (CLE)</b>   | <b>24</b> |
| 2.6       | AGREGADOS LEVES                                       | 25        |
| 2.6.1     | <b>Argila Expandida</b>                               | <b>25</b> |
| 2.6.1     | <b>EPS</b>  | <b>27</b> |
| 2.7       | CONCRETO COM ARGILA EXPANDIDA                         | 28        |
| <b>3.</b> | <b>METODOLOGIA</b>                                    | <b>30</b> |
| 3.1       | TIPO DE ESTUDO  | 30        |
| 3.2       | LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA             | 30        |
| 3.3       | OBJETO DE ESTUDO                                      | 30        |
| 3.4       | DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS                               | 31        |
| 3.4.1     | <b>Variáveis Independentes</b>                        | <b>31</b> |
| 3.4.2     | <b>Variáveis Dependentes</b>                          | <b>31</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.5 DOSAGEM DO CONCRETO .....                                | 31        |
| 3.6 ENSAIOS REALIZADOS.....                                  | 33        |
| 3.7 PROCESSO DE CURA DO CONCRETO .....                       | 34        |
| 3.8 MATERIAIS UTILIZADOS E SUAS PROPRIEDADES .....           | 34        |
| 3.8.1 Cimento .....  | 34        |
| 3.8.2 Areia .....  | 34        |
| 3.8.3 Brita.....   | 35        |
| 3.8.4 Argila Expandida .....                                 | 36        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCURSOES.....</b>                       | <b>37</b> |
| 4.1. TRABALHABILIDADE .....                                  | 37        |
| 4.2 MASSA ESPECIFICA ABSORÇÃO E ÍNDICE DE VAZIOS.....        | 38        |
| 4.3 RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO.....                           | 41        |
| 4.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL .....      | 42        |
| 4.5 MÓDULO DE ELASTICIDADE .....                             | 43        |
| 4.6 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DA PESQUISA.....      | 45        |
| <b>5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b> | <b>49</b> |
| 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....                   | 49        |
| <b>6. REFERÊNCIAS .....</b>                                  | <b>51</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Pedroso (2009) “ o concreto é material construtivo amplamente disseminado. Podemos encontrá-lo em nossas casas de alvenaria, em rodovias, em pontes, nos edifícios mais altos do mundo, em torres de resfriamento, em usinas hidrelétricas e nucleares, em obras de saneamento, até em plataformas de extração petrolífera móveis. Estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que dá, segundo a Federación Ibero Americana de Hormigón Premesclado (FIHP), aproximadamente, um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. ”

Diante da afirmação de Pedroso (2009), observa-se que o concreto tem sido amplamente utilizado no mundo, por ser um material moldável podendo assumir diversas formas geométricas, característica que ajuda muito na sua utilização, tornando-o um material tão utilizado e disseminado no mundo, por isso a importância de se pesquisar sobre este tema.

As principais características do concreto como a facilidade de moldagem e sua grande resistência à compressão são excepcionais, tornando-o material de construção mais utilizado no mundo, através da utilização do concreto o ser humano conseguiu mudar seu próprio modo de vida levando a arquitetura e a engenharia a patamares nunca sonhados na antiguidade (CORDEIRO, 2001).

As novas concepções e exigências arquitetônicas levaram, em alguns casos, a necessidade do desenvolvimento de se ter um concreto com resistência estrutural, mas, ao mesmo tempo leve o que é a primeira vista uma contradição, pois, o concreto tradicional simples possui “massa específica de 2.400 kg/m<sup>3</sup>” (BASTOS, 2011) e os concretos estruturais leves devem ter massa específica variando de 1680 à 1840 kg/m<sup>3</sup>, conforme a NBR NM 35, apud de Schwantes (2012, p.18) “são caracterizados de acordo com sua resistência à compressão aos 28 dias, sendo que para a resistência a compressão de 28 Mpa, o concreto deve possuir, no máximo, 1840 kg/m<sup>3</sup> e para concretos de resistência de 17 MPa, sua massa específica não deve exceder 1680 kg/m<sup>3</sup>”.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade de obtenção de um concreto leve estrutural, pela substituição 10%, 20% e 40% do agregado graúdo por argila expandida.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar os materiais e dosar um traço de referência;
- b) Avaliar o a influência da substituição da brita por argila expandida no concreto no estado fresco;
- c) Verificar o a influência da substituição brita por argila expandida no concreto no estado endurecido;

### 1.3 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

Atualmente as diversas aplicações e situações na construção civil fazem com que o concreto seja o material mais utilizado no mundo. Devido a sua grande utilização, algumas estruturas se tornam pesadas, conseqüentemente pelo fato de grandes quantidades utilizadas, por isso se tem a necessidade deste estudo para que possa buscar novas formas de aprimoramento para que o concreto seja cada vez mais leve, gerando assim uma economia maior dentro da obra. (LIMA, et .al. 2014). O emprego de concreto leve estrutural como um material alternativo influencia tanto na relação econômica quanto na redução do peso próprio das estruturas. A redução da massa específica do concreto ligada à manutenção da resistência mecânica proporciona a redução da densidade da estrutura, que é o objetivo principal do concreto leve estrutural, assim sendo, reduz também as cargas na fundação, reduzindo o custo final da obra (CATOIA, 2012).

Por causa do aumento crescente das solicitações estruturais e econômicas, as construções modernas requerem o uso sustentável do concreto. O concreto leve estrutural (CLE) se apresenta como um material eficaz para a diminuição do peso próprio das estruturas e, como resultado, tornam-se executáveis diversos usos que, conforme Catoia (2012) se destacam por razões de viabilidade econômica e técnica. Segundo Kitouni e Houari (2015) o CLE é um material que tem seu benefício reconhecido desde a época dos romanos.

Segundo a norma ACI 213R-87 (1997), o uso de concreto com agregados de baixa densidade em uma estrutura implica em um custo total menor. Apesar do concreto leve custar mais do que o concreto de densidade normal, a estrutura pode custar menos como resultado da redução do peso próprio e o do custo menor para fundações. A aplicação de concreto leve possibilita a diminuição da quantidade de armadura, do volume total de concreto, da energia utilizada no transporte e no processo construtivo e, ainda, do consumo de energia no condicionamento térmico das edificações, quando utilizado nas paredes externas (ROSSIGNOLO e AGNESINI, 2005).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CONCRETO

Conforme descrito por Mehta; Monteiro (1994), o concreto é um dos materiais de construção mais antigos. No Egito já se empregava a argamassa com função e composição parecidas com a de um concreto na construção das estruturas das pirâmides e das sepulturas onde a mesma servia como material responsável pela junção das peças. O concreto é um material que ao longo do tempo apresenta variações significativas de suas propriedades. Variações das quais apresentam velocidades individualizadas ao longo da vida.

No concreto a máxima resistência é alcançada com uma pasta de cimento simples, devido ao alto custo do cimento, faz-se a junção de outros materiais, chamados de agregados, em que, para uma dada resistência e uma dada consistência, há uma distribuição granulométrica ótima (combinação de agregado miúdo/grauído) que minimiza a quantidade de pasta. Seu desempenho depende das propriedades das matérias-primas, e das quantidades combinadas e empregadas na sua composição e produção (ISAIA, 2011).

As características do concreto dependem do seu estado físico. No seu estado fresco, um atributo importante é a trabalhabilidade, responsável por facilitar sua aplicação. Já no estado endurecido, a durabilidade, permeabilidade e, principalmente, a resistência são suas principais características

### 2.2 HISTÓRIA DO CIMENTO

A palavra cimento deriva do latim *caementum*, que significa união. O cimento pode ser definido como um aglomerante hidráulico constituído de óxidos (cálcio, silício, ferro e alumínio) que em contato com a água tem a capacidade de endurecer.

A ASTM C 150 define Cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfatos de cálcio como um produto de adição.

Uma das mais antigas, ou talvez as mais antigas, evidências de uso de cimento se encontra nas pirâmides do Antigo Egito (Figura 1). Nesta época eles produziam uma liga formada por uma mistura de gesso calcinado. Mais adiante, os romanos e os gregos começaram a utilizar um material obtido da queima de um gesso composto de calcário e cinzas vulcânicas, e este era misturado com areia e cacos de telhas. Essa argamassa foi utilizada em construções que existem até os dias atuais. Um exemplo de construção romana, que resiste até hoje é o Panteão (Figura 2), que foi construído em 27 a.C.

Figura 1 - Pirâmides do Egito



Fonte: [www.historiadomundo.com.br](http://www.historiadomundo.com.br)

Figura 2 - Panteão Romano.



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland.

### 2.3 AGREGADOS

O agregado, um dos ingredientes mais importantes na elaboração da dosagem de concreto. Sobretudo porque aproximadamente 70 a 80% do volume do concreto é composto por agregados, o que torna o custo mais baixo por unidade de volume, devido os mesmos serem de menor custo que o cimento. A atuação dos agregados é de forma decisiva em certas propriedades, entre as quais: redução de retração na pasta do cimento, aumento da resistência ao desgaste, melhoria na trabalhabilidade entre outros (NEVES, 2009).

A utilização dos agregados deve-se ao fato de que quanto maior a quantidade de agregado menos será o fator água/cimento efetivo, em outros casos, um teor maior de agregado resultaria em menor retração e menor exsudação e, portanto menor dano à aderência entre o agregado e a pasta do cimento e também seriam menores as variações térmicas devidas ao calor de hidratação do cimento. (NEVILLE,1997).

Segundo Neville (1997), a influência do agregado na resistência do concreto não é somente devida a sua resistência mecânica, mas também e significativamente, à sua absorção e às características de aderência. A aderência entre o agregado e a pasta de cimento é um importante fator de resistência do concreto, especialmente da resistência à flexão. Um exemplo que podemos dar a cerca desse conceito é que uma superfície mais áspera como a de partículas britadas, resulta em uma melhor aderência devido ao intertravamento mecânico.

### 2.3.1 Definição

A NBR 9935/2011 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define o agregado como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de concreto e argamassa (NEVES, 2009).

### 2.3.2 Origem

Os naturais de densidade média: serão encontrados na natureza já fragmentados sob a forma particulada de agregado: areias de barranco, mina, rios, dunas, e mar, seixos rolados ou pedregulhos extraídos das jazidas de rios, mar ou das jazidas de solo pedregulhoso (NEVILLE,1997). .

Os naturais de densidade leve: inorgânico celular granulado constituído da matéria prima por fontes naturais como: pedras pomes, escória vulcânicas ou tufo.

Nota: os agregados pesados não são encontrados na natureza já fragmentados.

Os artificiais de densidade média: são aqueles que a matéria prima necessita ser triturada, trabalhada enfim beneficiada de alguma maneira para chegar a forma das partículas dos agregados miúdos e graúdos em condições apropriadas para utilização em concreto normal. Os mais conhecidos são formados através da moagem a britagem de rocha estáveis (NEVES, 2009).

