

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RENAN LUNA SCOBAR

**CONCRETO LEVE ESTRUTURAL: substituição do agregado graúdo
convencional por argila expandida**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2016

RENAN LUNA SCOBAR

CONCRETO LEVE ESTRUTURAL: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Civil do Departamento de Construção Civil– DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientadora: Profa. Dra. Fabiana Goia R. de Oliveira

CAMPO MOURÃO

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**CONCRETO LEVE ESTRUTURAL: SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO
CONVENCIONAL POR ARGILA EXPANDIDA**

por

Renan Luna Scobar

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 14h 00min do dia 14 de Junho de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes

(UTFPR)

**Prof. Me. Adalberto Luiz Rodrigues de
Oliveira**

(UTFPR)

Profa. Dra. Fabiana Goia Rosa de Oliveira

(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Marcelo Guelbert

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, além de colocar pessoas tão valorosas no meu caminho.

Aos meus pais Edson e Sueli e a meu irmão Felipe por tudo que fizeram por mim, todo esforço para garantir que pudesse atingir esse objetivo, e por estarem sempre presentes me apoiando e me dando forças para continuar.

A professora Fabiana Rosa Goia de Oliveira pela orientação no trabalho, com dedicação, incentivo e paciência durante todo o tempo.

A todos os professores que foram tão importantes durante minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos dos laboratórios da UTFPR Campo Mourão, pelo auxílio na utilização dos laboratórios durante a realização desse trabalho.

Gostaria de agradecer ainda a oportunidade que tive de aprender e aprimorar meus conhecimentos, além da experiência que pude adquirir durante o estágio realizado na UTFPR de Campo Mourão sobre a supervisão de Maiko Cristian Sedoski e do Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes.

Aos amigos de Ourinhos e de Campo Mourão que de alguma forma estiveram presentes durante a vida acadêmica incentivando e ajudando em momentos difíceis.

Enfim agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

RESUMO

SCOBAR, Renan Luna. **Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida**. 45p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

Diante do crescimento populacional, as construções tornaram-se verticais e os edifícios tornam-se cada vez mais altos, sendo necessário novas formas de construção e novos materiais que otimizem o processo construtivo e o resultado final, sem comprometer a segurança estrutural. O concreto leve estrutural é uma forma de reduzir a massa específica do concreto utilizando agregados leves. A argila expandida é utilizada como agregado graúdo, substituindo a brita, e apresenta-se como uma alternativa aos métodos convencionais de construção. A resistência à compressão do concreto leve é menor quando comparada ao concreto convencional, porém a principal característica apresentada pelo concreto leve é a baixa massa específica, que gera alívio nas estruturas. Dessa forma o custo da construção é reduzido de uma forma global e a segurança estrutural é garantida pelo fator de eficiência, propriedade utilizada para comparação de materiais com diferentes resistências e massas específicas. Além das propriedades mecânicas, o concreto leve apresenta a possibilidade de utilização como material de vedação pois apresenta propriedades de isolamento termoacústico. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo abordar a forma de execução, apresentar as vantagens e desvantagens e avaliar as características de um traço do concreto leve e compará-las com um concreto convencional utilizando o mesmo traço.

Palavras-chave: Concreto leve; agregado leve; argila expandida

ABSTRACT

SCOBAR, Renan Luna. **Structural lightweight concrete: replacement of conventional coarse aggregate by expanded clay**. 45p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

Due to the population growth, the constructions have become vertical and the buildings even higher through the years, which made necessary new types of constructions and new materials that can help to optimize the process and the end result without compromising the structural safety. The structural lightweight concrete is a permissible way to decrease the concrete density using lightweight aggregates. The expanded clay is used as coarse aggregate replacing the gravel and being an alternative to the conventional construction methods. The lightweight concrete compressive strength is lower when compared to conventional concrete, however the main characteristic presented by lightweight concrete is a low density, which generates the relief structures. Thus, the cost is reduced as a whole and the structural safety is guaranteed by the efficiency factor, property used to compare different materials with different density and strength. Besides the mechanic properties, this lightweight concrete is also useful as a wall because it has thermal and acoustic insulation. Therefore, this project has the final goal of go through the execution means, present the advantages and disadvantages and also evaluate the properties of a concrete mix of the structural lightweight and compare the results to the conventional concrete at the same ratio of concrete mix.

Keywords: Lightweight concrete; lightweight aggregate; expanded clay

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS LEVES	15
FIGURA 2 - ARGILA EXPANDIDA DIÂMETRO MÁXIMO DE 15 MM.....	17
FIGURA 3 - MICROGRAFIA DOS AGREGADOS PRODUZIDOS POR SINTERIZAÇÃO E FORNO ROTATIVO.....	18
FIGURA 4 - A) CONCRETO AERADO. B) CONCRETO SEM FINOS. C) CONCRETO LEVE ESTRUTURAL.....	19
FIGURA 5 - SOUTHWESTERN BELL TELEPHONE COMPANY.....	20
FIGURA 6 - AUSTRALIA SQUARE TOWER	21
FIGURA 7 - PONTE STØVSET, NORUEGA.....	22
FIGURA 8 - PONTE NORDHORLAND, NORUEGA.	22
FIGURA 9 - ESTÁDIO DE NEW CASTLE.	23
FIGURA 10 - GINÁSIO DO CLUBE ATLÉTICO SANTISTA.....	23
FIGURA 11 - CONDUTIVIDADE TÉRMICA EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA.	27
FIGURA 12 - EFEITO DA FREQUÊNCIA DE VIBRAÇÃO DURANTE O ADENSAMENTO.	28
FIGURA 13 – CORPOS DE PROVA.	31
FIGURA 14 – CORPOS DE PROVA EM CURA.	31
FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO DOS AGREGADOS NO CONCRETO LEVE.....	32
FIGURA 16 – CORPO DE PROVA DURANTE O ENSAIO DE COMPRESSÃO	33
FIGURA 17 – CORPO DE PROVA APÓS O ENSAIO DE COMPRESSÃO.....	33
FIGURA 18 - ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE	34
FIGURA 19 - PESAGEM COM O CORPO DE PROVA IMERSO.....	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ARGILA COM PROPRIEDADES EXPANSIVAS.....	18
TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS CONCRETOS SEGUNDO O PESO ESPECÍFICO.....	25
TABELA 3 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO LEVE.....	37
TABELA 4 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO CONVENCIONAL.....	37
TABELA 5 - MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO LEVE.....	39
TABELA 6 - MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO CONVENCIONAL.....	39
TABELA 7 - MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA DO CONCRETO LEVE.....	40
TABELA 8 - MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA DO CONCRETO CONVENCIONAL....	40
TABELA 9 - FATOR DE EFICIÊNCIA DO CONCRETO LEVE.....	43
TABELA 10 - FATOR DE EFICIÊNCIA DO CONCRETO CONVENCIONAL.....	43

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	38
GRÁFICO 2 - MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	39
GRÁFICO 3 - ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	41
GRÁFICO 4 - MASSA ESPECÍFICA.....	42
GRÁFICO 5 - FATOR DE EFICIÊNCIA.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 JUSTIFICATIVA	12
4 REFERENCIAL TEÓRICO	13
4.1 CONCRETO	13
4.2 AGREGADOS	14
4.3 AGREGADOS LEVES	14
4.4 ARGILA EXPANDIDA	16
4.5 CONCRETO LEVE	18
4.5.1 Panorama histórico	19
4.5.2 Propriedades do Concreto Leve	24
4.5.2.1 Resistência mecânica e massa específica	24
4.5.2.2 Microestrutura	25
4.5.2.3 Conforto térmico	26
4.5.3 Produção e Dosagem	27
5 MATERIAIS E MÉTODOS	30
5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	32
5.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE	34
5.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA E MASSA ESPECÍFICA	34
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
6.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	37
6.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE	38
6.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA E MASSA ESPECÍFICA	40
6.4 FATOR DE EFICIÊNCIA	42
7 CONCLUSÃO	45
8 REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Um dos materiais mais utilizados na construção civil em todo o mundo é o concreto, composto convencionalmente por cimento Portland, água e materiais inertes.

Cimento Portland é um aglomerante hidráulico, produzido com calcário, argila e gesso, e quando entra em contato com água, forma uma pasta que endurece e adquire resistência mecânica.

Os materiais inertes são os agregados, com características granulares de dimensões e propriedades adequadas para a construção civil e estão divididos em miúdos e graúdos.

O concreto possui elevada massa específica e um dos fatores responsáveis é o agregado graúdo de origem basáltica, granítica ou calcária, que são os mais utilizados atualmente, porém esses agregados podem ser substituídos por outros de menor massa específica, como a argila expandida, e assim é constituído o concreto leve.

A utilização do concreto com argila expandida promove menores esforços nas estruturas, conforto térmico e acústico, economia em fôrmas e cimbramentos além da diminuição de custos com transporte e montagem de construções pré-fabricadas.

