

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
CAMPUS DE NATAL
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

VITOR DE SOUSA CALDAS

**UTILIZAÇÃO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO NA FABRICAÇÃO DE
CONCRETO LEVE**

**NATAL/RN
2017**

VITOR DE SOUSA CALDAS

**UTILIZAÇÃO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO NA FABRICAÇÃO DE
CONCRETO LEVE**

Monografia apresentada à Universidade
Estado do Rio Grande do Norte – UERN –
como requisito obrigatório para obtenção de
título de bacharelado em Ciência e
Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Brismark Góes.

**NATAL/RN
2017**

VITOR DE SOUSA CALDAS

**UTILIZAÇÃO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO NA FABRICAÇÃO DE
CONCRETO LEVE**

Monografia apresentada à Universidade
Estado do Rio Grande do Norte – UERN –
como requisito obrigatório para obtenção de
título de bacharelado em Ciência e
Tecnologia.

Aprovado em ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Brismark Góes da Rocha
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Profa. Dra Andrea Jane da Silva
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Profa. Dra Ana Lúcia Dantas
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Dedico este trabalho ao Deus todo poderoso, criador do céu e da terra, chamado,
Eu sou. Pois todas as coisas foram feitas por intermédio dele, e sem ele
Nada do que foi feito se fez.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida, e me ajudou, não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos foi o meu melhor amigo, meu professor, meu orientador e maior mestre que alguém poderia ter.

A esta Universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Brismark Góes, pela orientação, apoio, confiança, pelo suporte mesmo no pouco tempo que lhe coube, e pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho. À Prof.^a. Dr.^a. Andrea Jane, pela compreensão imensurável, pelas suas correções e incentivos, e o paciente trabalho de orientação e correção da redação. Agradeço ao Instituto Federal do Rio Grande do Norte pela disponibilidade de seu laboratório para realização do experimento.

Agradeço a todos os professores, em especial, o Professor Doutor Norberto Monteiro e Professor Doutor Leonardo Linhares, por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender a arte de ensinar.

Agradeço a minha mãe Eliene Estelita de Sousa Caldas, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Ao meu pai Emanuel Arcanjo Caldas que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu, me incentivando a nunca desistir de meus objetivos, sempre será meu exemplo maior. Obrigado a meu irmão Vinicius Sousa, que sempre foi meu amigo e companheiro. Ao amor da minha vida, minha Noiva, Andrielly da Silva Barbosa, que sempre esteve ao meu lado, me ajudando e cuidando de mim nos momentos que mais precisei. Te amo!

Meus agradecimentos aos amigos Andrielison Cleiton, Pedro Bezerra, João Marcos, Kaíra Rebeca, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

A indústria da construção civil é uma das áreas que mais cresce no mundo, conseqüentemente se tornou uma das principais fontes de poluição ambiental, responsável por emissões de partículas poluentes do ar e mais incidentes de poluição da água do que qualquer outra indústria. Entretanto, a indústria da construção civil vem se esforçando ao máximo para reduzir o impacto ambiental em suas obras. Um dos materiais que mais tem ganhado espaço dentro da construção civil é o poliestireno expandido. Assim, esse estudo visa contribuir para o desenvolvimento de uma nova classe de materiais. De maneira que o principal objetivo dessa pesquisa consiste em investigar, por meio de pesquisa bibliográfica e experimental, o efeito da adição de polímeros de poliestireno expandido em compósitos cimentícios. Portanto, foram realizadas uma pesquisa bibliográfica a fim de tomar conhecimento das propriedades e vantagens do EPS e, em seguida, foi realizado um experimento comparativo de leveza, um experimento de insensibilidade à umidade, um experimento de resistência à compressão entre o concreto convencional e o concreto de EPS. E um teste estatístico para analisar a significância dos resultados obtidos. Ao realizar os testes, o polímero de poliestireno expandido apresentou resultados de alta leveza, baixa absorção de água e uma boa resistência à compressão. Entretanto o teste estatístico indica que os valores de variação desses experimentos não são significativos ao nível de 5%. Concluímos que o concreto Leve de EPS não terá a função de substituir o concreto convencional estrutural mas possuirá uma maior participação na estrutura de edifícios na construção civil.

Palavras Chave: Construção Civil. Poliestireno Expandido. Concreto Leve. Materiais Alternativos.

ABSTRACT

La industria de la construcción civil es una de las áreas que más crece en el mundo, por lo que se ha convertido en una de las principales fuentes de contaminación ambiental, responsable de emisiones de partículas contaminantes del aire y más incidentes de contaminación del agua que cualquier otra industria. Sin embargo, la industria de la construcción civil se ha esforzado al máximo para reducir el impacto ambiental en sus obras. Uno de los materiales que más ha ganado espacio dentro de la construcción civil es el poliestireno expandido. Así, este estudio pretende contribuir al desarrollo de una nueva clase de materiales. De modo que el principal objetivo de esta investigación consiste en investigar, por medio de investigación bibliográfica y experimental, el efecto de la adición de polímeros de poliestireno expandido en composites cementos. Por lo tanto, se realizaron una investigación bibliográfica para conocer las propiedades y ventajas del EPS y, a continuación, se realizó un experimento comparativo de ligereza, un experimento de insensibilidad a la humedad, un experimento de resistencia a la compresión entre el hormigón convencional y el, Concreto de EPS. Una prueba estadística para analizar la significancia de los resultados obtenidos. Al realizar las pruebas, el polímero de poliestireno expandido presentó resultados de alta ligereza, baja absorción de agua y una buena resistencia a la compresión. Sin embargo, la prueba estadística indica que los valores de variación de estos experimentos no son significativos para un propósito estructural. Concluimos que el concreto Ligero de EPS no tendrá la función de sustituir el hormigón convencional estructural pero poseerá una mayor participación en la estructura de edificios en la construcción civil.

Palabras clave: Construcción Civil. Poliestireno Expandido. Hormigón ligero. Materiales alternativos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Reação de Polimerização do Estireno em Poliestireno	21
Figura 2: Elemento de Enchimento em laje Nervurada e Industrializada	24
Figura 3: Isolamento térmico sobre e sob a impermeabilização	24
Figura 4: Isolamento de Telhas de Fibrocimentos, cerâmicas, telhas	25
Figura 5: Isolamento Térmico de Tubulações e Reservatórios	25
Figura 6: Painel de Divisória	26
Figura 7: Modelo de Corpo de Prova	31
Figura 8: Gráficos do CP com 0% de EPS	37
Figura 9: Gráficos dos CPs com 0,5% de EPS	38
Figura 10: Gráficos dos CPs com 1% de EPS	38
Figura 11: Gráficos do CP com 1,5% de EPS	39
Figura 12: Gráfico do CP com 1,5% de EPS	39

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1: Características regulamentadas para EP	16
Imagem 2: Moídos de EPS	30
Imagem 3: Corpos de prova imergidos em água	32
Imagem 4: Máquina Utilizada para Calcular a Resistência a Compressão	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Porcentagem de variação parcial do EPS no concreto leve	31
Tabela 2: Ensaio de absorção de água. Método de ensaio NBR 9778:2005	33
Tabela 3: Diferença entre a quantidade de água absorvida dos CPs em função da variação de concentração do EPS	35
Tabela 4: Resultados do Ensaio de Compressão dos CPs	36
Tabela 5: Diferença de ruptura em função das concentrações de EPS	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPS	Poliestireno Expandido
PVC	Policloreto de Vinila
CFC	Clorofluorcarbono
CP	Corpo de Prova

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1. CONHECENDO O POLIESTIRENO EXPANDIDO	21
2.2. CARACTERÍSTICAS DO POLIESTIRENO	22
2.3. APLICAÇÃO DO EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	23
2.4. CONCRETO	26
2.5. CONCRETO LEVE	28
3. ANÁLISE DOS RESULTADOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA, LEVEZA E RESISTENCIA À COMPRESÃO	29
3.1. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.2. RESULTADOS E DISCUÇÕES	32
4. CONCLUSÃO	41
5. REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

As buscas por novas tecnologias têm se tornado cada vez mais comuns entre profissionais e pesquisadores das mais diversas áreas. Segundo a VERTIX Engenharia e Arquitetura (2013), a indústria da construção civil é uma das áreas que mais cresce no mundo, conseqüentemente se tornou uma das principais fontes de poluição ambiental, responsável por cerca de 4% das emissões de partículas poluentes do ar e mais incidentes de poluição da água do que qualquer outra indústria.