### 2.3.3 Dimensões

Quanto a dimensões, os agregados são classificados em dois grupos. Os miúdos: areias quartzosas, os graúdos: seixos rolado, cascalho, britas e os agregados pétreos de grandes grãos de pedras 250 mm, entre 76mm e 250mm, conforme estabelecido especificações da ABNT- NBR- 7211/2009 e 9935/2011.

Os agregados inorgânicos leve, celular granulado, segundo as especificações Brasileira, encontra-se em dois grupos: o grupo I, os miúdos cujos grãos passam pelo menos 98% na peneira de 4,8mm. No grupo II, os graúdos cujos grãos passam pelo menos 90% na peneira de 12,5mm, conforme os limites estabelecidos através da ABNT- NBR- 7213/2013.

Os agregados miúdos de densidade leve, média ou alta são: a areia de origem natural ou artificial resultante do esmagamento a moagem de vermiculita expandida, rochas estáveis, minério de bário além de outros ou a mistura de todos, cujos grãos passam pelo menos 95% na peneira 4,8 mm conforme NBR-5734, a melhor definição é apresentada nas faixas dos limites granulométricos estabelecidos para agregados miúdos: areia muito fina, fina, média ou grossa, conforme as especificações da ABNT-NBR- 7211/2009 para agregado normal e pesado, quanto aos agregados leve, conforme os limites estabelecidos através da NBR-7213/2013 (NEVES, 2009).

Figura 3 - Tipos de areia quanto às dimensões.



Fonte: Grupo Aleixo.

Figura 4 - Britas de dimensões variadas.



Fonte: Sucess Engenharia.

#### 2.3.4 Obtenção dos agregados graúdo naturais

Pedregulho, seixo rolado ou cascalhado são nomes que poderão ser dados ao agregado graúdo de origem natural médio, que pode ser encontrado na natureza em jazidas de rio formadas no leito, no fundo ou nas margens dos rios, ou nas jazidas de solo, pedregulhos e arenosos na superfície, ou em maior profundidade do

terreno. Este tipo de jazida é muito comum nas regiões de cerrados e desertos. Poderá obter cascalho de boa textura, resistente ao desgaste, mas, exige uma atenção especial com o teor de argila que o material poderá trazer na superfície das partículas.

O fato é que os materiais encontrados, tanto na jazida de rio como na jazida de solo, é retirado da natureza sem sofrer processo de beneficiamento que altere suas características, porque ele já vem fragmentado, isto é, com as suas partículas definidas. O material extraído através da jazida do rio, em alguns casos não necessita passar por tratamento, processo de lavagem, apenas a classificação de tamanho. Quanto ao extraído através da jazida do solo, geralmente precisa passar por um processo mais energético de lavagem para retirar o teor de argila, pó e outras impurezas existentes que vêm envolvidas nas partículas dos grãos. Todos os agregados, sem exceção, antes da utilização deverão ser analisados em laboratório e submetidos à classificação dos limites estabelecidos conforme as especificações da NBR – 7211/2009.

Os agregados graúdos de altas densidades (pesados) não são encontrados na natureza prontos para ser usados. Ao alcance do nosso conhecimento até o momento constatamos que todos os citados necessitaram de beneficiamento para serem utilizados em concreto. Assim sendo, não temos conhecimento de alguma publicação a respeito (NEVES, 2009).

### 2.3.5 Propriedades dos agregados de densidade normal

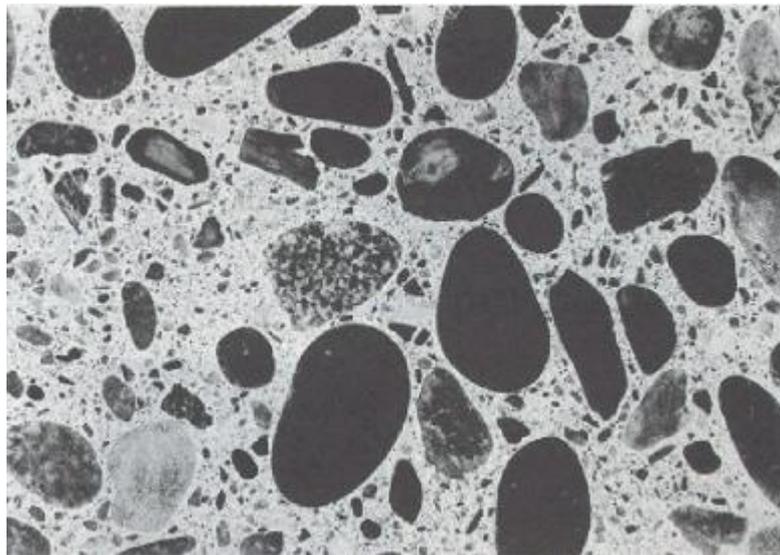
Os agregados naturais de densidade média têm forma de grãos cuboides de superfície arredondada e lisa, apresentam baixos teores de absorção de água ótima trabalhabilidade, em virtude da falta de aspereza e rugosidade dos grãos, se não tomar certos cuidados na dosagem, no manuseio e lançamento, poderá apresentar problemas de aderência na pasta de cimento de água (NEVES, 2009).

## 2.4 MICROESTRUTURA DO CONCRETO

A microestrutura é constituída pelo tipo, quantidade, tamanho, forma e distribuição das fases presentes em um material. No caso do concreto, este apresenta uma microestrutura complexa e heterogênea. Entretanto, o conhecimento tanto da microestrutura e das propriedades individuais dos componentes do concreto, quanto da relação entre eles serve para colaborar no controle de suas propriedades (MEHTA, 2008).

A microestrutura do concreto se divide em três fases: pasta de cimento hidratada, agregado e zona de transição; sendo a última a mais relevante para esta pesquisa. Figura 5 nos mostra a microestrutura do concreto.

Figura 5 - Microestrutura do Concreto Convencional



Fonte: MEHTA e MONTEIRO, (1994).

### 2.4.1 Zona de Transição

De acordo com Rossignolo (2009), a zona de transição interfere, diretamente, as características relacionadas à resistência mecânica, o módulo de deformação, o mecanismo de propagação de fissura e a permeabilidade de agentes agressivos nos concretos, demonstrando assim, a grande importância de pesquisas e estudos sobre a zona de transição pasta-agregado.

A zona de transição na interface pasta-agregado é normalmente a parte com menor resistência do concreto, e pode ser considerada a fase limitante da resistência mecânica do concreto. Geralmente a resistência mecânica na zona de

transição é menor em relação às duas outras fases, rompendo primeiro nesta. No concreto fresco, filmes de água são formados ao redor do agregado, aumentando o fator água/cimento nesta área. Em seguida, íons decorrentes da dissolução de componentes do cimento se combinam e formam etringita, hidróxido de cálcio e silicato de cálcio hidratado. Em consequência da maior relação água/cimento, os produtos cristalinos ao redor do agregado apresentam cristais maiores, formando uma estrutura mais porosa e mais rica em etringita e hidróxido de cálcio.

Em decorrência do apresentado que a resistência na fase de transição é menor, pois quanto mais compacta for a pasta e menos cristalinos forem os compostos de hidratação maior será a resistência mecânica do concreto. A figura 6 mostra a zona de transição do concreto.

Figura 6 - Microestrutura do Concreto Convencional



Fonte: MEHTA e MONTEIRO, (1994).

### 2.4.2 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade do concreto incorpora características do concreto no estado fresco, como a consistência e a coesão.

A consistência do concreto está diretamente ligada a umidade da mistura, quanto maior o fator água/cimento, maior o abatimento do concreto. A coesão, por sua vez, é a medida da facilidade de acabamento e adensamento, avaliada pela capacidade de desempenamento e pela avaliação visual de resistência à segregação (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A tabela 5 apresenta os valores recomendados de abatimento para vários tipos de construções.

Tabela 1 - Abatimento recomendado para vários tipos de construção.

| Tipos de Construção                               | Abatimento (mm) |        |
|---|-----------------|--------|
|   | Máximo*         | Mínimo |
| Paredes de fundações armadas e sapatas            | 75              | 25     |
| Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação | 75              | 25     |
| Vigas e paredes armadas                           | 100             | 25     |
| Pilares de edifício                               | 100             | 25     |
| Pavimentos e lajes                                | 75              | 25     |
| Concreto massa                                    | 50              | 25     |

\*Pode ser aumentada em 25mm com o uso de métodos de consolidação que não a vibração

Fonte: Mehta; Monteiro; *apud* ACI (2011).

## 2.4 CONCRETOS ESPECIAIS

Com os avanços na cadeia produtiva da construção civil e a procura intensa por produtividade, aliada a qualidade, surge à necessidade de novos materiais que atendam essa demanda. O concreto é o material de construção mais utilizado do mundo, segundo Pedroso (2009), e tem acompanhado esse avanço com o surgimento de novos materiais, como concreto de alto desempenho, auto-adensável, permeável, leve estrutural, aparente, entre outros. Sabe-se que a utilização de concretos especiais dos mais variados tipos traz benefícios para as obras (CASTRO; PANDOLFELLI, 2009).

As exigências atuais do mercado da construção civil, como obras com projetos cada vez mais ousados, aliado ao controle de custos cada vez mais restritivos faz com que a Engenharia Civil busque evoluções tecnológicas para atendimento destas necessidades. Esta busca tem levado a construção civil a otimizar os processos e reduzir os custos e desenvolver novos materiais que ajudem a suprir essas exigências de mercado.

## 2.5 CONCRETO LEVE ESTRUTURAL (CLE)

A primeira indicação conhecida da aplicação dos concretos com agregados leves data de aproximadamente 1100 a.C., quando construtores pré-colombianos, originários da região da atual cidade de El Tajin, localizada no México, utilizaram uma mistura de pedra-pomes com um ligante à base de cinzas vulcânicas e cal para a construção de elementos estruturais.

A engenharia com a evolução que lhe é inerente busca sempre novas e mais eficientes formas para aperfeiçoar os projetos e execuções de suas obras, segundo Schwantes (2012) a engenharia busca constantemente otimizar seus processos e custos, e esta busca leva a utilização de materiais alternativos para alcançar os objetivos de diminuição de custos e melhoramento de processos. Nas obras que possuem estrutura de concreto, o peso próprio pode representar uma parcela bem acentuada da carga total da construção, desta forma, uma possível redução da massa específica, e conseqüentemente da carga total torna-se de grande interesse. Assim o concreto estrutural leve pode ser uma alternativa interessante.

Segundo Rossignolo (2009), os concretos leves caracterizam-se pela redução da massa específica em relação aos concretos convencionais, consequência da substituição de parte dos materiais sólidos pelo ar ou por agregados leves.

Os concretos leves estruturais são obtidos pela substituição total ou parcial dos agregados convencionais por agregados leves. De modo geral, são caracterizados por apresentar massa específica aparente abaixo de 2000/kg/m<sup>3</sup>.