O concreto leve tem grande potencial de utilização, principalmente em estruturas onde o peso próprio tem grande influência nas cargas, como as pontes de grandes vãos e edifícios de múltiplos pavimentos.

De acordo com o ACI 213R (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2003), o concreto leve deve possuir massa específica em torno de 1120 a 1920 kg/m³ e a resistência à compressão deve ser superior a 17 MPa, porém a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) exige resistência mínima de 20 MPa para concretos estruturais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar as características do concreto com a utilização da argila expandida como agregado graúdo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar os fundamentos teóricos para utilização da argila expandida como agregado no concreto.
- Verificar experimentalmente a resistência mecânica e a absorção de água do concreto leve.
- Avaliar o módulo de elasticidade do concreto com argila expandida.
- Comparar as características do concreto leve e o concreto convencional.

3 JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas, pesquisadores da área da construção civil têm buscado estudar e criar alternativas aos materiais e métodos construtivos convencionais, é o caso do concreto leve utilizando argila expandida como agregado graúdo que é uma opção ao concreto, pois apresenta inúmeras vantagens sem prejudicar as principais características exigidas dos concretos estruturais.

A principal vantagem desse tipo de material é o alívio gerado nas estruturas, principalmente nas fundações, que resulta em redução dos custos e também permite que as construções sejam feitas em solos de menor capacidade de carga. Além disso, quando utilizado como elemento de vedação, em forma de painéis ou blocos de concreto leve, lajes ou paredes estruturais, melhora o conforto termoacústico dos ambientes.

Sua utilização se mostra eficiente também no sistema construtivo pré-fabricado, pois reduz o custo de transporte, possibilita a produção de peças com dimensões maiores e reduz o tempo de montagem fazendo com que a empresa atinja uma produtividade maior.

Nesse contexto, o presente trabalho visa comprovar a funcionalidade e os benefícios da utilização da argila expandida como agregado para a indústria da construção civil, visando dessa forma, o aumento da sua utilização no Brasil.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 CONCRETO

Segundo Mehta e Monteiro (2008) “concreto é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante, dentro do qual estão mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados”.

A função da pasta recém-misturada é envolver os agregados, preenchendo os vazios formados e também gerar possibilidades de manuseio.

No estado endurecido, a pasta aglutina os agregados, gerando um sistema com certa impermeabilidade, resistência aos esforços mecânicos e durabilidade.

No preparo de concretos é necessário ter grande atenção ao fator água/cimento, pois caso este seja menor do que o necessário, o cimento não é totalmente hidratado e se for superior ao ideal, a resistência e a permeabilidade são afetadas, pois se criam vazios e canalículos, quando essa água em excesso é transportada para a superfície e evapora.

Conforme Almeida (2002), apesar de o concreto simples possuir boa resistência à compressão, facilidade de adaptação às formas mais diversas, garantir uma segurança contra fogo e ser um material de baixo custo de construção e manutenção é um material que apresenta desvantagens.

Algumas limitações enfrentadas pelo concreto são o elevado peso próprio, baixa resistência à tração, fissuração e a necessidade de utilização de fôrmas e escoramentos para a sua moldagem.

A baixa resistência à tração pode ser contornada com o uso de adequada armadura, em geral constituída de barras de aço, obtendo-se o concreto armado. Além de resistência à tração, o aço garante ductilidade e aumenta a resistência à compressão, em relação ao concreto simples. (PINHEIRO, 2004)

Diversas adições ou aditivos químicos são estudados para melhorar as propriedades do concreto, como é o caso da sílica ativa, que aumenta a resistência à compressão, os aceleradores de pega, os incorporadores de ar e outros.

4.2 AGREGADOS

Agregados para Construção Civil são materiais granulares, sem forma e volume definidos, como a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além de resíduos reciclados, produtos industriais, entre outros (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2009).

A NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO..., 2009) define: “agregado miúdo como o agregado, cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm. Já o agregado graúdo é definido como o agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.”

Os agregados ocupam de 60 a 80% do volume do concreto e além de sua influência quanto à retração e à resistência, o tamanho, a densidade e a forma dos seus grãos podem definir várias das características desejadas em um concreto.

A utilização de agregados miúdos, como a areia natural de leitos de rios, influencia na trabalhabilidade no estado fresco.

Os agregados graúdos independentes da sua origem são incorporados ao concreto com o objetivo de reduzir os custos sem prejudicar as características desejadas na estrutura.

4.3 AGREGADOS LEVES

Os agregados leves podem ser classificados de acordo com a sua origem em naturais ou artificiais.

Os agregados leves naturais têm pouca aplicação em concretos estruturais, em função da grande variabilidade de suas propriedades e da localização e disponibilidade das jazidas. Como exemplos, tem-se a pedra-pomes e o tufo vulcânico (ROSSIGNOLO, 2009).

Os agregados leves artificiais podem ser produzidos a partir do tratamento térmico de matérias primas naturais como argila, folhelo, vermiculita e ardósia ou de

subprodutos industriais como a cinza volante e a escória de alto forno (MAYCÁ et al., 2008).

Outra forma de caracterizar os agregados leves é de acordo com a sua massa específica e sua possível utilização na construção civil. De acordo com o ACI 213R (AMERICAN..., 2003) são três grupos:

a) Agregados para concretos isolantes: sua utilização resulta em um concreto de massa específica em torno de 300 kg/m³ e 800 kg/m³ e a resistência é desprezível.

b) Agregados para concretos com resistência moderada: os concretos com esses agregados possuem resistência à compressão entre 7 MPa e 17 MPa e portanto não tem função estrutural e as características de isolamento são intermediárias.

c) Agregados para concretos estruturais: Resultam em concretos com maior resistência à compressão e são os únicos que podem ser empregados para fins estruturais.

Na figura 1 é apresentado alguns exemplos de agregados leves e suas possíveis utilizações.

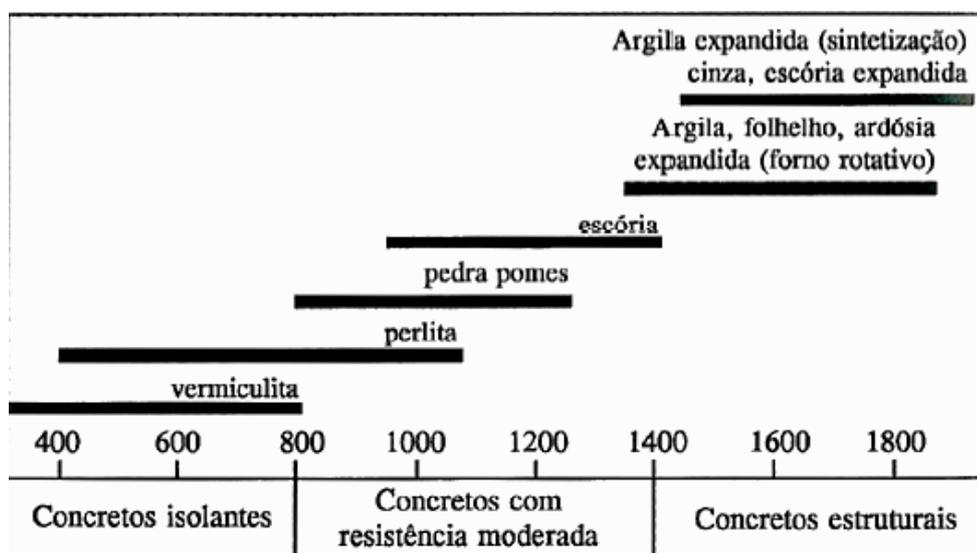


Figura 1 – Classificação dos agregados leves
Fonte: PEREIRA, 2012.

4.4 ARGILA EXPANDIDA

De acordo com Moravia et al. (2006), argila expandida “é o produto obtido por aquecimento de alguns tipos de argila na temperatura em torno de 1200°C.”

Segundo Gomes Neto (1998 apud ROSSIGNOLO, 2009) a expansão das matérias-primas naturais pode ser obtida, basicamente, através de dois processos industriais: sinterização ou forno rotativo. A sinterização consiste num processo onde a matéria-prima é misturada com uma quantidade adequada de combustível, que pode ser coque ou carvão moído, e sofre expansão com o aumento da temperatura devido à formação de gases, porém esse método cria poros abertos, o que faz com que o produto resultante absorva mais água.”

No processo de forno rotativo, a massa de argila se funde formando uma massa viscosa e a outra parte se decompõe liberando gases, derivando um agregado com uma camada de proteção externa e o interior poroso.

A argila expandida (figura 2) é comumente utilizada em indústrias têxteis, jardinagem e paisagismo, isolamento térmico e enchimento leve. Nesses casos o processo produtivo não interfere nas características necessárias, entretanto para a utilização em concretos estruturais, a absorção de água pelo agregado influencia no produto final.

