



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MURILLO DO PRADO PONTES

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO DE MATERIAIS
ENTRE UMA ESTRUTURA EM CONCRETO
CONVENCIONAL E CONCRETO LEVE NA CIDADE DE
PALMAS/TO**

Palmas/TO
2021

MURILLO DO PRADO PONTES

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO DE MATERIAIS
ENTRE UMA ESTRUTURA EM CONCRETO
CONVENCIONAL E CONCRETO LEVE NA CIDADE DE
PALMAS/TO**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de bacharel e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientadora: Dra Orieta Soto Izquierdo

Palmas/TO
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

PS14a Pontes, Munillo do Prado.

Análise comparativa de custos de materiais entre uma estrutura em concreto convencional e concreto leve na cidade de Palmas/TO. / Munillo do Prado Pontes. – Palmas, TO, 2021.

56 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Ambiental, 2021.

Orientador: Onieta Soto Izquierdo

1. Concreto leve. 2. Concreto leve estrutural .3. EPS.4. Poliestireno expandido. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Murillo do Prado Pontes

ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO DE MATERIAIS ENTRE UMA
ESTRUTURA EM CONCRETO CONVENCIONAL E CONCRETO LEVE
NA CIDADE DE PALMAS/TO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Tocantins, como requisito parcial para obtenção de título de bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em: 16 de novembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Orieta Soto Izquierdo
Matrícula: 2226645
Eng. Civil / UFT

Orientadora: Prof. Dr^a. Orieta Soto Izquierdo



Prof. Me. Rafael Alves Amorim



Eng. Rafael Azevedo Lino

Pontes, Murillo do Prado. **Análise comparativa de custo de materiais de estrutura em concreto convencional e concreto leve: estudo de caso na cidade de Palmas.** P. 55. Monografia de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2021.

RESUMO

O concreto é um material amplamente utilizado em estruturas na construção civil, portanto é evidente a necessidade de buscar materiais que o compõem cada vez mais eficientes, com o intuito de melhorar os processos construtivos e reduzir custos. O uso do EPS (Poliestireno Expandido) na produção do concreto, substituindo parcialmente o agregado graúdo, reduz a massa específica do concreto, apresentando benefícios como a redução do peso próprio da estrutura, podendo assim gerar impactos no consumo de alguns materiais como o aço e reduzir os esforços atuantes nas fundações. O objetivo deste trabalho é verificar os impactos do uso do concreto leve em comparação ao concreto convencional na construção de um sobrado de 110m² de área construída, realizando uma análise comparativa dos custos de materiais envolvidos na execução da estrutura da edificação em questão com o auxílio da tabela de insumos SINAPI. Mediante o estudo realizado, foi possível observar uma significativa diferença no peso próprio da estrutura em comparação ao concreto convencional (aproximadamente 35%), que resultou na redução do consumo de aço da superestrutura e no volume de concreto utilizado nas fundações.

Palavras chave: concreto leve, concreto leve estrutural, EPS, poliestireno expandido.

Pontes, Murillo do Prado. **Análise comparativa de custo de materiais de estrutura em concreto convencional e concreto leve: estudo de caso na cidade de Palmas.** P. 55. Monografia de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2021.

ABSTRACT

Concrete is a material widely used in structures in civil construction, therefore, the need to seek materials that make up more and more efficient is evident, in order to improve construction processes and reduce costs. The use of EPS (Expanded Polystyrene) in the production of concrete, partially replacing the coarse aggregate, reduces the specific mass of the concrete, modified as a reduction in the structure's own weight, thus generating impacts on the consumption of some materials such as steel and reducing the active efforts in foundations. The objective of this work is to verify the impacts of using lightweight concrete compared to conventional concrete in the construction of a 110m² house, carrying out a comparative analysis of the costs of materials performed in the execution of the building structure in question with the help of SINAPI input table. Through the study carried out, it was possible to observe a reduction in the structure's own weight compared to conventional concrete (approximately 35%), which resulted in a reduction in the consumption of steel in the superstructure and no volume of concrete used in the foundations.

Keywords: lightweight concrete, structural lightweight concrete, EPS, expanded polystyrene.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Embarcação executada em concreto leve.....	18
Figura 2 – (a) Lake point, (b) Edifício administrativo da Bmw, (c) Raymond e (d) Standard bank.....	19
Figura 3 – Tipos de concreto leve.....	20
Figura 4 – Condutividade térmica em função da massa específica.....	25
Figura 5 – Classificação dos agregados leves.....	28
Figura 6 – Estrutura interna do concreto leve estrutural com pérolas de EPS.....	30
Figura 7 – Fluxograma das Etapas.....	38
Figura 8 – Planta baixa do Térreo.....	39
Figura 9 – Planta baixa do Pav. Superior.....	40
Figura 10 – Fachada 3D do Sobrado.....	40
Figura 11 – Estrutura 3D 1.....	41
Figura 12 – Estrutura 3D 2.....	42
Figura 13 – Sondagem SPT Modelo.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de massa específica.....	17
Tabela 2 – Exigência para concreto estrutural leve.....	22
Tabela 3 – Resultados obtidos por Gomes.....	24

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo de CA50.....	45
Gráfico 2 – Consumo de CA60.....	46
Gráfico 3 – Carga por Pilar.....	47
Gráfico 4 – Número de Estacas por Pilar.....	47
Gráfico 5 – Valores Totais de Insumos.....	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Problema de pesquisa.....	12
1.1.1 Hipótese.....	12
1.1.2 Delimitação do escopo.....	12
1.1.3 Justificativa.....	12
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo Geral.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 Concreto Convencional.....	15
2.1.1 Componentes.....	17
2.1.1.1 Aglomerantes.....	17
2.1.1.2 Agregado.....	17
2.1.1.3 Aditivos.....	18
2.2 Concreto Leve.....	18
2.2.1 Definição.....	19
2.2.2 Histórico.....	20
2.2.3 Classificação.....	21
2.2.4 Características.....	22
2.2.4.1 Trabalhabilidade.....	23
2.2.4.2 Resistência mecânica e massa específica.....	23
2.2.4.3 Resistência à tração.....	25
2.2.4.4 Módulo de elasticidade.....	25
2.2.4.5 Propriedades térmicas.....	27
2.2.5 Produção do concreto leve.....	28
2.2.6 Agregado leve.....	29
2.3 Concreto leve com EPS.....	31
2.3.1 Composição.....	31
2.3.2 Aplicação.....	32
2.3.3 Modo de preparo.....	33
2.3.4 Estudos sobre concretos leves com EPS.....	33
2.3.5 Custos de concretos leves com EPS.....	34
2.4 Composição analítica de custos unitários diretos.....	36
2.4.1 Materiais.....	36
2.4.2 Equipamentos.....	37
2.4.3 Mão de obra.....	37

2.4.4 Encargos Sociais.....	37
2.4.5 SINAPI.....	38
2.5 Cargas e ações nas estruturas.....	38
2.5.1 Ações Permanentes.....	39
2.5.2 Ações Variáveis.....	39
2.5.2.1 Ações variáveis normais.....	39
2.5.2.2 Ações variáveis especiais.....	39
3 METODOLOGIA.....	40
3.1 Projeto referência.....	41
3.2 Levantamento e orçamentação.....	43
3.3 Dimensionamento Estrutural.....	43
3.3.1 Pré-dimensionamento.....	44
3.3.2 Dados do concreto.....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
4.1 Peso Próprio da Estrutura.....	47
4.2 Consumo de aço na Estrutura.....	47
4.3 Cargas nas Fundações.....	48
4.4 Comparativos de Custos.....	49
5. CONCLUSÃO.....	51
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado convencional, com densidade normal, é o material mais utilizado no Brasil nos últimos cinquenta anos. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2021) entre janeiro e maio de 2021 o crescimento na produção de concreto nas centrais foi de 19,3% em relação ao mesmo período de 2020, além disso, estima-se que nos últimos 12 meses foram comercializados 64,6 milhões de m³ de cimento. Já no ano de 2015, Lascarro (2017) afirma que no mundo foram produzidos cerca de 2,4 bilhões m³ de concreto pré-misturado.

Esse fato se justifica pelas grandes vantagens que o material oferece, dentre elas: economia; adaptabilidade a qualquer tipo de forma arquitetônica; facilidade de execução; estrutura monolítica, hiperestática garantindo assim maior segurança; demanda pouca manutenção e conservação; boa durabilidade; resistência a efeitos térmicos, atmosféricos e a desgastes mecânicos. Entretanto, o elevado peso próprio do concreto é uma grande problemática.

A crescente evolução na tecnologia do concreto, cada vez mais se estudam alternativas que otimizem custos e processos nas obras de engenharia. Esses objetivos podem ser alcançados com o aperfeiçoamento de equipamentos e técnicas aplicadas à produção do concreto, bem como com o emprego de materiais inovadores, como por exemplo, a substituição de agregados graúdos convencionais pela argila expandida para a produção do concreto leve.

Conforme Carvalho (2017) o concreto leve se trata de um tipo de concreto com estrutura porosa, geralmente à base de ligantes hidráulicos, com massa específica inferior à dos concretos tradicionais, que podem ser obtidos com a utilização de agregados leves.

O poliestireno expandido (EPS) é um material que pode substituir, geralmente, o agregado graúdo e parte do miúdo na produção de concreto leve (MONCAYO, 2017).

Muller (2017) explica que o concreto leve com EPS é um material composto basicamente de cimento, areia e EPS em pérolas pré-expandidas, ou “flocos” de EPS reciclado no lugar da pedra britada, podendo ou não ser adicionado aditivos e adesivos.

Durante seu processamento o cimento e a areia se solidificam e envolvem as partículas de EPS, proporcionando um concreto com baixa densidade aparente que varia entre 700 kg/m³ a 1600 kg/m³, enquanto o concreto convencional com pedra britada é da ordem de 2400kg/m³.

De acordo com o ACI 213R-87 (1997), o uso do concreto leve, normalmente, resulta em custos mais baixos. Embora o preço do concreto leve por metro cúbico seja superior ao do

convencional, a estrutura pode custar menos devido à redução do peso próprio. Um exemplo disso foi a construção do tabuleiro de concreto leve para a Ponte da Baía de São Francisco – Oakland, nos EUA, em 1936, que resultou em uma economia de aproximadamente US\$ 3 milhões (METHA e MONTEIRO, 2008).

1.1 Problema de pesquisa

Qual economia de custo de materiais é proporcionada pelo uso de concreto leve em comparação com uso de concreto convencional na construção de um sobrado residencial unifamiliar?

1.1.1 Hipótese

Uma vez que o concreto leve com EPS garante um peso próprio menor à estrutura, acreditasse que haverá uma economia no custo de materiais da obra em comparação a obra construída com concreto convencional.

1.1.2 Delimitação de Escopo

Por meio do melhor traço de concreto leve obtido nos estudos de Santos (2017) foi realizada uma análise comparativa do custo de materiais na obra para aplicação destes traços em todos os elementos estruturais de um edifício residencial.

1.1.3 Justificativa

O processo de industrialização e o crescimento populacional agravaram a problemática ambiental, principalmente a relacionada à disposição de resíduos industriais. Como na maioria das cidades brasileiras não há áreas apropriadas para a destinação adequada desses resíduos, aliado ao fato de serem constituídos por materiais com elevado potencial de reciclagem (evitando impactos na exploração de novas jazidas), cabe o estudo que contribuam com soluções técnicas para resolver tal problema (JACOBI e BESEN, 2011).

Dentre esses resíduos, encontra-se o poliestireno expandido, conhecido como EPS (SIQUEIRA et al., 2004). De acordo com ABIQUIM (2014) o Brasil consumiu 39.340 toneladas de EPS no ano de 2012, deste total 34,5% foram reciclados. Já o restante não

reciclado teve como destino final aterros sanitários e lixões, sendo que o poliestireno expandido não é biodegradável, mas é reciclável. A grande problemática é que no Brasil, a quantidade de estabelecimentos que reciclam EPS é muito baixa, pois o custo é muito alto.

A construção civil é um setor que contribui consideravelmente com a problemática ambiental e com o consumo de recursos naturais, principalmente para a produção de concreto.

No que tange ao consumo de recursos naturais, de acordo com a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção (2015) no ano de 2014 somente a construção civil mundial, consumiu 45.370 milhões de toneladas de agregados. No Brasil desse consumo foi de 741 milhões de toneladas, com pavimentação e manutenção de estradas e vias urbanas, construção de casas populares e edifícios e obras de metrô. Percebe-se assim, que os agregados são amplamente aplicados na produção de concreto.

O concreto, principal material de engenharia empregado pelo homem, é um dos maiores causadores da degradação ambiental. Desde a antiguidade já haviam compostos formados por água, agregados e aglomerantes servindo de matéria-prima para a construção de diversas estruturas. No ano de 2015, Lascarro (2017) afirma que no mundo foram produzidos cerca de 2,4 bilhões m³ de concreto pré-misturado.

