



FAPAC – FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
ITPAC – INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS PORTO
LTDA

RHAYLLA CRISTIELLY RÊGO DE SOUSA

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE PROTÓTIPOS DE CASAS PRÉ-MOLDADAS
EM CONCRETO LEVE NA CIDADE DE PORTO NACIONAL E PALMAS-TO

PORTO NACIONAL - TO

2019

RHAYLLA CRISTIELLY RÊGO DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE PROTÓTIPOS DE CASAS PRÉ-MOLDADAS
EM CONCRETO LEVE NA CIDADE DE PORTO NACIONAL E PALMAS-TO**

Projeto apresentado ao curso de Engenharia Civil do Instituto Presidente Antônio Carlos Porto LTDA, como requisito parcial para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Fernando Antônio da Silva
Fernandes

PORTO NACIONAL - TO

2019

RHAYLLA CRISTIELLY RÊGO DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE PROTÓTIPOS DE CASAS PRÉ-MOLDADAS
EM CONCRETO LEVE NA CIDADE DE PORTO NACIONAL E PALMAS-TO**

Projeto apresentado ao curso de Engenharia Civil do Instituto Presidente Antônio Carlos Porto LTDA, como requisito parcial para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Fernando Antônio da
Silva Fernandes

Projeto de pesquisa apresentado e defendido em ____/____/____ pela banca
examinadora constituída pelos professores:

Orientador: Prof. Me. Fernando Antônio da Silva Fernandes
Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos – Porto Nacional

Professor Alesi Texeira Mendes
Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos – Porto Nacional

Professor Esp. Diogo Luiz Quixabeira Camargo
Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos – Porto Nacional

PORTO NACIONAL - TO

2019

RESUMO: Geralmente impulsionado pela necessidade da construção de moradias e edificações utilizadas nas atividades produtiva, o setor da construção civil sempre foi marcado por demandar grande quantidade de recursos naturais. Assim, o conceito de construção sustentável vem ganhando cada vez mais notoriedade no cenário mundial sobre a minimização dos impactos ambientais. Este trabalho tem como foco o quarto pilar da construção sustentável, a utilização de matérias recicláveis como agregado na produção de concreto leve. Entretanto o setor da construção civil é altamente conservador e a entrada de inovações construtivas é um grande entrave da introdução de medidas sustentáveis na indústria da construção. E o principal motivo é o fato de não se conhecer como esses materiais se comportam ao longo do tempo. Assim o principal objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho ao longo do tempo de protótipos de casas pré-moldadas em loco utilizando concreto leve com adição de EPS. Para esta avaliação será utilizado 4 protótipos do projeto “Casa Verde”, que se tratam de edificações construídas com EPS no concreto em substituição dos agregados, executadas nas cidades de Porto Nacional - TO e Palmas – TO. Espera-se que os resultados deste trabalho possam contribuir para a avaliação do comportamento e desempenho ao longo do tempo de edificações construídas de concreto leve com adição de EPS.

Palavras-Chave: Sustentabilidade, Concreto leve e Desempenho

ABSTRACT: Generally driven by the need to build houses and buildings used in productive activities, the construction industry has always been marked by demanding large amounts of natural resources. Thus, the concept of sustainable construction is gaining more and more notoriety in the world scenario about the minimization of environmental impacts. This work focuses on the fourth pillar of sustainable construction, the use of recyclable materials as an aggregate in the production of lightweight concrete. However, the construction sector is highly conservative and the introduction of constructive innovations is a major obstacle to the introduction of sustainable measures in the construction industry. And the main reason is that it is not known how these materials behave over time. Thus the main objective of this work is to evaluate the performance over time of prototypes of precast houses in loco using lightweight concrete with EPS addition. For this evaluation will be used 4 prototypes of the project "Green House", which are buildings built with EPS in concrete to replace aggregates, built in the cities of Porto Nacional - TO and Palmas - TO. It is hoped that the results of this work may contribute to the evaluation of the behavior and performance over time of buildings constructed of lightweight concrete with EPS addition.

Keywords: Sustainability, Lightweight Concrete and Performance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo da Concretagem.....	17
Figura 2: Cúpula do Panteão; El Tajin, no México	20
Figura 3: Localização dos protótipos na cidade de Porto Nacional - TO	23
Figura 4: Localização do protótipo na cidade de Palmas – TO	24

LISTA DE ABREVIATURA

ABCIC - Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AVC - Avaliação Do Ciclo De Vida

BNH - Banco Nacional de Habitação

CEUs - Centros Educacionais Unificados

CIB - Conselho Internacional para Pesquisa e Inovação em Construção

CLE - concreto leve

COHAB - Companhia de habitação

CPM - Concreto Pré-Moldado

EPS - Poliestireno Expandido

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ITPAC - Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos

PIB - Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	12
3.2 PRÉ-MOLDADOS	13
3.3 PAREDES DE CONCRETO.....	17
3.4 CONCRETO LEVE.....	18
4 METODOLOGIA	23
6 CRONOGRAMA	26
7 RESULTADOS ESPERADOS	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

O conceito de construção sustentável vem ganhando cada vez mais notoriedade no cenário mundial sobre a minimização dos impactos ambientais. O setor da construção civil sempre foi marcado por demandar grande quantidade de recursos naturais, geralmente impulsionado pela necessidade da construção de moradias e edificações utilizadas nas atividades produtivas.