Embora as atividades de construção também poluam o solo, as principais áreas de interesse para estudos são: a poluição do ar, da água e ruído. A indústria da construção civil vem se esforçando ao máximo para reduzir o impacto ambiental em suas obras com utilização de ferramentas, materiais e métodos modernos, além de reciclarmos “in loco” resíduos classe A (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, tubos, meios-fios) gerados nas obras e adotado práticas para a preservação da obra e do seu entorno.

Contudo, podemos concluir que o desenvolvimento e a aplicação de processos e produtos sustentáveis têm sido atualmente um objetivo no mundo globalizado, envolvendo organizações de diversos setores econômicos, sociais e industriais. Com isso, construir processos sustentáveis implica em realizar ações que visam não só preservar os ecossistemas e a biodiversidade, mas também melhorar as condições socioeconômicas da população.

Dentre as novas tecnologias inseridas na área da construção civil, surgiu-se a ideia de substituir os materiais convencionais, por materiais alternativos, constituídos de estruturas poliméricas, o que proporcionaria a redução de custos, por ser um material mais barato e menos poluente.

A palavra polímero origina-se do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição). Assim, um polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) de unidades de repetição denominadas meros, ligados por ligação covalente. A matéria-prima para a produção de um polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma (mono) unidade de repetição. Dependendo do tipo de monômero (estrutura química), do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, poderemos dividir os polímeros em três grandes classes: Plásticos, Borrachas (ou Elastômeros) e Fibras (CANEVAROLO, 2002, p. 21).

O primeiro polímero sintético foi produzido por Leo Baekeland em 1912, obtido pela reação entre fenol e formaldeído. Essa reação produzia um produto sólido (resina fenólica), hoje conhecido por baquelite, termo derivado do nome de seu inventor (CANEVAROLO, 2002, p. 17).

Certamente as características de materiais como madeira, papel, borracha natural e fibras naturais não seriam suficientes para suprir as nossas necessidades.

Muitos dos plásticos, borrachas e materiais fibrosos que nos são úteis nos dias de hoje consistem em polímeros sintéticos. De fato, desde o fim da Segunda Guerra Mundial, o campo dos materiais foi virtualmente revolucionado pelo advento dos polímeros sintéticos. Os materiais sintéticos podem ser produzidos de maneira barata, e as suas propriedades podem ser administradas num nível em que muitas delas são superiores às suas contrapartes naturais (CALLISTER, 2002).

O surgimento dos polímeros como material alternativo tornou possível o desenvolvimento desses processos e produtos sustentáveis. Assim, borrachas sintéticas, plásticos e fibras sintéticas revolucionaram o desenvolvimento dos setores da construção civil. A importância dos polímeros como materiais disponíveis para a transformação tecnológica é tal que não seria possível imaginar como seria o atual estágio de desenvolvimento tecnológico se os polímeros sintéticos não fossem disponíveis.

Nas últimas décadas, os polímeros têm sido cada vez mais solicitados. E de forma concomitante, a eficiência desses materiais está invadindo os projetos de edifícios, buscando substituir materiais considerados até então, de maior nobreza como o aço, a madeira, o barro e o concreto na execução das obras. Para ter-se uma ideia da importância dos polímeros (plásticos) na construção civil, estes materiais detêm seu segundo maior mercado neste setor, perdendo apenas para o de embalagens, quanto à utilização como matéria-prima. (BARROS, 2011, p.9)

Esse crescimento se deve ao fato de ser um ramo onde existem altos investimentos econômicos e tecnológicos ao longo dos anos. Pesquisas e testes aplicados, permitiram a descoberta de novas técnicas e novos materiais que se aplicados corretamente podem trazer uma série de benefícios em uma obra.

No seu conceito mais amplo, os polímeros são fundamentais para a qualidade das edificações como um todo, pois podem ser usados como instalações hidráulicas prediais de água, esgoto sanitário e condução e captação de águas pluviais, já dentre

os componentes elétricos podem ser usados como eletrodutos para passagem fios e cabos, caixas, tomadas, interruptores e etc.

Diferentes materiais poliméricos podem beneficiar uma obra de diferenciadas formas. Um dos materiais que mais tem ganhado espaço dentro da construção civil é o poliestireno expandido que vem sendo aplicado no canteiro de obras e tem oferecido bons resultados na sua aplicação. Ele oferece vantagens como isolante térmico e acústico, se usado em paredes e lajes, e na promoção da leveza, se agregado ao concreto usado para a construção de lajes e concreto leve.

O poliestireno expandido conhecido como Isopor é composto de espuma rígida de poliestireno proveniente da expansão, é um comprovado material isolante, sendo aplicado na construção civil visando economia energética, diminuição de ruídos na estrutura das construções, facilitação de manuseio, diminuição de entulhos, e menor impacto ambiental no que se refere ao seu descarte. É também aplicado em edifícios por ser leve, resistente, fácil de operar e possuir baixo custo.

De acordo com a ABRAPEX (2008, sp)

EPS é a sigla internacional do Poliestireno Expandido. No Brasil, é mais conhecido como "Isopor", descoberto em 1949 nos laboratórios da BASF na Alemanha. O EPS é um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água. Em seu processo produtivo não se utiliza e nunca se utilizou o gás CFC ou qualquer um de seus substitutos. Como agente expensor para a transformação do EPS, emprega-se o pentano, um hidrocarboneto que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares, sem comprometer o meio ambiente.

É essencialmente de cor branca, inodoro, reciclável, não poluente e certamente é um material de excelente qualidade nas temperaturas de -70°C a 80°C (HIGGINS, 1982).

O EPS consiste em até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. Em 1m³ de EPS expandido, por exemplo, existem de 3 a 6 bilhões de células fechadas e cheias de ar. É produzido em duas versões: Classe P, não retardante à chama, e Classe F, retardante à chama. Também 3 grupos de massa específica aparente: I - de 13 a 16 kg/m³, II - de 16 a 20 kg/m³, III - de 20 a 25 kg/m³ (ABRAPEX, 2000, sp).

Abaixo, na Imagem 1, seguem as características regulamentadas pela NBR 11752 ao EPS:

Imagem 2 - Características regulamentadas para EPS

Propriedades	Mét. De Ensaio	Unidade	Classe P			Classe F		
			I	II	III	I	II	III
Tipo de Material								
Massa específica aparente	NBR 11949	Kgm ³	13-16	16 -20	20 - 25	13-16	16-20	20 - 25
Resistência à compressão com 10% de deformação	NBR 8082	K Pa	≥60	≥70	≥100	≥60	≥70	≥100
Resistência à flexão	ASTM C-203	K Pa	≥150	≥190	≥240	≥150	≥190	≥240
AbSORção de água Imersão em água	NBR 7973	g/cm ³ x100	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
Permeabilidade ao vapor d'água	NBR 8081	Ng/Pa.s.m	≤7	≤5	≤5	≤7	≤5	≤5
Coefficiente de condutividade térmica a 23°C	NBR12904	x/(m.k)	0,042	0,039	0,037	0,042	0,039	0,037
Flamabilidade	NBR1948		Material não retardante à chama			Material retardante à chama		

Fonte: <http://abrapex.com.br/02Caracter.html>

Esse material ganhou nos últimos 35 anos uma posição estável na construção de edifícios, não apenas por suas características isolantes, mas também por sua leveza, resistência, facilidade de trabalhar e baixo custo.

Entretanto, o volume de resíduos de EPS gerado vem se tornando uma grande preocupação, pois quando não vai para reciclagem o isopor pode provocar diversos prejuízos. De acordo com Schicoski (2008) se for destinado ao lixo, pode levar, conforme estimativas, 150 anos para se decompor. Nos aterros sanitários, além de ocupar muito espaço e saturar com mais rapidez as áreas destinadas ao lixo, o que exige grandes investimentos públicos para a construção de novos aterros, a compactação causada pelos restos de isopor prejudica a decomposição de materiais biodegradáveis.

Se jogado em rios e mares, as pelotas de isopor – produto do esfacelamento desse material – são ingeridas por cetáceos e peixes ao serem confundidas com organismos marinhos, e, muitas vezes, acabam por matá-los. Por fim, se for queimado, o isopor libera gás carbônico contribuindo, portanto, para a poluição do ar e para o aquecimento global.

Dessa forma, busca-se possíveis aplicações deste material para que ele possa ser reaproveitado.

Segundo a ABRAPEX (2000, sp), o concreto é um dos elementos da construção que mais possui uma compatibilidade com o EPS. Podendo ser usado em contrapiso, blocos de concreto com ou sem função estrutural.

Dentre os benefícios provocados pela utilização desse material está a otimização de custos da obra através do reuso de materiais, como por exemplo, a redução e otimização do consumo de materiais e energia, redução dos resíduos, gerando mais limpeza no campo de obra, preservação do ambiente natural e a melhoria da qualidade do ambiente construído.