O processo de forno rotativo não pode ser utilizado em qualquer tipo de argila, segundo Maycá et al. (2008) é necessário que haja um teor de fundentes adequado para formar uma camada de proteção externa para que os gases não escapem e assim ocorra o inchamento da partícula de argila.

Os agregados fabricados por esse método costumam apresentar granulometria variada, formato arredondado e interior formado por uma massa esponjosa microcelular.



Figura 2 - Argila Expandida diâmetro máximo de 15 mm.
Fonte: <http://www.cinexpan.com.br>. Acesso em: 15 ago. 2015.

O processo para a produção no método do forno rotativo pode ser dividido em oito etapas, descritas a seguir:

1. Homogeneização: a matéria prima é lançada em um depósito para homogeneização;
2. Desintegração: os torrões de argila são reduzidos a um diâmetro máximo de cinco centímetros;
3. Mistura e nova homogeneização: tem a finalidade de deixar a argila com a trabalhabilidade adequada. É adicionado água e aditivos para melhorar a plasticidade e aumentar a sua expansão;
4. Laminação: a mistura passa por dois cilindros que eliminam os torrões maiores que cinco milímetros;
5. Pelotização: o material é forçado contra uma placa perfurada com orifícios circulares, e são cortados por uma lâmina rotativa;
6. Secagem e queima: considerada a parte mais importante do processo, ocorre no forno rotativo. Na primeira fase, ocorre a secagem das esferas de argila. Na zona de combustão, o forno atinge a temperatura prevista para expansão das esferas, geralmente entre 1000°C e 1350°C.
7. Resfriamento: geralmente é utilizado um cilindro, na saída do forno, no qual é soprado ar por ventiladores. O ar quente é reaproveitado no interior do forno;
8. Classificação e estocagem final: os agregados leves são classificados em peneiras vibratórias e armazenados para comercialização. (ROSSIGNOLO, 2009)

A diferença entre as argilas produzidas pelos dois métodos, de forno rotativo e sinterização, pode ser observada na figura 3.

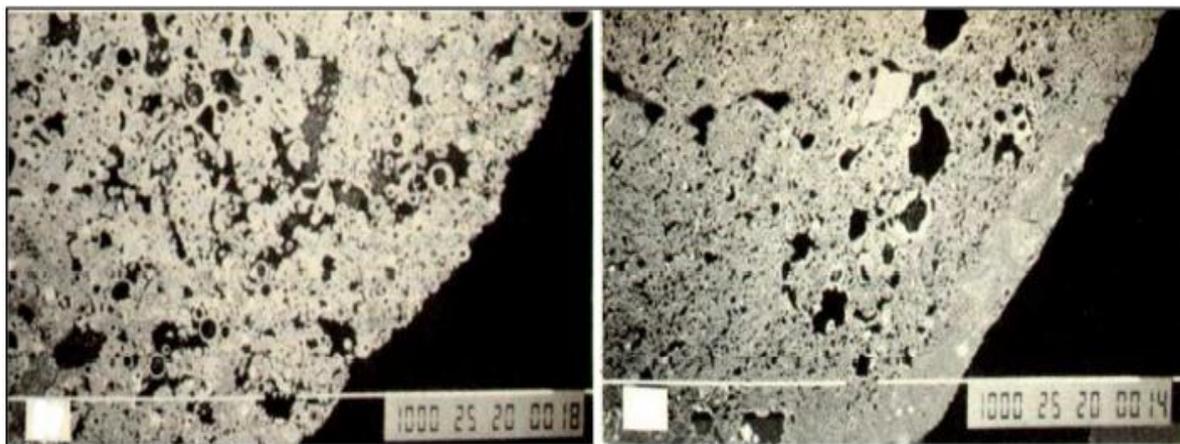


Figura 3 - Micrografia dos agregados produzidos por sinterização e forno rotativo.
Fonte: Rossignolo (2009).

No quadro 1, a seguir apresenta-se a composição química da argila que serve para a produção da argila expandida.

Tabela 1 - Composição química da argila com propriedades expansivas.

Composto	Quantidades (%)
Al_2O_3	16 a 20
SiO_2	50 a 65
Fe_2O_3	5 a 9
CaO	1 a 4
MgO	1,5 a 3,5
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	1,5 a 4,5
SO_3	0 a 1,5
S	0 a 1,5
Perda ao rubro	6 a 8

Fonte: MELO (2000).

4.5 CONCRETO LEVE

A forma mais habitual de se obter concretos leves é introduzindo ar em sua composição, e isso pode ser feito de três maneiras distintas:

- 1) Introduzindo ar especificamente na matriz cimentícia, com gases ou espumas, que reagem criando bolhas de ar e, dessa forma obtêm-se o concreto conhecido como concreto celular ou aerado.
- 2) Produzindo o concreto somente com o aglomerante, água e agregados graúdos, e assim criando-se vazios entre agregados e pasta, esse concreto é conhecido como concreto sem finos, e pode ser utilizado na confecção de painéis divisórios em edifícios de concreto armado, na construção de estruturas de drenagem e também como sub-base de quadras de esportes.
- 3) Utilizando agregados porosos, como é o caso da argila expandida, para a confecção do concreto e são os únicos que atingem resistência suficiente para serem utilizados com fins estruturais.

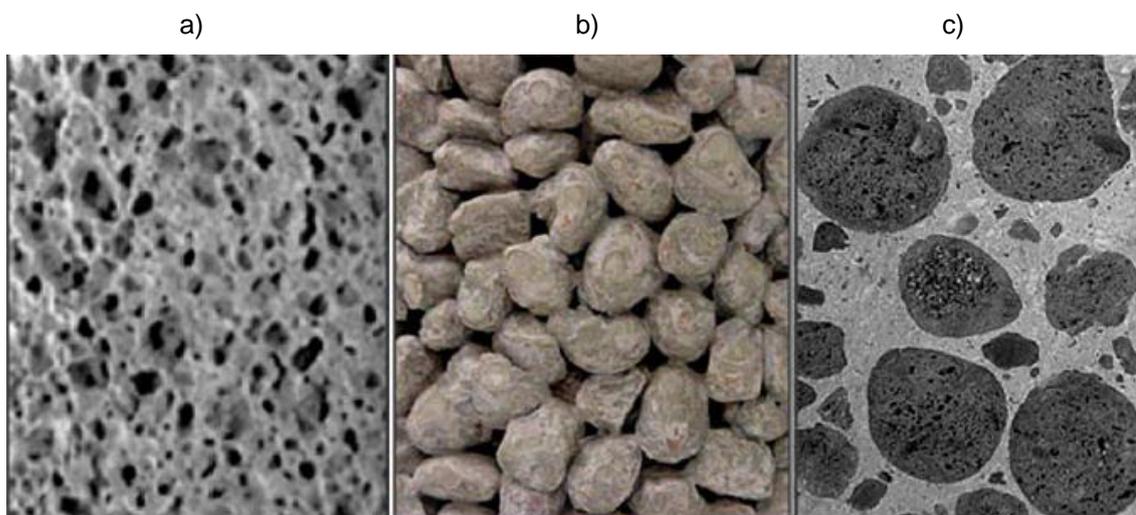


Figura 4 - a) Concreto aerado. b) Concreto sem finos. c) Concreto leve estrutural.
Fonte: Rossignolo (2009).

4.5.1 Panorama histórico

O início da utilização de agregados com baixa massa específica tem aproximadamente 3000 anos, algumas construções dos povos pré-colombianos foram utilizadas pedra-pomes, que são agregados leves naturais, e um tipo de aglomerante à base de cinzas vulcânicas.

Em Roma também existem indícios da utilização de rochas vulcânicas e aglomerantes de cal na construção da cobertura do Panteão de Roma e na construção parcial do Coliseu.

Durante a primeira metade do século XX, em meio a Primeira Guerra Mundial, a utilização de concretos estruturais contendo agregados leves caracterizou-se pela introdução do cimento Portland em sua composição. Nessa época foram construídas, pela American Emergency Fleet Building Corporation, embarcações de concreto leve utilizando xisto expandido, com resistência à compressão de 35 MPa. (HOLM & BREMNER, 1994 apud PEREIRA, 2012)

Um exemplo desses navios é o USS Selma, construído em 1919. Análises da década de 80 nesse navio concluíram que o concreto apresenta desempenho satisfatório de durabilidade.

De acordo com Rossignolo (2009), o edifício de escritórios da Southwestern Bell Telephone Company (figura 5), foi ampliado em 1929 utilizando concreto leve. O edifício já possuía 14 pavimentos de concreto convencional e havia sido projetado para receber mais oito pavimentos. No entanto, verificou-se que se fosse utilizado concreto leve na nova estrutura, poderiam ser executados 14 pavimentos adicionais. A resistência à compressão atingida nesse caso foi de 25 MPa em 28 dias.