Por esta razão a construção civil torna-se um dos ramos industriais que mais consomem matéria prima, chegando a se apropriar de cerca de 50% destes recursos. E a construção sustentável é a principal aposta para melhorar os índices tão preocupante deste setor industrial com relação a preservação dos meios ambiente.

A construção sustentável se divide em cinco pilares; o primeiro é a elaboração de projetos inteligentes onde é aproveitado a luz natural para iluminação interna das edificações. O segundo é gerenciamento da emissão resíduos provenientes da construção. O terceiro pilar é a produção de obras com autossuficiência energética. O quarto seguimento é utilização de materiais ecológicos produzidos com resíduos recicláveis. E por fim o quinto pilar que quem tem por finalidade utilizar a água proveniente da chuva.

Este trabalho tem como foco o quarto pilar da construção sustentável, a utilização de matérias recicláveis como agregado na produção de concreto leve. Atualmente existe diversas linhas de pesquisas acadêmicas a respeito deste tema. E a adição de Poliestireno Expandido (EPS) no concreto vem demonstrando resultados satisfatórios a respeito de resistência, qualidade de acabamento e redução do peso próprio dos componentes das edificações, implicando em menos cargas nas fundações, garantindo segurança e economia na obra.

Entretanto o setor da construção civil é altamente conservador e a entrada de inovações construtivas é um grande entrave da introdução de medidas sustentáveis na indústria da construção. E com pouca movimentação de mercado a produção de edificações sustentáveis se tornam relativamente cara, devido ao alto preço dos materiais.

Mesmo com resultados altamente positivos em laboratório, o principal motivo dos materiais sustentáveis ainda sofrerem rejeição no mercado é o fato de não se conhecer como esses materiais se comportam ao longo do tempo. Assim este trabalho tem por finalidade avaliar o comportamento ao longo do tempo de casas construídas

com paredes de concreto leve, utilizando EPS em substituição dos agregados do concreto, para que se possa avaliar a eficiência desses produtos ao longo do tempo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho ao longo do tempo de protótipos de casas pré-moldadas em loco utilizando concreto leve com adição de EPS.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o estado de conservação estrutural dos protótipos do projeto “casa verde” após 8 anos de sua execução.
- Realizar uma análise de desempenho térmico dos protótipos das casas pré-moldadas de concreto leve com adição de EPS.
- Verificar a resistência do concreto com adição de EPS, reproduzindo o traço executados nos protótipos.
- Identificar as principais vantagem e desvantagens da utilização de paredes de concreto com adição de EPS ao longo do tempo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo o Conselho Internacional para Pesquisa e Inovação em Construção (CIB), a construção sustentável é definida como um processo que procura estabelecer uma interação harmônica entre o meio ambiente e as construções feitas pelo homem, estimulando assim a igualdade econômica e a dignidade humana (CIB, 2002).

Na sociedade contemporânea, a busca continua pela melhoria da qualidade de vida vem estimulando o desenvolvimento tecnológico. Este é um fenômeno positivo ao se pensar do ponto de vista econômico, entretanto nem sempre traz benefícios do ponto de vista social e ecológico. Exemplificados pelas consequências devastadoras ao meio ambiente, causadas pelo crescimento industrial (LORDÊLO et al., 2007).

Nesse contexto a construção civil é o setor responsável pela maioria dos problemas ambientais, principalmente devido à grande demanda de recursos naturais, chegando a representar de 20% a 50% dos recursos utilizados. Além disso a setor da construção é responsável por emissão de cerca de 50% das emissões de CO₂. E o problema mais que causa maior impacto ambiental é o descarte de resíduos sólidos, chegando à construção civil a contribuir com 70% da produção total de resíduos sólidos do planeta (LORDÊLO et al., 2007).

Nas últimas décadas o setor da construção civil vem sendo pressionado a adotar medidas sustentáveis em seus processos produtivos, seja por iniciativas governamentais, por influência de mercado ou por consciência social. Para se adequar a essas novas exigências sustentáveis, a indústria da construção deve readequar as metodologias de produzir e gerir suas obras (CORRÊA, 2009).

Dentre os princípios básicos para a construção sustentável destaca – se o aproveitamento de condições naturais locais, utilização mínima de terreno com integração ao ambiente natural, não provocar ou reduzir impactos no entorno, gestão sustentável da implantação da obra, adaptar-se às necessidades atuais e futuras dos usuários, usar matérias-primas que contribuam com a ecoeficiência do processo, redução do consumo energético, redução do consumo de água e dispor corretamente os resíduos sólidos (CORRÊA, 2009).