Segundo Mehta & Monteiro (1994), CLE é um concreto estrutural em todos os sentidos, exceto que, por razões de economia do custo total, é produzido com agregados de baixa densidade, resultando, portanto, em um peso específico de aproximadamente dois terços do peso específico do concreto fabricado com agregados convencionais. Sendo que o objetivo primordial é a baixa densidade e não a resistência, as especificações limitam o peso específico máximo permissível do concreto. Uma vez que o agregado altamente poroso também tende a reduzir bastante a resistência mecânica do concreto, as especificações exigem uma resistência à compressão mínima aos 28 dias, para assegurar a qualidade estrutural do concreto. Segundo o Guia de Concreto Estrutural elaborado com Agregado Leve do ACI 213R-87 define que concreto estrutural com agregado de densidade baixa como concretos cujas resistências à compressão axial que apresentem resultados superiores a 17 MPa e massa específica aos 28 dias, seca ao ar, abaixo de 2,20 kg/dm<sup>3</sup>. Conforme com o método ASTM C 330, os agregados leves, não devem ter peso específico aparente no estado solto seco maior do que 1,12 kg/dm<sup>3</sup> e 0,88 kg/dm<sup>3</sup>, respectivamente.

### 2.5.1 Justificativa do uso do CLE

A utilização de CLE gera benefícios tanto técnicos, como econômicos em relação ao concreto com agregados naturais e devido a algumas particularidades do material, como a aplicação em peças estruturais de concreto pré-moldado. CATOIA (2012) listou alguns benefícios dessa aplicação:

- Diminuição entre 20% a 50% dos custos de transporte, por unidade de volume de concreto;
- Possibilidade de produzir peças com dimensões maiores, utilizando os mesmos equipamentos da fábrica e do canteiro;
- Diminuição de 25% a 50% do tempo da moldagem

Conforme Rossignolo (2003), nas obras de pontes de grandes vãos em concreto armado, o peso próprio da estrutura pode caracterizar até 70% das solicitações estruturais, possibilitando o dimensionamento de seções menores e com menor área de aço. Essa redução do custo é devida ao do peso próprio reduzido da peça estrutural, tanto pela economia de concreto e aço nas vigas e lajes, quanto pela redução das solicitações nas fundações.

Na tecnologia do concreto brasileira o uso do concreto leve ainda se limita à fabricação de artefatos pré-moldados, além da não existência de normas para este tipo de concreto especial. Ainda há diversas possibilidades de aplicações a serem exploradas, como a utilização em lajes de vãos maiores, substituindo as lajes nervuradas por lajes maciças (CATOIA, 2012) ou até melhorando o desempenho de lajes nervuradas.

O desenvolvimento de pesquisas no sentido de melhorar o desempenho de concretos leves se torna importante à medida que novas tendências em estruturas de concreto armado são cada vez mais exigentes, a partir daí encontrando fatores limitantes nos materiais utilizados.

### 2.5.2 Parâmetros do Concreto Leve Estrutural (CLE)

ROSSIGNOLO (2003), a obtenção de concreto leve como a substituição total ou parcial dos agregados convencionais por agregados leves, o que foi realizado nesta pesquisa. A massa específica do concreto leve deve ser menor que, em média, 2,00 kg/dm<sup>3</sup>, já as normas mais rigorosas estabelecem massa específica menor que 1,85 kg/dm<sup>3</sup> (ACI 213R-87, 1997), conforme tabela 1.

Tabela 2 - Normativos internacionais para massa específica de um CLE.

| Referência             | Massa específica (kg/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------|---------------------------------------|
| RILEM (1975)           | $\gamma < 2,00$                       |
| CEB-FIP (1977)         | $\gamma < 2,00$                       |
| NS 3473 E (1992)       | $1,20 < \gamma < 2,20$                |
| ACI 213R-87 (1997)     | $1,40 < \gamma < 1,85$                |
| CEN prEN 206-25 (1999) | $0,80 < \gamma < 2,00$                |

Fonte: Rossignolo, (2003).

De acordo com o ACI 213R-87 (1997) além da restrição da massa específica, o concreto leve deve apresentar resistência à compressão superior a 17,2 MPa.

A norma NM 35 (1995) expõe os valores mínimos de resistência à compressão axial em função da massa específica aparente e idade para os concretos leves na tabela 3.

Tabela 3 - Valores de resistência à compressão e massa específica para concreto leve estrutural.

| Resistência à compressão aos 28 dias<br>(MPa) (Valores mínimos) | Massa específica aparente (kg/m <sup>3</sup> )<br>(Valores máximos) |
|---|---|
| 28  | 1840  |
| 21  | 1760  |
| 17  | 1680  |

Fonte: ABNT NBR NM 35.

## 2.6 AGREGADOS LEVES

### 2.6.1 Argila Expandida

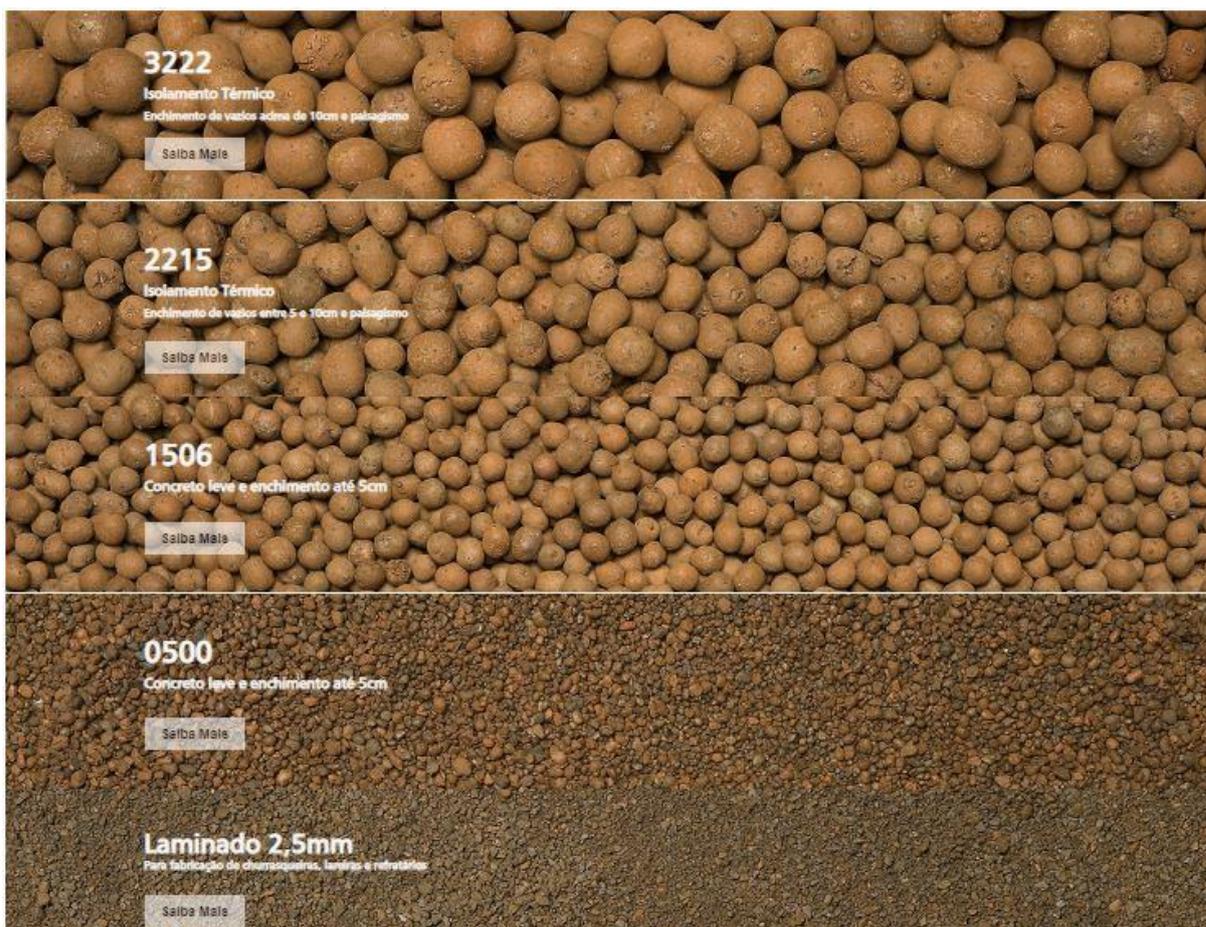
A argila expandida é um agregado leve que se apresenta em forma de bolinhas de cerâmica leves e arredondadas, com uma estrutura interna formada por uma espuma cerâmica com micro poros e com uma casca rígida e resistente. A pedra de argila expandida é obtida através da mistura da argila e de folhetos (rocha argilosa folheada) que se expandem sob temperatura elevada, formando grãos arredondados de tamanhos variados. A tabela 3 nos apresenta essa classificação da argila expandida e figura

Tabela 4 - Granulometria da argila expandida

| TAMANHO         | DIAMETRO       | EQUIVALENCIA | DENSIDADE                  |
|-----------------|----------------|--------------|----------------------------|
| Grande (3222)   | 22 a 32 mm     | Brita 2      | 400/480 kg/ m <sup>3</sup> |
| Medio(2215)     | 25 a 22 mm     | Brita 1      | 450/530 kg/ m <sup>3</sup> |
| Fino (1506)     | 06 a 15 mm     | Brita 0      | 580/660 kg/ m <sup>3</sup> |
| Restolho (0500) | Abaixo de 6 mm | Areia Grossa | 800/880 kg/ m <sup>3</sup> |

Fonte: Casa do Refratário, (2000).

Figura 7 – Argilas CINEXPAN



Fonte: Cinexpan, (2018).

A Argila Expandida é um agregado leve que se apresenta em forma de bolinhas de cerâmica leves e arredondadas, com uma estrutura interna formada por uma espuma cerâmica com microporos e com uma casca rígida e resistente.

A Argila Expandida por ser microporosa fechada, característica rara nos agregados leves, possui uma elevada capacidade de isolamento Térmico e Acústico, melhorando consideravelmente o conforto e o bem estar.

#### Principais Características

- Leveza
- Resistência
- Inércia Química
- Estabilidade Dimensional
- Incombustibilidade;

### 2.6.1 EPS

EPS é a sigla internacional do Poliestireno Expandido, de acordo com a Norma DIN ISO 1043-1. O EPS é um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água.

Como agente expensor para a transformação do EPS, emprega-se o pentano, um hidrocarbureto que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares, sem comprometer o meio ambiente.

O produto final é composto de pérolas de até 3 milímetros de diâmetro, como mostra a figura 8, que se destinam à expansão. No processo de transformação, essas pérolas são submetidas à expansão em até 50 vezes o seu tamanho original, através de vapor, fundindo-se e moldando-se em formas diversas, possuindo massa específica entre  $0,013 \text{ kg/dm}^3$  a  $0,025 \text{ kg/dm}^3$  (CATOIA 2012).