Nessa busca por melhorias na indústria construtiva e por uma arquitetura de baixo impacto ambiental, frente aos desafios atuais, a incorporação de polímeros de poliestireno expandido, visa diminuir os gastos, gerando menos resíduos, e obtendo o mínimo de impacto no ambiente.

Um dos elementos da construção civil que mais gera impactos negativos no meio ambiente são os blocos de concreto tradicionais devido ao seu desperdício inadequado. O fato de a construção civil estar em constante fase de desenvolvimento e sempre aberta a receber cada vez mais inserções de novas tecnologias e técnicas que visam minimizar impactos ambientais, aumentar lucro e diminuir o prazo de entrega de obras.

Assim, esse estudo visa contribuir para o desenvolvimento desta nova classe de materiais e obtenção de um compósito de alta resistência específica, isto é, de elevada relação resistência/densidade, além de baixo custo. Portanto, se esse compósito apresentar resultados satisfatórios para a construção civil estaremos formando um novo material em condições ecologicamente sustentáveis.

Com isso, se faz relevante estudar formas de destinação do seu reaproveitamento, tendo em vista que a adição de polímeros de poliestireno expandido na construção civil sendo utilizado como concreto leve com ou sem função estrutural. Logo a indústria da construção trará uma demanda crescente para concretos leves em muitas aplicações da construção civil moderna, trazendo benefícios significativos em elementos estruturais e econômicos rentáveis.

O objetivo principal dessa pesquisa consiste em investigar, por meio de pesquisa bibliográfica e experimental, o efeito da adição de resíduos de poliestireno expandido em compósitos cimentícios, as propriedades físicas e químicas dos compostos de polímeros de poliestireno expandido, apontando as vantagens e

desvantagens desse material de maneira que se possa verificar a compatibilidade de suas propriedades físico-químicas com a dos compósitos cimentícios descrevendo a formação desse concreto. A análise bibliográfica dos resultados obtidos por experimentos já realizados por outros pesquisadores nos permite identificar os efeitos dos fatores individualmente, mas principalmente das interações que afetam as variáveis respostas investigadas.

Este trabalho pretende identificar as vantagens e desvantagens da utilização do polímero de poliestireno expandido na fabricação de concreto leve apresentando um efeito significativo, e verificando a possível utilização dos compósitos desenvolvidos em setores industriais.

A metodologia usada nesta pesquisa foi fundamentada no estudo de artigos discutidos na revisão bibliográfica e nos objetivos deste projeto da seguinte forma: Foi feito uma pesquisa em fontes bibliográficas como: publicações científicas de universidades, dissertações de mestrado em engenharia de materiais, teses de doutorado em engenharia mecânica, artigos relacionados a área da construção civil, e de universidades públicas nas áreas de engenharia de materiais, engenharia civil e engenharia mecânica a fim de identificar as fontes de informações nacionais sobre a utilização de polímeros na construção civil. Partindo desse princípio foi observado e colocado como pauta de estudo a utilização do polímero de poliestireno expandido na área da construção.

Com os dados apurados na pesquisa, percebemos que já havia algumas aplicações desse tipo de material na área de construção, com isso conseguimos realizar um levantamento das alternativas existentes para a aplicação do EPS na Construção civil, e percebendo a gama de variedades de sua aplicação nessa área, decidimos realizar um estudo mais aprofundado no processo de fabricação do concreto leve utilizando o EPS em matéria-prima virgem.

Já de posse da pauta de estudo da pesquisa, procuramos realizar uma nova pesquisa a fim de identificar as propriedades desse material, suas vantagens e desvantagens, seu valor comercial e a mão de obra necessária para a sua aplicação, vale ressaltar que o site que mais ofereceu a obtenção de dados confiáveis foi a Associação Brasileira do Poliestireno Expandido, de maneira que nos permitiu o balizamento da realidade construtiva em nosso País na utilização de tecnologias associadas ao Poliestireno Expandido. Foi realizada uma pesquisa superficial no site

do Sindicato da Indústria da Construção Civil – SINDUSCON para obter dados referentes à utilização do material nas obras de construção civil, os fornecedores desse material, se as empresas costumam trabalhar com esse material no estado virgem ou reciclado, devido a sua finalidade da aplicação.

Tendo em vista que o concreto leve se tornou uma das principais fontes de aplicação no uso de EPS na área da construção civil, devido ao seu baixo valor comercial, abundância no meio, fácil manipulação no local de trabalho, ecologicamente correto, e relação custo/benefício favorável. Realizamos uma pesquisa mais detalhada do material a fim de observarmos pontos fundamentais em suas propriedades que pudesse ser aperfeiçoado a fim de solidificar a sua utilização.

Toda a coleta de dados foi efetuada por meio de registros bibliográficos mediante aos estudos já realizados por outros autores e de maneira experimental, procurando demonstrar por meio de imagens demonstrativas os resultados obtidos na fabricação do concreto leve utilizando esse material.

A metodologia usada neste trabalho é de natureza científica experimental, fundamentada em estudos bibliográficos e ensaios experimentais já realizados por outros autores.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: Introdução, fazendo um breve levantamento de dados referentes ao tema, fundamentado em estudos já realizados, apresentando os objetivos da pesquisa e sua finalidade; Referencial Teórico, dissertando sobre a disponibilidade do EPS no meio, sua estrutura química, forma alternativa de reciclagem desse material, características e aplicações; Análise de Resultados de absorção de água e resistência a compressão, a fim de avaliar os resultados obtidos na realização do experimento apontando valores da taxa de absorção de água e teste de resistência a compressão desse material, visando demonstrar sua viabilidade na construção civil descrevendo os materiais e métodos utilizados, no qual consta todo processo de realização da parte experimental da pesquisa; Referências Bibliográficas, no qual consta todas as referências citadas no trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Muitos têm sido os esforços empreendidos na tentativa de preservar o meio ambiente, nos quais, a construção civil tem se disponibilizado a colaborar com o desenvolvimento e crescimento sustentável buscando trabalhar com materiais alternativos nas suas atividades. Na tentativa de continuar provendo a evolução das cidades com construções seguras e gerando o mínimo de resíduos, é importante incentivar estudos nesta linha de sustentabilidade, pois os mesmos objetivam contribuir fortemente para o sucesso dos projetos da engenharia civil.

O reaproveitamento ou reciclagem de materiais que ainda possuem potencial de aplicabilidade são vistos como as soluções mais evidentes para a problemática dos resíduos sólidos como contribuição em direção ao desenvolvimento sustentável, para Alvim (2006 apud NUNES et al. 2007) sugere que novos materiais devem ser estudados e inseridos na construção civil em condições ecologicamente sustentáveis.

A construção civil já tem se apropriado de materiais baseados em resíduos de polímeros sintéticos. E um desses materiais é o Poliestireno expandido, o qual é conhecido pela sua reduzida densidade, elasticidade, compressibilidade, impermeabilidade e eficiência como isolante térmico, acústico e vibrátil. Implicando dizer que a sua aplicação na construção civil é totalmente viável devido a sua sustentabilidade.

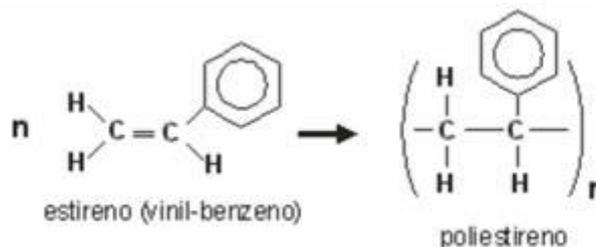
Tornando possível sua reutilização, devido aos produtos finais do EPS serem reciclados e novamente transformados em matéria-prima, depois de moído, é utilizado para favorecer a aeração do solo para o plantio, além de facilitar a compostagem e também misturado com cimento/areia para a produção de concreto leve, que podem ser aplicados na regularização de lajes, em painéis para fechamento de alvenarias de prédios, casas pré-fabricadas, galpões; como elemento componente de pré-fabricados a exemplo de lajetas, blocos vazados, pilares e peças decorativas.

2.1. CONHECENDO O POLIESTIRENO EXPANDIDO

Segundo a ABRAPEX (2000) o EPS é um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água. Em seu processo produtivo não se utiliza e nunca se utilizou o gás CFC ou qualquer um de seus substitutos. Como agente expensor para a transformação do EPS, emprega-se o Pentano (C₅H₁₂), um hidrocarboneto que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares, sem comprometer o meio ambiente e as propriedades do EPS.

É obtido mediante a polimerização do monômero de estireno [C₈H₈] em conjunto com o pentano [C₅H₁₂].