Atualmente é verificado um grande aumento do número de pesquisas e publicações científicas sobre a sustentabilidade na construção civil. Um dos principais

assuntos abordados é a avaliação do ciclo de vida (AVC), que pode ser definida como a avaliação e compilação das entradas e saídas de um produto durante seu ciclo de vida, bem como seus potenciais impactos ambientais. Sendo está uma das técnicas mais utilizadas em habitações (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

A avaliação do ciclo de vida também pode ser definida como um procedimento sistêmico que tem por objetivo estimar e avaliar os impactos sobre a qualidade de vida humana e no meio ambiente causada por um determinado produto. As etapas abordadas são a produção, o uso/ operação, a demolição e deposição final (SILVA, V.; SILVA, M., 2000).

Com a avaliação dos processos de entrada e saída de uma componente estrutural é gerado um perfil ambiental que demonstra as interações do mesmo com o ambiente. Assim a aplicação da avaliação do ciclo de vida é bastante utilizada para subsidiar na escolha dos materiais ou de um sistema que apresente melhor desempenho ambiental. (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

3.2 PRÉ-MOLDADOS

Segundo Vasconcellos (2002), não é possível afirmar com precisão a data em que a pré-moldagem surgiu, já que o nascimento do concreto armado ocorreu com a pré-moldagem de elementos. Com base nisso, pode-se afirmar que a pré-moldagem criada pelo engenheiro inglês John Alexander Brodie, começou com a invenção do concreto armado que foi inventado em 1849 por Joseph Monier.

No período de 1939 a 1945, durante a segunda guerra mundial, a Europa sofreu imensas devastações e necessitou de reconstrução em grande escala. Foi daí que as construções pré-fabricadas tomaram um impulso e com a escassez de recursos, essa modulação fixou-se como a maneira mais viável, promovendo assim, a industrialização da construção mesmo com a arquitetura ainda inflexível (PAULANI, 2008).

O Hipódromo da Gávea é a primeira e grande obra no Brasil realizada em elementos pré-fabricados e se localiza no Rio de Janeiro, que no ano de 1926 utilizou-se desta técnica, ainda em desenvolvimento, nas estacas das fundações e nas cercas do perímetro do Hipódromo. Foi construído pela empresa dinamarquesa Christian-Nielsen (PAULANI, 2008).

A partir da década de 60, já havia uma preocupação real e sistemática quanto a industrialização da construção, na qual a principal razão era o aumento exorbitante da população urbana no final da década de 50. Esse crescimento populacional pegou o Brasil de surpresa, já que não era o esperado, logo, surgiram problemas de déficit habitacional e foi devido a isso que se criou o Banco Nacional de Habitação (BNH) (PRÉ-FABRICAR, 2019).

O BNH foi responsável por ter dado impulso ao setor da construção civil no ano de 1996, que segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), retinham 5% do Produto Interno Bruto (PIB). Mas não demorou muito até a ideia de o pré-fabricado ir por água a baixo, por motivos de desinteresse, não houve incentivo quanto a mão-de-obra qualificada no canteiro de obra. Foi aí que os empresários tomaram partido, pois, vislumbraram o grande potencial dos pré-fabricados no futuro (PRÉ-FABRICAR, 2019).

O sistema de pré-fabricados só chegou ao Brasil na década de 70 depois de pesquisas realizadas na Colômbia e na Venezuela e estudos de casos na Alemanha e na União Soviética. Na segunda metade dessa década, o BNH adotou um novo rumo para o setor, ainda que o estímulo não fosse nítido, o banco reorientou seu atendimento para camadas onde o poder aquisitivo era menor, começando a utilizar os elementos pré-fabricados de concreto (SERRA et al., 2005).

O banco BNH e seus agentes contribuíram com a pesquisa e o desenvolvimento de alguns dos processos construtivos. Instalaram canteiros experimentais como: o Jardim São Paulo (SP), em 1981; o Carapicuíba VII, no ano de 1980, também em São Paulo e o Narandiba (BA), em 1978. Porém, manifestações patológicas começaram a aparecer nos edifícios, inclusive a Companhia de habitação (COHAB) – SP, por meio de relatórios técnicos internos, fez uma denúncia a respeito da situação precária em que as moradias se encontravam (SERRA et al., 2005).

Consequentemente, o custo da sua manutenção aumentou e, por conta disso, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), chegou à conclusão que tentar recuperar não era uma opção viável, nem tecnicamente, nem economicamente e muito menos operacionalmente, recomendando assim a demolição. Sabe-se que a razão para demolição não era somente problemas patológicos e sim rejeição social (DE VASCONCELOS, 2002).

Os motivos que levaram o Instituto a essa conclusão foram:

material que estava sendo usado na confecção dos painéis sendo ele inadequado, à execução extremamente deficiente das peças estruturais dos edifícios e à corrosão generalizada das armaduras dos elementos estruturais (pilaretes nas paredes e tirantes nas janelas). (SERRA et al., 2005, p.06).