Figura 8 - Pérolas de EPS.



Fonte: ISOPLAN Ltda.

Expandidas, as pérolas consistem em até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno, o que o torna tão leve.

Como sua massa específica está bem abaixo da especificada na norma para concretos leves estruturais ( $0,88 \text{ kg/m}^3$  e  $1,12 \text{ kg/m}^3$ ), o EPS está apto a ser utilizado como um agregado leve miúdo, conforme figura a seguir.

A figura 6 ilustra um concreto leve com EPS.

Figura 9- Concreto leve com EPS.



Fonte: AVS Tecnologia em Concreto Leve.

As características desse material são: alta dureza, alta rigidez, baixo custo, valores elevados de resistência à tração, inodoro, insípido e atóxico e possui uma pequena absorção de umidade (ANDRADE, 2010).

O uso de EPS como agregado em concretos de baixa massa específica pode resultar na redução do peso próprio das edificações, além de ser um material de baixíssimo custo pela possibilidade de reaproveitamento, tornando-se vantajoso para órgãos como prefeituras que contam com a coleta seletiva de lixo, podendo utilizar o EPS moído na produção de concreto para fins não estruturais (ABRAPEX, 2014).

## 2.7 CONCRETO COM ARGILA EXPANDIDA

Os concretos estruturais leves produzidos com argila expandida possuem baixo peso específico, proporcionando a redução de seções transversais e dimensões das fundações. Essa redução do peso dos elementos estruturais facilita a manipulação em obra, com conseqüente aumento de produtividade. A massa específica dos concretos convencionais, conforme cita a NBR 6118 (ABNT, 2003) varia entre 2000 kg/m<sup>3</sup> e 2800 kg/m<sup>3</sup>. Assim sendo, pode-se classificar os concretos

leves como aqueles que apresentam uma massa específica com valor abaixo de  $2000 \text{ kg/m}^3$ . (BARCELOS; COUTO, 2016).

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 TIPO DE ESTUDO**

A pesquisa realizada é classificada como quantitativa, onde as avaliações dos dados e feita através de análises dos resultados dos ensaios que foram realizados em laboratório, pois são com eles que poderão fazer estudos para a classificação do concreto, e estabelecer se o concreto com substituição parcial do agregado graúdo por argila expandida pode ser classificado como concreto leve estrutural .

#### **3.2 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA**

A pesquisa foi realizada nas instalações do complexo laboratorial do CENTRO UNIVERSITARIO LUTERANO DE PALMAS - CEULP/ULBRA, situado no estado do Tocantins no município de Palmas, e o seu período de realização será no segundo semestre de 2018 iniciando no mês de julho e com o seu termino no mês de novembro.

#### **3.3 OBJETO DE ESTUDO**

O objeto de estudo e o concreto leve estrutural com a substituição de agregados graúdo por argila expandida, pois a pesquisa foi realizada visando à avaliação dos resultados e caracterização física do concreto. A avaliação será realizada através de ensaios laboratoriais como em que o concreto esteja em suas propriedades no estado fresco e endurecido, os ensaio que foram realizados nesta pesquisa foram: Slump testes, resistências tração e compressão, massa especifica, índice de vazios e absorção de água no concreto.

O estudo partiu de um traço de referência convencional dimensionado pelo método ACI, substituindo o agregado graúdo por argila expandida em 10%, 20% e 40% em volume, tendo em vista como resultado a redução do peso específico e que atinja o que a NBR 6118 exige para resistência do concreto e também com os ensaios avaliar suas características físicas para que seja discutido a sua utilização em construção.

### 3.4 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

#### 3.4.1 Variáveis Independentes

As variáveis independentes delimitam os experimentos da pesquisa para que sigam características equivalentes de forma a isolar a variável a ser estudada.

- Tipo de cimento;
- Agregado Muido;
- Fator água/cimento;

Essas características serão mantidas em todos os traços estudados na pesquisa para que seja possível analisar a influência da substituição do agregado graúdo pela argila expandida em cada traço.

#### 3.4.2 Variáveis Dependentes

As variáveis dependentes da pesquisa caracterizarão as propriedades mecânicas nos estados fresco e endurecido da argamassa bem como seu os ensaios de Tração, Compressão e modo de elasticidade.

- Densidade da massa específica aparente;
- Agregado Graúdo;
- Resistências;

### 3.5 DOSAGEM DO CONCRETO

Após a caracterização de todo os materiais do traço referencia onde não há a substituição do agregado graúdo por argila expandida, O calculo do traço referencia e feito de acordo com a norma ACI 211.1-91 que especifica o calculo em sete passos conhecido como “Seven Steps Method”.

Segundo a NBR 6118/2003 o  $F_{ck}$  para o concreto referencia e de 20 Mpa para que atinja o exigido pela mesma, e o slump teste adotado e de 10 cm mais ou menos 2 cm de abatimento.

Para a dosagem do traço referencia (TR), onde não se ouve nenhuma porcentagem de adição de argila. Foi possível conferir nesta dosagem que o concreto se encontrava homogêneo, e sem presença de exsudação e com aspectos

visuais ideal para o uso de determinados fins. conforme a tabela 4 abaixo pode se perceber a quantidade a dosagem em massa do traço referencia em m<sup>3</sup> de concreto.

Tabela 5 – Dosagem Traço Referencia (TR) em Massa Kg/m<sup>3</sup>

| <b>CIMENTO</b>           | <b>AREIA</b>             | <b>BRITA</b>             | <b>AGUA</b>          | <b>FATOR A/C</b> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|------------------|
| 303,03 Kg/m <sup>3</sup> | 842,24 Kg/m <sup>3</sup> | 970,20 Kg/m <sup>3</sup> | 200 l/m <sup>3</sup> | 0,66             |

Fonte: Autor, (2018).

No traço com substituição de 10% de agregado graúdo por Argila Expandida (T10), verificou-se que a fluidez do concreto começou a diminuir em relação ao traço sem substituição, pois pode começar a se notar que o agregado teria uma absorção de água fora do esperado nas dosagens. Como no traço T10 o T20 também possuiu uma absorção de água fora do esperado pela dosagem do traço referencia, mas nada que afetasse a moldagem dos corpos de prova.

Nas tabelas 5 e 6 podem-se ver os traços utilizados por que contem a substituição de 10% e 20 % de argila expandida.

Tabela 6 – Dosagem Traço 10% de Adição de argila (T10) em Massa Kg/m<sup>3</sup>

| <b>CIMENTO</b>           | <b>AREIA</b>             | <b>BRITA</b>             | <b>ARGILA EXPANDIDA</b> | <b>AGUA</b>          | <b>FATOR A/C</b> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|------------------|
| 303,03 Kg/m <sup>3</sup> | 842,24 Kg/m <sup>3</sup> | 914,25 Kg/m <sup>3</sup> | 55,95 Kg/m <sup>3</sup> | 200 l/m <sup>3</sup> | 0,66             |

Fonte: Autor, (2018).

Tabela 7 – Dosagem Traço 20% de Adição de argila (T20) em Massa Kg/m<sup>3</sup>

| <b>CIMENTO</b>           | <b>AREIA</b>             | <b>BRITA</b>             | <b>ARGILA EXPANDIDA</b>  | <b>AGUA</b>          | <b>FATOR A/C</b> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|------------------|
| 303,03 Kg/m <sup>3</sup> | 842,24 Kg/m <sup>3</sup> | 858,30 Kg/m <sup>3</sup> | 111,90 Kg/m <sup>3</sup> | 200 l/m <sup>3</sup> | 0,66             |

Fonte: Autor, (2018).

Devido a grande quantidade de água que a argila expandida absorve, para o traço com 40% foi necessário um ajuste no traço, afim que se obtivesse o abatimento almejado a dosagem, sendo assim foram feitas alterações nos teores dos componentes do concreto de tal forma que o fator água-cimento se mantivesse constante.

A tabela 7 abaixo informa a dosagem já ajustada para esse teor de substituição argila:

Tabela 8 – Dosagem Traço 40% de Adição de argila (T40) em Massa Kg/m<sup>3</sup>

| <b>CIMENTO</b>           | <b>AREIA</b>             | <b>BRITA</b>             | <b>ARGILA<br/>EXPANDIDA</b> | <b>AGUA</b>          | <b>FATOR A/C</b> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|
| 321,21 Kg/m <sup>3</sup> | 795,58 Kg/m <sup>3</sup> | 858,30 Kg/m <sup>3</sup> | 111,90 Kg/m <sup>3</sup>    | 200 l/m <sup>3</sup> | 0,66             |

Fonte: Autor, (2018).

### 3.6 ENSAIOS REALIZADOS

Com a mistura de concreto foi realizada para cada um dos traços um ensaio de verificação do abatimento. O ensaio foi realizado de acordo com a NBR NM 67:1998 que tem como objetivo determinar a consistência do concreto através da medida de seu assentamento.

Após a realização do ensaio de abatimento o concreto em estado fresco foi coletado e moldado em corpos de prova, que seguiram a NBR 5738/2003 para os ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e absorção de água. Os ensaios de compressão e tração foram realizados nas idades de 7 e 28 dias sendo 3 corpos de corpos de prova para cada idade. Além disso, 3 moldagens foram para o ensaio de absorção, massa específica, índice de vazios e modulo de elasticidade.

Tabela 9 - Moldagens de Corpo de Prova

| Ensaio           | Tração            |           | Compressão        |           | Absorção de Agua | Modulo de Elasticidade |
|------------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|------------------|------------------------|
|                  | CP de 100x200mm   |           | CP de 100x200mm   |           | CP de 100x200mm  | CP de 100x200mm        |
|                  | Idades            |           | Idades            |           | Idade            | Idade                  |
| Traços           | 7 dias            | 28 dias   | 7 dias            | 28 dias   | 28 dias          | 28 dias                |
| T0               | 3                 | 3         | 3                 | 3         | 3                | 3                      |
| T10              | 3                 | 3         | 3                 | 3         | 3                | 3                      |
| T20              | 3                 | 3         | 3                 | 3         | 3                | 3                      |
| T40              | 3                 | 3         | 3                 | 3         | 3                | 3                      |
| <b>Moldagens</b> | <b>CP 100x200</b> | <b>24</b> | <b>CP 100x200</b> | <b>24</b> | 12               | 12                     |

Fonte: Autor, (2018).

### 3.7 PROCESSO DE CURA DO CONCRETO

Para a cura dos corpos de prova, foi realizado o procedimento de cura úmida segundo as normas da NBR 5738. O procedimento foi realizado após os corpos de prova serem desmoldados. A cura foi realizada durante todo o período de rompimento de cada corpo de prova, sem que em momento algum os corpos de prova fossem retirados do tanques para alguma avaliação, somente no período correto.

### 3.8 MATERIAIS UTILIZADOS E SUAS PROPRIEDADES

Para o desenvolvimento do trabalho foram adotados materiais encontrados na região de Palmas/TO. A brita 1 e a areia foram doados pela empresa BLOCOMIX e CONCRETO ENGENHARIA, quanto a argila expandida foi doado pelo laboratório de materiais de construção do CEULP/ULBRA.