Figura 1: Reação de Polimerização do Estireno em Poliestireno



Fonte: (AUTOR, 2017)

O poliestireno expansível (a matéria-prima do Poliestireno Expandido EPS) é um polímero que contém um agente expansivo.

Os plásticos celulares fabricados à base desse polímero possuem uma estrutura formada por milhões de finas células cerradas, cheias de ar e como podemos ver em sua composição molecular, se trata de hidrocarboneto puro, que não tem outros elementos químicos a não ser o carbono [C] e o hidrogênio [H] (que será fundamental na hora de avaliar a toxicidade dos gases de combustão).

Durante seu processo de fabricação o isopor libera baixos valores de resíduos sólidos e líquidos, em fato pela sua leveza, neste contexto o presente material demonstra significativa preservação de recursos energéticos quando é utilizado como isolante térmico, onde a economia de energia proporcionada durante a vida útil da construção pode ser diversas vezes superior à consumida para a produção do isopor.

De acordo com Antônio (2014, p.16) o processo de fabricação do isopor consiste em transformação física, porém esta não interfere nas propriedades químicas do material. Esse processo é realizado através das seguintes etapas:

- Pré-expansão: Nesta primeira fase, em um pré-expansor, o poliestireno recebe aquecimento ao entrar em contato com vapor de água. Com isto as pérolas com cerca de três milímetros passarão a ter um volume 50 vezes mais do que o atual, o que resulta em um granulado de partículas de poliestireno expandido;
- Armazenamento intermediário: Fase de estabilização do material, que se faz necessário para posterior transformação, é aonde acontece o resfriamento do EPS que propicia uma depressão no interior das células, o qual forma espaços que serão preenchidos por ar circulante;
- Moldagem: O granulado estabilizado é introduzido em moldes e novamente exposto a vapor de água, o que provoca a soldadura do mesmo; assim obtém-se um material expandido. Tentando evitar perdas do produto, este processo de expansão dentro da câmara de vapor pode ser interrompido bruscamente com jatos de água fria direcionados contra a parede do molde.

O produto final é composto de pérolas de até 3 mm de diâmetro, que se destinam à expansão em até 50 vezes o seu tamanho original, através de vapor, fundindo-se e moldando-se em formas diversas. Expandidas, as pérolas consistem em até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. Em 1m³ de poliestireno expandido, por exemplo, existem de 3 a 6 bilhões de células fechadas e cheias de ar (ABRAPEX, sp).

2.2. CARACTERÍSTICAS DO POLIESTIRENO EXPANDIDO

Muitas são as características do EPS como:

- Baixa condutibilidade térmica: A estrutura de células fechadas, cheias de ar, dificulta a passagem do calor o que confere ao EPS um grande poder isolante.
- Leve: As densidades do EPS variam entre os 10-30 kg/m³, permitindo uma redução substancial do peso das aplicações que o utilizam.
- Resistência mecânica: Apesar de muito leve, o EPS tem uma resistência mecânica elevada, que permite o seu emprego onde esta característica é necessária.

- **Baixa absorção de água e insensível à umidade:** O EPS não é higroscópico. Mesmo quando imerso em água o EPS absorve apenas pequenas quantidades de água. Tal garante que o EPS mantém as suas características térmicas e mecânicas mesmo sob a ação da umidade.
- **Fácil de manusear e colocar:** O EPS é um material que se trabalha com as ferramentas habitualmente disponíveis, garantindo a sua adaptação perfeita à obra. O baixo peso do EPS facilita o manuseamento do mesmo em obra. Todas as operações de movimentação e colocação resultam significativamente encurtadas.
- **Versátil:** O EPS pode apresentar-se numa multitude de tamanhos e formas, que se ajustam sempre às dimensões da aplicação requerida.
- **Resistente ao envelhecimento:** Todas as propriedades do EPS mantêm-se inalteradas ao longo da vida do material, que é pelo menos tão longa quanto a vida da construção de que faz parte. O EPS não apodrece nem ganha bolor, não é solúvel em água nem liberta substâncias para o ambiente. O EPS não constitui substrato ou alimento para o desenvolvimento de animais ou microrganismos.
- **Amortecedor de impactos:** A estrutura de células fechadas cheias de ar do EPS proporciona um altíssimo poder de absorção de impactos, quedas, vibrações, etc., permitindo reduzir ao mínimo os danos a produtos embalados durante o transporte ou armazenamento.

2.3. APLICAÇÃO DO EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Lajes nervuradas e lajes industrializadas

Nos edifícios de vários pisos, as lajes possuem significativa participação no consumo de concreto, principalmente quando a laje é maciça. O emprego de lajes nervuradas e de lajes industrializadas constituiu-se em uma evolução natural da laje maciça, proporcionando um alívio no peso próprio da estrutura e um aproveitamento mais eficiente do aço e do concreto. O uso do EPS como material de enchimento traz consigo uma redução significativa no peso próprio da estrutura, na mão-de-obra necessária à montagem das lajes e no entulho. Além das vantagens acima descritas, proporcionam um excelente isolamento térmico e acústico dos ambientes, atendendo

um dos requisitos mais importantes de desempenho de um ambiente construído: o conforto.

Figura 2 – Elemento de Enchimento em laje Nervurada e Industrializada.

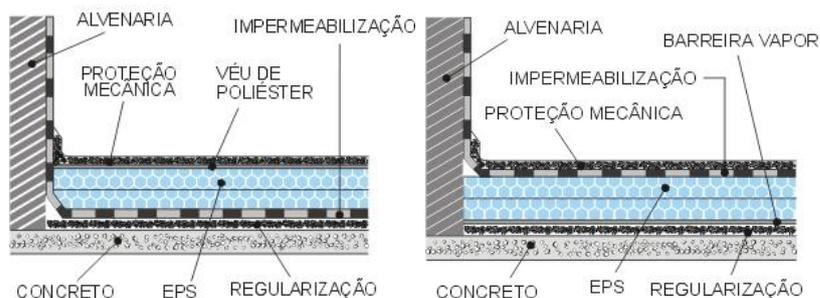


Fonte: (ABRAPEX, 2000)

Isolamento térmico de lajes impermeabilizadas

Dentre os produtos atualmente verificados no mercado nacional, para isolamento térmico de lajes impermeabilizadas, o EPS é um dos mais eficientes. Sua fixação é fácil e obtém-se o isolamento desejado com espessuras bem delgadas. Não se admite hoje em dia lajes de cobertura expostas ao sol sem isolamento térmico, seja pela dilatação que destruirá a impermeabilização rapidamente, seja pelo desconforto que isso ocasiona.

Figura 3 – Isolamento térmico sobre e sob a impermeabilização.



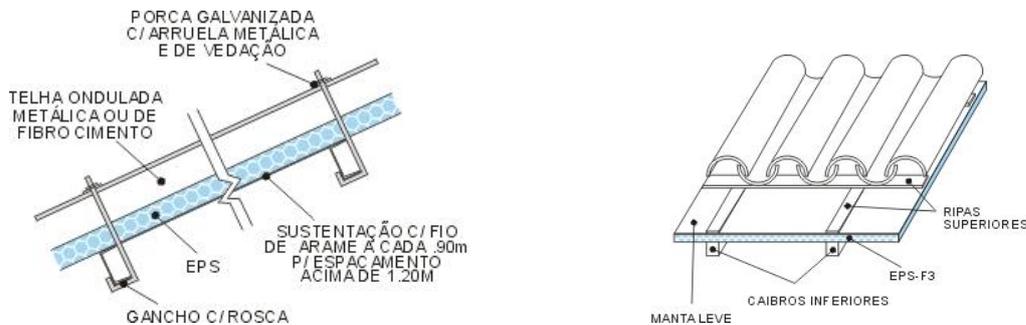
Fonte: (ABRAPEX, 2000)

Isolamento Térmico de telhados

Quem pretende projetar ou construir com resultados confortáveis e de manutenção econômica deve sempre pensar no isolamento térmico da cobertura. Em climas de variações muito grandes em relação às temperaturas de conforto o mesmo cuidado deve ser tomado com as paredes. O isolamento térmico de telhados pode ser feito

diretamente sob as telhas. Neste caso há diferentes posições de acordo com o processo construtivo usado, tipo de telha ou até para telhado já concluído.

Figura 4 – Isolamento de Telhas de Fibrocimentos, cerâmicas, tégulas.