Frente à necessidade de contribuir com a escassez de recursos naturais, diminuição na geração dos mais variados resíduos e com inovações no setor, cresce a busca por materiais e insumos alternativos para utilização na construção civil.

Além disso, a demanda por edificações mais resistentes e cada vez mais esbeltas tem feito com que o concreto convencional, feito com cimento Portland e agregados miúdos e grãos normais, de lugar ao desenvolvimento de concretos especiais, ou seja, que sejam capazes de melhorar algumas de suas propriedades. Dentre os concretos especiais estão os concretos leves, caracterizados pela redução na massa específica. Esta redução é obtida pela substituição do material sólido por ar, que se faz introduzindo vazios na massa do concreto, com a incorporação de ar ou espuma, ou, formando vazios entre as partículas de agregados, produzindo o concreto sem finos, ou ainda, utilizando agregados com altos índices de vazios (METHA; MONTEIRO, 1994; NEVILLE 1997).

Neville (2016) afirma que a aplicação de concretos com menor peso específico em elementos estruturais, resulta em importantes vantagens com relação à redução do peso próprio desses elementos. Devido a isso, ocorre uma menor solicitação dos elementos de fundação, o que pode levar a redução de suas dimensões, fato que proporciona menores custos da obra como um todo. Além disso, a utilização de concreto leve traz possibilidade de construção em solos com menor capacidade de carga. No entanto, o concreto leve pode

apresentar um consumo maior de cimento do que os concretos convencionais, gerando um custo adicional. Porém, a comparação de custos não deve-se limitar apenas aos custos com materiais, mas deve ser realizada a partir do projeto da estrutura de concreto leve como um todo (VARGAS, 2018).

Conforme Beline et al. (2015) na tentativa de reduzir as cargas sobre as fundações e consequentemente baixar os custos das edificações, as construtoras têm reconhecido a necessidade de utilização de concreto leve na construção civil tornando-se justificável a pesquisa sobre a utilização de concreto superleve para a fabricação de elementos pré-moldados destinados ao fechamento de paredes e lajes, com a manutenção de sua resistência, porém, a custos competitivos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar o custo de materiais na construção de um edifício residencial de concreto leve, substituindo 40% do volume do agregado graúdo por EPS, e uma edificação construída com concreto convencional na cidade de Palmas/TO.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Dimensionar uma edificação residencial com aplicação de concreto leve com EPS, por meio do *software* Eberick (versão estudante);
2. Dimensionar uma edificação residencial com aplicação de concreto convencional por meio de *software* Eberick (versão estudante);
3. Comparar as cargas atuantes nas fundações e superestrutura para os dois resultados obtidos nos dimensionamentos;
4. Orçar e analisar os custos de materiais da edificação construída em concreto convencional e em concreto leve por meio da planilha SINAPI 2021;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos relacionados ao concreto convencional, o concreto leve, o concreto leve com EPS e orçamentos.

2.1 Concreto convencional

O concreto é um material composto que consiste, essencialmente, de um aglomerante no qual estão aglutinados partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água (METHA e MONTEIRO, 2014).

O concreto ou concreto simples, é um material oriundo da mistura entre agregados, cimento e areia. Em casos especiais, onde há necessidade de melhora nas suas características são adicionados a sua composição aditivos químicos ou minerárias (ARAÚJO, 2010). Entretanto, o concreto moderno é mais do que uma simples mistura de cimento, água e agregados. Cada vez mais são utilizados componentes minerais, que conferem características específicas aos concretos, como as adições, e aditivos químicos, que têm efeitos ainda mais específicos (AÏTCIN, 2000). Esses fatores transformam o concreto convencional em novos concretos os quais são chamados de concretos especiais, dentre os quais está o concreto autoadensável.

Assim, Razera (2012) afirma que o concreto convencional como aquele material que é produzido usando apenas cimento, agregados miúdos e graúdos e água, e eventualmente aditivos plastificantes. Em geral, são os produzidos em obra, mas podem ser produzidos em centrais dosadoras ou misturadoras de concreto.

O concreto tem elevada resistência a compressão e baixa resistência a tração, em média 10% da resistência a compressão, assim, em aplicações onde o mesmo precisa funcionar bem também a tração se faz necessário combinar ao concreto simples com barras de aço, formando assim o concreto armado. As barras de aço serão responsáveis por resistir aos esforços de tração na estrutura (ARAÚJO, 2010).

Segundo Yazigi (2008), um dos principais fatores que influenciam na durabilidade e resistência de uma estrutura de concreto são a correta execução da estrutura, o controle tecnológico dos materiais empregados na mistura e o estudo da dosagem.

O concreto produzido com cimento Portland é um material poroso, de estrutura heterogênea e complexa. Mehta e Monteiro (2014) explica que as propriedades do material se

originam a partir de sua estruturação interna. Essa estruturação se constitui pelas características, tamanho, tipo, quantidade, forma e distribuição das fases presentes no material. O concreto é formado em três fases: meio ligante; agregados; e zona de transição:

- meio ligante: constituído por pasta de cimento Portland, objetiva envolver os agregados, preenchendo os vazios formados e permite ao concreto a capacidade de manuseio quando recém preparado;
- agregados: propriedades do concreto como massa unitária e módulo de elasticidade estão ligadas à densidade e resistência dos agregados. Em geral, resistem mais que as outras fases, com isso não afetam diretamente a resistência do concreto; e
- zona de transição: é a área entre o agregado graúdo e a pasta de cimento, constituída com o acúmulo de água ao redor do agregado. A transição é a fase mais fraca dos componentes do concreto, sendo fonte de micro-fissuras, responsáveis pelo comportamento elasto-plástico do concreto endurecido, assim como pela baixa resistência à tração.

O preparo do concreto é uma série de operações executadas de modo a obter, a partir de um determinado número de componentes previamente conhecidos, um produto endurecido com propriedades específicas detalhadas em um projeto. As características do concreto variam de acordo com os materiais e suas proporções que influenciam tanto o concreto em seu estado fresco como no seu estado endurecido (PÉRTILE, 2016).

O concreto convencional é o tipo de concreto mais utilizado nas obras de construções. No uso deste concreto é necessário o uso de vibrador para que o adensamento seja realizado da forma correta, devido à baixa trabalhabilidade e sua consistência seca. Não apresenta nenhuma característica extraordinária e é aplicado no dia a dia da construção civil. O valor numérico que caracteriza a consistência do concreto (*Slump Test*) apresenta-se dentro da variação de 40 mm a 70 mm, e pode ser utilizado em obras de quase todos os tipos de estruturas, desde que sejam tomadas precauções durante o seu adensamento. Em obra, pode ser descarregado diretamente sobre as formas, ou pode ser transportado por meio de carrinhos de mão e outros materiais para este fim. Mesmo sendo um concreto simples, requer como qualquer outro um estudo prévio de seus componentes para a determinação do traço mais econômico, obedecendo as normas da ABNT, para sua elaboração, execução e controle tecnológico da estrutura (PORTAL DO CONCRETO, 2017).

2.1.1 Componentes

De acordo com Alves (2017) o concreto se compõe por água e material aglomerante, formando um composto chamado pasta, quando adicionado a essa pasta agregado miúdo, se obtém argamassa, sendo neste adicionado agregado graúdo resulta-se no concreto, desta forma se tem os principais componentes do concreto.

2.1.1.1 Aglomerantes

Para Lopes (2013), aglomerante é um material ligante, em geral pulverulento, que promove a união entre grãos do material inerte (agregado). São aplicados a fim de obter-se as pastas, argamassas e concretos.

O principal aglomerante utilizado para misturas de pastas, argamassas e concretos é o cimento Portland, sendo este um material cerâmico que quando em contato com água, produz reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, adquirindo dureza que resulta em elevada resistência mecânica.

De acordo com ABCP (2002) o cimento Portland é um pó fino aglomerante, aglutinante ou ligante que, sob contato com água, endurece. Após o endurecimento, mesmo que seja novamente colocado em contato com água, o cimento Portland não se decompõe mais. Misturando com água e outros materiais, como areia, pedra britada ou pó de pedra, o cimento Portland, resulta nas argamassas e concretos aplicados na construção civil.

2.1.1.2 Agregado

Conforme a NBR 9935 (ABNT, 2011), agregado é um composto granular, em geral inerte, com formato e características ideais para produção de concretos e argamassas. Os agregados são classificados em agregado miúdo e graúdo, assim, a escolha dos agregados segue critérios rigorosos de controle técnico e de qualidade do material para garantir um bom desempenho na produção do concreto, seja realizada por mistura manual ou em central dosadora (SALGADO, 2009).

A NBR 7211 (2009) os agregados miúdos são aqueles que grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm. Já os agregados graúdos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

A areia aplicada como agregado miúdo para utilização em argamassas e concretos pode ser classificada como natural, uma vez que é oriunda de rios, minas e várzeas, e artificial quando oriunda de resíduo fino de pedreiras (pó de pedra). A pedra aplicada como agregado graúdo é considerada como natural quando é do tipo pedregulho ou seixo rolado, cascalho, e artificial quando é pedra britada, argila expandida, escória, entre outros. A pedra britada é produzida em indústria ou pedreira, onde executa-se a desintegração, por explosão controlada, da rocha que dá origem à brita. Com a detonação da rocha matriz, se formam grandes matacões que são transportados e posteriormente triturados em equipamento chamado britador. Por fim, a brita passa por peneiras onde é classificada de acordo com sua granulometria e assim, separadas em brita 1, 2, 3, etc (ALVES, 2017).

2.1.1.3 Aditivos

De acordo com a NBR 11768 (2011), aditivos são produtos químicos que objetivam modificar e melhorar algumas propriedades das argamassas e concretos de cimento Portland, adequando-as em determinadas condições, adicionando pequenas quantidades a mistura.

Brito (2017), explica que os aditivos facilitam o processo de compactação da pasta de concreto/argamassa, garante maior vida útil do equipamento e proporciona melhor acabamento as peças. Os principais tipos de aditivos são: plastificantes (P), retardadores de pega (R), aceleradores de pega (A), plastificantes retardadores (PR), plastificantes aceleradores (PA), incorporadores de ar (IAR), superplastificantes (SP), superplastificantes retardadores (SPR) e superplastificantes aceleradores (SPA).

Ainda conforme Brito (2017), a dosagem do aditivo varia conforme a marca, geralmente de 0,1% a 0,2% do peso do cimento, o que significa de 40 a 80 ml de aditivo para cada saco de cimento de 40 kg, esse percentual deve ser diluído em água em uma proporção de 1/10 e adicionado à mistura após a adição da água principal, quase no final da mistura.

2.2 Concreto leve

A modernização nas técnicas construtivas, desencadeou no desenvolvimento de novos materiais a fim de atender as demandas das obras. No caso do concreto, uma das suas características é o elevado peso próprio, assim, insumos que possam contribuir com a diminuição no peso se tornam usuais frente a essa realidade, surgindo assim o concreto leve (PETRUCCI, 1995).

2.2.1 Definição

Amario (2013) explica que os concretos com agregados leves, também são conhecidos como concretos leves estruturais (CLE). Segundo a norma da ABNT NBR 12655:2015 o concreto leve se caracteriza principalmente pela baixa massa específica comparado aos demais tipos de concreto. Para ser considerado leve, o concreto deve apresentar massa específica máxima de 2000kg/m³.

Para Newman (2005), concreto com massa específica variável entre 300 kg/m³ e 2000 kg/m³, resistência à compressão em amostras cúbicas variando de 1 MPa a 60 MPa e condutividade térmica de 0,2 W/mK a 1 W/mK, são definidos como concretos leves. Mehta e Monteiro (2008) explicam que a redução na massa específica deve ser de aproximadamente 2/3 da relativa ao concreto convencional, o que se deve ao uso de um agregado leve celular na confecção da mistura. Rossignolo (2009) apresenta na Tabela 1 os valores da massa específica dos concretos leves estruturais conforme as principais normas de referência.

Tabela 1 – Valores de massa específica

Referência	Massa específica aparente (kg/m ³)
NM 35 (1995)	1680 < γ < 1840
ACI 213R-03 (2003)	1120 < γ < 1920
EUROCODE 2 (2007)	900 ≤ γ ≤ 2000
NS 3473 E (1998)	1200 < γ < 2200
CEB-FIP (1977)	γ < 2000
RILEM (1975)	γ < 2000

Fonte: Rossignolo (2009).

Conforme Tabela 1 a maioria das referências mundiais apresenta valor máximo de massa específica para concretos leves de 2000 kg/m³, a Norma Nurueguesa NS 3473 E:1998 estabelece um valor de 2200 kg/m³.

Beline (2015) esclarece que o concreto leve é aplicável em obras onde demanda-se por estruturas mais esbeltas e menores cargas atuantes sobre as fundações, e características desejadas para a edificação.

A utilização de concreto leve se faz necessária em obras onde se requer uma estrutura mais esbelta e redução da carga sobre as fundações, e características desejadas para a edificação (ROSSIGNOLO, 2003). Segundo Beline et al. (2015), o concreto leve pode ser aplicado em vários tipos de construções, como: pré-fabricados; elementos de vedação internos (paredes); isolante térmico e acústico de lajes; resistência à propagação do fogo; muros

exteriores sem carga; casas pré-fabricadas; tijolos ou blocos de concreto leve; revestimento de fachadas com concreto leve; e elementos vazados de concreto leve.