Após tantos acontecimentos, na década de 80, os pré-fabricados praticamente deixaram de existir e só retornaram uma década depois em consequência do crescimento da cidade de São Paulo, que era e ainda é visada como uma área de grandes investimentos. Sendo assim, houve um aumento na construção de hotéis, flats e shopping centers utilizando deste método construtivo (PIGOZZO et al., 2006).

Com o intuito de obter um acabamento sofisticado e elegante para suas fachadas, estes edifícios comerciais e também hoteleiros de múltiplos pavimentos passaram a usufruir da tecnologia que acabara de ressurgir voltada para painéis pré-fabricados de fachada para edifícios também chamados de painéis arquitetônicos que aumentam a velocidade de execução da construção e a estética (PIGOZZO et al., 2006).

Porém, mesmo com todo esse histórico, a utilização do sistema pré-moldado no Brasil ainda é fraca. Segundo a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC), as vendas deste sistema para habitação foram de apenas 4,7% do montante total de vendas do setor (RAEDER et al., 2018).

Na engenharia civil, a área da construção ainda é considerada atrasada em relação às outras áreas industriais devido ao fato de a mesma apresentar um grande desperdício de materiais, baixa produtividade, processos demorados e baixo controle de qualidade (EL DEBS, 2000).

Uma das soluções a fim de atingir uma redução desse atraso é o uso de elementos estruturais em concreto pré-moldado (CPM), onde o processo construtivo consiste em fazer as peças em um local mais adequado de boas condições, diferente do que seria in loco, e em seguida serem transportados e montados no local desejado (EL DEBS, 2000).

A diminuição da ociosidade na obra, a grande reutilização das fôrmas, a redução na quantidade de cimbramento, melhor controle dos componentes pré-moldados e a diminuição do desperdício de materiais na construção não são os únicos benefícios de se trabalhar com o CPM, já que este método possibilita a valorização de mão de obra e maior oferta de equipamentos devido ao seu emprego aumentar

juntamente com o grau de desenvolvimento tecnológico e social do país. Há uma melhora significativa nas condições de trabalho (EL DEBS, 2000).

Pode se citar como principais desvantagens dos elementos pré-moldados o fato de que precisam ser transportados e erguidos, sem falar que as condições de acesso aos equipamentos não são favoráveis devido ao tipo do transporte, obtendo assim um alto custo. Além do mais, há restrições que diz respeito a movimentação no canteiro de obras, principalmente se estão localizadas nos centros das grandes cidades, considerando que são necessários equipamentos especiais para este levantamento das peças (SOTOMAYOR, 2017)

As escolas feitas pela Fábrica de Equipamentos Comunitários (Faec), localizada em Salvador (BA) (Latorraca, 1999), parte das construções dos Centros Educacionais Unificados (CEUs), em São Paulo (SP) e mais recentemente, as construções da Fábrica de Escolas do Amanhã Governador Leonel Brizola, situadas no Rio de Janeiro (RJ) são exemplos de construções em CPM realizadas no Brasil. Sendo assim, é possível notar que o concreto pré-moldado está presente em outros tipos de edificações, não só em residenciais e ultimamente, está sendo bastante comum no Brasil (EL DEBS, 2000).

De acordo com o que El Debs (2000) as atividades envolvidas na execução de pré-moldados se dividem em três grupos, sendo elas: inicialmente, as atividades preliminares, em seguida, a execução e por fim, as atividades posteriores. A etapa das atividades preliminares inclui a preparação dos materiais, ou seja, o armazenamento das matérias primas, mistura do concreto, dosagem, preparação da armadura e montagem da mesma e o transporte destes materiais até o local onde será realizado a moldagem, ou seja, até a fôrma (EL DEBS, 2000).

A fase de execução consiste em preparar a fôrma e a armadura (aplicando desmoldante, colocando peças complementares, aplicação da pré-tração na armadura, quando for o caso, etc.) seguida da aplicação do concreto e mais tarde sua cura. Finalmente, a etapa de atividades posteriores é aquela que envolve o transporte interno dos elementos. Por exemplo, quando as peças são confeccionadas na fábrica ao invés de serem produzidas no canteiro de obras e têm de passarem por inspeções, tratamentos finais, eventuais remendos e armazenagem das peças pré-moldados (EL DEBS, 2000).

Vale enfatizar que o tempo em que a peça fica armazenada deve ser o mínimo possível, para que não comprometa as outras peças que também virão a serem

armazenadas naquele mesmo local. Ainda sobre o tempo, deve-se lembrar que o concreto precisa atingir a resistência de projeto (SERRA et al., 2005).