Figura 5 - Southwestern Bell Telephone Company.
Fonte: Rossignolo (2009).

Em 1929 também ocorreu a primeira construção total com concreto leve, o hotel Chase-Park Plaza, de 28 pavimentos na cidade de St. Louis nos Estados Unidos.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a construção da pista superior da ponte na baía de San Francisco-Oakland com agregados leves gerou uma economia de três milhões de dólares em aço.

Na década de 1950, outros edifícios de múltiplos pavimentos foram executados com concreto leve, tais como Australia Square Tower (Austrália) em 1967, Park Regis (Austrália) em 1968, Standart Bank (África do Sul) em 1970 e o BMW Building (Alemanha) em 1972. Foi também, a partir dos anos 1950 que se iniciou a aplicação dos concretos leves em construções pré-fabricadas, uma das mais vantajosas aplicações desse tipo de concreto. (ANGELIN, 2014)



Figura 6 - Australia Square Tower

Fonte: efsydneyjournalism.wordpress.com/2011/12/01. Acesso em: 05 set. 2015.

Maycá et al. (2008) destacam que na Noruega, os tabuleiros de duas pontes foram construídos utilizando concreto leve. Em 1997 foi executada a ponte Stovset (figura 6) e em 1999 a ponte Nordhorland (figura 7). Devido ao material utilizado foi possível aumentar vãos entre pilares e reduzir a seção dos elementos estruturais.

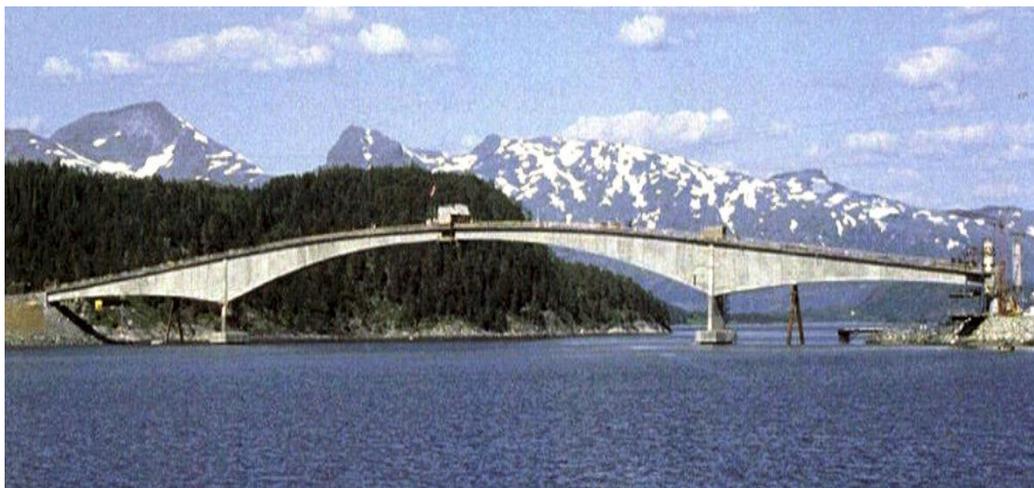


Figura 7 - Ponte Støvset, Noruega.
Fonte: Maycá et al. (2008).



Figura 8 - Ponte Nordhorland, Noruega.
Disponível em: www.panoramio.com/photo/9917726. Acesso em: 06 set. 2015.

Silva (2007) aponta que na Inglaterra foram utilizadas vigas pré-moldadas de concreto leve, na construção do estádio de futebol St' James Park na cidade de New Castle. As vigas de cobertura possuem 31,5m de comprimento e conseguiu-se assim, uma redução de 22% do peso da estrutura e uma economia no custo global.



Figura 9 - Estádio de New Castle.
Disponível em: sport.rbc.ru/arena/22/. Acesso em: 06 set. 2015.

Rossignolo (2009) afirma que no Brasil também existem construções onde foram utilizados concretos leves de argila expandida. Como exemplos, a Fábrica da Rhodia em Santo André – SP, Fábrica da Mangels em São Bernardo – SP, Escola na Vila Sônia, em São Paulo – SP, Ginásio do Clube Atlético Santista (figura 10) e o tabuleiro do Elevado Paulo de Frontin no Rio de Janeiro, além de obras na construção da cidade de Brasília.

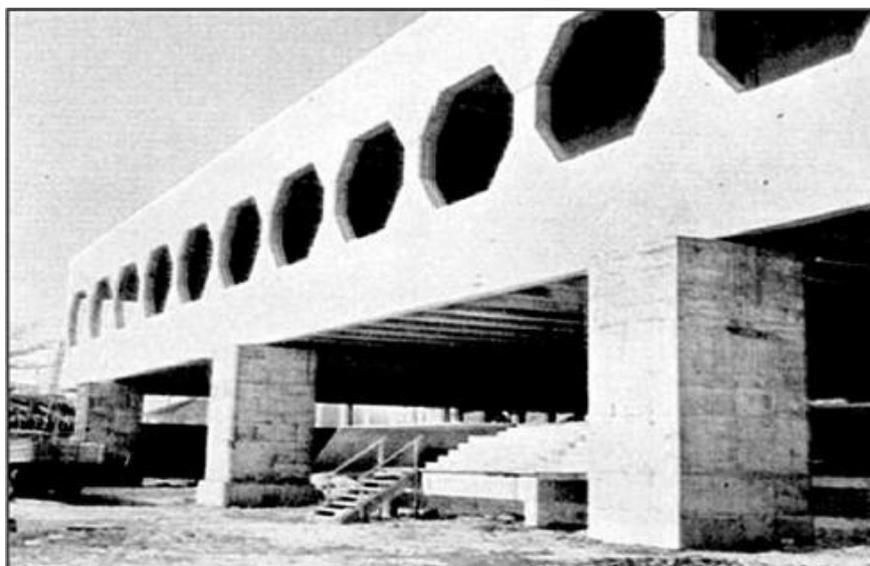


Figura 10 - Ginásio do Clube Atlético Santista.
Fonte: Rossignolo (2009).

4.5.2 Propriedades do Concreto Leve

4.5.2.1 Resistência mecânica e massa específica

As principais características para a produção de um concreto estrutural são a resistência mecânica e a massa específica, a relação entre essas duas propriedades é conhecida como fator de eficiência.

$$FE = \frac{Re}{\gamma} \quad (1)$$

Onde:

FE= Fator de Eficiência (MPa.dm³/kg)

Re= Resistência à compressão (MPa)

γ = massa específica (kg/dm³)

De acordo com Rossignolo (2009), os pesquisadores Zhang e GjØrv produziram um concreto leve com 102 MPa de resistência à compressão e massa específica de 1735 kg/m³. O que representa um fator de eficiência de 58,7 MPa.dm³/kg, e consumo de cimento de 550 kg/m³ correspondente a um concreto com resistência igual a 140 MPa. No Brasil, Gomes Neto (1998) atingiu 73 MPa com um concreto de argila expandida e a massa específica ficou em torno de 1720 kg/m³.

Os concretos leves estabilizam a resistência à compressão mais rapidamente do que os concretos convencionais, e apresentam menor elevação após os 28 dias de idade.

O módulo de deformação do agregado basáltico é muito superior ao da argamassa, e isso faz com que a ruptura ocorra na zona de transição, causando a separação das fases e resultando numa linha de fratura ao redor do agregado. Nos concretos com agregados leves, a resistência da argamassa é mais aproveitada em função da similaridade dos módulos de deformação dos agregados e argamassa. Geralmente a ruptura tem origem em fissuras no agregado, assemelhando-se aos concretos convencionais de alta resistência (ROSSIGNOLO, 2009).

Outro fator importante dos concretos com agregados leves é a redução da massa específica, segundo o ACI 213R (AMERICAN..., 2003), estudos realizados nos Estados Unidos comprovaram que a economia de custos em estruturas pré-moldadas, pode ser superior a sete vezes o custo adicional do material. Essa diferença de custos surge na facilidade do transporte e produção de um concreto mais leve.

Os concretos são classificados de acordo com a sua massa específica seguindo o quadro 2:

Tabela 2 - Classificação dos concretos segundo o peso específico.

Concreto com Agregados Leves	$\gamma < 2000 \text{ kg/m}^3$
Concreto com Agregados Normais	$2000 \text{ kg/m}^3 < \gamma < 3000 \text{ kg/m}^3$
Concreto com Agregados Pesados	$\gamma > 3000 \text{ kg/m}^3$

Fonte: Adaptado de PEREIRA (2012).

4.5.2.2 Microestrutura

O estudo da zona de transição pasta-agregado é um fator importante dos concretos, pois essa característica influencia fortemente as propriedades relacionadas à resistência mecânica, o módulo de deformação, o mecanismo de propagação de fissuras e a permeabilidade de agentes agressivos nos concretos (ANGELIN, 2014).

Conforme Rossignolo (2009) as características microestruturais podem ser entendidas seguindo a sequência de seu desenvolvimento a partir do momento do lançamento do concreto.