2.2.2 Histórico

As primeiras aplicações de concreto leve datam de aproximadamente 3000 anos, época em que, no México, elementos estruturais foram construídos com a mistura de pedra-pomes, adicionando um ligante à base de cinzas vulcânicas e cal. No entanto, a utilização do concreto leve na forma como é conhecido hoje ocorreu durante a Primeira Guerra Mundial, com a construção de embarcações, como mostra a Figura 1 (ROSSIGNOLO; AGNESINI, 2005).

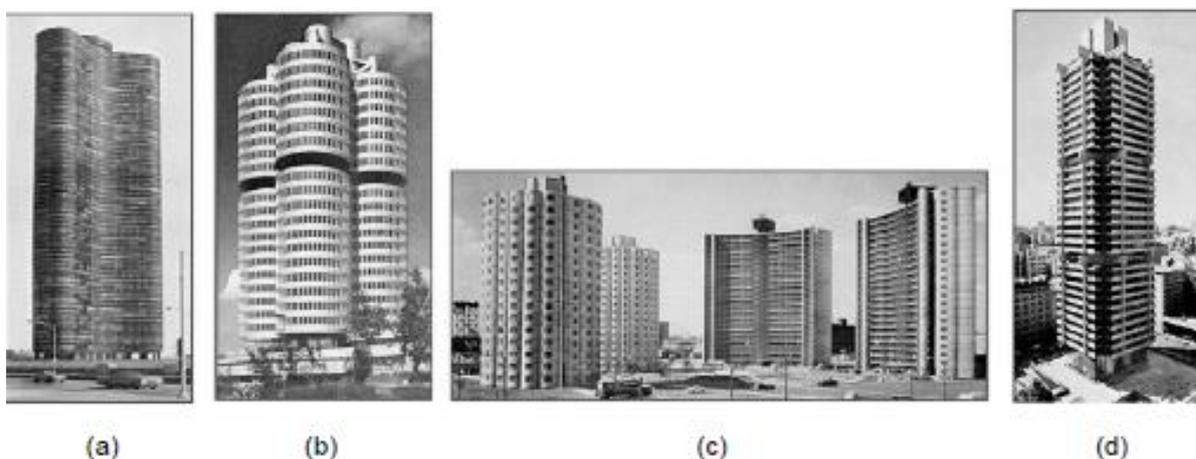
Figura 1 – Embarcação executada em concreto leve



Fonte: Rossignolo e Agnesini (2005).

Entretanto, foi após a Segunda Guerra Mundial que os estudos e aplicações do concreto leve estrutural aumentaram. A partir dos anos 1960, importantes edifícios (Figura 2) foram executados com o concreto leve, como: (a) Lake Point (Chicago, EUA, 75 pavimentos, 1968), (b) Edifício administrativo da BMW (Munique, Alemanha, 1972), (c) Raymond-Hillard (Chicago, EUA, 1974) e (d) Standard Bank (Johanesburgo, África do Sul, 1974) (MONCAYO, 2017).

Figura 2 – (a) Lake Point, (b) Edifício administrativo da BMW, (c) Raymond e (d) Standard Bank



Fonte: Rossignolo e Agnesini (2005).

Já no Brasil, a maioria das aplicações dos concretos leves no ramo da construção civil ocorre em elementos estruturais pré-fabricados e em estruturas de edificações de múltiplos pavimentos moldadas *in loco*, em especial nas lajes, e praticamente se restringe à utilização de argila expandida (MONCAYO, 2017). Entre as aplicações se destacam: a ampliação do Rio Centro, no Rio de Janeiro, e o pavilhão de exposições do Anhembi, o edifício da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da USP e o Hotel Grand Hyatt, os três em São Paulo (CATOIA, 2012).

2.2.3 Classificação

Os agregados de baixo peso específico, podem ser classificados em leves e ultraleves e destinados para fins estruturais e não estruturais, conforme informações apresentadas no Quadro 1 (PIRES, 2017).

Quadro 1- Classificação dos agregados leves

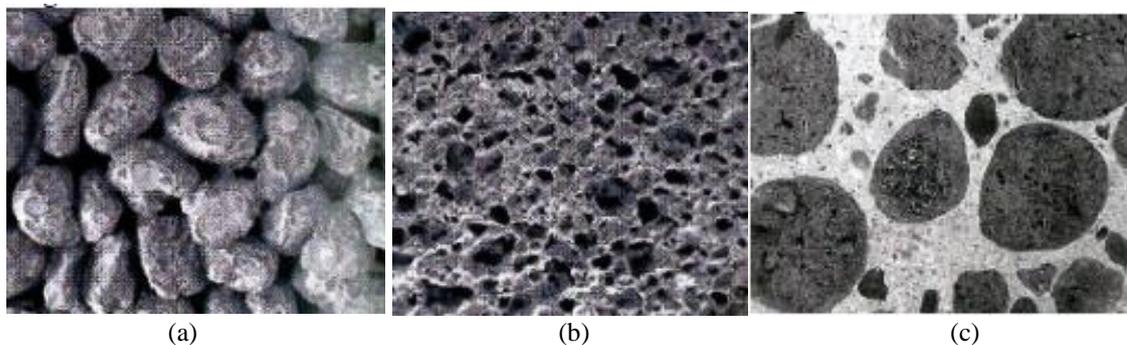
Classificação do agregado	Exemplos de agregados	Aplicações
Ultraleve	Poliestireno expandido, vermiculita, perlita expandida, vidro expandido.	Funções estritamente de isolamento térmico e sem funções de resistência.
Leve	Argila expandida, xisto, escória de alto forno expandida, cinzas volantes sinterizadas, pedra pome.	Funções de isolamento térmico, funções de resistência e diminuição do peso próprio.

Fonte: adaptado de Pires, 2017

Já Rossignolo (2009) afirma que o concreto leve se classifica de diferentes formas: concreto sem finos, concreto celular e concreto leve (Figura 3).

Figura 3 – Tipos de concretos leves

(a) Concreto sem finos (b) Concreto celular (c) Concretos leves



Fonte: Rossignolo (2009).

Conforme Figura 3, os concretos sem finos são produzidos somente com aglomerados graúdos e aglomerantes, sendo que sua resistência está relacionada com a resistência do agregado e o consumo de cimento.

Já os concretos celulares são produzidos por meio de uma reação de produtos químicos adicionados ao concreto, que provocam gases com sua reação, formando bolhas internas na peça de concreto.

Por fim, os concretos com agregados leves são produzidos com base na substituição total ou parcial de agregados convencionais por agregados leves, onde é possível atingir resistência aceitável para fins estruturais (GONÇALVES, 2018).

2.2.4 Características

A redução na massa específica dos concretos leves ocorre pela substituição de partes dos materiais sólidos por ar, no entanto, essa substituição, pode desencadear mudanças consideráveis em outras propriedades essenciais do concreto, sendo elas: trabalhabilidade, resistência mecânica, módulo de deformação, durabilidade, estabilidade dimensional, condutividade térmica, resistência a altas temperaturas e espessura da zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento são diretamente afetadas pela substituição. Assim, conhecer essas modificações é essencial a fim de aproveitar totalmente o material (VARGAS, 2018).

2.2.4.1 Trabalhabilidade

O concreto leve apresenta comportamento diferente quando comparado aos demais tipos de concretos. Com um mesmo abatimento, o concreto leve apresenta melhor trabalhabilidade. O fator de adensamento do concreto leve subestima a trabalhabilidade, pois a força oriunda da gravidade que adensa o concreto é menor quando sua massa específica é menor (SILVA, 2003).

Conforme Mehta e Monteiro (1994) o lançamento, a compactação e o acabamento de concreto leve demanda um esforço relativamente menor. Em consequência, abatimentos entre 50 e 70 mm são suficientes para obter uma trabalhabilidade semelhante à do concreto normal, com abatimentos de 100 a 125 mm.

Silva (2003) ressalta que um elevado abatimento pode provocar segregação, com as partículas graúdas flutuando na parte superior. Assim, deve-se evitar a vibração muito prolongada do concreto no instante da concretagem.

A normativa ACI 213 R (1999) enfatiza que o “slump” é essencial para obtenção de boa superfície acabada de uma peça com concreto leve, e geralmente limita-se a 100 mm.

2.2.4.2 Resistência mecânica e massa específica

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. De acordo com a ACI 213R-03 (2003) o concreto leve estrutural deve apresentar resistência à compressão aos 28 dias de no mínimo 17 MPa.

A resistência mecânica e a massa específica são as características principais para a produção de um concreto estrutural, a relação entre essas duas propriedades é conhecida como fator de eficiência, conforme Equação 1 (SCOBAR, 2016).

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

Onde:

FE: Fator de eficiência (MPa.dm³/kg);

Re: Resistência a compressão (MPa);

γ : Massa específica (kg/dm³).

Conforme Rossignolo (2009), os estudiosos Zhang e Gjorv 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.

Mehta e Monteiro (1994) indicam que a substituição do agregado miúdo leve por areia natural leva a um aumento da massa específica do concreto e, portanto, a um aumento da resistência à compressão do concreto.

Neste sentido, a maioria das normas e especificações apresenta relações entre a massa específica do concreto leve e sua resistência à compressão. Nos Estados Unidos, por exemplo, as exigências da norma ASTM C 330 (1991) para massa específica do concreto estrutural leve e para resistência à compressão e à tração estão mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Exigência para concreto estrutural leve

Máxima massa específica seca aos 28 dias (kg/m³)	Resistência à tração mínima no ensaio de compressão diametral aos 28 dias (MPa)	Resistência à compressão mínima aos 28 dias (MPa)
Todos os agregados leves		
1760	2,2	28
1680	2,1	21
1600	2,0	17
Combinação de areia natural com agregado leve		
1840	2,3	28
1760	2,1	21
1680	2,1	17

Fonte: ASTM C330, 2005

Segundo os ensaios realizados, por Schuh (2017) a resistência à compressão e a massa específica, são as propriedades que mais sofrem alterações com o emprego de concreto leve. A redução da resistência à compressão, aos 28 dias, nas amostras cilíndricas de corpos-de-prova do concreto leve, foi de 79,49% e 90,51%, com acréscimo de 60% e 100% respectivamente, quando comparados ao concreto (referência).

Já Vargas (2018) constatou resultados satisfatórios para resistência à compressão aos 28 dias dos três traços de concreto leve. Para o traço pobre foi obtido uma resistência à compressão de 20,47 MPa, para o traço médio obteve-se 21,88 MPa e para o traço rico, obteve-se 30,63 MPa. Todos os resultados foram superiores a resistência mínima de 17,2 MPa estabelecidos em norma.

2.2.4.3 Resistência à tração

Os resultados de ensaios realizados por Hanson, sobre a resistência à tração por compressão diametral de concretos leves curados em câmara úmida, de acordo com Sobral (1987) e com o ACI 213 R-87 (1999), são iguais ou próximos dos valores obtidos para concreto de densidade usual de mesma resistência à compressão. Porém, os resultados desses ensaios mostraram que a resistência à tração do concreto leve é significativamente reduzida quando a cura é feita ao ar. A razão para este fato se deve à maior relação água/cimento usada em concretos leves e à maior rapidez de secagem das camadas mais externas, de peças feitas com concreto leve, secas ao ar.

Mehta e Monteiro (1994) ressaltam que, como no concreto de densidade usual, a relação entre a resistência à tração por compressão diametral e a resistência à compressão decresce de maneira significativa com o aumento da resistência do concreto leve. Prova disso são as exigências da norma ASTM C330, apresentadas na Tabela 3.

De acordo com Sobral (1987), a aparência das fissuras nos concretos leves é bem diferente da que apresentam os concretos convencionais. As fissuras são mais regulares e lineares, indicando que a superfície de fratura passa tanto pela matriz quanto pelos grãos do agregado leve.

Em relação a resistência a tração Rossignolo (2003) esclarece as principais diferenças entre os concretos leves e os tradicionais:

- Quanto ao tipo de fratura, no concreto leve, a fratura acontece por meio do agregado e não ao redor do agregado, na zona de transição agregado-matriz, como ocorre nos concretos convencionais;
- O teor de umidade do concreto, pode ser superior no concreto leve do que nos convencionais para as mesmas condições de cura e pode desencadear na minimização significativa do valor de resistência à tração;
- A resistência à tração na flexão nos concretos leves, é mais afetada do que a resistência à tração na compressão diametral.

2.2.4.4 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade tem grande importância para o concreto estrutural leve em face da sua influência sobre as deformações das peças sujeitas à flexão, sobre a distribuição

das forças internas nas peças sujeitas à compressão e sobre a carga crítica no caso de peças com propensão à ruína, devido à estabilidade elástica (SILVA, 2003).