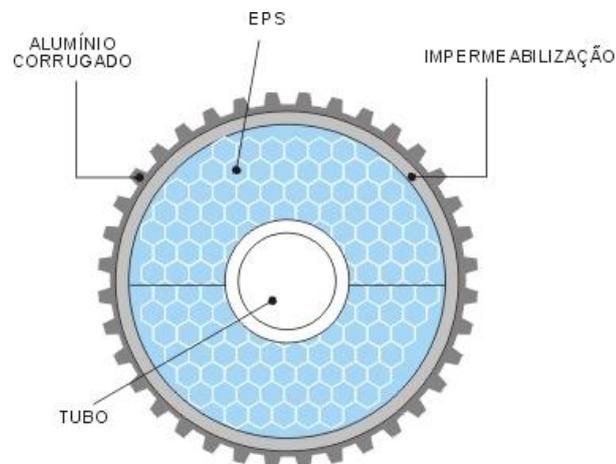


Fonte: (ABRAPEX, 2000)

Isolamento Térmico De Tubulações e Reservatórios

Seja nas instalações de água gelada para ar condicionado ou até salmoura a temperaturas de sub-zero para outros tipos de refrigeração, o EPS pode ser usado com tranquilidade de -70° a $+ 80^{\circ}$ Centígrados. Quanto mais frio o conteúdo, mais denso deve ser o EPS, além de espessuras maiores de acordo com o cálculo. Recomenda-se classe F II ou F III.

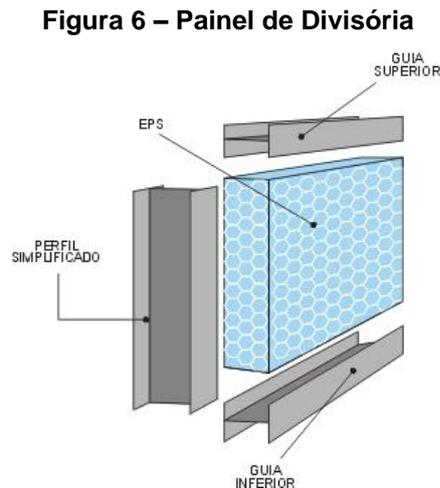
Figura 5 – Isolamento Térmico de Tubulações e Reservatórios.



Fonte: (ABRAPEX, 2000)

Painéis Divisórios

Os painéis leves são fáceis de produzir usando o EPS como miolo e diversos materiais como revestimento. São painéis que podem ser recortados e perfurados sem deformação.



Fonte: (ABRAPEX, 2000)

2.4. CONCRETO

Sobre história do concreto, os primeiros materiais a serem empregados nas construções antigas foram à pedra natural e a madeira, por estarem disponíveis na natureza. O material considerado ideal para as construções é aquele que apresenta conjuntamente as qualidades de resistência e durabilidade. A pedra, muito usada nas construções antigas, tem resistência à compressão e durabilidade muito elevadas, porém, tem baixa resistência à tração. A madeira tem razoável resistência, mas a durabilidade é limitada. O ferro e o aço têm resistência elevada, mas a durabilidade também é limitada em consequência da corrosão que podem sofrer.

O concreto surgiu da necessidade de aliar a durabilidade da pedra com a resistência do aço, com as vantagens do material composto poder assumir qualquer forma, com rapidez e facilidade, e com o aço envolvido e protegido pelo concreto para evitar a sua corrosão. Os materiais de construção feitos à base de cimento, chamados “materiais cimentícios”, podem ser considerados os materiais mais importantes produzidos pelo homem, porque lhe possibilitou construir as edificações e todas as

principais obras de que necessitava para viver, como por exemplo, as habitações, fortificações, aquedutos, barragens, obras sanitárias, pontes, rodovias, escolas, hospitais, teatros, igrejas, museus, palácios, entre tantos outros tipos de construção.

A abundância das matérias primas em quase todas as regiões, somada à sua grande versatilidade para aplicação nas mais variadas formas, foram os principais motivos para o seu desenvolvimento, desde os tempos primórdios até a atualidade.

O concreto é preparado de acordo com sua utilização, a principal diferenciação a ser considerada na engenharia civil é a densidade do mesmo.

Na antiguidade foram os romanos os que mais se destacaram na aplicação dos concretos e argamassas, que lhes possibilitou criar espaços amplos em forma de arco, abóbadas e cúpulas, de grandes dimensões. Combinando o concreto da época com tijolos de argila, pedra e outros materiais naturais, conseguiram produzir obras magníficas, inéditas até aquele período, que trouxeram grande desenvolvimento e revolucionaram a arquitetura da época.

O concreto é um material de construção resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Logo após a mistura o concreto deve possuir plasticidade suficiente para as operações de manuseio, transporte e lançamento em formas, adquirindo coesão e resistência com o passar do tempo, devido às reações que se processam entre aglomerante e água. Em alguns casos são adicionados aditivos que modificam suas características físicas e químicas.

Aglomerantes: o cimento é um material cerâmico que, em contato com a água, produz reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim resistência mecânica. É o principal material de construção, usado como aglomerante.

Agregado Moído: a areia usada como agregado miúdo para emprego em argamassas e concretos pode ser classificada como natural (rios, minas, várzeas) e artificial (resíduo fino de pedreiras – pó de pedra). A areia é extraída em unidades de mineração chamadas de areais ou portos de areia, podendo ser encontrada no leito de rios, depósitos lacustres, veios de areia subterrâneos (minas) ou de dunas.

Agregado Graúdo: é obtido em uma unidade industrial mineradora chamada pedreira, onde ocorre a desintegração, por explosão controlada, da rocha que dá origem à brita. Após a detonação da rocha matriz, grandes matacos são transportados para serem triturados em equipamento chamado britador. Por fim, a brita é passada em peneiras onde é classificada de acordo com sua granulometria.

2.5 CONCRETOS LEVE

Os concretos leves são reconhecidos pelo seu reduzido peso específicos e elevada capacidade de isolamento térmico e acústico (SHORT e KINNIBURGH, 1978). Enquanto os concretos simples têm densidade variando entre 2300 e 2500 kg/m³, os leves chegam a atingir densidades próximas a 500 kg/m³. Cabe lembrar que a diminuição da densidade afeta diretamente a resistência do concreto. Os concretos leves mais utilizados são os celulares e os produzidos com agregados leves, como poliestireno expandido, vermiculita e argila expandida.

Segundo Mehta e Monteiro (1994) tanto para o concreto leve como para o concreto normal, as propriedades não diferem tanto, porém, devem-se tomar alguns cuidados com a trabalhabilidade, evitando desta forma a segregação dos materiais.

Devido à textura áspera e a baixa densidade dos agregados, os trabalhos de lançamento, compactação e acabamento necessitam de menor esforço e, por conseguinte, necessitam de menor abatimento. No caso de um alto abatimento e vibração excessiva, ocorrerá um fenômeno chamado flutuação do agregado graúdo, aonde a argamassa, pela maior massa específica, irá se concentrar na parte inferior da estrutura, prejudicando o acabamento da peça.

Sua aplicação está voltada para procurar atender exigências específicas de algumas obras e também para enchimento de lajes, fabricação de blocos, regularização de superfícies, envelopamento de tubulações, entre outras.

Segundo Brasipor apud Soares (2011) O concreto leve de EPS é formado a partir da inserção de flocos de EPS na massa do concreto convencional, desse modo o concreto fica consideravelmente mais leve mantendo a sua resistência, podendo ser utilizado de várias formas desde que não haja grandes esforços sobre o mesmo e que não seja utilizado estruturalmente.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, LEVEZA, E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Segundo Tessari (2006), o concreto leve de EPS consiste na substituição total ou parcial dos agregados tradicionais por grânulos de EPS. Portanto, realizamos um estudo experimental de substituição total da brita, por perlas de Poliestireno Expandido. O objetivo desse experimento é, analisar o impacto que essas perlas de EPS, irão causar no concreto, quando inseridas de forma ponderada. Comprovando assim, algumas das características positivas do concreto leve fabricado com EPS, como: resistência à compressão, insensibilidade a umidade e baixa densidade (leveza).

Nesta pesquisa, foram realizados os seguintes experimentos: experimento de resistência a compressão, experimento comparativo entre o concreto convencional e o concreto leve fabricado com EPS, para comprovar sua leveza, e um experimento para verificar a sensibilidade do concreto à umidade, quando imergido em água.

Antes de iniciarmos o experimento, foi determinado uma medida de traço de massa fixa: 842g de areia, 301,72g de cimento e 175ml de água para cada corpo de prova. De maneira que o EPS fosse inserido ponderadamente, nos permitindo analisar apenas o efeito na densidade, absorção de água e resistência à compressão, referente a quantidade de EPS inserido.

Para as preparações dos concretos leves com a utilização de agregados de isopor, foi utilizado traços com a adição de 0%; 0,05%; 1%; 1,5% de EPS, em relação ao total de cimento de cada corpo de prova, sendo desenvolvido apenas para concreto de uso experimental. A partir dessas implicações, procurou-se verificar a influência da participação dos agregados de EPS quando inserida de forma ponderada ao concreto na substituição do agregado graúdo (Brita).