- a) Inicialmente, no concreto fresco, filmes de água envolvem os agregados pelo “efeito parede”, originando uma relação água/cimento superior na região próxima ao agregado, em comparação àquela existente na pasta de cimento;
- b) Em seguida, íons produzidos pela dissolução de vários componentes do cimento se combinam para formar, principalmente, etringita, hidróxido de cálcio e silicato de cálcio hidratado;
- c) Nas primeiras idades, o volume e o tamanho dos vazios na zona de transição são maiores do que na matriz. O tamanho e a concentração de compostos cristalinos, também são maiores. As fissuras são formadas facilmente na direção perpendicular. Esses efeitos contribuem para uma menor resistência nessa zona de transição. (ROSSIGNOLO, 2009)

4.5.2.3 Conforto térmico

O conforto térmico vem sendo analisado internacionalmente há mais de 150 anos, primeiramente em minas de carvão na Inglaterra. Outras áreas, de diferentes aplicações, que também foram investigadas, foram: rendimento nos trabalhos físicos e intelectuais, sobrevivência humana em condições de exposição curta ou prolongada a climas agressivos, obtenção de parâmetros para projeto e desempenho de sistemas de ventilação e climatização natural ou artificial de ambientes. A partir das últimas décadas do século XX, a preocupação para a análise do conforto térmico vem aumentando com frequência (SACHT, 2008).

A condutividade térmica é a propriedade do material que determina o fluxo de calor por condução que passa na unidade de tempo, através de uma espessura unitária e de uma unidade de área do material, através de um gradiente de temperatura. Utilizando-se do valor deste parâmetro é possível estimar o fluxo de calor através de uma parede e determinar a necessidade de intervenções para garantir um conforto térmico no ambiente (ANGELIN, 2014).

O conforto térmico é um fator a ser considerado na escolha dos materiais e em inúmeras disposições de projeto para garantir que a edificação possua o maior nível de habitabilidade sem a necessidade de utilização de equipamentos que aumentam o consumo de energia.

Devido ao fato da argila expandida possuir ar aprisionado em seu interior, a sua utilização, como agregado, reduz a absorção de calor em relação aos agregados convencionais.

O principal meio de troca de calor entre o interior e o exterior de uma edificação é sua vedação, portanto deve-se ter uma atenção especial à esse componente. A utilização de painéis ou blocos de concreto leve para a vedação externa é uma alternativa aos sistemas construtivos comuns de alvenaria e concreto.

Na figura 11, mostra-se o aumento da condutividade térmica de acordo com o aumento de massa específica, ou seja, os valores da condutividade térmica são influenciados pelo valor da massa específica do concreto, especificamente pelo teor de argila expandida (SACHT, 2008).

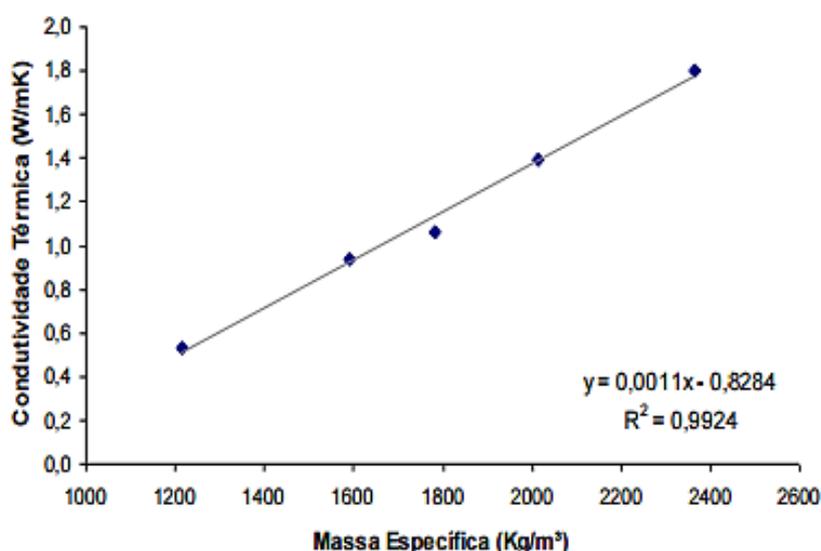


Figura 11 - Condutividade térmica em função da massa específica.
 Fonte: SACHT et al. (2010).

4.5.3 Produção e Dosagem

A dosagem do concreto leve é determinada pela combinação mais econômica dos constituintes que incluem principalmente cimento Portland, agregados e água, de forma que as propriedades desejadas sejam atingidas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Conforme Rossignolo (2009), para a dosagem do concreto leve pode-se utilizar os mesmos métodos utilizados para concretos de agregados de peso normal, porém são necessárias adaptações devido a algumas características descritas a seguir.

Há a necessidade de projetar-se um concreto com massa específica particular, pois durante sua produção é observado a flutuação do agregado durante a vibração, o inverso do que ocorre com o concreto convencional, onde existe concentração de argamassa na superfície.

A absorção de água dos agregados leves leva a uma alteração no fator água/cimento e afeta as características de trabalhabilidade e a resistência final.

O agregado leve é o responsável pela resistência do concreto, visto que a resistência da argamassa e da zona de transição é superior, portanto quanto maiores forem as dimensões do agregado, menor é sua resistência.

O ACI 213R (AMERICAN..., 2003) apresenta dois métodos de dosagem, o método das massas, utilizado para concretos com agregados miúdos convencionais e agregados graúdos leves, e o segundo conhecido como método dos volumes, indicado para concretos com agregados miúdos e graúdos leves.

Recomenda-se que, para a fabricação dos concretos com agregados leves, o consumo de cimento seja acima de 300 kg/m^3 para assegurar trabalhabilidade, proteção à armadura e de ancoragem da armadura.

Para a utilização de aditivos e adições minerais, deve-se introduzir o aditivo após a mistura de todos componentes, para minimizar o efeito causado pela absorção de água do agregado leve, o que reduz a eficiência do aditivo (ANGELIN, 2012).

Os concretos leves apresentam menor abatimento de tronco de cone, procedimento utilizado para mensurar a trabalhabilidade, em relação aos concretos convencionais devido à deformação em função da gravidade ser menor nos agregados, com isso deve-se utilizar também a metodologia do espalhamento do tronco de cone.

Em relação ao controle de segregação dos agregados nas estruturas, os vibradores por imersão devem possuir raio de ação adotado como a metade dos valores utilizados para concretos usuais, e a frequência de vibração também deve ser reduzida. Os efeitos da variação de frequência podem ser observados na figura 12.

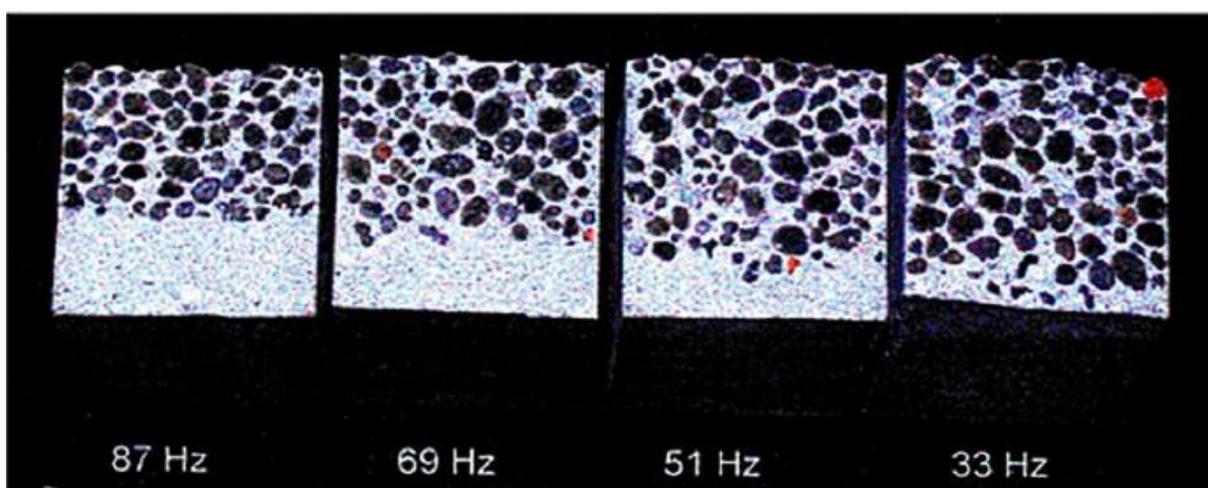


Figura 12 - Efeito da frequência de vibração durante o adensamento.
Fonte: Vieira (2000, apud ROSSIGNOLO, 2009)

A cura do concreto leve é semelhante aos concretos convencionais e tem a função de evitar a retração e o conseqüente aparecimento de fissuras. Pode ser feita de duas formas: cura úmida ou cura térmica.