Uma importante característica do agregado leve é sua boa aderência à pasta hidratada de cimento que o envolve. Este fenômeno é devido a vários fatores, entre os quais pode-se destacar a textura áspera da superfície dos agregados leves, a hidratação continuada do cimento, pela disponibilidade da água absorvida pelo agregado durante a mistura.

Neville (1997) ressalta que, nos concretos de densidade usual, o módulo de elasticidade da pasta de cimento é, geralmente, bem menor que o módulo dos agregados. Porém, no concreto estrutural leve, os valores do módulo de elasticidade das partículas do agregado leve e da pasta de cimento são bastante próximos resultando numa melhor aderência na zona de transição agregado-pasta.

Schuh (2017) afirma que o módulo de elasticidade do concreto leve 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.

Em sua pesquisa, Gomes (2001) realizou um estudo comparativo entre um concreto convencional com brita e um concreto estrutural leve, com características de bombeamento, porém de mesma resistência à compressão. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 3 – Resultados obtidos de Gomes

Tipo de concreto	Massa específica no estado fresco	Massa específica aos 28 dias	Idade do concreto na data do ensaio	f_c (MPa)	E_c (MPa)
Concreto convencional	2291 kg/m ³	-	28 dias	23	23514
Concreto leve (TRAÇO III)	1795 kg/m ³	1673 kg/m ³	28 dias	23,70	14423

Fonte: Gomes (2001).

Pode-se observar, na análise dos resultados acima, que o módulo de deformação do concreto leve obtido no ensaio (14423 MPa) foi de 61,3% do valor medido para o concreto convencional (23514 MPa). Geralmente, os resultados do módulo de elasticidade do concreto leve variam entre 50 e 67% do valor correspondente ao concreto convencional de mesma resistência à compressão.

Empregando-se as expressões do EUROCODE 2 (2004) e do ACI-318 (2019), os valores do módulo de deformação para o concreto leve (TRAÇO III) foram iguais respectivamente a 13260 MPa e 14324 MPa. O valor medido foi 9 % maior que o prescrito pelo EUROCODE 2, e praticamente igual ao previsto pelo ACI-318. Portanto, pode-se observar que os resultados encontrados estão dentro da margem de 20%, permitida pelo EUROCODE e pelo ACI.

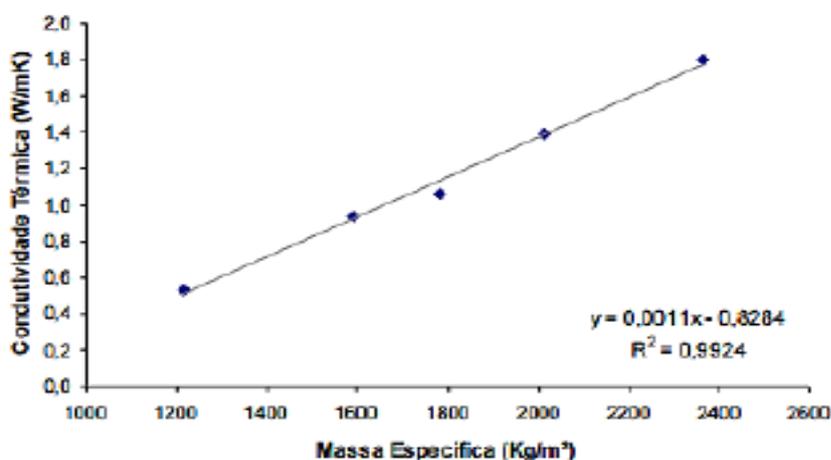
2.2.4.5 Propriedades térmicas

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.

Scobar (2016) explica que devido ao fato de agregados leves possuírem ar aprisionado em seu interior, a sua utilização, 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 a 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 4, apresenta 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 et al. 2010).

Figura 4 – Condutividade térmica em função da massa específica



Fonte: Sacht et al, 2010

2.2.5 Produção do concreto leve

Segundo ABCP ET-86 (1996), existe apenas uma maneira de produzir concreto leve, que é a de incorporar ar além do normal à sua composição. Essa maneira só é conseguida de três formas: eliminando as partículas mais finas dos agregados; substituindo a pedra britada por um agregado oco, celular ou poroso; e introduzir grandes vazios no interior da massa de concreto.

Com o concreto leve pode ser obtido um alto padrão de qualidade, por ser um material de fácil moldagem, o que muito facilita os projetos arquitetônicos (STOCCO; RODRIGUES; CASTRO, 2009). Segundo Duarte et al. (2010) o concreto leve é uma solução que adapta-se a uma maior flexibilidade de organização do espaço interior, traduzindo-se em valor acrescido sob o ponto de vista arquitetônico.

De maneira geral, o processo de dosagem dos concretos convencionais pode ser aplicado na confecção de concretos leves, no entanto, alguns fatores devem ser considerados, como a necessidade de projetar um concreto com massa específica particular, o grau de absorção de água dos agregados leves, a variação de massa específica do agregado em função da sua dimensão e a influência das características dos agregados leves nas propriedades do concreto (ROSSIGNOLO, 2009).

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 (SCOBAR, 2016).

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 CONCRETE INSTITUTE, 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/m³ 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 (SCOBAR, 2016).

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.

2.2.6 Agregado leve

Conforme Beline et al. (2015) para obtenção dessa característica de concreto leve foram utilizados três elementos, que são: Argila Expandida, Carvão Vegetal e Poliestireno Expandido (EPS). Esse estudo visa analisar o EPS.

Para Gonçalves (2018), a principal característica do concreto leve é a redução de sua massa específica em comparação ao concreto convencional, pois na dosagem do concreto, têm a substituição de agregados comuns, por agregados leves, ressaltando que esses agregados podem interferir na qualidade da mistura, e a resistência destes agregados está sim ligada diretamente a resistência do concreto.

Quando se fala em concreto leve, pode-se ressaltar que sua viabilidade técnica, geralmente torna-se significativa quando grande parte de suas solicitações é em consequência de seu peso próprio. Catoia (2012) afirma que um concreto leve pode reduzir o peso de determina peça, diminuindo sua massa específica, fazendo com que possa ter um menor gasto com aço, equipamentos locados para transporte desse concreto e ainda, economia de formas, pois a montagem e confecção das peças pode-se considerar um para um peso específico menor.

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, folhelhos, 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 CONCRETE INSTITUTE, 2003) são três grupos:

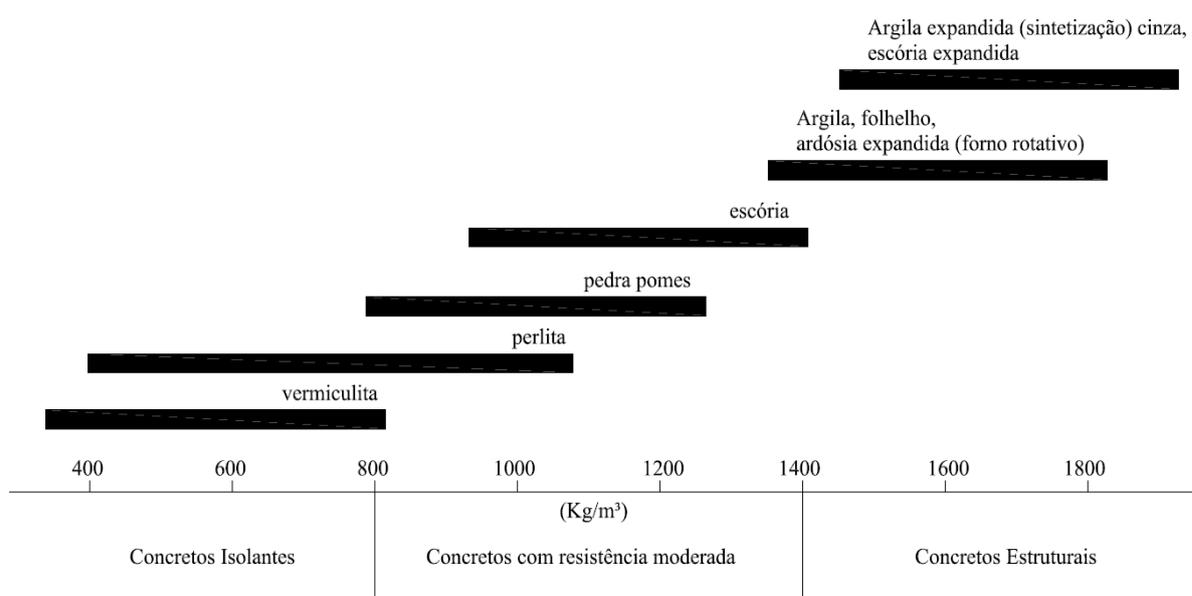
a) Agregados para concretos isolantes: sua utilização resulta em um concreto de massa específica em torno de 300 kg/m³ e 800 kg/m³ e a resistência é desprezível.

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 5 é apresentado alguns exemplos de agregados leves e suas possíveis utilizações.

Figura 5 – Classificação dos agregados leves



Fonte: Pereira (2012).

2.3 Concreto leve com EPS

Dentre os diversos tipos de concreto leve, destaca-se o concreto leve com EPS. Também denominado de *Concreto Ultraleve*® ou *Concreflex*®, é um concreto que contém Poliestireno Expandido (EPS) atuando como agregado leve, com massa específica variando entre 400 kg/m³ e 1300 kg/m³ (CATOIA, 2012), porém Beline et al. (2015) afirma que a densidade desses concretos pode chegar a até 1.600kg/m³. Mais recentemente, pelo fato de não atuar como material resistente, o EPS é considerado como agente incorporador de vazios.

Segundo Stocco et al. (2009), o concreto leve com EPS começou a ser desenvolvido em 1957, na Alemanha, pela empresa BASF. Devido ao alto custo da matéria-prima, seus estudos foram interrompidos e somente em 1968 foram retomados, em virtude da redução do custo do EPS e da previsão de que poderia ocupar, em longo prazo, um lugar importante no setor de construção civil, por apresentar uma série de vantagens sobre o concreto convencional.

Esse tipo de concreto apresenta grandes vantagens, por ser um material de densidade aparente baixa, resistência mecânica para aplicações não estruturais, bom isolamento térmico, pequena absorção de umidade, facilidade de ser produzido, manuseado e transportado. Quando o agregado de EPS é originário do lixo, apresenta um custo baixo, inclusive inferior as argamassas e concretos normais utilizados, o que viabiliza sua utilização tanto em aspectos econômicos quanto por suas características físicas (RICCHINI, 2015).

Percebe-se a existência das seguintes Normas Regulamentadoras Brasileiras (NBR) que abordam o incremento do EPS no concreto leve, sendo elas: NBR 7211 (ABNT, 2005) com a emenda 1 (2009), referente a especificação dos agregados para concreto, a qual especifica os requisitos exigíveis para recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos de cimento Portland e a NBR NM 52 (ABNT, 2009), referente a determinação da massa específica e massa específica aparente do agregado miúdo, a qual estabelece o método de determinação da massa específica e da massa específica aparente dos agregados miúdos destinados a serem usados em concreto.

2.3.1 Composição

O concreto leve com EPS pode ser composto pelos mesmos materiais que os demais concretos leves, com exceção do Poliestireno Expandido (EPS), que, geralmente, substitui o agregado graúdo e parte do miúdo. As pérolas de EPS servem como elementos de enchimento

e devem ser incorporadas a elementos de maior peso, para que se obtenha um concreto com resistência adequada. A Figura 6 mostra a estrutura interna desse tipo de material.

Figura 6 – Estrutura interna do concreto leve estrutural com pérolas de EPS



Fonte: Moncayo (2017).

No concreto leve as pérolas de EPS são utilizadas como elemento de enchimento, e são incorporadas a elementos de maior peso (cimento e areia), para que se obtenha um concreto com maior resistência depois da cura. Segundo Stocco (2009) no processo de execução do concreto leve, a porcentagem de pérolas expandidas está entre 60 e 70% (sessenta e setenta por cento) do volume do concreto e o restante é mesclado pela estrutura do concreto, decisiva para porcentagem do consumo do cimento.

2.3.2 Aplicação

Segundo a Abrapex (2008), a utilização do concreto leve na obra pode ocorrer sempre que não haja exigência de resistência a grandes esforços, esse tipo de concreto pode ser usado com grande redução de peso em elementos das edificações. Além do baixo peso, suas qualidades isolantes ampliam sua utilização dando um grande passo a caminho da industrialização de componentes da construção civil.

Conforme Muller (2017) esse tipo de concreto é indicado para construções convencionais que não exigem materiais de alta resistência ou grandes esforços, como regularização de lajes (inclinação para escoamento), painéis para fechamento (prédios, casas pré-fabricadas, galpões), elementos pré-fabricados (lajotas, blocos vazados, pilares, placas para muros, elementos decorativos para fachada e jardins), pavimentos (calçadas, fechamento

de galerias, regularização de áreas diversas), mobiliário (bancos, base para montagem de sofás, balcões e camas), área de lazer (quadras de esporte, base de dispositivos para exercícios).