#### 3.8.1 Cimento

Foi utilizado o cimento Portland tipo CP-II-F 40, fabricado pela Cimentos Planalto – CIPLAN.

#### 3.8.2 Areia

Foi adotada areia da região de Palmas doada pela BLOCOMIX extraída pela Mineração Capital. Suas características podem ser observadas na tabela 9 e sua curva granulométrica no gráfico 1.

Tabela 10 - Características físicas da areia.

| Características físicas da areia                 |                        |
|--|------------------------|
| Massa específica (NBR NM 52:2009)                | 2690kg/m <sup>3</sup>  |
| Massa unitária (NBR NM 45:2006)                  | 1,42kg/dm <sup>3</sup> |
| Dimensão máxima característica (NBR NM 248:2003) | 2,4mm                  |
| Classificação (NBR 7211:2009)                    | Areia muito fina       |
| Modulo de Finura (MF) (NBR NM 248:2003)          | 1,8                    |

Fonte: Autor, (2018).

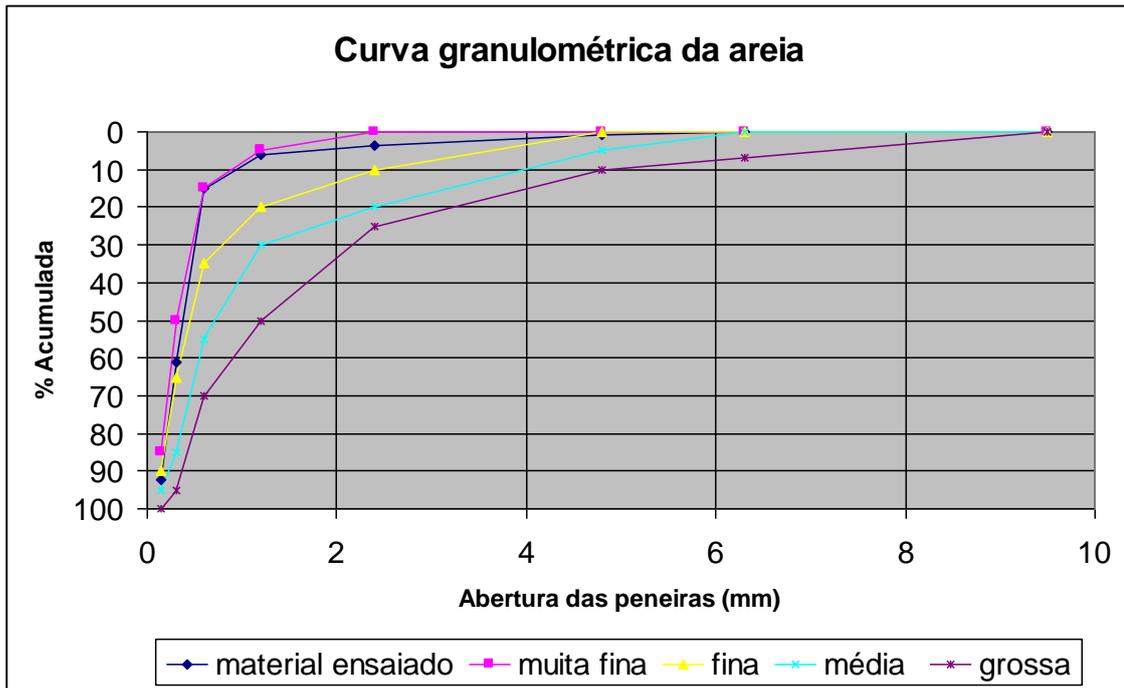


Gráfico 1: Curva granulométrica da areia

Conclui-se que, o módulo de finura caracterizou-se em 1,8 uma vez que, a grande concentração de amostra ficou retida entre as peneiras 0,6 e 0,15mm. Configurando areia do tipo muito fina, aprovando o material para dosagem de concreto.

### 3.8.3 Brita

A brita utilizada foi doada pela Castelo Forte Materiais para Construção, suas características estão dispostas na tabela 10 e sua curva granulométrica no gráfico 2.

Tabela 11 - Características físicas da brita.

| Características físicas da brita                 |                         |
|--|-------------------------|
| Massa específica (NBR NM 53:2009)                | 2710kg/m <sup>3</sup>   |
| Massa unitária (NBR NM 45:2006)                  | 1,35 kg/dm <sup>3</sup> |
| Dimensão máxima característica (NBR NM 248:2003) | 19,0mm                  |
| Classificação (NBR 7211:2009)                    | Brita 1                 |
| Classificação geológica                          | Granítica               |

Fonte: Autor, (2018).

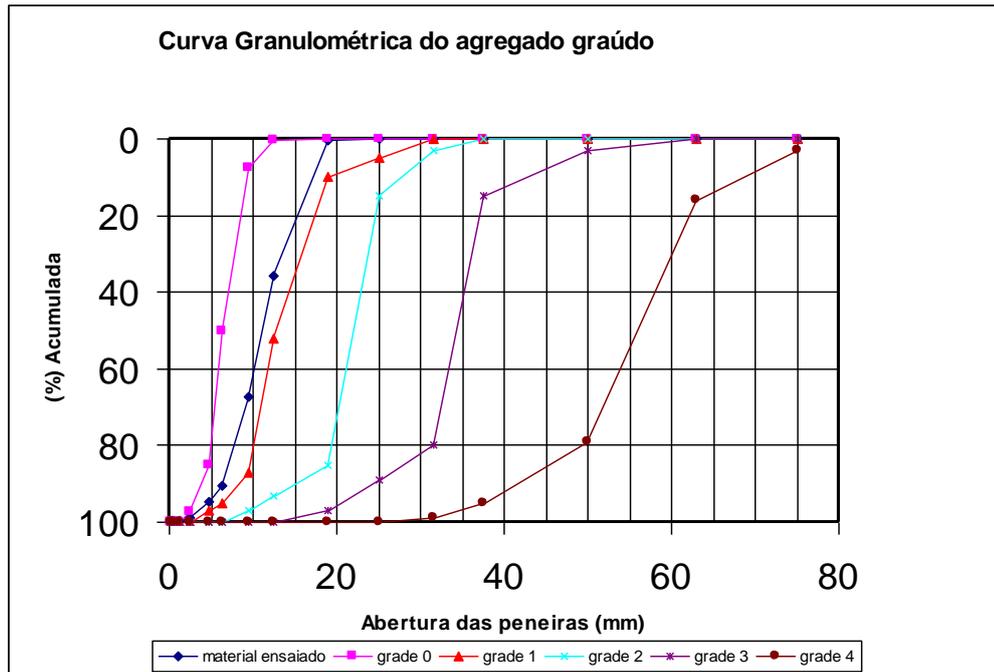


Gráfico 2: Curva granulométrica da brita

Concluimos que o material enquadra de forma análoga sua visualização, ficando entre a grade 0 e 1, no entanto nosso material aproxima-se mais da brita 1.

### 3.8.4 Argila Expandida

Na caracterização física da argila expandida avaliou-se a granulométrica, a massa unitária, a massa específica real. O ensaio de granulométrico foi realizado conforme a NBR 7217 - Agregados - determinação da composição granulométrica. A massa unitária foi determinada segundo as prescrições da NBR 7251 - Agregado em estado solto - determinação da massa unitária. A tabela 12 apresenta o ensaio de absorção de água da argila utilizada nesta pesquisa.

Tabela 12 – Resultado de ensaio de absorção.

| Absorção Argila (NBR NM 53) |                 |               |
|-----------------------------|-----------------|---------------|
| Massa inicial (g)           | Massa Final (g) | Resultado (%) |
| 1000                        | 1208,4          | 20,8          |

Fonte: Autor, (2018).

## 4. RESULTADOS E DISCURSOES

Diante dos ensaios realizados para a caracterização do concreto como estrutural ou não estrutural com a substituição parcial do agregado graúdo (brita) por argila expandida segue os resultados e discussões dos ensaios realizados nos traços obtidos, como descritos na metodologia desse estudo.

### 4.1. TRABALHABILIDADE

Foram ensaiados traços de concreto com e sem substituição de agregado graúdo por argila expandida. Para o traço de referência (TR), o resultado de abatimento foi dentro do esperado, com 96mm de abatimento, sendo considerado 100 mm mais ou menos 2mm como referencia para o abatimento. Pode se perceber então que a medida que aumentava a porcentagem de substituição de argila a fluidez do slump diminuía.

Esse comportamento, de diminuição de abatimento com o aumento da porcentagem de substituição de argila, se deve a grande taxa de absorção de água do agregado leve. Com isso um percentual muito baixo de água para reagir com o cimento e os agregados, diminuindo a fluidez. Os resultados dos ensaios de abatimento dos traços estão descritos na tabela 13, analisando a tabela e possível perceber que com o aumento de percentual argila no traço ouve uma diminuição significativa no slump de cada traço.

Tabela 13 – Resultados do ensaio de Abatimento

| <b>TRAÇO</b> | <b>SLUMP (mm)</b> |
|--------------|-------------------|
| TR           | 96                |
| T10          | 93                |
| T20          | 87                |
| T40          | 82                |

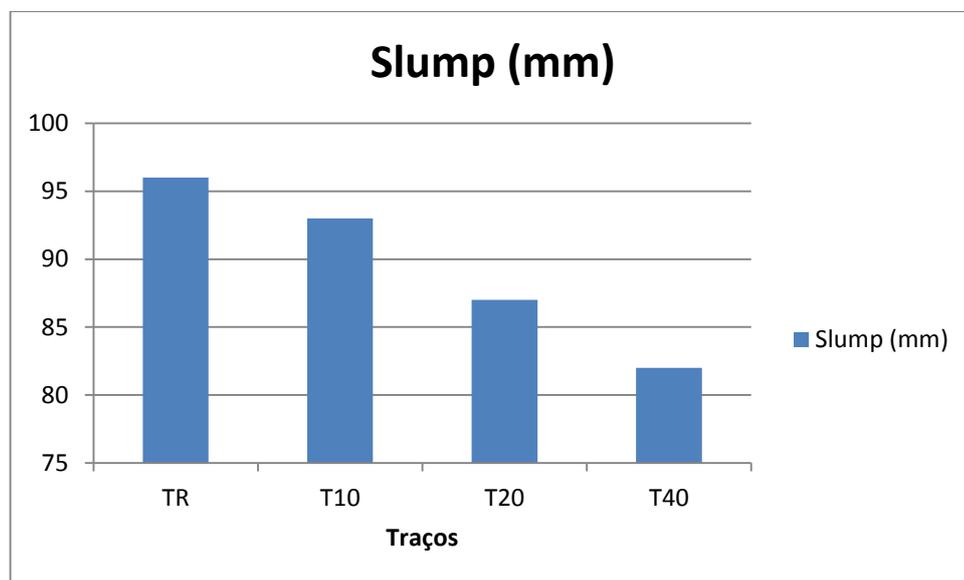
Fonte: Autor, (2018).