3.1. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi feita a coleta dos materiais a serem utilizados na pesquisa como: cimento, areia, EPS e água. O cimento escolhido para utilização na pesquisa foi o CP III – 40 que é segundo a NBR 5735/1991, “obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e escória granulada de alto forno, moídos em conjunto ou em separado”. Pois

foi o único disponível no mercado comercial local. A areia utilizado no concreto foi a única disponível no comercio local e possui 2 mm de granulometria, e estava um pouco úmida na hora da realização do experimento.

O EPS utilizado na pesquisa e mostrado na Imagem abaixo possui granulometria de 3 mm. E a água utilizada foi a da CAERN (Companhia de águas e esgotos do Rio Grande do Norte).

Imagem 2 – Moídos de EPS



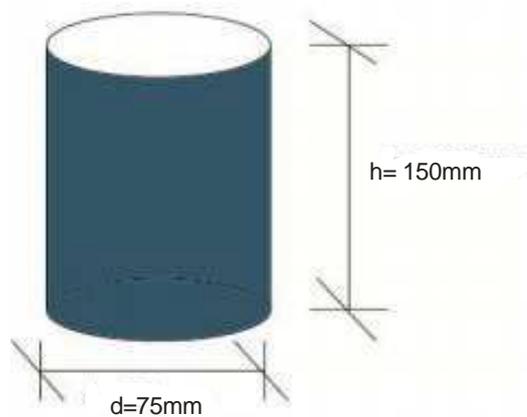
Fonte: Autor, 2017

A fabricação dos corpos de prova, aconteceu no dia 20 de abril de 2017 nas imediações da própria Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN). Para a confecção desses corpos de prova, usamos a NBR 5738 (ABNT,2003) que determina a moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.

Para cada corpo de prova de concreto leve, foram realizados os seguintes procedimentos: misturou-se de forma braçal inicialmente areia, cimento e o EPS durante 2min e logo em seguida foi diluído em 100 ml da água, misturando por aproximadamente mais 3 minutos, depois foram adicionados mais 75ml de água ponderadamente até que apresentassem consistência adequada para formar o concreto.

Em seguida, foram fabricados 7 corpos de prova, com formato cilíndrico, e de PVC, utilizando parâmetros, com diâmetro de 7,5 cm (75 mm), com tampas de mesmo diâmetro, e altura de 15 cm (150 mm), pois segundo a norma NBR 5738:2003, “devem ter altura igual ao dobro do diâmetro”. Como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Modelo de Corpo de Prova



Fonte: Autor, 2017

Os moldes cilíndricos de PVC foram distribuídos da seguinte maneira: foi fabricado um corpo de prova de concreto convencional contendo 0% (zero por cento) de poliestireno expandido; dois corpos de prova contendo 0,5% (meio por cento); dois corpos de prova contendo 1% (um por cento); e mais dois corpos de prova contendo 1,5% (um e meio por cento). No decorrer do experimento, pudemos observar que a medida aumentamos a quantidade de EPS inserida na estrutura do concreto leve, os corpos de prova, ficaram menos densos, quando comparados a amostra do concreto convencional. Conforme a Tabela 1, abaixo:

Tabela 1: Porcentagem de variação parcial do EPS no concreto leve

Corpo de Prova	Areia/g	Cimento/g	EPS	Água	Peso/g
1	842	301,71	0%	175ml	1208
2	842	301,71	0,5%	175ml	1096
3	842	301,71	0,5%	175ml	1078
4	842	301,71	1%	175ml	960
5	842	301,71	1%	175ml	944
6	842	301,71	1,5%	175ml	828
7	842	301,71	1,5%	175ml	844

Fonte: Autor, 2017

Os corpos de prova foram desmoldados 48h depois de sua data de fabricação. Sabendo que absorção de água por imersão é o processo pelo qual a água é conduzida e tende a ocupar os poros permeáveis de um sólido poroso. O concreto poroso é penetrado pela água em seus poros permeáveis, estabelecendo a relação com a sua massa em estado seco. Após desmoldados, ficaram 7 dias no período de cura. E posterior a esse período, os corpos de prova foram pesados e logo em seguida imergidos em solução aquosa de H₂O, a fim de identificarmos a quantidade de água absorvida pelo concreto leve de EPS e o concreto convencional. Como mostra a Imagem 3 abaixo:

Imagem 3 - Corpos de Prova Imergidos em água



Fonte: Autor, 2017

3.2. RESULTADOS E DISCUÇÕES

Aos 12 dias sucedidos a imersão, os corpos de prova foram pesados numa balança eletrônica digital com capacidade de até 20Kg.

A fim de obter um resultado que expressasse um valor como resultado da absorção de água dos concretos no estado endurecido, comparamos os pesos dos corpos de prova do concreto leve e concreto convencional antes e depois de imergidos em solução aquosa de H₂O. De maneira que podemos constatar que a amostra referente ao concreto convencional e ao concreto leve (0,5%) apresentou maior valor de absorção de água. E os corpos de prova de 1% e 1,5% apresentaram menores valores de absorção, respectivamente, quando comparados ao concreto convencional. Como mostra a Tabela 2, abaixo:

Tabela 2 – Ensaio de absorção de água

Corpos de Prova	Peso Antes da Imersão em Água (g)	Peso depois da Imersão em Água (g)	Diferença de Massa (g)
Concreto Convencional (0%)	1208	1236	28
Concreto Leve 1 (0,5%)	1096	1124	28
Concreto Leve 1A (0,5%)	1078	1106	28
Concreto Leve 2 (1%)	960	986	26
Concreto Leve 2A (1%)	944	970	26
Concreto Leve 3 (1,5%)	828	852	24
Concreto Leve 3A (1,5%)	844	866	22

Fonte: Autor, 2017

Diante dos resultados positivos obtidos no experimento comparativo entre o concreto convencional e o concreto leve fabricado com EPS, comprovamos sua leveza e baixa absorção de água.

Apesar dos resultados satisfatórios usamos um método estatístico de análise de hipótese não paramétrico conhecido com Teste do Qui-quadrado. A fim de saber se essa taxa de absorção de água é significativa ou não.

Segundo a Viali (2008), utiliza-se este teste quando o pesquisador está interessado no número de indivíduos, objetos ou respostas que se enquadram em várias categorias que podem ser duas ou mais. Usa-se a técnica do tipo de prova de aderência, ou seja, deve comprovar se existe diferença significativa entre o número observado de indivíduos, ou de respostas, em determinada categoria, e o respectivo número esperado, baseado na hipótese de nulidade. Pode aplicar a prova X^2 para determinar a significância de diferenças entre dois grupos independentes e conseqüentemente, com respeito as frequências relativas com que os componentes do grupo se enquadram nas diversas categorias.

O método se resume a hipótese da nulidade pode ser testada mediante:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \text{ onde:}$$

O_{ij} = n de casos observados na linha "i" da coluna "j".

E_{ij} = n de casos esperados, sob H_0 , na linha "i" da coluna "j".

$\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k$ indica somatório sobre todas as "r" linhas e todas as "k" colunas.

Se há concordância entre os valores observados e os esperados, as Diferenças ($O_i - E_i$) serão pequenas e, conseqüentemente, X^2 será também pequeno.

Se as divergências, entretanto, forem grandes, o valor de X^2 , será também grande. Pode-se mostrar que a distribuição amostral de X^2 , sob H_0 , calculada pela fórmula acima, segue a distribuição qui-quadrado com um número de graus de liberdade igual a "k-1" onde "k" é igual ao número de categorias em que a variável foi classificada.

Utilizamos o programa de computador chamado Estatística Taxa Versão 10, que envolve todo esse procedimento matemático. E também definimos que o percentual de variação só seria significativo se apresenta-se resultados inferiores a 0,05.

Pois gostaríamos de testar se a distribuição experimental dos valores das amostras era consistente com a distribuição esperada para o fenômeno. Em outras palavras, tentamos avaliar o efeito esperado das porcentagens de EPS no concreto para só então comparar com a distribuição observada. Primeiramente, em geral x é uma variável contínua, de forma que não podemos nos referir ao valor esperado de medidas com um único valor de x^2 , pois se x for contínuo, a probabilidade de X assumir um valor exato é zero.