2.3.3 Modo de preparo

Quanto ao modo de preparação e produção do concreto leve, Helena (2009, p. 42) afere que no processo de mistura, dissolve-se inicialmente o adesivo solúvel em água, e observam-se as proporções da mistura. Em seguida devem ser colocadas na betoneira as pérolas de EPS, para por último, se colocar o cimento. O tempo de permanência na betoneira deve ser o suficiente para a mistura adquirir a consistência necessária para o lançamento.

O autor citado destaca ainda que se deve atentar para o fator água/cimento, pois as pérolas de EPS não absorvem água devido à sua estrutura fechada, além disso, o adensamento do concreto leve com EPS não é o mesmo utilizado no concreto convencional, pois segundo ensaios realizados não ocorre evolução na resistência mecânica ao executar o adensamento por vibro-compressão.

Como as pérolas de EPS não absorvem água, no manual da Abrapex (2006) é recomendado o uso de um aglomerante (adesivo) que seja solúvel em água, por exemplo, cola branca para madeira ou papel que irá agregar o cimento ao EPS, aumentando assim o seu peso. O processo de produção do concreto leve deve ser realizado da seguinte maneira:

No processo de mistura, dissolve-se inicialmente o adesivo em água. Em seguida, coloca-se o EPS na betoneira em movimento (o local deve estar protegido de ventos fortes), coloca-se então o adesivo (cola branca para madeira ou papel) dissolvida em água, e após essa mistura, adiciona-se um pouco de cimento. Tão logo o cimento comece a fixar-se no EPS, coloca-se alternadamente o restante de cimento, água e areia. O tempo de agitação da mistura será suficiente quando a massa estiver com a "pega" ideal para ser lançada no local definido (ABRAPEX, 2006).

2.3.4 Estudos sobre concretos leves com EPS

O concreto com EPS vem tendo diversos estudos para utilização na construção civil. Helena (2009 apud Gonçalves, 2018), estudou o EPS em seu comportamento físico e químico junto a produtos convencionais e chegou à conclusão de que este material é aceitável em

determinadas áreas, pois pode chegar a resistências satisfatórias em elementos de concreto em contrapiso e em argamassas para blocos com funções estruturais.

Estudo feito por Morais e Brasil (2015), buscando o uso de matéria prima mais sustentáveis, trouxe o EPS como vantagem em várias áreas da construção civil, no que se refere ao processo produtivo, a flexibilidade do material e a sustentabilidade da construção foi o principal foco e o resultado, trouxe o material como principal propriedade, combateros efeitos termo acústicos da edificação, ainda retratando que a maior utilização deste material é na Europa e no Brasil ainda tem pouco uso.

Catoia (2012) estudou a caracterização de concreto leve com pérolas de EPS e sua aplicação em lajes maciças pré-moldadas. Seu estudo apontou a viabilidade do material, em especial pela redução da massa específica. Os valores encontrados para a resistência mecânica e as características do material são compatíveis com a produção e aplicação em lajes pré-moldadas e em demais peças submetidas a moderadas tensões de compressão.

Ferreira (2013) estudou o projeto de um edifício com elementos pré-moldados de concreto leve com EPS e de concreto auto adensável com peso normal. Verificou que os custos com produção e transporte apontam vantagens do concreto com EPS no custo global do empreendimento.

Schackow (2014) observou vantagens na redução do peso das estruturas quando se emprega concreto leve com EPS, com massa específica entre 1070 kg/m^3 e 1250 kg/m^3 , além de boa capacidade de isolamento térmico e durabilidade satisfatória do material. Comparado com concreto leve com vermiculita de mesma ordem de massa específica, o concreto leve com EPS apresentou maior resistência.

Sartorti (2015) estudou o comportamento dinâmico de lajes de concreto leve com pérolas de EPS, e o material apresentou resultados satisfatórios para a aplicação em elementos estruturais.

2.3.5 Custos de concretos leves com EPS

Muitas aplicações do concreto leve com EPS envolvem a correção de estruturas planas desniveladas, como pisos e lajes, além de servir de material de enchimento para detalhes arquitetônicos e embonecamento de canalizações, podendo ainda ser usado na fabricação de blocos estruturais e de vedação para paredes. Assim as construtoras têm reconhecido a necessidade de utilização de concreto leve na construção civil, reduzindo a carga sobre as fundações e conseqüentemente melhorando os custos da edificação, tornando-se justificável a

pesquisa sobre materiais alternativos para a fabricação do mesmo, com a manutenção de sua resistência, porém, a custos competitivos (BELINE et al., 2015).

O uso de concreto com agregados leves em uma estrutura implica na minimização do custo final da edificação. Apesar de o concreto leve apresentar um custo superior ao concreto convencional por m³, a edificação pode custar menos, resultante de um menor peso próprio, de menor custo das fundações e da armadura (SILVA, 2003).

Vargas (2018) afirma que apesar da aplicação de uma maior quantidade de cimento desencadear em um acréscimo nos custos de produção do concreto leve, o preço total da implicação desse material em uma edificação tende a ser vantajoso, uma vez que ocorre redução do peso próprio da estrutura, sendo essa a principal vantagem do concreto leve, além da possibilidade de construção sobre solos com menor capacidade de carga.

Vargas (2018) defende ainda que o emprego do concreto leve nas construções deve ser realizado após um estudo de custos que avalie a real contribuição desse material para a redução o custo total da edificação, já que é um material mais caro que o concreto convencional.

As propriedades do EPS mostram-se favoráveis para esse mercado, entre suas características se destaca a sua leveza, capaz de gerar a redução de custos por diminuir a carga das fundações, além do benefício de ser um ótimo isolante térmico e acústico (ISOFÉRES, 2016). Diante de tantas possibilidades de uso do EPS dentro da construção civil, destaca-se o seu uso na preparação do concreto leve, que pode ser utilizado em obras de pequeno, médio e grande porte (SCHUH, 2017).

Anjlin (2014) reforça que por apresentar baixos valores quanto à massa específica, o uso do concreto leve reduz significativamente o peso próprio dos elementos cimentícios, influenciando diretamente na economia na estrutura de fundação. Her-Yung (2009), Borja (2011) e Ma *et al.* (2013) reforçam, ainda, que o uso de concretos leves estruturais acarreta numa maior produtividade, por apresentar menor peso próprio que os concretos convencionais, facilitando, portanto, o transporte dos materiais e peças durante a etapa de execução da obra, conseqüentemente, indicando redução no custo final da construção.

O concreto leve estrutural vem sendo aplicado em diversos setores da construção civil, como edificações pré-fabricadas. Os principais benefícios trazidos com a utilização desse material são a diminuição da massa específica do concreto, redução de esforços estruturais, economia de formas e redução de custos com transporte e montagem (ROSSIGNOLO, 2009).

Normalmente, as pontes e as coberturas exigem grandes vãos de concreto armado, correspondendo a 40% do peso das solicitações estruturais. Como auxílio, o concreto leve,

possibilita a redução das dimensões estruturais e aumento dos vãos dos pilares, promovendo uma redução do custo total da obra em até 7% (DALY, 2000).

O EPS conhecido como isopor, vem ganhando espaço na construção civil, seu uso gera uma grande redução os custos de fundações, ferragem de laje e na utilização de concreto, sua utilização pode reduzir 20 % na fundação da obra (BOITA, 2018).

A ampla utilização dos concretos leves estruturais deve-se, especialmente, aos benefícios gerados pela redução da massa específica do concreto, como a redução de esforços devido ao peso próprio da estrutura, a economia com fôrmas e cimbramento bem como a diminuição dos custos com transporte e montagem de edificações pré-fabricadas (LIMA, 2010).

Gomes (2015) afirma que a utilização de um concreto leve na produção de elementos pré-fabricados pode ser considerada vantajosa se forem levados em consideração os menores custos de mão de obra para manuseio, de transporte e de montagem das peças.

2.4 Composição analítica de custos unitários diretos

Dias (2004) define como custo unitário de serviço o somatório das despesas efetuadas e calculadas pelo construtor para a sua execução, distribuídas pelos diferentes elementos constituintes, por unidade de produção, obedecendo as especificações estabelecidas para os serviços no projeto e/ou especificações.

Segundo Tisaka (2006) A quantidade de material, de horas de equipamento e o número de horas de pessoal gasto para a execução de cada unidade desses serviços, multiplicados respectivamente pelo custo dos materiais, do aluguel horário dos equipamentos e pelo salário-hora dos trabalhadores, devidamente acrescidos dos encargos sociais, são chamados de composição dos custos unitários.

Esses custos unitários multiplicados pelas quantidades correspondentes constituem os custos de cada um dos serviços componentes da obra.

2.4.1 Materiais

Tisaka (2006) aponta que aqueles utilizados para a composição dos custos unitários podem se apresentar de forma natural, como areia a granel, semi processadas como brita e madeira, industrializados como cimento, aço de construção, fios elétricos, cerâmicas, produtos acabados para instalações hidráulicas e elétricas, etc.

Esses materiais podem ser representados por unidades de medida, em volumes, em áreas, em comprimentos, em pesos, em sacos, etc. O custo dos materiais deve ser considerado "posto obra", isto é, com o frete incluído, se o fornecedor não entregar na obra sob suas expensas, e levados em conta todos os impostos e taxas que incidirem sobre o produto (TAVES, 2014).

2.4.2 Equipamentos

Tisaka (2006) afirma que o custo horário do transporte e movimentação dos materiais e pessoas dentro da obra, tais como elevadores, guias, caminhões, escavadeiras, tratores, etc, podem ser de propriedade do construtor ou alugado no mercado e geralmente incluem o custo horário dos operadores. As revistas especializadas trazem o custo do aluguel horário dos mais diferentes equipamentos.

Quando os equipamentos são de propriedade do construtor, são considerados a depreciação dos mesmos, juros do capital investido na compra, óleo, combustível e os custos de manutenção com reposição de peças e outras despesas eventuais.

2.4.3 Mão de obra

Tisaka (2006) enfatiza que o custo deste item é representado pelo salário dos trabalhadores que manuseiam os materiais, acrescidos dos encargos sociais e outras despesas que envolvem a participação dos trabalhadores na obra.

Os operários da produção são em geral remunerados pelas horas trabalhadas em função das características do trabalho que muitas vezes exigem um prolongamento ou redução na carga de trabalho (TAVES, 2014).

Nos custos de mão de obra, além das Leis Sociais, devem também ser computados os encargos referentes às despesas de alimentação, transporte, EPI - equipamento de proteção individual e ferramentas de uso pessoal (TAVES, 2014).

2.4.4 Encargos Sociais

Dias (2004) entende que se definem por encargos sociais todos os impostos incidentes sobre a folha de pagamento de salários.

Parte do custo das leis sociais será embutido nos próprios salários, devendo ser calculado como um percentual deste.

Uma vez que constantemente são alteradas algumas das leis que regem o cálculo dos encargos sociais, cabe ao orçamentista acompanhar a evolução destas leis, de modo a manter atualizado o percentual referente a este item de custo, de suma importância por seu elevado peso no preço final de qualquer empreendimento (TAVES, 2014). É importante salientar que no presente trabalho será considerado apenas o custo de materiais na execução da estrutura.

2.4.5 SINAPI

Aduati (2015) explica que o índice SINAPI é uma ferramenta para o acompanhamento do mercado da construção civil criada pela Caixa Econômica Federal (CEF) a fim de orientar as propostas para financiamento, além de possibilitar custos de serviços para todos os estados brasileiros.

Segundo a CAIXA (2018), o índice SINAPI é administrado em parceria com o IBGE e mensalmente são divulgados os custos e índices da construção civil. A Caixa se responsabiliza pelas informações técnicas de engenharia como especificação de insumos, composições de serviços, projetos referenciais e pelo processamento de dados, já o IBGE, realiza a pesquisa mensal de preço, metodologia e formação dos índices. Em 2003 a Lei de Diretrizes Orçamentárias incluiu a mediana dos preços de serviços equivalentes do SINAPI como preços máximos para serviços contratados com recursos do Orçamento Geral da União, entretanto, em 2013, estabeleceu normas e critérios para elaboração do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia, contratados e executados com recursos dos orçamentos da União.

2.5 Cargas e ações nas estruturas

Carvalho e Figueiredo Filho (2014) apontam que ação é qualquer influência, ou conjunto de influências, capaz de produzir estados de tensão ou de deformação de uma estrutura. Entretanto, Kimura (2007) salienta que “essas ações não necessariamente são cargas externas aplicadas diretamente ao edifício. Podem ser, por exemplo, características do material (concreto armado) ou da construção da estrutura, que geram esforços adicionais que devem ser considerados no projeto estrutural”.

De acordo com a ABNT NBR 8681:2003, as ações podem ser classificadas em três categorias, que podem ser definidas como:

2.5.1 Ações permanentes:

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 as ações permanentes são as que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção. Também são consideradas permanentes as ações que aumentam no tempo, tendendo a um valor-limite constante.