A cura úmida é feita por meio de aplicação direta de água sobre a superfície do concreto.

A cura térmica deve ser realizada em câmaras e acelera o ganho de resistência pelo aquecimento e controle da umidade. É considerada a cura mais eficiente e é muito utilizada em empresas que fabricam elementos pré-moldados.

A cura do concreto leve é melhorada, pois existe a absorção de água por parte do agregado, o que leva o concreto a uma cura interna.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de comprovar algumas das propriedades do concreto leve já citadas, foram realizados ensaios nos laboratórios de engenharia civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão.

Para a produção dos corpos de prova empregou-se o cimento CP II-Z 32, para o agregado miúdo utilizou-se areia natural e para agregados graúdos utilizou-se brita e argila expandida, materiais encontrados na cidade de Campo Mourão.

Foram confeccionados 12 corpos de prova para ensaios de compressão e determinação do módulo de elasticidade, além de 12 corpos de prova para os ensaios de massa específica e absorção de água. De tal forma que metade de cada uma dessas quantidades foi produzida com a argila expandida e a outra metade com pedra britada, como referência para comparação dos resultados.

Para a utilização da argila expandida como agregado, não realizou-se imersão dos agregados em água, seguindo os mesmos procedimentos adotados usualmente para os concretos com brita.

O traço adotado para a realização dos ensaios foi uma matriz de cimento e areia na proporção 1:3 em massa, o fator água/cimento utilizado foi de 0,6 para manter a trabalhabilidade e foi utilizado 30% em massa de argila expandida, tendo como referência os estudos realizados por Maycá et al.(2008).

Os processos de moldagem e cura dos corpos de prova seguiram a norma NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO..., 2003).

Na figura 13 observa-se os corpos de prova moldados com argila expandida para a realização dos ensaios.



Figura 13 – Corpos de prova.
Fonte: Própria do Autor.

Após 24 horas da moldagem dos corpos de prova, os mesmos foram desenformados e encaminhados à cura úmida até a data de realização dos ensaios, 28 dias depois. Na figura 14 ilustra-se o processo de cura.



Figura 14 – Corpos de prova em cura.
Fonte: Própria do Autor.

Na figura 15 é possível visualizar a distribuição da argila expandida nos corpos de prova, percebe-se a uniformidade da distribuição e que não houve concentração

de agregados na superfície superior, problema comum após adensamento em concreto com agregados leves.

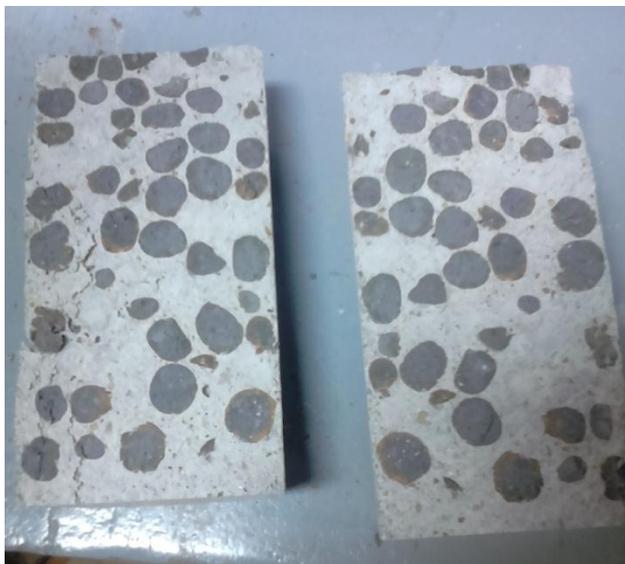


Figura 15 - Distribuição dos agregados no concreto leve
Fonte: Própria do Autor.

Após a cura, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de compressão, módulo de elasticidade, absorção de água e massa específica descritos a seguir.

5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os ensaios de compressão foram realizados seguindo a norma NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO..., 2007).

Para a realização do ensaio, utilizou-se a máquina universal de ensaios do laboratório da UTFPR - Campus Campo Mourão.

Na figura 16 observa-se o corpo de prova durante a realização do ensaio de compressão, antes da ruptura do mesmo.



Figura 16 – Corpo de prova durante o ensaio de compressão
Fonte: Própria do Autor.

Na imagem 17 apresenta-se o corpo de prova após o ensaio de compressão, é possível verificar a fissuração apresentada após a ruptura por compressão.



Figura 17 – Corpo de prova após o ensaio de compressão
Fonte: Própria do Autor.

5.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE

O ensaio para a obtenção do módulo de elasticidade foi realizado segundo as prescrições da NBR 8522 (ASSOCIAÇÃO..., 2008).

O ensaio consiste em três ciclos de carregamento até 30% da capacidade de carga total estimada do corpo de prova, mantido o carregamento por 60 segundos, após esse tempo, é descarregado até 0,5 MPa e mantido por mais 60 segundos.

Na imagem 18 apresenta-se o corpo de prova instrumentado com o extensômetro para a realização do ensaio de módulo de elasticidade.



Figura 18 - Ensaio de Módulo de Elasticidade
Fonte: Própria do Autor.

5.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA E MASSA ESPECÍFICA

Os ensaios de absorção de água e determinação da massa específica do concreto seguiram a norma NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO..., 2005).

O ensaio consiste em três pesagens dos corpos de prova. A primeira pesagem é realizada com o corpo de prova saturado, logo após a retirada da cura, a segunda

pesagem é realizada com o corpo de prova imerso em água (figura 19) e a terceira é realizada após o corpo de prova ser mantido em estufa por um período de 72 horas.



Figura 19 - Pesagem com o corpo de prova imerso
Fonte: Própria do autor.

Após a realização das três pesagens, para o cálculo da absorção de água, utilizou-se a fórmula:

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

Onde:

A= absorção de água;

m_{sat} = massa da amostra saturada;

m_s = massa da amostra seca em estufa.

Para a determinação da massa específica, são necessários os mesmos procedimentos de ensaio, porém para o cálculo utilizou-se à fórmula:

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (3)$$

Onde:

ρ_s = massa específica seca;

m_s = massa da amostra seca;

m_{sat} = massa da amostra saturada;

m_i = massa da amostra imersa em água.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Na tabela 3 apresenta-se os resultados do ensaio de compressão para corpos de prova utilizando a argila expandida como agregado.

Tabela 3 - Resistência à compressão do concreto leve

Corpo de prova	Resistência à compressão (MPa)
CP 1L	14,22
CP 2L	13,01
CP 3L	14,18
CP 4L	15,72
CP 5L	13,29
CP 6L	12,61
Média	13,84
Coeficiente de Variação	8,11%

Fonte: Própria do Autor.

Na tabela 4 apresenta-se os resultados do ensaio de compressão para corpos de prova utilizando brita convencional como agregado.

Tabela 4 - Resistência à compressão do concreto convencional

Corpo de prova	Resistência à compressão (MPa)
CP 1C	17,96
CP 2C	18,44
CP 3C	16,35
CP 4C	17,39
CP 5C	19,67
CP 6C	18,25
Média	18,01
Coeficiente de Variação	6,15%

Fonte: Própria do Autor.

No gráfico 1 ilustra-se a diferença na resistência obtida entre os dois concretos.

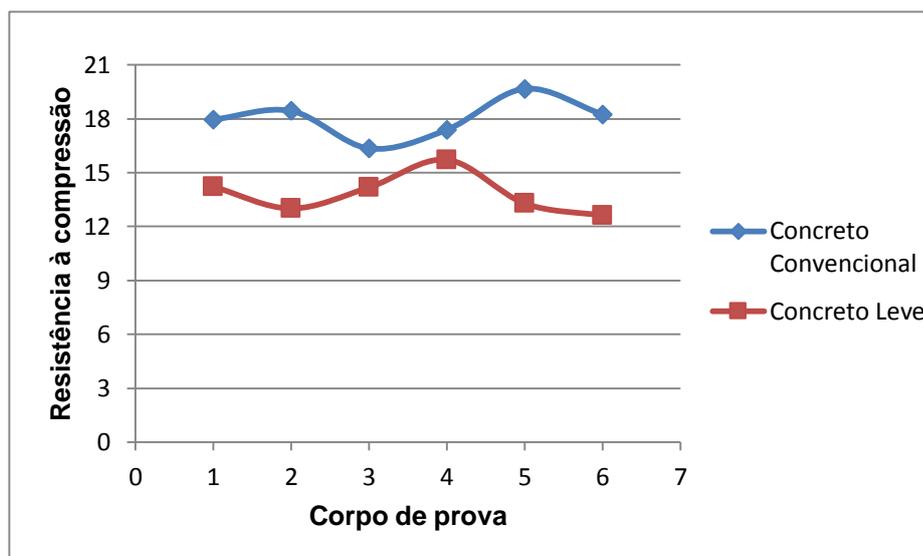


Gráfico 1 - Resistência à compressão.
Fonte: Própria do Autor.