3.3 PAREDES DE CONCRETO

As paredes de concreto são definidas como um sistema construtivo racional que possibilita maior produtividade, economia durante a execução e qualidade do produto final. Esse sistema é ideal para casas térreas, sobrados e edifícios de até 5 pavimentos. Edifícios maiores são considerados casos especiais, mas podem apresentar até mais de 30 pavimentos (CORSINI, 2011).

Esse modelo construtivo prevê a modelagem em loco de lajes maciças de concreto armado, utilizando em seu interior telas metálicas para resistir aos esforços de tração. Nesse sistema, as paredes são executadas com suas dimensões finais, ou seja, é dispensado o reboco. Utiliza-se a modelagem em loco para evitar gasto com transporte horizontal da estrutura e ainda se evita uma série de gastos com mão de obra (ARÊAS, 2013).

O sistema de execução de parede de concreto funciona da seguinte forma; realiza-se a montagem das formas, que podem ser metálicas, plásticas ou mistas e em seguida é realizado o preenchimento com concreto. As instalações elétricas e de gás são posicionadas entre as formas de paredes e amarradas as ferragens, já as instalações hidráulicas são posicionadas fora da parede, pois caso houver vazamento não é necessário quebrar as paredes de concreto, como descrito na imagem a seguir (ARÊAS, 2013).

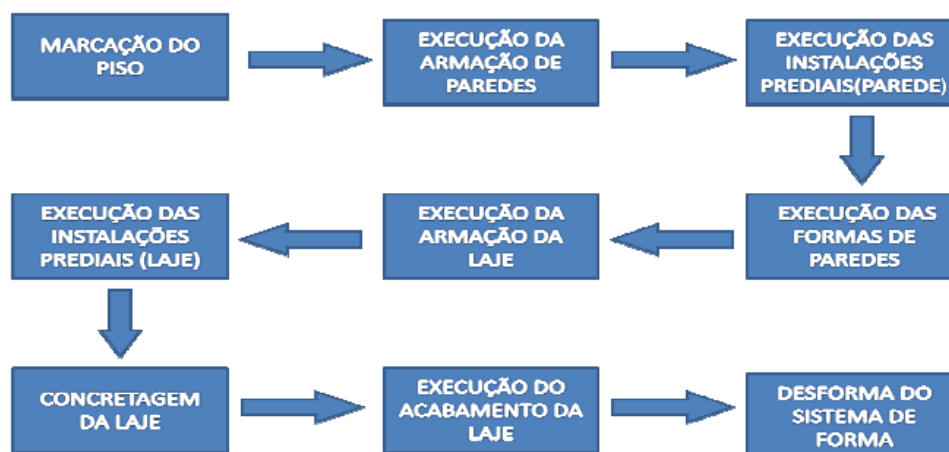


Figura 1: Ciclo da Concretagem

Fonte: Pimenta (2007)

O dimensionamento é realizado especificamente para cada projeto arquitetônico. No processo produtivo o sistema possibilita o controle da geometria das peças e a obtenção de superfícies ideais para receber o acabamento. A espessura mínima das paredes de concreto é de 10cm, sendo permitido espessura de 8mm para paredes internas. Quanto a resistência máxima adotada do concreto de ser de 40 MPA (ABNT NBR 16055, 2012).

No Brasil este sistema é utilizado desde a década de 70, utilizado principalmente em obras do governo federal que necessitam de entrega rápida. Entretanto, houve uma grande queda do uso de paredes de concreto ao longo dos anos, tendo seu retorno no mercado da construção civil em 2009 com o programa “minha casa, minha vida” (TECNOSIL, 2019).

Nesse período as construtoras tinham um tempo muito curto para finalizar as obras, e a solução encontrada foi a utilização das paredes de concreto que fornecem estrutura de boa qualidade, com baixo custo e com tempo de execução reduzido. De acordo com a Caixa Econômica Federal o sistema construtivo esteve presente em 36% das unidades produzidas em 2014, chegando a representar cerca de 52% no ano seguinte (TECNOSIL, 2019).

3.4 CONCRETO LEVE

Na história do concreto leve, uma das suas primeiras aparições foram aproximadamente 1.100 anos a.C. na cidade de El Tajin localizada no México, onde construtores de origem pré-colombiana misturaram pedra-pomes com um ligante à base de cinzas vulcânicas e cal para construção de estruturas. Foi datado outro exemplo de aplicação da pedra-pomes, dessa vez em Roma, na reconstrução da Cúpula do Panteão, pelo imperador Adriano, após um incêndio e que ainda hoje é possível ser apreciado (LIMA, 2010).

Segundo Rossignolo e Agnesini (2005) apud Lima (2010),

a utilização de concreto de cimento Portland com agregado leve nos moldes que conhecemos hoje, foram a partir da primeira guerra mundial, onde possuía massa específica de 1700,0 kg/m³ e resistência de 30,0 MPa, sendo este valor para o concreto convencional atingia apenas 15,0 Mpa (LIMA, 2010, p.25).