Durante a execução das misturas dos traços para estudos foram realizado traços de quatro traços com a mesma dosagem sendo eles Referencia e com substituição de 10%, 20%, 40% de argila expandida.

Dito isso, pode observar que para os traços com 10% (T10) e 20% (T20) de adição de argila a absorção de água foi grande fazendo com que o concreto ficasse mais poroso e o seu abatimento diminuísse cada vez mais.

Diante dessa ocasião que foi percebido que para o traço com adição de 40% (T40) de argila expandida se fez necessário um ajuste, pois em teste o abatimento solicitado não foi atendido, por isso a necessidade deste ajuste, para a obtenção do abatimento solicitado. A figura 10 apresenta um gráfico comparativo dos resultados de slump obtidos neste trabalho.

Figura 10 – Comparativo dos Slumps obtidos na pesquisa



Fonte: Autor, (2018).

## 4.2 MASSA ESPECIFICA ABSORÇÃO E ÍNDICE DE VAZIOS

Os traços de substituição e de referência foram ensaiados quanto a massa específica, na idade de 28 dias. Após o rompimento do concreto nos ensaios de tração e compressão

Além da determinação da massa específica, a NBR 9778:2005, também normatiza os ensaios para determinação do índice de vazios e absorção do concreto. Essas características foram verificadas para todos os traços do estudo, e os resultados para cada traço, estão na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultado dos ensaios da NBR 9778:2005

| <b>TRAÇO</b> | <b>ABSORÇÃO (%)</b> | <b>IND. VAZIOS (%)</b> | <b>MASSA ESP. (kg/m<sup>3</sup>)</b> |
|--------------|---------------------|------------------------|--------------------------------------|
| TR           | 4,69%               | 11,89%                 | 2418,77                              |
| T10          | 6,62%               | 16,32%                 | 2303,54                              |
| T20          | 8,10%               | 18,50%                 | 2097,39                              |
| T40          | 11,93%              | 25,40%                 | 1875,69                              |

Fonte: Autor, (2018).

Em estudos que envolvem uso de agregado leve para produção de concreto, é necessário verificar a classificação do mesmo quanto à massa específica. Essa análise é primordial para dizer se o concreto ensaiado pode ser considerado leve ou não. Para ser considerado leve, o concreto deve ter um limite máximo de massa específica, sendo que esses limites são estabelecidos por normativas nacionais e internacionais.

De acordo com algumas normas, para ser classificado como leve, algumas normas que determina o limite entre 800 kg/m<sup>3</sup> e 2000 kg/m<sup>3</sup> de massa específica para o concreto ser considerado leve. Dessa forma, nem todos os traços que foram realizados com a substituição de argila expandida podem ser considerados concretos leve.

Alem de normas internacionais, os resultados foram analisadas de acordo com a normativa nacional. A NBR NM 35:2009 que determina que o máximo da massa específica que pose considerar o concreto leve e de ate 1850Kg/m<sup>3</sup>. Diante disso os traços estudados foram comparados com o limite da norma.

Para a essa classificação dos concretos como leve ou não, a tabela 13 mostra os requisitos para essa classificação quanto às normas e sua determinada massa específica.

Tabela 15 - Classificação dos traços quanto a massa específica.

| Referência                          | Limite de Massa Específica | Traço | Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> ) | Classificação         |
|-------------------------------------|----------------------------|-------|---------------------------------------|-----------------------|
| RILEM (1975)<br>e CEB-FIP<br>(1977) | $\gamma < 2000$            | TR    | 2418,77                               | Concreto Convencional |
|                                     |                            | T10   | 2303,54                               | Concreto Convencional |
|                                     |                            | T20   | 2097,39                               | Concreto Convencional |
|                                     |                            | T40   | 1875,69                               | <i>Concreto Leve</i>  |
| CEN prEN 206-25 (1999)              | $800 < \gamma < 1850$      | TR    | 2418,77                               | Concreto Convencional |
|                                     |                            | T10   | 2303,54                               | Concreto Convencional |
|                                     |                            | T20   | 2097,39                               | Concreto Convencional |
|                                     |                            | T40   | 1875,69                               | Concreto Convencional |
| ACI 213-87 (1997)                   | $1400 < \gamma < 1850$     | TR    | 2418,77                               | Concreto Convencional |
|                                     |                            | T10   | 2303,54                               | Concreto Convencional |
|                                     |                            | T20   | 2097,39                               | Concreto Convencional |
|                                     |                            | T40   | 1875,69                               | Concreto Convencional |
| NBR NM 35:2009                      | $\gamma < 1850$            | TR    | 2418,77                               | Concreto Convencional |
|                                     |                            | T10   | 2303,54                               | Concreto Convencional |
|                                     |                            | T20   | 2097,39                               | Concreto Convencional |
|                                     |                            | T40   | 1875,69                               | Concreto Convencional |

Fonte: Autor, (2018).

A norma RILEM (1975) e CEB-FIP (1977) os resultados dos traços estudados foram comparados com o limite da norma e somente o traço com teor de 40% de adição de argila atendeu esse limite da norma sendo assim só esse percentual pode ser considerado concreto leve.

No entanto a norma possui um limite 2000 Kg/m<sup>3</sup> e o teor de 20% de substituição ficou muito próximo com massa específica de 2097.39 Kg/m<sup>3</sup> cabendo alguns ajustes para que possa atender o limite exigido pela norma.

Já as normas CEN prEN 206-25 (1999), ACI 213-87(1997), NBR NM 35:2009 todas citadas na Tabela 15, possuem o limite máximo de massa específica de até 1850 Kg/m<sup>3</sup>, e como pode se perceber o teor de 40% de substituição possuiu uma massa específica de 1875.69 Kg/m<sup>3</sup> que é considerada uma diferença muito pequena e caso haja algum ajuste na dosagem ou até mesmo na moldagem poderia ser classificado como concreto leve dentro destas normas.

Concluiu então que somente pela norma RILEM (1975) e CEB-FIP (1977) com teor de 40% de argila expandida é considerado concreto leve, mas caso haja alguns

ajustes em todas as normas citadas na Tabela 13 os teores de 20% e 40% poderiam ser considerados concreto leve.

#### 4.3 RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO.

A avaliação desse parâmetro é importante para a qualificação do concreto como estrutural ou não estrutural. O resultado para cada corpo de prova foi obtido pela média entre os corpos de prova com menor desvio padrão, sendo o resultado com valor com desvio padrão maior, eliminado da média. Os resultados dos ensaios de capacidade de resistência à compressão para cada traço nas idades de 7 e 28 dias seguem na tabela 16.

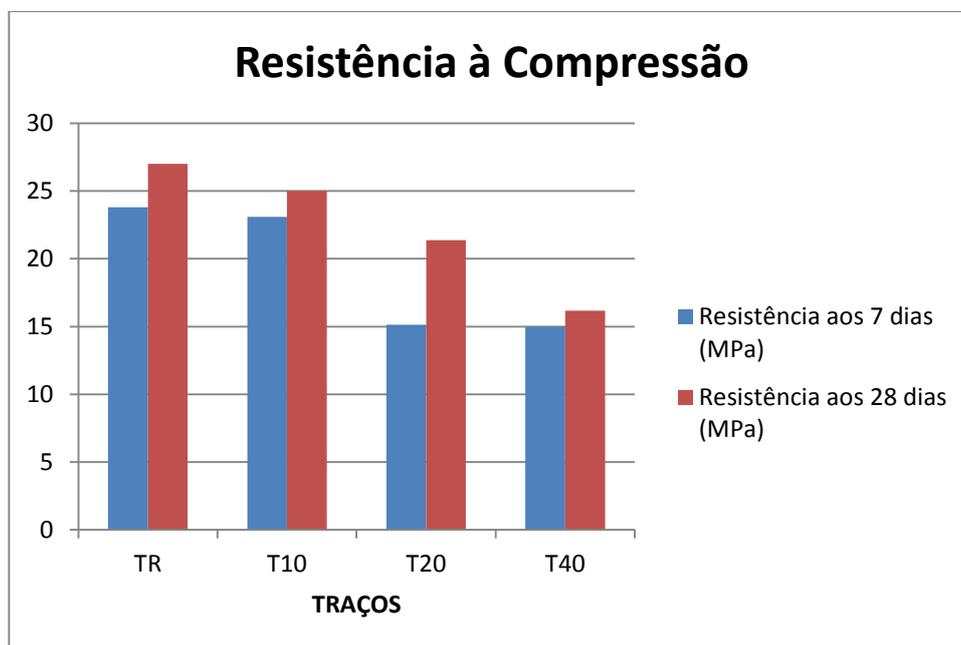
Tabela 16 – Resultados do ensaio de resistência a compressão.

| Traço | Compressão média aos 7 dias (MPa) | Compressão média aos 28 dias (MPa) |
|-------|-----------------------------------|------------------------------------|
| TR    | 23,8                              | 27                                 |
| T10   | 23,1                              | 25,01                              |
| T20   | 15,13                             | 21,37                              |
| T40   | 14,97                             | 16,17                              |

Fonte: Autor, (2018).

Na dosagem do traço de referência, a resistência a compressão considerada foi de 20 MPa ( $f_{ck}$ ) conforme a NBR 6118. Como visto nos resultados, somente o traço T40 ficou com resistência inferior à 20 MPa. Esse valor de compressão se era esperado, pois como foi adotado um controle rigoroso pelo fato da sua dosagem e moldagem terem sido realizadas dentro do laboratório o  $F_{cj}$  foi de 26.65 MPa. Como no estudo foi realizado com agregados secos já se era esperado que a absorção de água do agregado fosse grande e com isso a diminuição da resistência.

Figura 11 – Comparativo das resistências à compressão obtidas na pesquisa



Fonte: Autor, (2018).