A resistência à compressão do concreto convencional apresentou-se 23% superior à resistência do concreto leve.

O concreto convencional apresentou resistência inferior aos 20 MPa definido como mínimo para utilização estrutural pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2014), devido ao traço escolhido.

Os valores obtidos de resistência para o concreto leve são inferiores aos 17 MPa recomendados pelo ACI 213R (AMERICAN..., 2003), a baixa resistência e a granulometria da argila expandida encontrada na cidade de Campo Mourão são possíveis fatores para essa baixa resistência do concreto leve.

Pereira (2012), obteve resistência à compressão média de 17,8 MPa e Angelin (2014), obteve resistência à compressão na ordem de 28 MPa, utilizando traços com argila expandida de diâmetro reduzido e com adição de sílica ativa.

6.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Nas tabelas 5 e 6 visualiza-se os módulos de elasticidade do concreto leve e do concreto convencional respectivamente.

Tabela 5 - Módulo de elasticidade do concreto leve

Corpo de prova	Módulo de elasticidade (GPa)
CP 1L	14,30
CP 2L	14,60
CP 3L	13,70
CP 4L	15,40
CP 5L	16,30
CP 6L	14,20
Média	14,75
Coefficiente de Variação	6,40%

Fonte: Própria do Autor.

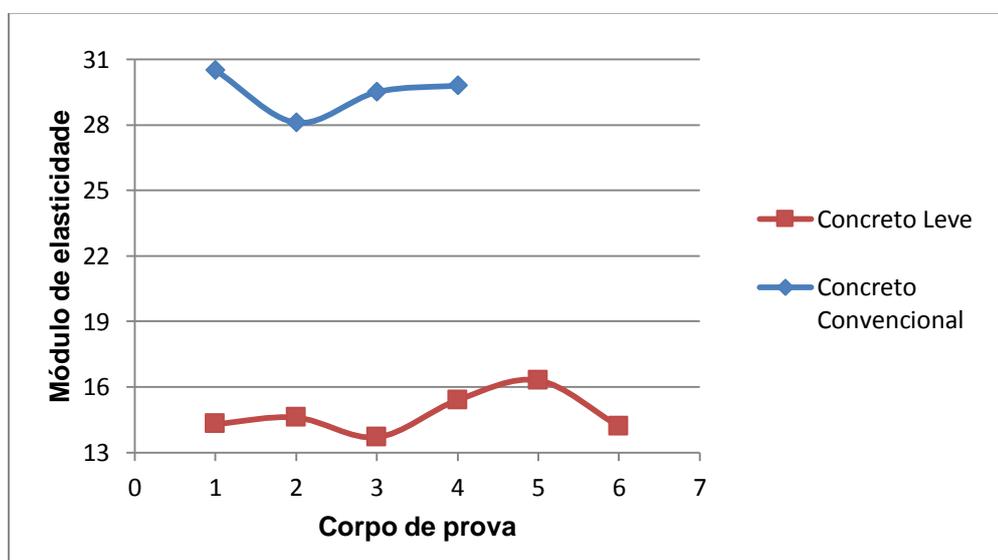
Tabela 6 - Módulo de elasticidade do concreto convencional

Corpo de prova	Módulo de elasticidade (GPa)
CP 1C	30,50
CP 2C	28,10
CP 3C	29,50
CP 4C	29,80
CP 5C	*
CP 6C	*
Média	29,48
Coefficiente de Variação	3,42%

Fonte: Própria do Autor.

Os resultados de módulo de elasticidade obtidos dos corpos de prova CP 5C e CP 6C foram excluídos, pois apresentaram erros durante o ensaio.

No gráfico 2 visualiza-se a comparação entre os módulos de elasticidade dos concretos utilizados no presente trabalho.

**Gráfico 2 - Módulo de elasticidade.**

Fonte: Própria do Autor.

O concreto convencional apresentou aumento de quase 50% no módulo de elasticidade, ou seja, o concreto leve possui metade da rigidez e portanto maior capacidade de se deformar quando submetido às mesmas tensões do concreto convencional.

O módulo de elasticidade determinado por Angelin (2014) foi de 25 GPa para o concreto com agregados leves e segundo Rossignolo (2009), os valores de módulo de elasticidade do concreto leve variam de 50% a 80% do valor para concretos normais.

6.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA E MASSA ESPECÍFICA

Na tabela 7 observa-se os resultados dos ensaios de massa específica e de absorção de água dos corpos de prova de concreto leve.

Tabela 7 - Massa específica e absorção de água do concreto leve.

Corpo de prova	Massa específica (kg/m ³)	Absorção de água (%)
CP 7L	1404,30	9,74%
CP 8L	1472,35	9,54%
CP 9L	1421,19	10,03%
CP 10L	1483,66	9,74%
CP 11L	1412,73	9,29%
CP 12L	1422,31	9,24%
Média	1436,09	9,60%
Coeficiente de Variação	2,32%	3,14%

Fonte: Própria do Autor.

Na tabela 8 observa-se os resultados dos ensaios de massa específica e de absorção de água dos corpos de prova de referência.

Tabela 8 - Massa específica e absorção de água do concreto convencional.

Corpo de prova	Massa específica (kg/m ³)	Absorção de água (%)
CP 7C	2380,39	5,79%
CP 8C	2394,84	5,72%
CP 9C	2384,97	5,78%
CP 10C	2442,23	5,22%
CP 11C	2430,17	5,45%
CP 12C	2396,03	5,56%
Média	2404,77	5,59%
Coeficiente de Variação	1,05%	4,00%

Fonte: Própria do Autor.

No gráfico 3 apresenta-se os resultados de absorção de água para os corpos de prova de concreto convencional e concreto leve.

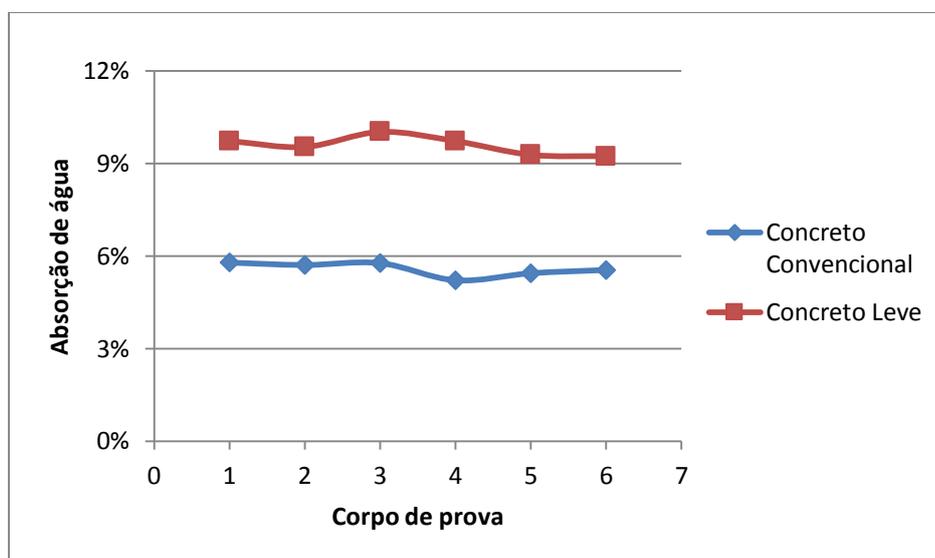


Gráfico 3 - Absorção de água.
Fonte: Própria do Autor.

O concreto leve apresenta-se mais suscetível a absorver água devido a porosidade do agregado.

Essa absorção de água pode influenciar a durabilidade do concreto, e nas estruturas de concreto armado pode acelerar o processo de corrosão da armadura, porém esse fator somente será um limitante da utilização do concreto leve nos casos de estruturas aparentes pois revestimentos podem ser aplicados no intuito de proteger o concreto das condições ambientais nocivas.

A absorção de água determinada por Angelin (2014), foi de 9,15% e a absorção de água apresentada por Pereira (2012) foi da ordem de 9,4%, sendo possível notar uma variação pequena do valor de absorção independente do traço utilizado.

No gráfico 4 representa-se as massas específicas, sendo perceptível a diferença entre os concretos.