A partir da década de 30, o concreto começou a evoluir. A utilização do concreto leve (CLE) passou a ter mais significância pois proporcionava uma redução na utilização do aço. Nos Estados Unidos, a pista superior da ponte São Francisco e os navios da época da Segunda Guerra Mundial foram construídos dessa maneira. Foi a partir disso, que o estudo sobre o concreto estrutural leve foi mais intensivo (SCOBAR, 2016).

Mas foi apenas nos anos 60 que o CLE passou a ser utilizado na construção civil, e nos pré-fabricados. Importantes edifícios de múltiplos pavimentos foram feitos, como por exemplo, o Austrália Square localizado na Austrália, em 1967, o One Shell Plaza (Estados unidos) em 1969 e Lake Point Tower também nos Estados Unidos construído em 1968 (LIMA, 2010).

Só foi possível obter concretos com altas resistências e melhor durabilidade na década de 70, pois já havia tecnologias sendo aprimoradas e novos materiais sendo desenvolvidos. Nessa mesma época, o concreto composto por agregados leves começou a ser difundido no Brasil e logo em seguida, iniciaram estudos envolvendo a adição de argila expandida como agregado leve (SOBRAL, 1987).

Foi com o objetivo de substituir os agregados convencionais por agregados leves, tornando os elementos menos pesados, que surgiu a ideia de se criar o concreto leve estrutural. Além de apresentar uma massa específica reduzida, pode alterar propriedades importantes do concreto, como, por exemplo, no valor do módulo de deformação (ARAÚJO, 2000).

De acordo com Eurolightcon (2001), para um mesmo nível de resistência à compressão, os valores de módulo de deformação dos concretos leves são inferiores comparado aos dos concretos tradicionais, isso porque os agregados leves têm esse módulo inferior aos dos agregados tradicionais.

Com base nessa informação pode-se concluir que os valores do módulo de deformação varia com a resistência à compressão, por exemplo, um concreto leve de resistência variando entre 20 e 50 MPa, terá um módulo de deformação que varia entre 50% e 80% do valor obtido para o concreto com massa específica normal e para valores de resistência à compressão acima de 60 Mpa, o módulo de deformação do concreto varia de 20% a 30% (ROSSIGNOLO, 2005).

Por meio de um estudo realizado por Carrasquillo et al. (1981), foi possível observar que a curva do gráfico tensão-deformação dos concretos que possuíam agregados leves em sua composição, apresentavam comportamento linear até cerca

de 80% do carregamento último, diferente do concreto tradicional que atinge 60%, sendo visível que a curva crescente (ascendente) torna-se mais linear de acordo com o aumento da resistência do concreto, enquanto a parte decrescente (descendente) da curva, após a ruptura, torna-se mais inclinada, como pode ser observado na figura 2.



Figura 2: Cúpula do Panteão; El Tajin, no México
Fonte: <https://pt.wikipedia.org/>

O CLE tem sua aplicação em várias áreas da construção civil, no entanto, possui uma maior viabilidade técnica e econômica em estruturas que envolvem peso próprio, como transportes de componentes, sistemas construtivos pré-fabricados, como em pontes e edificações de múltiplos pavimentos, estruturas flutuantes e tanques (ANGELIN et al., 2014).

Segundo estudo desenvolvido por Holm e Bremner (2000) apud Angelin (2014), “as estruturas moldadas in loco com concreto leve são de 5 a 10% mais baratas do que as executadas com concreto convencional, sendo a redução em pontes de 15% do valor da obra.” (ANGELIN et al., 2014, p. 31).

Segundo Sobral (1987), a forma de produzir o concreto leve pode ser conseguido de três maneiras diferentes, sendo elas a eliminação de partículas mais finas da granulometria do agregado, ou seja, um concreto sem finos, a introdução de grandes vazios na parte de dentro da massa de concreto, tornando-o no famoso concreto aerado ou fazendo a substituição dos agregados normais (areia e brita) por um agregado celular (leve), oco ou poroso.

O concreto leve possui várias características e dentre elas está a principal que é a leveza, como seu próprio nome já diz. Seu peso específico é abaixo de 2 mil

kg/m³, enquanto a densidade do concreto convencional varia de 2300 a 2500 kg/m³. Só é possível atingir esses números devido a substituição dos agregados convencionais, que são mais pesados, por agregados leves, por exemplo a argila expandida, vermiculita, isopor (EPS) ou Espuma vinílica acetinada (EVA), ou, ainda, por a injeção de ar no concreto (LIMA, 2010).

Ao se fazer levantamento das vantagens e desvantagens do concreto leve, temos a baixa massa específica e o bom isolamento térmico como as principais vantagens e são duas propriedades que estão diretamente relacionadas ao volume de vazios existentes no concreto, tendo o principal fator determinante para obter-se leveza, o ar na composição. As fundações têm condições de suportar as pressões e pelo fato de o CLE ter menor massa, sendo fáceis de serem transportados resultando numa produtividade bem maior (KAWABATA, 2008).