#### 4.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

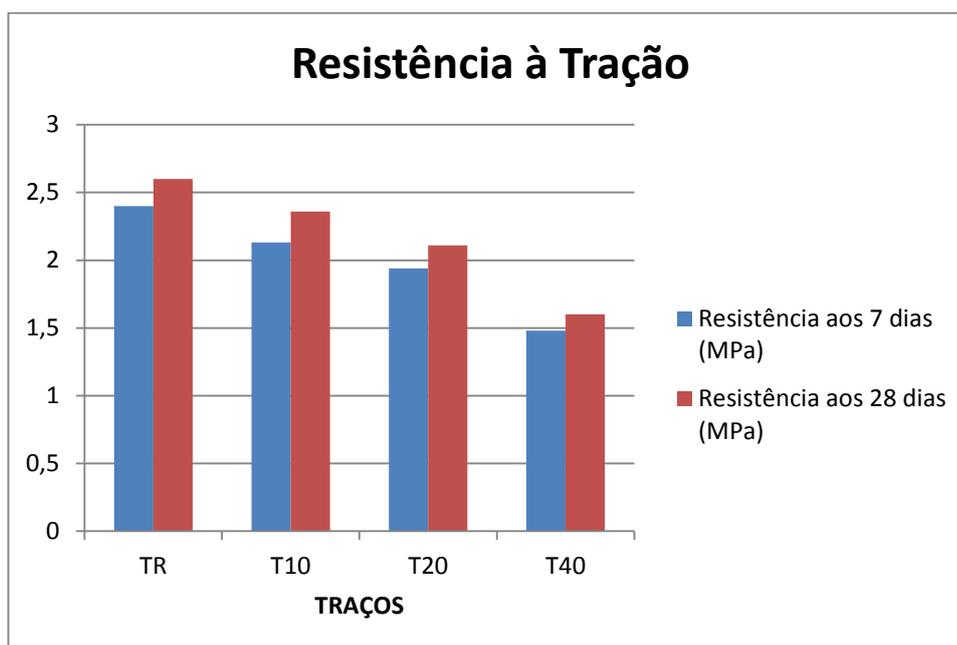
O ensaio de tração foi realizado em todos os traços do estudo, nas idades de 7 e 28 dias. O resultado para cada traço se deu pela média dos resultados, sendo que foram moldados e rompidos, 3 corpos de prova para cada idade e traço. Os resultados obtidos estão na tabela 17 e na figura 12.

Tabela 17 - Resultados do ensaio de tração por compressão diametral

| Traço | Tração aos 7 dias (MPa) | Tração aos 28 dias (MPa) |
|-------|-------------------------|--------------------------|
| TR    | 2,4                     | 2,60                     |
| T10   | 2,13                    | 2,36                     |
| T20   | 1,94                    | 2,11                     |
| T40   | 1,48                    | 1,60                     |

Fonte: Autor, (2018).

Figura 12 – Comparativo das resistências à tração obtidas na pesquisa



Fonte: Autor, (2018).

#### 4.5 MÓDULO DE ELASTICIDADE

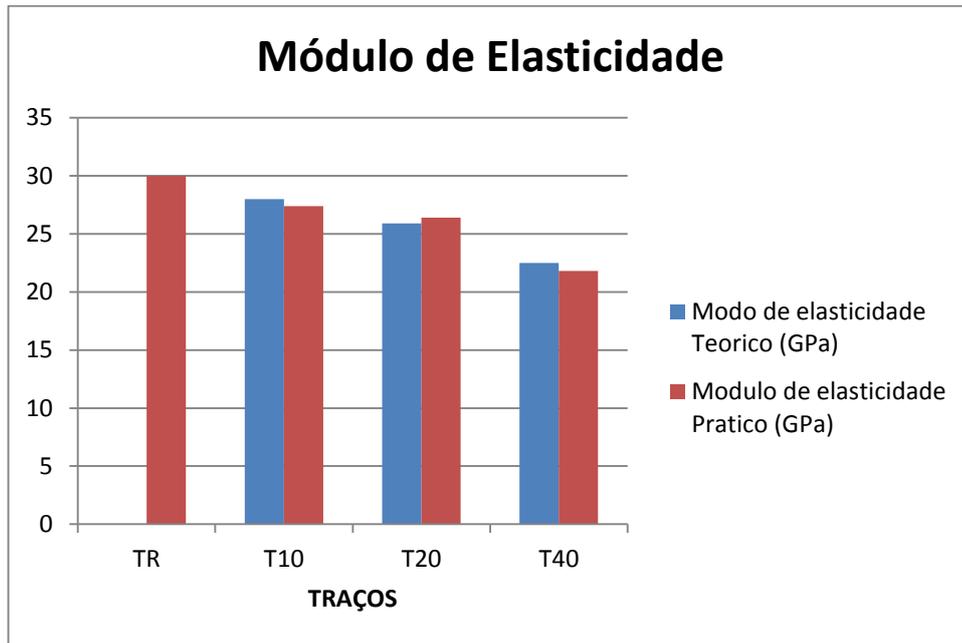
O módulo de elasticidade para o concreto leve tende a ser menor do que o concreto convencional, devido a menor capacidade de resistência dos agregados leves em relação ao agregado convencionais. De acordo com a CEB-FIP (1997) o concreto leve estrutural tem uma redução no módulo de elasticidade de 30% a 70% em relação ao concreto convencional. Essa afirmação pôde ser comprovada nesse trabalho, comparando os resultados dos ensaios do concreto produzido com agregado leve (T10, T20 e T40) com o resultado do concreto convencional. A Tabela 18 e a figura 13 mostram os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade.

Tabela 18 - Resultados do ensaio de Modo de Elasticidade (GPa)

| Traço | Modulo de elasticidade Teorico (GPa) | Modulo de elasticidade Pratico (GPa) |
|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| TR    | 29,1                                 | 30,0                                 |
| T10   | 28,0                                 | 27,4                                 |
| T20   | 25,9                                 | 26,4                                 |
| T40   | 22,5                                 | 21,8                                 |

Fonte: Autor, (2018).

Figura 13 – Comparativo do Módulo de Elasticidade obtidos na pesquisa



Fonte: Autor, (2018).

Analisando os resultados, é possível perceber que à medida que aumenta a porcentagem de substituição a massa específica diminui como consta na tabela 8, e junto com a diminuição da massa específica a resistência a compressão do concreto também diminui.

Nesta mesma análise pode ser relacionado também o aumento do índice de vazios e a porcentagem da absorção de água, sendo assim afetando o ensaio de compressão, pois os índices de vazios afetam diretamente fazendo com que diminua a resistência do corpo de prova. A figura 14 mostra o ensaio de módulo de elasticidade sendo realizado.

Figura 14 – Ensaio de Módulo de Elasticidade sendo realizado



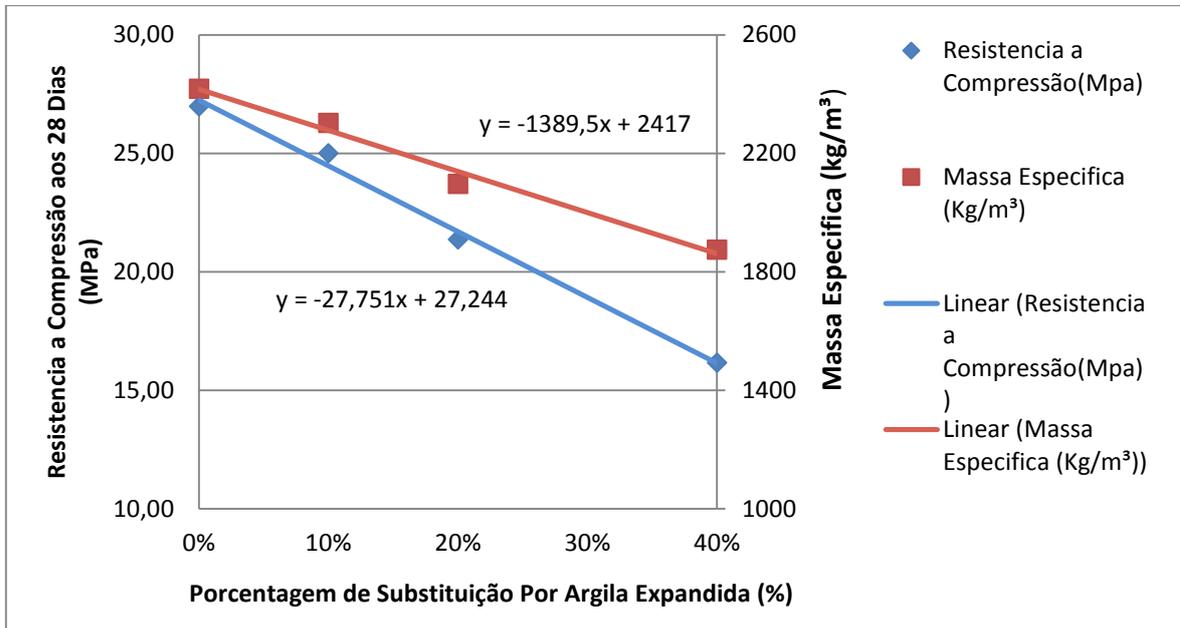
Fonte: Autor, (2018).

#### 4.6 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DA PESQUISA.

O resultado dos ensaios realizados de Massa Específica, Índice de Vazios e Absorção de Água pelo concreto foi analisado em relação à resistência para cada traço que foi ensaiado. Com esta análise foi possível verificar a variação que ocorre na resistência do concreto de acordo com as características físicas de cada traço realizado.

O gráfico da figura 15 apresenta uma relação entre os ensaios realizados.

Figura 15 – Gráfico de Relação da Resistência, Massa Especifica e percentual de substituição de Argila Expandida.

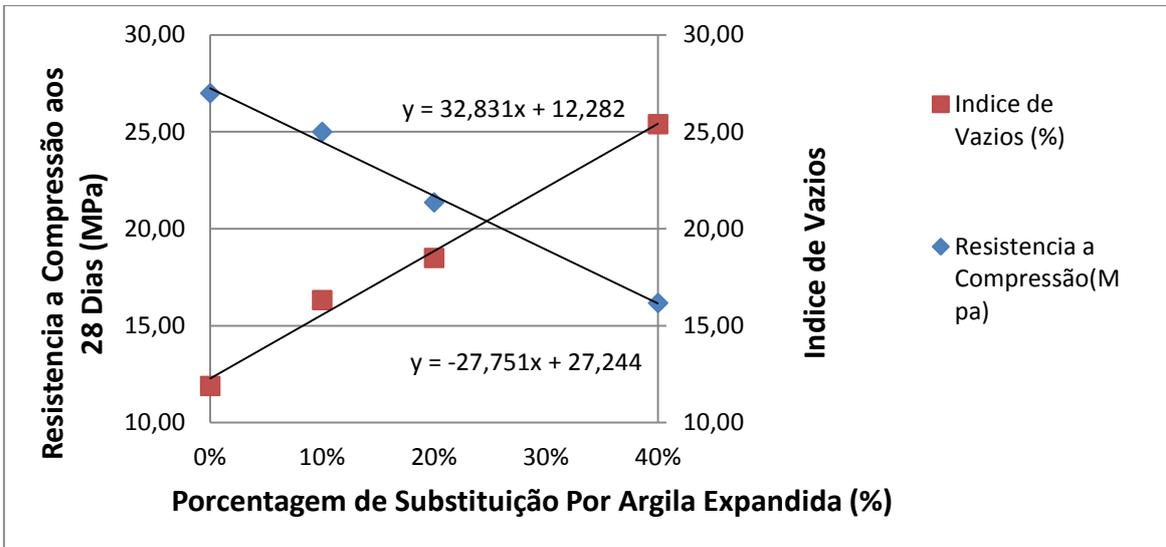


Fonte: Autor, (2018).