Logo, precisamos definir intervalos e calcular o número esperado de medidas que devem estar dentro de cada intervalo e n é o número de intervalos definidos. E (P) é a probabilidade de X assumir um valor dentro do intervalo. Essa probabilidade obviamente depende da distribuição f(X). Que resultou nos dados apresentados na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3 – Diferença entre a quantidade de água adsorvida dos CPs em função da variação de concentração do EPS

Amostra	Amostras Relacionadas	Percentual de Significância deve ser menor ou igual à 0,05
1	EPS 0% x EPS 0,05%	0,7054
2	EPS 0% x EPS 1%	0,4071
3	EPS 0% x EPS 1,5%	0,2377
4	EPS 0,05% x EPS 1%	0,5920
5	EPS 0,05% x EPS 1,5%	0,1291
6	EPS 1% x EPS 1,5%	0,0794

Fonte: Autor, 2017

Diante dos percentuais expostos na tabela 3 podemos concluir que apesar da baixa adsorção de água apresentada na Tabela 2, os resultados não são significativos quando comparados ao concreto convencional, sendo necessário maior quantidade de EPS na matriz do concreto leve para obter um resultado significativo.

Já para analisarmos a resistência desse material, realizamos o experimento de resistência a compressão no laboratório de compósitos cimentícios do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN).

No laboratório o teste de resistência do concreto foi realizado pelo método do ensaio de compressão axial. Antes do laboratório receber os corpos de prova (CP) da obra, eles foram armazenados em câmara úmida por um tempo de 12 dias, vale ressaltar que o concreto só atinge a sua resistência característica no 28^o dia.

Entretanto devido ao pouco tempo disponível para a realização desse experimento e percebendo a consistência do CP, resolvemos realizar esse ensaio de compressão.

Na fase de fabricação, o CP passou por um processo de nivelamento das superfícies para que se encaixou perfeitamente na máquina que iria fazer o ensaio, e finalmente ele foi encaminhado para a última fase, chamada de rompimento. A máquina exerce uma força gradual de compressão sobre o CP até que o mesmo venha a romper, a força exercida é distribuída na área de topo do CP em cm², temos então a relação de kgf por cm², que é calculada em Mpa. Como mostra a Imagem 4 abaixo:

Imagem 4 - Máquina Utilizada para Calcular a Resistencia a Compressão



Fonte: Autor, 2017

Os CPs foram posicionados de modo que o seu eixo coincidisse com o da máquina, de maneira que a resultante das forças, passe pelo centro. Sendo submetidos a uma pressão vertical sobre a peça até que se rompa.

Assim, verifica-se a resistência máxima padronizada pelo traço de concreto ensaiado. Resultando nos valores demonstrados na Tabela 4:

Tabela 4 – Resultados do Ensaio de Compressão dos CPs

Corpo de Prova	Porcentagem de EPS (%)	Carga de Ruptura (kgf)	Tensão de Ruptura (Mpa)
Concreto Convencional	0	4.510	10
Concreto leve 1	0,5	3.300	7.3
Concreto leve 1 ^a	0,5	3.080	6.8
Concreto leve 2	1	2.630	5.8
Concreto leve 2 ^a	1	2.070	4.6
Concreto leve 3	1,5	2.200	4.9
Concreto leve 3 ^a	1,5	1.970	4.4

Fonte: Autor, 2017

Com posse dos valores das tensões de rupturas dos concretos. Utilizamos mais uma vez o programa Estatística Taxa Versão 10, para analisarmos se essas resistências

à compressão são significativas para a fabricação de concreto leve. Como apresenta a Tabela 5 abaixo:

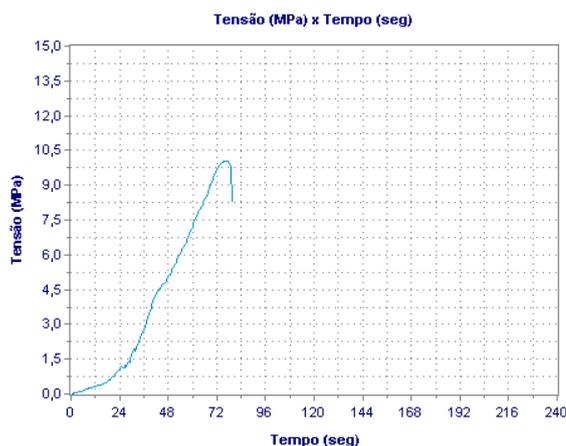
Tabela 5 – Diferença de ruptura em função das concentrações de EPS

Amostras	Amostras Relacionadas	Percentual de Significância deve ser menor ou igual à 0,05
1	EPS 0% x EPS 0,05%	$\leq 0,0035$
2	EPS 0% x EPS 1%	$\leq 0,00293$
3	EPS 0% x EPS 1,5%	$\leq 0,00421$
4	EPS 0,05% x EPS 1%	$\leq 0,230123$
5	EPS 0,05% x EPS 1,5%	$\leq 0,114966$
6	EPS 1% x EPS 1,5%	$\leq 0,676234$

Fonte: Autor,2017.

Analizando os dados expostos na Tabela 4 em função dos dados obtidos na Tabela 5, podemos observar que apenas as amostras 1, 2 e 3 apresentam percentual menor que 0,05. Logo, concluímos que apresentam um resultado significativo na diminuição da resistência à compressão. O Computador ligado a máquina que realiza o processo, gerou os gráficos dessas resistências, como mostra as figuras abaixo:

Figura 8 – Gráficos do CP com 0% de EPS

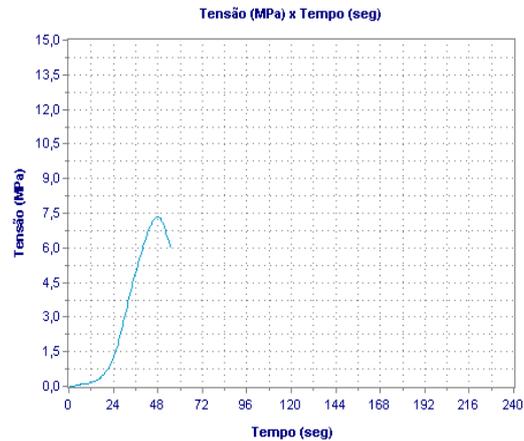


Fonte: Autor, 2017

A Figura 8 acima, por corresponder ao CP convencional que não conter nenhuma porcentagem de EPS em sua estrutura, foi necessário aplicar uma carga de ruptura de 10 Mpa para provocar seu rompimento.

Na Figura 9 abaixo, podemos concluir que o CP com 0,5% de EPS necessitou de menor tensão (Mpa) para se romper quando comparado ao concreto convencional, no entanto não apresentou nenhuma resistência à força aplicada.

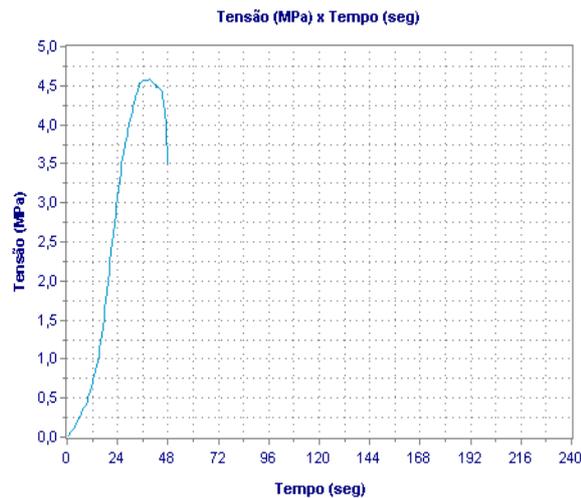
Figura 9 - Gráficos dos CPs com 0,5% de EPS



Fonte: Autor, 2017

Na Figura 10 também não foi perceptivo nenhum sinal de resistência à tensão submetida.