Tem-se como desvantagens do CLE a limitação da resistência quando se trata de agregados maiores, tendo como opção para conseguir diminuir o problema, a utilização de agregados de menor diâmetro, no seu processo construtivo, exige uma maior quantidade de cimento (LIMA, 2010).

O concreto leve com Poliestireno Expandido (EPS) começou a ser desenvolvido no ano de 1957 na *Badische Anilin & Soda Fabrik* BASF (Alemanha). Inicialmente, esse processo foi bastante lento por causa do alto preço da matéria prima. As pérolas pré-expandidas de isopor eram consideradas um material luxuoso (STOCCO; CASTRO, 2009).

Apesar das dificuldades encontrados naquela época para desenvolver esse projeto, a ideia de evolução não paralisou, pois, no ano de 1968, acreditavam que mais tarde o concreto leve teria imensa importância na área da construção civil, pois, o CLE mostrava ser bastante útil e possuir muitas vantagens quando comparado ao concreto convencional (STOCCO; CASTRO, 2009).

Por ser um material de fácil moldagem, o que muito facilita os projetos arquitetônicos, é possível obter ótimos resultados atingindo um alto padrão de qualidade em qualquer lugar do mundo. Seu processo construtivo consiste em adicionar cimento, areia e as pérolas de poliestireno na betoneira e em seguida, moldado nas fôrmas. A próxima etapa é o transporte utilizando carrinho de mão ou caminhão bomba (STOCCO; CASTRO, 2009).

O concreto com EPS é aplicado em casas pré-fabricadas, elementos de vedação internos (paredes), isolante térmico e isolante acústico de lajes, muros exteriores sem carga, possui resistência à propagação do fogo, tijolos ou blocos de concreto leve, revestimento de fachadas e em elementos vazados de concreto leve (RODRIGUÊS et al., 2017)

Também é interessante fazer a mesclagem do concreto com EPS com o concreto convencional, tornando-o um composto que atinge ótima resistência, é impermeável e leve, não exigindo esforços técnicos muito intensos. Devido a suas características, não deve ser utilizado em estruturas que requeiram esforços muito grandes (RODRIGUÊS et al., 2017).



Figura 4: Localização do protótipo na cidade de Palmas – TO
Fonte: Google Maps

O projeto “Casa Verde” é um projeto ecológico na área da construção civil desenvolvido no estado do Tocantins. O idealizador deste projeto foi o empresário Leopoldo Craveiro proprietário da empresa Eletro Rural. A “Casa Verde” consiste em painéis pré-moldados de concreto leve, foram utilizados EPS coletados do lixo, que substituiu o seixo e a brita, formando assim um concreto com menor peso específico e resistência similar ao concreto convencional.

As principais vantagens mencionadas pelos criadores do projeto é a alta produtividade, o baixo custo de produção, o conforto térmico que poderia chegar representar uma diminuição de 4° a 5° das edificações convencionais e ainda tem a importância sustentável indispensável na sociedade moderna. Entretanto existe muito receio em se utilizar essas inovações na construção civil por não se conhecer como essas estruturas se comportam ao longo do tempo, assim este trabalho por finalidade avaliar o comportamento destes protótipos depois de 8 anos de sua execução.

Para atingir os objetivos serão realizadas as seguintes etapas metodológicas. Na primeira etapa será feita uma vistoria técnica nos protótipos com finalidade de verificar o atual estado de conservação. Esta análise consistirá no relato fotográfico das edificações, na análise visual com objetivo de identificar a presença de trincas, fissuras e rachaduras, será utilizado um fissurômetro para mensuração das

mesmas. Serão analisados ainda qualquer indício patológico que possa indicar falha de desempenho do sistema.

Na segunda etapa será realizado uma análise de desempenho térmico, o procedimento de cálculo será baseado na NBR 15220-2 – desempenho térmico de edificações parte 2. Onde será determinada a transmitância térmica por meio do método simplificado apresentado na norma.

A terceira etapa será a realização de ensaios de resistência do concreto leve com adição de EPS utilizado, como não será possível romper as componentes dos protótipos, será dosado um novo concreto utilizando o mesmo traço presente nos protótipos e em seguida será efetuado o rompimento dos mesmo para verificar a resistência característica do concreto utilizado.

7 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se que os resultados deste trabalho possam contribuir para a avaliação do comportamento e desempenho de edificações construídas de concreto leve com adição de EPS. Os protótipos a serem avaliados apresentaram excelentes resultados laboratoriais na época da construção. Mas quanto ao desempenho ao longo do tempo existe uma grande incógnita. Assim os resultados obtidos poderão subsidiar os profissionais da construção civil e afins na obtenção de dados confiáveis a respeito do comportamento dos componentes depois de 8 anos de execução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELIN, Fernanda Alessandra. **Concreto leve estrutural-Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais. 2014. 98 f.** 2018. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Curso de Tecnologia de Materiais, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.