Segundo a análise realizada no gráfico acima, é possível perceber que a medida que vai aumentando o teor de substituição de agregado graúdo por argila expandida a massa específica e a resistência diminui gradativamente, visto que os pontos do gráfico comprovam, visto que a equação da linha de tendência tem coeficiente angular negativo.

Diante da análise anterior se viu a necessidade também de fazer uma análise relacionando o percentual de substituição do agregado graúdo por argila expandida, resistência a compressão do concreto e o índice de Vazios. No gráfico da figura 16 pode ser feita essa análise.

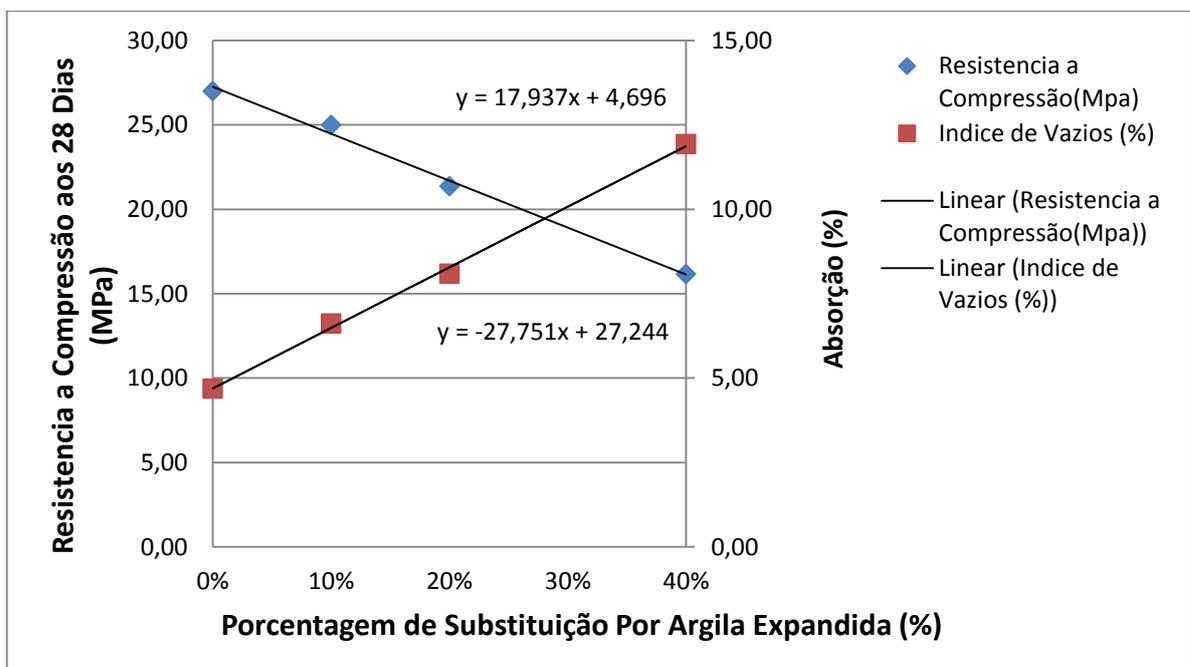
Figura 16 – Gráfico de Relação da Resistência, Índice de vazios e percentuais de substituição de Argila Expandida.



Fonte: Autor, (2018).

De acordo com a análise realizada no gráfico acima, pode se perceber que quanto mais o teor de substituição aumenta o índice de vazios aumenta e conseqüentemente a resistência do concreto diminui.

Figura 17 – Gráfico de Relação da Resistência, Absorção e percentuais de substituição de Argila Expandida.



Fonte: Autor, (2018).

Seguindo o mesmo critério de análise como nos gráficos anteriores pode se perceber então que à medida que aumenta o teor de porcentagem de substituição de argila aumenta o índice de absorção de água aumenta e a resistência novamente tende a diminuir.

Então de acordo com as análises realizadas anteriores, Massa Específica, Absorção de água e índice de Vazios no concreto leve não é muito diferente do concreto convencional. Quando se aumenta o teor de substituição tende a diminuir a resistência e a massa específica, já o índice de vazios e a absorção de água aumentam gradativamente.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Conforme a Norma Americana ACI 213R-87 o concreto leve estrutural deve apresentar resistência à compressão axial aos 28 dias superior a 17,2Mpa, valor esse também encontrado na Norma Brasileira NM 35. E segundo as normativas observadas ACI 213R-87 e RILEM (1975), a massa específica para concretos leves estruturais deve ser igual ou inferior, respectivamente a 1,85kg/dm<sup>3</sup>, 2,0 kg/dm<sup>3</sup> e 2,20 kg/dm<sup>3</sup>.

Em relação ao abatimento do tronco de cone, nenhum dos traços atingiu o abatimento do traço original, mas mesmo que não tenham atingido, todos ficaram dentro das recomendações para peças estruturais do ACI, essa variação na trabalhabilidade pode ser entendida, pois, quanto mais agregado leve menor a trabalhabilidade isso acontece devido à absorção de água da argila, isso pode ser evitado com uma saturação previa da argila expandida, o que não foi feito nesta pesquisa, isso diminuiria o impacto da influência da argila na trabalhabilidade do concreto.

Observando aos resultados de massa específica apenas o T40 se encaixou em uma das normativas apresentadas no trabalho, logo maiores teores de substituição seriam necessários para redução da massa específica do concreto.

No que se diz respeito à resistência à compressão nenhum dos traços estudados alcançou a resistência para ser considerado pelas normativas concreto leve estrutural, pois para ser considerado um CLE o concreto precisa atender as normas tanto nos requisitos de resistência e massa específica, o traço T40 atendeu uma das normativas quanto aos requisitos de massa, mas não chegou aos 17,2 MPa solicitados pelas normativas.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a utilização da argila expandida como substituta do agregado graúdo em concreto visando melhorias nas características do concreto convencional, é interessante que mais pesquisas sejam realizadas, para proporcionar maior confiabilidade e segurança na utilização deste material em concreto convencional, com fim de se obter um concreto leve estrutural.

Abaixo há sugestões para a realização de novas pesquisas:

- Realizar o estudo com diferentes teores de substituição em quantidades menores como, por exemplo, o intervalo de 5% a 30%;
- Realizar a substituição com argila em um traço de referência de maior resistência como 35 MPa;
- Realizar a saturação da argila antes da aplicação no concreto.

## 6. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996

ABNT. 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: ABNT, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 35 – Agregados Leves para Concreto Estrutural – Especificações**. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 45 – Agregado – Determinação da massa unitária e do volume de vazio**. Rio de Janeiro, 2006.

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

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

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

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

ABRAPEX – Associação Brasileira de Poliestireno Expandido. **O que é EPS** Disponível em: <<http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>> Acesso em: 03 maio de 2015.

AITCIN, P.C. **Concreto de Alto Desempenho**. Associação Brasileira de Cimento Portland. PINI. 2000.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **Advances in concrete technology - proceeding second canmet/ aci international symposium**. ACI SP 154-95. Las Vegas, Nevada, USA, 1995.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete. ACI 213R-87**. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 27p., 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard Specification for Portland Cement. ASTM C150**. West Conshohocken, PA, 2012.

ANDRADE, J. J. Propriedades dos polímeros. In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. Cap. 41, v.2, p.1323-1350.

BASTOS, Paulo S. dos Santos, Dr. Notas de Aula – **Fundamentos de Concreto Armado**. UNESP – Bauru/SP. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/FUNDAMENTOS.pdf>. Acesso em 06 de maio de 2015.

BATTAGIN, A.F. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>. Acesso em 15 de abril de 2015.

CATOIA, T. **Concreto Ultraleve estrutural com pérolas de EPS: Caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes**. Tese de doutorado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2012.

CORDEIRO, G.C. **Concreto de alto desempenho com metacaulinita**. Campos dos Goytacazes, RJ, 2001. Dissertação (mestrado) M. Sc. em Ciências de Engenharia. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil, 2001. Disponível em: [http://uenf.br/Uenf/Downloads/LECIV\\_1693\\_1122570637.pdf](http://uenf.br/Uenf/Downloads/LECIV_1693_1122570637.pdf). Acesso em 06 de maio de 2015.

DEUTSCHES INSTITUT F. **Plastics – Symbols and abbreviated terms DIN ISO 1043-1**. Basic polymers and their special characteristics. 2001.

FONSECA, J.S., *et al.* **Estatística Aplicada**, Editora Atlas, 2ª Edição. São Paulo, 1985.

HOLM, T.A. **Specified density concrete – A transition**. In: Internacional Symposium on Structural Lightweight Agregate Concrete, 2. Kristiansand, Norway, 2000. Proceedings, p.37-46.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, 2011.

LANGLEY, W.S. et al. **ACI Special Publication**, n. 154, pp. 543-564, 1995.

KITOUNI, S.; HOUARI, H. Lightweight concrete with Algerian limestone dust. Part II: study on 50% and 100% replacement to normal aggregate at timely age. **Cerâmica**, [s.l.], v. 61, n. 360, p.462-468, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613601957>.

MEHTA, Kumar P., MONTEIRO, PAULO J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Editora Pini, 1ª Edição. São Paulo, 1994.

NEVES, Idercio França Das. Materiais de construção: **Estudo de dosagem racional de concreto estrutural comum**. Pontifícia universidade católica do Paraná – Curitiba- PR. 2009.

ORTEGA, F.S., *et al.*, **Influência dos modelos de Alfred e Andreasen sobre a microestrutura e densidade a verde de compactos cerâmicos obtidos por colagem ou prensagem**, São Carlos, São Paulo, 1997.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**, São Paulo, n. 53, p. 14-19, jan.-fev.-mar, 2009

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. Concreto estrutural leve. In: ISAIA, G. C. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. Cap. 43, V. 2, p. 1333 -1362.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. Editora Pini, 1ª Edição. São Paulo, 2009.

SILVA, D. O. B., *et al.* **Dosagem de EPS no Concreto Leve de Alta Resistência**. São Paulo: IBRACON, 2014.

SPITZNER, J. **High-Strength LWA Concrete**. High-Strength Concrete. RILEM Cap.II – Aggregates. 1994.

SCHMIDT, E.P. CARAVELAS, R.R.S., **Aplicação do método de empacotamento de partículas para redução do consumo de cimento**. Trabalho de conclusão de curso, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2013.

SCHWANTES, C.G.G. **Concreto Estrutural Leve: Resistência a compressão e Módulo de Elasticidade usando argila expandida como Agregado Graúdo**. Porto Alegre, 2012. Disponível em: [http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/63166/000861222.pdf?sequence=1&locale=pt\\_BR](http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/63166/000861222.pdf?sequence=1&locale=pt_BR). Acesso em 04 de maio de 2015.

TUTIKIAN, B.F et al., Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho. In: ISAIA, G.C. (Ed). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1.ed. São Paulo: IBRACON, 2011. 2V. P. 1283-1325).