Figura 10 – Gráficos dos CPs com 1% de EPS

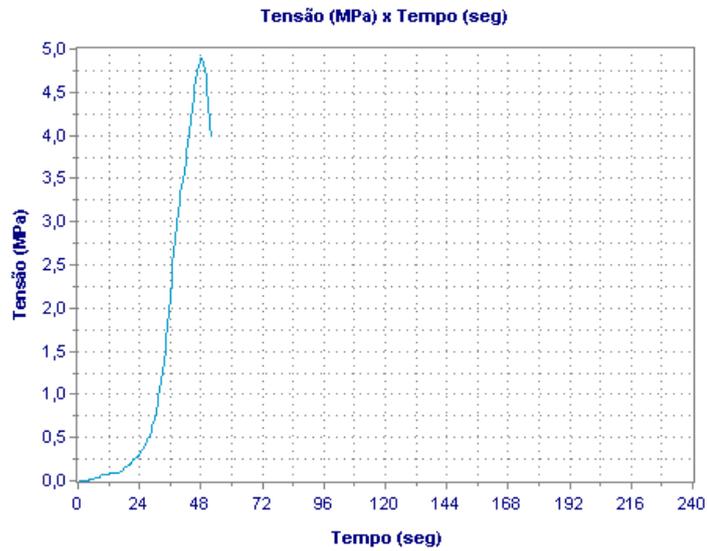


Fonte: Autor, 2017

A Figura 11 abaixo, mesmo representando o CP com maior quantidade de EPS, não apresentou o resultado esperado, que seria o aparecimento de uma oscilação constante no gráfico representando uma resistência do concreto quando submetido a

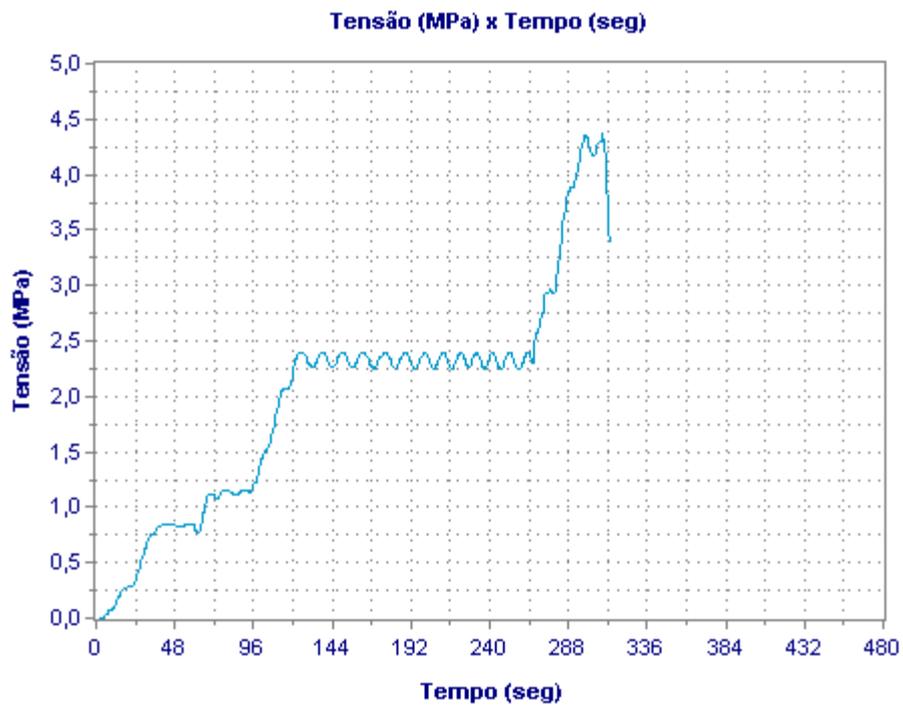
uma força, no entanto talvez isso não tenha ocorrido por erros de execução na fabricação desse CP.

Figura 11 – Gráficos do CP com 1,5% de EPS



Fonte: Autor, 2017

Figura 12 – Gráfico do CP com 1,5% de EPS



Fonte: Autor, 2017

Já no gráfico da Figura 12, mostra que o CP que possui 1,5% de Poliestireno Expandido em sua estrutura, apresentou um comportamento de resistência, diferente dos demais, no intervalo de Tensão aplicada entre 2 e 2,5 (Mpa). Esse comportamento diferenciado ocorreu devido ao fator elasticidade do material de EPS utilizado, pois quando submetido a uma alta carga de força, tenderá a se comprimir, evitando seu rompimento sendo necessário aumentar a força da carga de ruptura para provocar tal comportamento.

Podemos concluir que, quanto maior a porcentagem de EPS na fabricação do concreto leve, maior será sua resistência a compressão.

Diante desse resultado, podemos concluir que o experimento foi satisfatório, sendo útil, portanto, para comprovar a viabilidade da inserção do polímero de poliestireno expandido na fabricação do concreto leve.

4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise da fabricação de concreto leve utilizando o polímero de poliestireno expandido, verificando assim os efeitos de sua propriedade na matriz estrutural do compósito cimentícios, a fim de confirmar sua viabilidade na fabricação de um material alternativo. Além disso, permitiu uma pesquisa experimental para obter dados mais consistentes com relação a leveza, sensibilidade a umidade e resistência a compressão.

Ao fazer os testes comparativos, entre o concreto convencional e o concreto leve de EPS, obteve-se resultados positivos, pois verificou-se que quanto maior a quantidade de EPS inserido na fabricação do concreto leve, menor sensibilidade à umidade, maior resistência e mais leve será o compósito cimentícios. Permitindo assim, que os objetivos propostos fossem realmente alcançados.

Dentre os experimentos realizados, vale ressaltar que o ensaio de resistência a compressão foi de extrema importância para fundamentação deste trabalho, tendo em pauta, que o mesmo, serviu como prova cabal, fortalecendo assim, os princípios teóricos apresentados. Pois, conseguiu mostrar de maneira satisfatória os impactos provocados pelas propriedades específicas do EPS, na fabricação do concreto leve.

Entretanto o teste estatístico Qui-quadrado aponta que os valores obtidos por este experimento apresentaram diferenças significativas ao nível de significância de 0,05 na ruptura do EPS 0% em relação aos demais corpos de prova.

Dada à importância do assunto, torna-se necessário o desenvolvimento de estudos mais aprofundados, aumentando as concentrações de EPS na matriz do concreto leve e calcular em valores econômicos a viabilidade desse material e descobrir outras maneiras de tornar possível a utilização desse material, podendo economizar não só o tempo como recursos naturais e econômicos que são necessários para a construção civil.

Nesse sentido, a utilização do poliestireno expandido na fabricação do concreto leve, permite à indústria da construção civil, realizar seu trabalho de forma mais rápida, eficiente e sustentável. Além de ajudar, a diminuir o impacto ambiental causado pelo desperdício inadequado do EPS no meio.

REFERÊNCIAS

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. **O EPS na Construção Civil: Características do poliestireno expandido para utilização em edificações.** São Paulo, set. 2000

ALVIM, R. C. **Compósitos de Cimento Leve Reforçados com Fibras Vegetais.** Ilhéus – BA, Universidade Estadual de Santa Cruz, 2006.

BURGOS, R. **Construção civil adere ao uso do isopor.** Portal do arquiteto, 2006.

CALLISTER Jr., William D. **Ciência e Engenharia dos Materiais – Uma Introdução.** LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A. Rio de Janeiro, 2002.

CANEVAROLO Jr., Sebastião V. **Ciência dos Polímeros – Um Texto Básico para Tecnólogos e Engenheiros.** Editora Artliber. São Paulo, 2002.

FENILLI, R. J. **Sistemas termo isolantes: tipos, finalidades e aplicação.** Revista **Climatização e Refrigeração.** Editora Nova Técnica. São Paulo, 2008.

FREITAS, V. P. **Isolamento térmico de fachadas pelo exterior.** Relatório – HT 191A/02. MaxitGroup. Porto – Portugal. 64 pg, 2002.

HIGGINS, Rita Ann. **Propriedades e estruturas dos materiais de engenharia.** São Paulo: Difel, 1982.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na Arquitetura.** São Paulo: 1997, 192p.

MEDEIROS, K. F.; BORJA, E.V.; SILVA, G.G. & BEZERRA,;M.C.M. **Análise das propriedades físico mecânicas em blocos de cimento, com adição de isopor, sem função estrutural.** I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica Natal-RN - 2006.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** 1 ed. São Paulo: PINI, 1994. 581 p.

SANTOS, M. G.; ARAUJO, I. F.; GUARDIA, M. A. B.; SILVA, S. F.; LEAL, A. F. **Sustentabilidade na construção civil: utilização do resíduo poliestireno expandido como material não convencional.** XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador-Bahia-2009.

SCHICOSKI, Carlos Alberto. Isopor: uso abusivo e reciclagem incipiente. **Revista Meio Ambiente**, Campo Mourão, v.3 n.11, p.16-17, fev.2008.

SHORT, A.; KINNIBURGH, W. Lightweight. **Concrete**, 3rd ed., Ing.: Applied Science Publishers, 1978.

SOARES, Diego Mazzeo **O uso do EPS na construção civil.** Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo, 2011, 60 p.

TESSARI, Janaina. **Utilização de Poliestireno Expandido e Potencial de aproveitamento de seus Resíduos pela Construção Civil.** 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

VERTIX engenharia. **Poluição na Construção**, 2013. Disponível em: <[http://www.vertixcorp.com.br/poluica -na-construcao/](http://www.vertixcorp.com.br/poluica-na-construcao/)> Acesso em: 28 de Abr. 2017

VIALI, Lorí. **Teste de hipóteses não Paramétricos.** UFRGS. Porto Alegre, 2008.