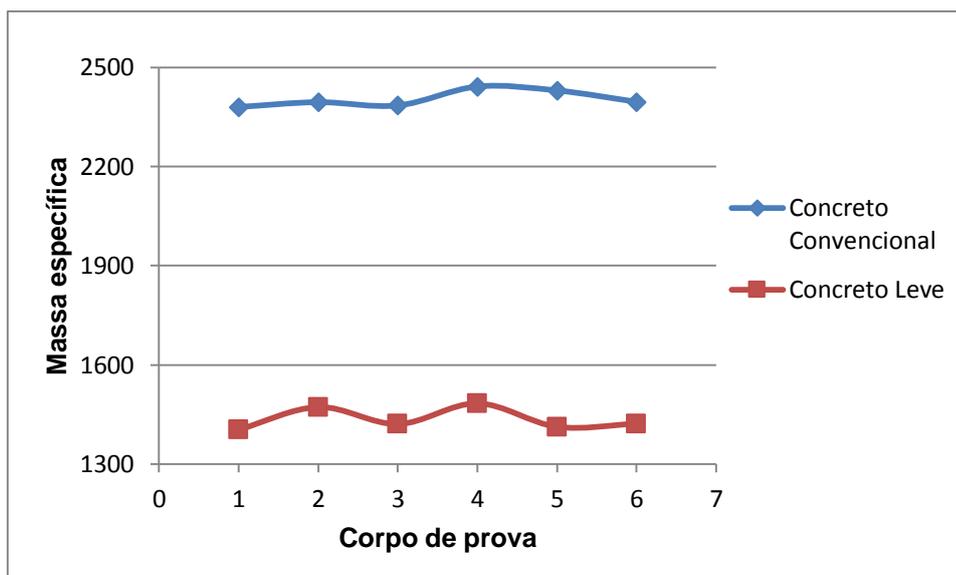


Gráfico 4 - Massa específica.
Fonte: Própria do Autor.

O concreto leve possui massa específica 40% menor do que o concreto convencional, sendo a argila expandida responsável por essa redução.

A redução de massa específica é a principal característica para que o concreto com agregado de argila expandida seja um material viável para utilização em construções. Além de reduzir as solicitações por peso próprio, a baixa massa específica facilita a produção, o transporte e o lançamento do concreto, diminuindo o esforço realizado por máquinas e operários. Essa redução de esforço leva à uma maior produtividade no canteiro de obras.

A massa específica obtida por Angelin (2014) é de 1687 kg/m³, e a massa específica do concreto produzido por Pereira (2012) foi de 1642 kg/m³.

6.4 FATOR DE EFICIÊNCIA

Os fatores de eficiência, que relacionam a resistência à compressão e a massa específica dos concretos, são apresentados nas tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Fator de eficiência do concreto leve

Corpo de prova	Fator de eficiência (MPa.dm ³ /kg)
CP 1L	10,13
CP 2L	8,84
CP 3L	9,98
CP 4L	10,60
CP 5L	9,41
CP 6L	8,87
Média	9,64
Coeficiente de Variação	7,43%

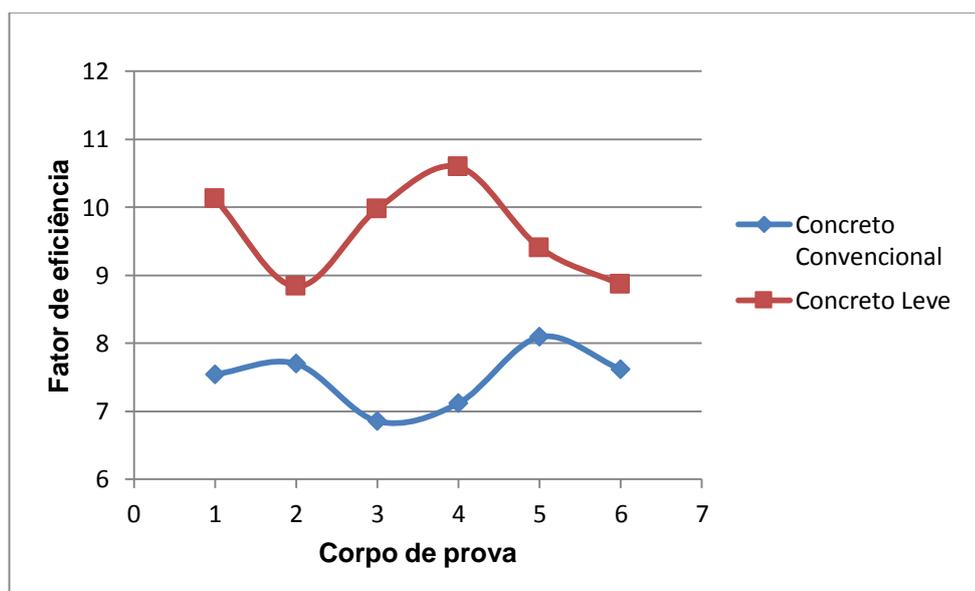
Fonte: Própria do Autor.

Tabela 10 - Fator de eficiência do concreto convencional

Corpo de prova	Fator de eficiência (MPa.dm ³ /kg)
CP 1C	7,54
CP 2C	7,70
CP 3C	6,86
CP 4C	7,12
CP 5C	8,09
CP 6C	7,62
Média	7,49
Coeficiente de Variação	5,84%

Fonte: Própria do Autor.

No gráfico 5 apresenta-se a diferença entre os fatores de eficiência do concreto leve e do concreto convencional.

**Gráfico 5 - Fator de eficiência**

Fonte: Própria do Autor.

Como pode-se perceber o concreto leve, apesar de possuir uma resistência mecânica menor do que o concreto convencional, possui um fator de eficiência maior pois apresenta significativa redução da massa específica.

O concreto leve apresentou um fator de eficiência 22% maior do que o concreto convencional, podendo dessa forma apresentar melhor desempenho nas estruturas e gerar redução de custos de forma global nas construções.

O fator de eficiência do concreto produzido por Angelin (2014) foi de 16,6 MPa.dm³/kg e o do concreto produzido por Pereira (2012) foi de 10,8 MPa.dm³/kg.

7 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o concreto leve apresenta uma resistência à compressão menor do que o concreto convencional devido à porosidade do agregado e menor interação entre pasta de cimento e agregado. Para melhorar essa característica algumas alternativas propostas são: redução do agregado graúdo, redução do fator água/cimento ou utilização de aditivos com essa finalidade.

A absorção de água apresentada pelo concreto leve apesar de superior a absorção do concreto comum, ainda possui valores reduzidos, aproximando-se de 10%.

O módulo de elasticidade do concreto com argila expandida é baixo quando comparado com outros materiais utilizados na construção, como por exemplo, o concreto convencional e o aço, essa característica o torna um material menos rígido e portanto mais deformável, podendo surgir problemas de deslocamentos excessivos e fissurações nas estruturas.

Apesar de possuir uma resistência inferior, o concreto leve ainda é um material vantajoso para a utilização na construção civil, já que a redução apresentada em sua massa específica é uma característica desejada para as estruturas de concreto armado, pois reduz os esforços solicitantes gerados pelo peso próprio e consequentemente diminui os custos das construções de forma global.

A análise do fator de eficiência apresenta um resultado mais expressivo do que a comparação apenas da resistência à compressão, portanto o concreto leve apresenta vantagem na utilização como material estrutural além de um potencial para utilização em elementos de vedação e isolamento térmico e acústico.

Futuras análises do comportamento do material em estruturas reais aliadas a ajustes do traço e da granulometria podem ajudar a difundir a utilização do concreto leve estrutural como material na construção civil.

8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Luiz Carlos de. **Fundamentos do concreto armado**. 2002.

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

ANGELIN, Andressa F. Concreto leve estrutural - **Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais**. 126f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos de concreto**. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão para corpos de prova cilíndricos**. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para Concreto - Especificação**. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217 - Determinação da Composição Granulométrica**. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522 – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**. 2008.

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

DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO MINERAL. **Agregados para a Construção Civil**. DNPM, 2009.

MAYCÁ, Jeferson; CREMONINI, Ruy A.; RECENA, Fernando A. P. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA ARGILA EXPANDIDA NACIONAL COMO ALTERNATIVA DE AGREGADO GRÁUDO PARA CONCRETOS LEVES ESTRUTURAIS (CLE)**. 2008.

MEHTA, Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, IBRACON, 2008.

MELO, António C. F. de. **Caracterização de betões leves vibrocomprimidos com agregados de argila expandida**. Porto, 2000.

MORAVIA, Wagner G. et al. **Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve**. Cerâmica. Belo Horizonte, v.52, p193-199, 2006.

PEREIRA, Murilo G. F. **Potencial de utilização de agregados leves na produção de concretos estruturais**. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

PINHEIRO, Libânio M. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS**. São Carlos.

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

SACHT, H.M.; ROSSIGNOLO, J.A.; SANTOS, W.N. **Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida**. *Matéria (Rio J.)* [online]. 2010, vol.15, n.1, pp. 31-39. ISSN 1517-7076.

SILVA, Bruno M. M. **Betão leve estrutural com agregados de argila expandida**. 180f. Dissertação (Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.

<<http://efsydneyjournalism.wordpress.com/2011/12/01/walking-around-sydney-cbd/>>. Acesso em: 08 set. 2015.

<<http://www.panoramio.com/photo/9917726>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

<<http://sport.rbc.ru/arena/22/>>. Acesso em: 12 set. 2015.