ARAÚJO, José Milton de. **O módulo de deformação longitudinal do concreto.** 2000.

ARÊAS, Daniel Moraes. Descrição do Processo Construtivo de Parede de Concreto para Obra de Baixo Padrão. **Projeto de Graduação, UFRJ, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2013.**

ASCONCELOS, Augusto Carlos. O concreto no Brasil: pré-fabricação. **Monumentos, fundações. Volume III,** 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Parede de Concreto Moldada no Local para a Construção de Edificações-Requisitos e Procedimentos.** 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040: Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida-princípio e estrutura.** ABNT, 2009.

CARRASQUILLO, Ramon L.; NILSON, Arthur H.; SLATE, Floyd O. Properties of High Strength Concrete Subject to Short-Term Loads. In: **Journal Proceedings.** p. 171-178. 1981.

CIB. Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção. **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: A discussion document.** Pretória, 2002.

CORREIA, Lásaro Roberto. Sustentabilidade na construção civil. **Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) -Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais,** 2009.

CORSINI, Rodnei. Paredes normatizadas. Norma inédita para paredes de concreto moldadas in loco entra em vigor e promete impulsionar uso da tecnologia em edificações **In: Revista Técnica,** n. 183, 2011.

DE VASCONCELOS, Augusto Carlos. **O Concreto No Brasil**. Studio Nobel, 2002.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. Oficina de Textos, 2000.

EUROLIGHTCON – ECONOMIC DESIGN AND CONSTRUCTION WITH LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE. **Mechanical properties of LWAC compared with both NWC and HSC**. Project BE96-3942/R27, Noruega, 2001.

KAWABATA, Celso Yoji. **Aproveitamento de cinzas da queima de resíduos agroindustriais na produção de compósitos fibrosos e concreto leve para a construção rural**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2008.

LIMA, IGCA. **Um estudo sobre produção do concreto leve estrutural**. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA. Trabalho de conclusão de curso realizado pela disciplina Projeto Final II do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Feira de Santana, 2010.

LORDÊLO, Patrícia Miranda; DE ABREU EVANGELISTA, Patrícia Pereira; DE ALMEIDA FERRAZ, Tatiana Gesteira. **Gestão de resíduos na construção civil: redução, reutilização e reciclagem**. Senai, 2007.

PAULANI, Fernando. A tecnologia das construções em pré-fabricados de concreto. **Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade São Francisco. Itatiba**, 2008.

PIGOZZO, Bruno N.; SERRA, Sheyla MB; FERREIRA, Marcelo de A. A influência dos pré-fabricados em concreto armado no ciclo de industrialização da construção. **XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Anais em CD... Florianópolis: ENTAC**, 2006.

PRÉ-FABRICAR. **A História do Pré-fabricado no Brasil**. Disponível em: <<https://prefabricar.com.br/a-historia-do-pre-fabricado-no-brasil/>>. Acesso em: 11 de novembro de 2019.

RAEDER, Laylah Regina et al. Diretrizes de projeto para desempenho térmico de sistemas de paredes pré-moldadas de concreto. 2018.

RODRIGUES, KHÁDIA FERNANDA QUEIROZ et al. ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE BLOCOS DE CONCRETO LEVE DE EPS E BLOCOS

DE CONCRETO CONVENCIONAL. IN: **CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA**. 2017.

ROSSIGNOLO, João Adriano. Módulo de Deformação do Concreto Leve Estrutural de Alto Desempenho. **Revista Minerva, São Paulo, SP**, v. 2, n. 1, p. 99-106, 2005.

SCOBAR, Renan Luna. **Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016.

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. de A.; PIGOZZO, B. N. Evolução dos pré-fabricados de Concreto. **Núcleo de Estudos e Tecnologia em Pré-moldados (NET-PRÉ), Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos**, 2005.

SILVA, Vanessa G.; SILVA, Maristela G. Análise do ciclo de vida aplicada ao setor de construção civil: revisão da abordagem e estado atual. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Anais... ENTAC**, p. 51-59, 2000.

SOBRAL, H. S. Concretos leves: tipos e comportamento estrutural. **ABCP, São Paulo**, p. 1333-1362, 1987.

SOBRAL, H. S. Concretos leves: tipos e comportamento estrutural. **ABCP, São Paulo**, p. 1333-1362, 1987.

SOTOMAYOR, Camila Ribeiro Gomes. **GERENCIAMENTO E GESTÃO DA IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DE UMA CENTRAL DE PRÉ-MOLDADOS EM OBRA DE EDIFICAÇÕES: ESTUDO DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2017.

STOCCO, Wagner; RODRIGUES, David; CASTRO, A. P. A. S. Concreto leve com uso de EPS. **Cobenge. Recife, Pernambuco**, v. 32, n. 1, p. 47-55, 2009.

TECNOSIL. **Paredes de Concreto Moldadas em Loco: O que são e porque usá-las em sua obra**. Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/paredes/>>. Acesso em: 11 de novembro de 2019.