A ABNT NBR 8681:2003 ressalta que as ações permanentes podem ser subdivididas em diretas e indiretas, onde as ações diretas são as que estão relacionadas ao peso da estrutura ou dos elementos que integram a edificação como um todo. Já as ações permanentes indiretas são as que surgem a partir de algum evento, como a protensão, os recalques de apoio e a retração de materiais.

2.5.2 Ações variáveis:

Consideram como ações variáveis as cargas acidentais das construções, bem como efeitos, tais como forças de frenagem, de impacto e centrífugas, os efeitos do vento, das variações de temperatura, do atrito nos aparelhos de apoio e, em geral, as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas. Em função de sua probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, as ações variáveis são classificadas em normais ou especiais:

2.5.2.1 Ações variáveis normais:

A NBR 6120 define as ações variáveis normais como as ações com probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de determinado tipo de edificação.

2.5.2.2 Ações variáveis especiais:

São ações transitórias com duração muito pequena em relação ao período de referência da edificação, tendo período de atuação e valores nominais normalmente bem definidos e controlados, sendo utilizado sem verificações específicas, como a passagem de um veículo ou equipamento específico sobre uma parte da estrutura.

3 METODOLOGIA

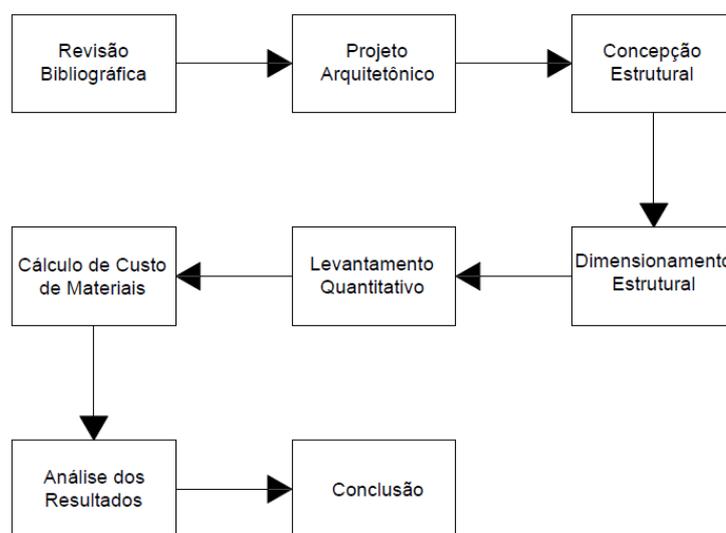
O presente estudo tem como finalidade agregar conhecimentos no tocante à utilização do concreto leve estrutural em obras residenciais na cidade de Palmas, estado do Tocantins, investigando se é uma alternativa viável ou não em relação ao concreto convencional. Tal investigação foi feita a partir de uma análise comparativa de custos, caracterizando-se como um estudo de caso.

Desta forma, a primeira etapa consistiu em um estudo baseado em pesquisas bibliográficas referentes ao concreto leve e o concreto convencional, levando em conta os materiais que serão utilizados e suas proporções. Tal pesquisa foi realizada através da leitura de artigos científicos, monografias e livros.

A partir disso, foi realizada a concepção estrutural e o pré-dimensionamento da estrutura tendo como base o projeto arquitetônico do sobrado residencial unifamiliar. Seguidamente foi iniciada a próxima etapa que consiste no levantamento do quantitativo dos materiais que são empregados tanto na utilização do concreto convencional quanto no concreto leve com substituição parcial de agregados graúdos por EPS, possibilitando assim o comparativo.

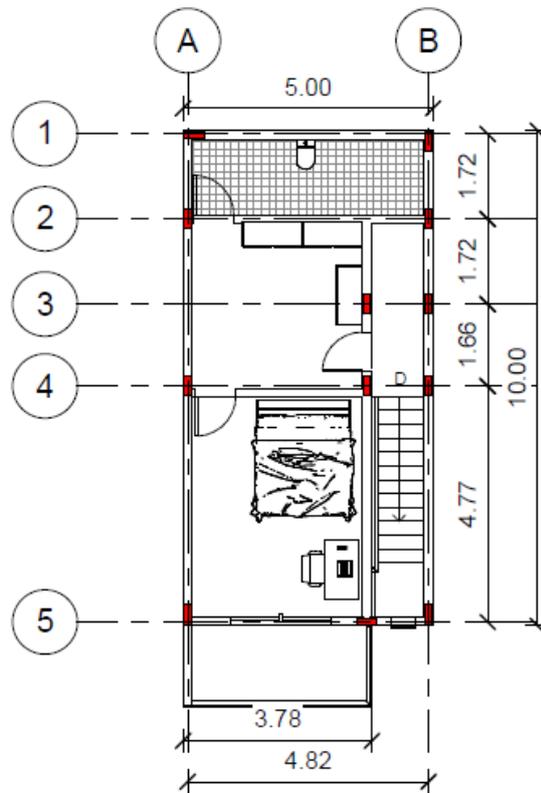
O próximo passo consiste em realizar a orçamentação dos custos de materiais baseado nos dados levantados nos quantitativos da etapa anterior. Para isso, utilizam-se os custos disponíveis na Tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil (SINAPI), da Caixa Econômica Federal.

Figura 7 – Fluxograma das Etapas



Fonte: Autoria própria

Figura 9 – Planta Baixa Pav. Superior



Fonte: Autoria própria

Figura 10 – Fachada 3D do Sobrado



Fonte: Autoria Própria

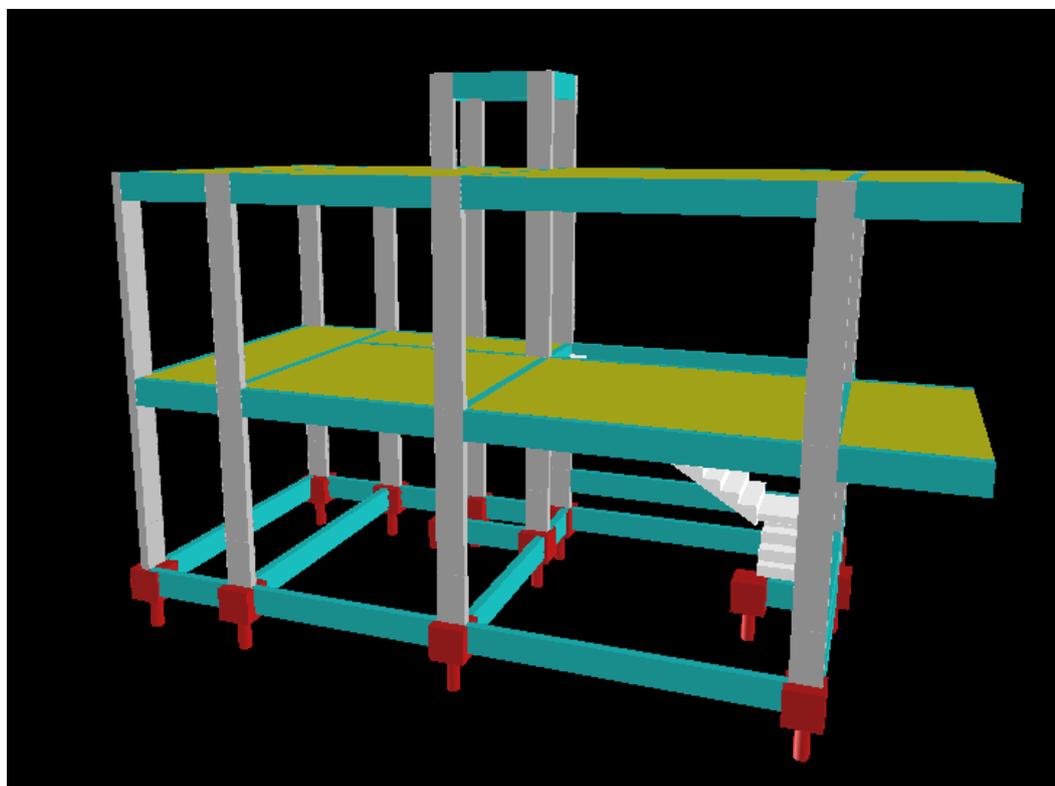
3.2 Levantamento e orçamentação:

O processo de levantamento de materiais é dividido em etapas para que os dados fiquem organizados de forma que facilite o entendimento e evidencie as diferenças de cada sistema, quando houver. No entanto, tendo em vista que algumas etapas não apresentarão grandes disparidades se comparadas com o outro sistema, como por exemplo, a parte elétrica, hidráulica, acabamentos e esquadrias não serão calculados. Desta forma, as etapas que serão mais impactadas com a mudança de sistemas são a de fundação e a superestrutura.

3.3 Dimensionamento Estrutural

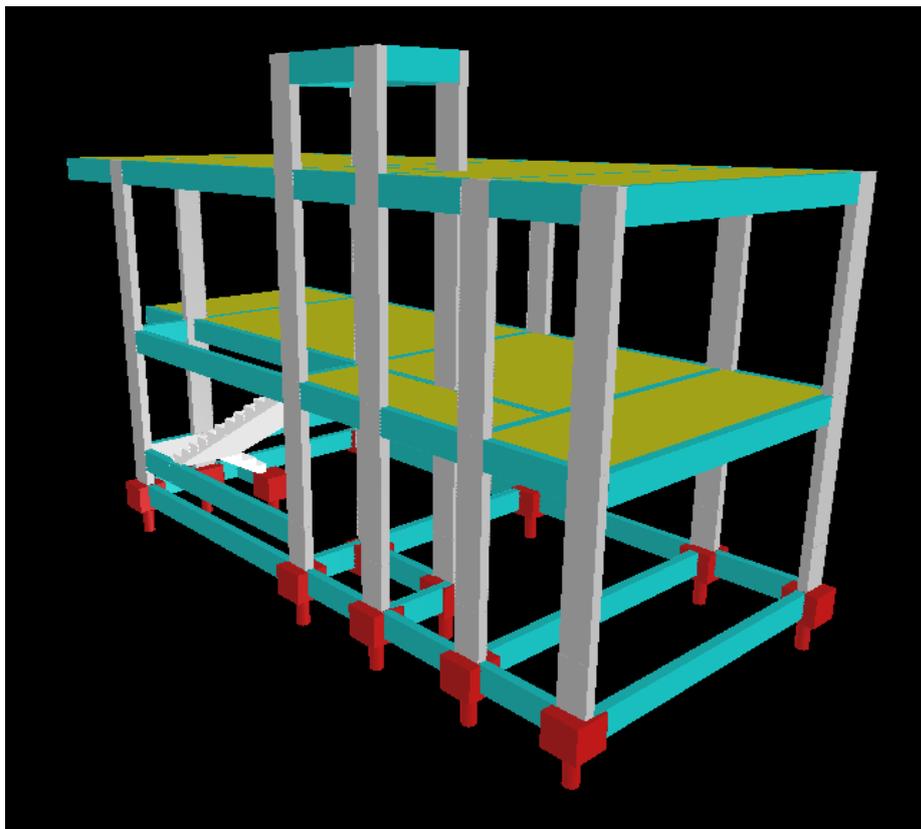
A concepção estrutural foi realizada a partir do projeto arquitetônico que foi apresentado acima, respeitando as peculiaridades do projeto. O lançamento e cálculo da estrutura serão realizados no software Eberick (versão estudante), assim como a inserção dos dados de entrada referentes ao sistema adotado. A tipologia da estrutura e a disposição dos elementos estruturais estão demonstradas nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Estrutura 3D 1



Fonte: Autoria Própria

Figura 12 – Estrutura 3D 2



Fonte: Autoria Própria

3.3.1 Pré-dimensionamento:

No de pré-dimensionamento foi adotado para os pilares externos as dimensões de 15x40 cm e para os internos 15x25 cm. Nas vigas externas foram adotadas as dimensões da seção transversal 15x40cm e nas internas 15x30 cm. As lajes serão maciças, possuindo uma altura de 10 cm. A tipologia de fundação adotada foi a de estacas escavadas com blocos de coroamento, tendo em vista que o perfil do terreno não admite fundações rasas, apresentando resistências aceitáveis em profundidades superiores a 6 metros, como mostrado na Figura 13.

Figura 13 – Sondagem SPT Modelo

PERFIL DE SONDAAGEM A PERCUSSÃO							
Obra: SONDAAGEM - JRC ENGENHARIA					Furo: SP-1		
Interessado: JRC ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES LTDA.					N.A.: não encontrado		
Endereço: ARSE 32, AL. 01, CONJ. 1, LOTE 15. PALMAS - TO.					Data do N.A.:		
N. amostra	Prof. (m)	GOLPES		PROC. DE PERF.	*Consistência / **Compacidade	N.A. (24h)	DESCRIÇÃO DO MATERIAL
		30 cm iniciais	30 cm finais				
00	-1,00			TC			Argila arenosa marrom e cinza com pedregulho grosso de laterita
01	-1,45	1	2	TH	muito mole*		
02	-2,45	2	2	TH	muito mole*		Argila arenosa marrom com pedregulho médio de laterita
03	-3,45	3	2	TH	muito mole*		Argila arenosa marrom e amarela com pedregulho médio de laterita
04	-4,40	4	4	TH	mole*		Argila arenosa marrom e amarela com pedregulho grosso de laterita
05	-5,45	4	4	TH	mole*		
06	-6,45	5	7	CA	média*		Argila arenosa variegada com pedregulho médio de laterita
07	-7,45	8	14	CA	rija*		Argila arenosa marrom e amarela com pedregulho médio de laterita
08	-8,45						<i>Impenetrável ao trépano de lavagem aos 7,80m de profundidade</i>
09	-9,45						
10	-10,45						

Fonte: Acervo pessoal

3.3.2 Dados do concreto:

As propriedades do concreto leve serão adotadas de acordo com os valores obtidos por Santos (2017) em sua pesquisa em laboratório, onde foi obtido uma resistência à compressão de 29,25 MPa com 7 dias e de 29,95 MPa com 28 dias no concreto leve com substituição de 40% do volume de agregado graúdo por EPS. Portanto, foi adotado o valor de 30 MPa para os dois sistemas estudados, para que seja feita a comparação do consumo de material em cada modelo. O Módulo de Elasticidade (E) obtido foi de 12,41 GPa e a massa específica 1599 kg/m³.

Para obtenção desses dados referentes ao concreto, Santos (2017) utilizou o seguinte traço:

- Em volume (m³):
 - ✓ Cimento: 0,154
 - ✓ Areia: 0,326
 - ✓ Brita: 0,167
 - ✓ EPS: 0,111
 - ✓ Água: 0,216

- Em massa (kg):
 - ✓ Cimento: 475,77
 - ✓ Areia: 886,19
 - ✓ Brita: 433,98
 - ✓ EPS: 1,78
 - ✓ Água: 216,00

Após a realização do dimensionamento estrutural, foram analisados os dados fornecidos pelo software, como quantitativo de materiais necessários para a execução da superestrutura e as cargas que chegam à fundação, para então dimensioná-la de acordo com a capacidade de carga do ensaio de SPT.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados referentes ao dimensionamento estrutural, onde é possível identificar as diferenças de consumo de materiais na utilização do concreto convencional e do concreto leve.

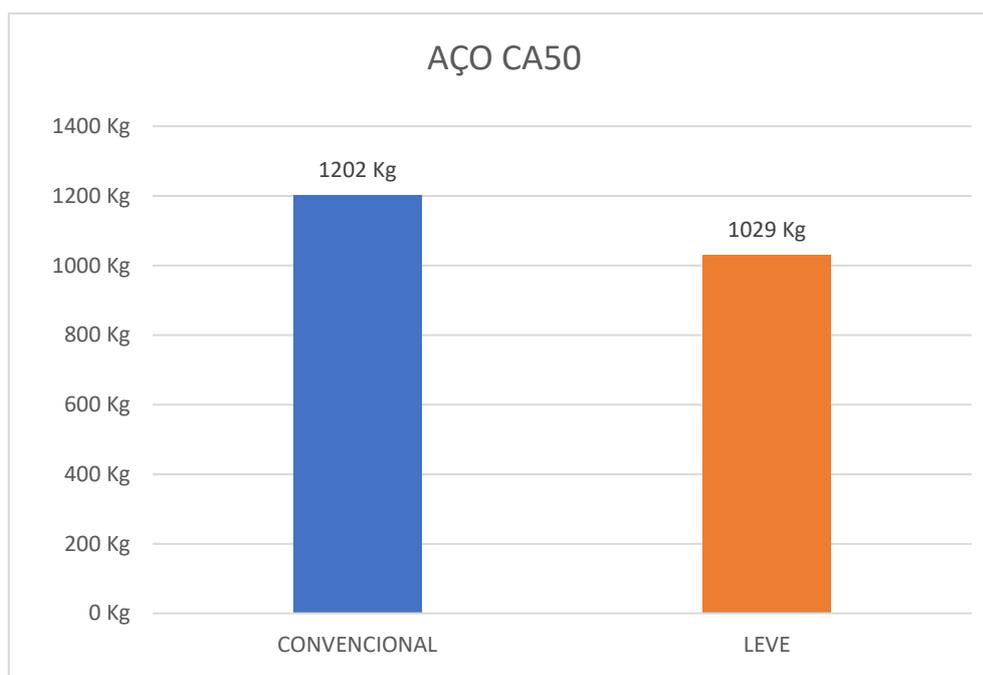
4.1 Peso Próprio da Estrutura

O peso próprio da estrutura convencional foi de 66,56tf, enquanto o da estrutura leve foi de 43,21tf. Uma redução de 35%. Essa diferença se dá devido à substituição parcial do agregado graúdo por pérolas de EPS, diminuindo assim a massa específica do concreto em relação ao concreto convencional.

4.2 Consumo de aço na Estrutura

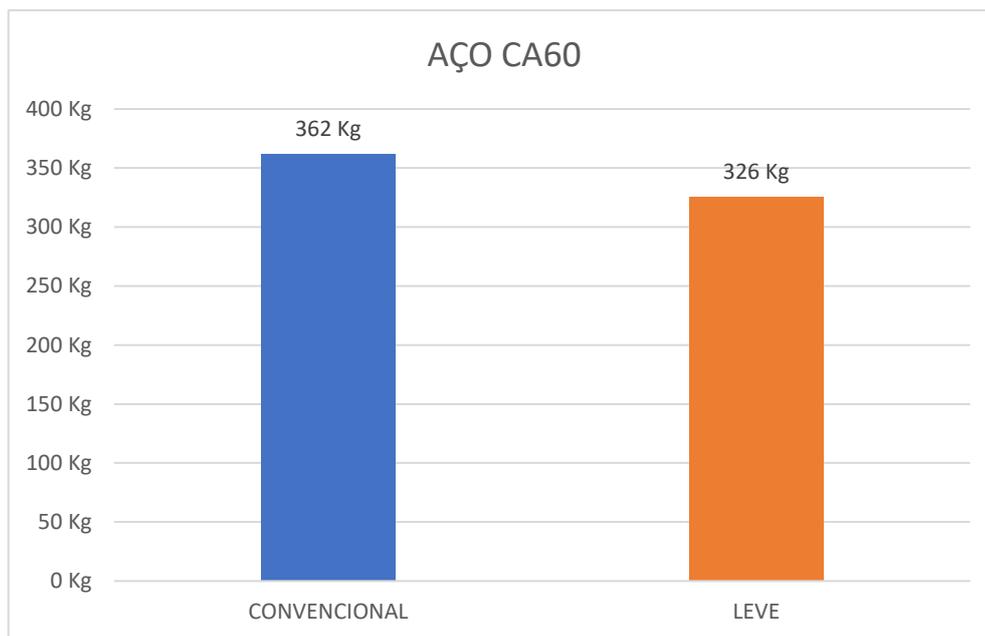
Os gráficos 1 e 2 mostram em valores absolutos a quantidade de aço CA50 e CA60 que foram utilizados tanto na estrutura convencional como na estrutura em concreto leve com substituição parcial do agregado graúdo por EPS.

Gráfico 1 – Consumo de CA50



Fonte: Autoria Própria

Gráfico 2 – Consumo de CA60



Fonte: Autoria Própria

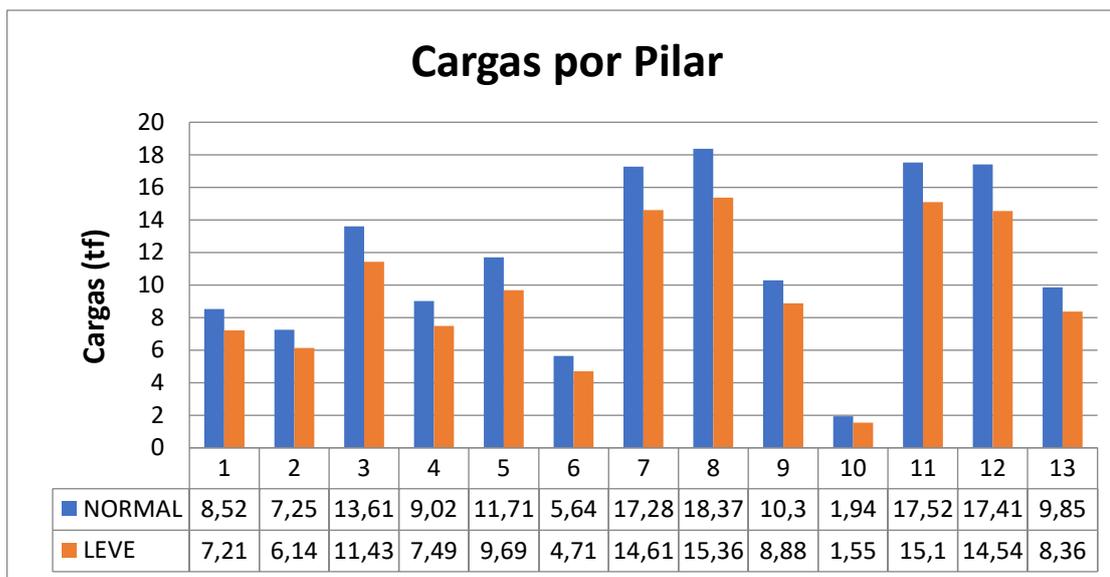
Com esses dados pode-se notar que com a utilização do concreto leve, houve uma redução de 14,40% no consumo de CA50 e de aproximadamente 10% no CA60, a causa dessa diminuição se deve à mudança dos esforços atuantes na estrutura, devido à redução do peso próprio, que representa uma importante parcela das cargas permanentes.

4.3 Cargas nas Fundações

Após o dimensionamento da estrutura foi realizado o cálculo das fundações utilizando o método de Aoki e Veloso. Os Gráficos 3 e 4 mostram respectivamente a relação de cargas por pilar, assim como a quantidade de estacas nos blocos de fundação.

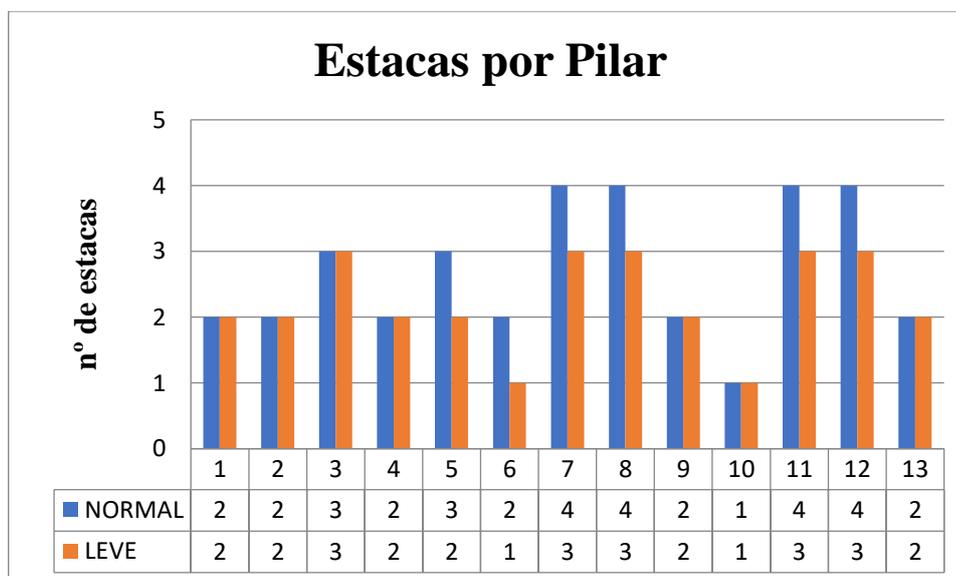
Observa-se que o pilar mais solicitado da estrutura de concreto convencional apresentou uma carga axial de 18,37tf, enquanto o pilar mais solicitado da estrutura em concreto leve apresentou a carga axial de 15,36tf, uma diferença de 16,38%, redução que também ocorre pela mudança na massa específica do concreto utilizado.

Gráfico 3 – Cargas por Pilar



Fonte: Autoria Própria

Gráfico 4 – Número de Estacas por Pilar



Fonte: Autoria Própria

4.4 Comparativos de Custos

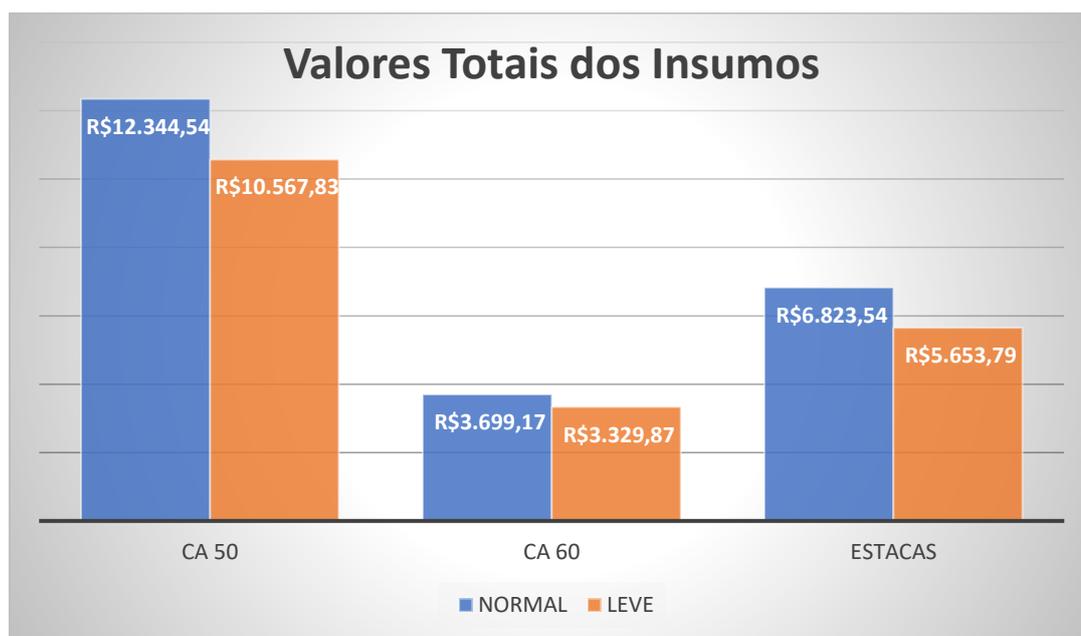
A partir dos resultados obtidos nos quantitativos, é possível calcular a diferença nos custos de materiais necessários para a execução dos dois tipos de estrutura, utilizando os valores da tabela SINAPI do mês de agosto de 2021 como base de dados dos insumos utilizados na análise comparativa.

Em relação às estacas dos blocos de fundação, a variação de estacas totais entre os dois sistemas foi de 6 estacas, totalizando cerca de 3,2m³ de concreto, representando uma economia de R\$1.184,45 de acordo com a tabela SINAPI (2021), que aponta que o valor do metro cúbico do concreto está a R\$370,14.

Quanto ao aço, obteve-se uma diferença de 173,00kg no aço CA50 e 36,1kg no aço CA60, o que representa, segundo a tabela SINAPI, uma economia de R\$1776,71 e R\$369,30 respectivamente, totalizando uma quantia de R\$2146,00 em economia de aço.

O gráfico 5 apresenta o valor total gasto em cada insumo que foi influenciado pelo uso do concreto leve ou convencional. É possível verificar que em todos os insumos o concreto leve representou redução no consumo em relação ao convencional, totalizando o montante de R\$3.315,76 de economia.

Gráfico 5 – Valores Totais dos Insumos



Fonte: Aatoria Própria

Diante do que foi apresentado, é possível verificar que a utilização do concreto leve acarretou em uma modesta, porém importante economia, que poderia ser maior em obras de maior porte, ou se considerado na etapa de dimensionamento um concreto de fck menor, aumentando assim as dimensões dos elementos estruturais e a taxa de aço necessária para atender os limites estipulados por norma.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade econômica no uso do concreto leve em relação ao concreto convencional. A partir das análises dos resultados obtidos é possível chegar às seguintes conclusões:

- Quanto ao peso próprio: foi possível observar uma considerável redução no peso próprio da estrutura como um todo, por volta de 35%. Esse resultado se deve à redução da massa específica do concreto, tornando a estrutura mais leve de forma geral.
- Cargas na fundação: observou-se uma redução nas cargas que chegam às fundações, conseguindo reduzir a quantidade de estacas em alguns blocos (06 estacas no total, representando redução de aproximadamente 17% no número de estacas). A causa provável para esta redução é a diferença no peso próprio da estrutura nos dois casos, tendo em vista que as cargas adicionais e acidentais permaneceram constantes.
- Quantidade de aço: foi obtida uma redução considerável na quantidade de aço no concreto leve em relação ao concreto convencional (14,4% em relação ao CA50 e 10% em relação ao CA60), representando uma economia de aproximadamente R\$2146,00.

A partir desses resultados, é possível afirmar que, de forma geral, o uso do concreto leve se mostrou uma opção viável principalmente devido à redução do peso próprio da estrutura, conseguindo assim reduzir esforços e conseqüentemente o consumo de aço e concreto nas fundações. Porém, neste estudo específico, por se tratar de um pequeno sobrado, a economia em valores absolutos não foi tão alta (em torno de R\$3.315,00), não justificando o seu uso.

Ainda assim, o concreto leve com substituição parcial do agregado por EPS apresenta uma boa alternativa quando analisado sob a ótica da sustentabilidade (em casos de reaproveitamento de EPS descartado) e também em obras que tenham um grande volume em concreto ou vários pavimentos.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros recomendo análises do impacto no uso do concreto leve em edificações que utilizam outros sistemas como, por exemplo, estrutura pré-fabricada ou de múltiplos pavimentos, considerando que com o aumento do volume de concreto e das cargas atuantes na estrutura, espera-se uma economia ainda maior em relação ao preço total da edificação.

REFERÊNCIAS

- ABIQUIM. **Reciclagem de isopor®: Tudo sobre as etapas e vantagens do processo!** (2014). Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/noticia/view/18/brasil-recicla-345-do-eps-pos-consumo.html>. Acesso em: 15 mai. 2020.
- ABNT. **NBR 9935: Agregados - Terminologia**. Rio de Janeiro. 2011.
- ABNT. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro. 2011.
- ABNT. **NBR 7211: Agregados para concreto – especificação**. Rio de Janeiro. 2009.
- ADUATI, J. L. **Comparativo orçamentário para uma habitação de interesse social**. 2015. 56 fl. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). UNIJUI. Santa Rosa, 2015.
- AÏTCIN, P. C. **How the water-cement ratio affects concrete strength**, *Concr. Int.* 25, 8 (2000) 51-58.
- ALVES, R. **Resistência mecânica de concreto de cimento Portland: correlação de ensaio à compressão axial com esclerometria**. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Univates. Lajeado. 2017.
- AMARIO, M. **Caracterização física e mecânica de concreto leve estrutural contendo agregados de tijolos cerâmicos**. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2013.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. **Guide for structural lightweight aggregate concrete, ACI 213R-87**. ACI Manual of Concrete Practice - Part 1, 1997.
- ANGELIN, A. F. **Concreto leve estrutural - Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais**. Dissertação (Mestra em Tecnologia). Universidade Estadual De Campinas. Limeira. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Boletim técnico**. (2002). Disponível em: http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf. Acesso em: 15 mai. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto**. (2013). Disponível em: <https://abcp.org.br/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>. Acesso em: 03 set. 2020.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO. **O Mercado de Agregados no Brasil**. Panorama e perspectivas para o setor de agregados para construção. 2015.

BELINE, E. L. et al. **Substituição de agregados graúdos do concreto por materiais alternativos na fabricação de elementos não estruturais em concreto leve.** UNESPAR/Campus de Campo Mourão. 2015.

BOITA, A. **Análise da substituição parcial do agregado miúdo por poliestireno expandido (EPS) na argamassa de assentamento.** Artigo. (Bacharel em Engenharia Civil). UCEFF. 2019.

BRASIL. Caixa Econômica Federal. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI.** Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 03 set. 2020.

BRITO, A. D. **Parâmetros para qualidade dos blocos de concreto na produção.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Faculdade Pitágoras. Londrina 2017.

CARVALHO, C. H. R. **Estudo de concreto com poliestireno expandido reciclado.** Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2017.

CATOIA, T. **Concreto ultraleve® estrutural com pérolas de EPS: caracterização do material e estudo de suas aplicações em lajes.** Tese (Doutor). Universidade de São Paulo. São Carlos. 2012.

Daly, A. F.; *Use of lightweight aggregate concrete in bridges.* In: Second International Symposium of Structural Lightweight Aggregate Concrete. Kristiansand, Noruega, 2000.
DIAS, P. R. V. **Engenharia de Custos: Estimativa de Custo de Obras e Serviços de Engenharia.** 1º Edição. Rio de Janeiro, 2004.

FERRERIA, D. V. G. **Edifícios com lajes maciças e paredes portantes pré-moldadas de concreto leve com pérolas de EPS.** Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas). Universidade Federal de São Paulo. São Carlos. 2013.

GOMES, L.C. **Estudo do Sistema de Lajes Mistas com Fôrmas de Aço Incorporada Empregando Concreto Estrutural Leve.** Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 2001.

GOMES, P. C. P. et al. **Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados.** **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 31-46, jul./set. 2015. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212015000300024>

GONÇALVES, A. **Desempenho do concreto leve com adição de EPS.** Universidade Paranaense, Campus Toledo. 2018.

JACOBIM P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade.** Estud. av. vol.25 no.71 São Paulo Jan./Apr. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142011000100010>. Acesso em: 15 mai. 2020.

LASCARRO, M. **A Federação Iberoamericana do Concreto Pré-misturado analisa os principais números da indústria.** (2017). Disponível em:

<https://www.construcaolatinoamericana.com/indicadores-do-concreto/128426.article>. Acesso em: 03 set. 2020.

LOPES, B. B. **Avaliação da aderência em sistemas de revestimento de argamassa sobre superfícies de concreto**. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2013.

METHA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 2014.

MONCAYO, W. J. Z. **Comportamento residual do concreto leve com pérolas de EPS após situação de incêndio**. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade De São Paulo. São Carlos. 2017.

MULLER, H. M. B. **Análise de viabilidade técnica da utilização de telhas de concreto leve com adição de EPS como agregado miúdo em Sinop- MT**. Revista CONSTRUINDO, Belo Horizonte. Volume 10, número 02, p. 76 – 103, Jul - Dez., 2018.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Trad. Salvador E. Giammusso. 2.ed. São Paulo: PINI, 1997.

NEWMAN, J. R. **Properties of structural lightweight aggregates concret**. In: Structural lightweight aggregate concrete. Edited bay J.L. Clarke. 2005.

PÉRTILE, J. **Propriedades do concreto**. (2016). Disponível em: <https://docplayer.com.br/18408743-Propriedades-do-concreto-jaqueline-pertile.html>. Acesso em: 01 mai. 2020.

PIRES, R. **Desenvolvimento de argamassas com adição de poliestireno expandido**. Monografia (Bacharel em engenharia de infraestrutura). Universidade Federal De Santa Catarina. Joinville. 2017.

PORTAL DO CONCRETO. **Concreto com módulo de elasticidade definido**. (2017). Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/modulos.html>. Acesso em: 02 abr. 2020.

PORTAL DO CONCRETO. **Concreto convencional**. (2017). Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/convencionais.html>. Acesso em: 02 mai. 2020.

RAZERA, J. **Avaliação comparativa dos custos de produção e aplicação de concretos autoadensável e convencional**. Monografia (Especialista em Estruturas). Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Toledo. 2012.

RICCHINI, R. **setor reciclagem. Isopor, é possível reciclar**, 2015.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural: produção, microestrutura e aplicações**. São Paulo. PINI. 2009.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, V. C. **Mechanical properties of Polymer-modified lightweight aggregate concrete.** In: Cement and Concrete Research, n°. 32. 2002.

SALGADO, J. C. P. **Técnicas e práticas construtivas para edificação.** 2. ed. rev. São Paulo: Érica, 2009.

SARTORTI, A. L. **Comportamento dinâmico de lajes maciças de concreto leve com pérolas de EPS.** Tese (Doutor em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo. São Carlos. 2015.

SCHACKOW, A. et al. **Mechanical and therman properties of lightweight concretes with vermiculite and APF using air-entrainign agent.** Construction and Building materials. V.57. 2014.

SCHUH, P. D. M. **Uso do eps na construção civil: estudo comparativo entre o concreto leve com eps e o concreto convencional.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Santa Rosa. 2017.

SCOBAR, L. R. **Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão. 2016.

SILVA, M. D. **Estudo comparativo entre a utilização dos concretos convencional e leve nos elementos horizontais das estruturas de edifícios.** Dissertação (Mestre em Estruturas). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2003.

SIQUEIRA, L. V. M. et al. **Adição de Poliuretano expandido para a confecção de blocos de concreto leve.** Revista Matéria. 2004.

SOBRAL, H.S. **Concretos Leves: Tipos e Comportamento Estrutural.** Estudo Técnico N° 86, ABCP, São Paulo, 1987.

STOCCO, W.; RODRIGUES, D.; CASTRO, A. P. A. S. **Concreto leve com uso de EPS.** Secretaria Executiva: Factos Eventos. 2009.

TAVES, G. G. **Engenharia de custos aplicada à construção civil.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2014.

TISAKA, M. **Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução.** São Paulo: Editora Pini, 2006.

VARGAS, V. C. **Concreto leve: estudo de dosagem substituindo o agregado graúdo convencional pela argila expandida.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Alto do Vale do Rio do Peixe – UNISRP. Caçador. 2018.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar** 9. ed. São Paulo: Pini: SINDUSCON, 2008.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**: segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EduFSCar, 2014. 415 p.

NECHEL, Wagner Roberto **Análise comparativa entre a resistência à compressão, massa específica e absorção de água do concreto normal e concreto leve**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2018.

ANEXO A – Vista 3D do projeto arquitetônico do sobrado

