



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

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

JOÃO DAL'MAS NETO

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DESEMPENHO TÉRMICO DO
CONCRETO LEVE ESTRUTURAL COM USO DE EPS.

PALMAS

2017



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

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

JOÃO DAL'MAS NETO

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DESEMPENHO TÉRMICO DO CONCRETO LEVE ESTRUTURAL COM USO DE EPS.

Projeto apresentado como requisito avaliativo parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCCII), do curso de Engenharia Civil, orientado pela Prof^ª. Mestra Maria Carolina D'Oliveira.

PALMAS

2017

JOÃO DAL'MAS NETO

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DESEMPENHO TÉRMICO DO CONCRETO LEVE ESTRUTURAL COM USO DE EPS.

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina TCC II do curso de Engenharia Civil, orientado pela Prof.^a Mestra Maria Carolina D'Oliveira.

Aprovado em _____ de _____ de 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof.Msc. Maria Carolina D'Oliveira
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Fernando Suarte
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Dênis Parente
Centro Universitário Luterano de Palmas

PALMAS

2017

Agradeço primeiramente a Deus, pois o caminho da engenharia civil foi traçado por ele. Dando-me sabedoria para determinar minhas escolhas e força para superar os obstáculos e nunca desistir de um sonho.

Agradeço minha família, por estar sempre me apoiando nas minhas escolhas, afinal foram peças fundamentais para concretização.

Agradeço a minha mãe pela determinação e luta na minha formação, a Raisal Pinheiro por me apoiar e incentivar nos momentos difíceis. Á vocês expesso meu maior agradecimento.

Aos meus amigos, que quando mais precisei estavam sempre ao meu lado, me ajudando.

Agradeço todos os professores, que tiveram paciência, bondade de transmitir seus conhecimentos. Principalmente minha orientadora e professora Maria Carolina, por me incentivar, ensinar e confiar na minha capacidade na conclusão desse trabalho. Muito obrigado a todos, carrego de vocês as experiências de vida e profissionais.

Dedico este trabalho a minha mãe Marta Janete dias campos e minha companheira Raisal, pelo afeto e compreensão, sempre me apoiando nesta e em outras caminhadas.

RESUMO

DAL'MAS, João. **Avaliação das propriedades mecânicas e desempenho térmico do concreto leve estrutural com uso de EPS**. 2017. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2017.

O presente trabalho de conclusão de curso faz uma análise através de um estudo teórico e da execução de um programa pratico experimental, das propriedades físicas, mecânicas e térmicas, obtidas nos ensaios de corpos de prova realizados com amostras de concreto leve produzidos com a substituição dos agregados graúdos por perolas de poliestireno expandido (EPS), em diferentes proporções (45%, 50% e 55%) e em diferentes idades, relacionando na forma convencional. Os resultados mostraram significativa redução em sua massa específica, quando comparado aos valores obtidos no concreto convencional, além disso, apontaram que a utilização de perolas de EPS, em substituição ao agregado graúdo no concreto é viável, e produzem maior resistência térmica, no entanto reduz significativamente os valores obtidos de resistência à compressão, mas ainda assim atingindo resultados satisfatórios para se caracterizar como concreto leve estrutural.

Palavra-Chave: EPS, Concreto leve estrutural, massa específica, resistência, resistência térmica.

ABSTRACT

DAL'MAS, João. **Evaluation of the mechanical properties and thermal performance of structural light concrete using EPS**. 2017. 58 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2017.

The present work of course completion makes an analysis through a theoretical study and the execution of an experimental practical program, of the physical, mechanical and thermal properties, obtained in the tests of samples made with light concrete samples produced with the substitution of (EPS), in different proportions (45%, 50% and 55%) and at different ages, relating in the conventional form. The results showed a significant reduction in their specific mass, when compared to the values obtained in the conventional concrete, in addition, they pointed out that the use of EPS pearls, replacing the aggregate in the concrete is feasible, and produce higher thermal resistance, the values obtained of compressive strength, but still reaching satisfactory results to be characterized as light structural concrete.

Keyword: EPS, structural lightweight concrete, specific mass, strength, thermal resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Coliseu ROMA.....	13
Figura 2- Panteão Roman.....	13
Figura 3- Pirâmides do Egito.....	15
Figura 4- Tipos de areias quanto às dimensões.....	16
Figura 5- Britas de dimensões variadas.....	16
Figura 6- Perolas de EPS	20
Figura 7- Alvenaria estrutural leve.....	21
Figura 8- Curva granulométrica do agregado miúdo.....	22
Figura 9- Curva granulométrica do agregado graúdo.....	23
Figura 10- curva granulométrica do EPS.....	24
Figura 11- Ensaio de abatimento do concreto.....	27
Figura 12 - Resistencia a Compressão.....	29
Figura 13 - Parede de bloco de concreto colados sem reboco.....	30
Figura 14 - Gráfico de classificação do concreto quanto à massa específica.....	33
Figura 15 - Gráfico de classificação do concreto quanto à massa específica.....	34
Figura 16 - Gráfico de classificação do concreto quanto à massa específica.....	35
Figura 17 - Gráfico de linhas relacionando resistência, massa específica e percentual de EPS.....	38
Figura 18 - Gráfico de linhas relacionando resistência, índice de vazios e teor de EPS	39
Figura 19 - Gráfico de linhas relacionando resistência, absorção de água e teor de EPS	40
Figura 20 - Resistência à compressão dos traços em relação ao limite estabelecido pela norma ACI 213R-87.....	41
Figura 21 - Relação entre os limites mínimos de resistência à compressão	42
Figura 22 - Relação entre os limites máximos de massa específicas.....	43
Figura 23 - Parede de blocos de concreto colados sem reboco.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Concreto leve de EPS.....	10
Tabela 2 – Referências normativas para massa específica do concreto leve.....	11
Tabela 3 – Propriedades térmicas dos concretos leves.....	13
Tabela 4 - Numero de rompimento por resistência a compressão	26
Tabela 5 - Numero de rompimentos por resistência a tração por compressão diametral	27
Tabela 6 – Resultado dos ensaios de abatimento.....	31
Tabela 7 – Resultados dos ensaios da NBR 9778:2005.....	33
Tabela 8 - Classificação dos traços quanto a massa específica.....	36
Tabela 9 - Resultados dos ensaios a compressão.....	37
Tabela 10 - Resultados dos ensaios a compressão.....	37
Tabela 11 - Limites para concreto leve estrutural NBR 35:1995.....	42
Tabela 12 - Relação entre massa especifica, tração e compressão para concreto leve estrutural.....	44
Tabela 13 - Classificação dos traços de concreto leve estrutural	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute (USA)
ASTM	American Society for Testing and Materials
EPS	Poliestireno Expandido
NBR	Norma Brasileira

LISTA DE SÍMBOLOS

a.C	Antes de Cristo
d.C	Depois de Cristo
MPa	Mega Pascal
Kg/m ³	Quilograma por metro Cúbico
A/C	Agua cimento
W/m.K	Watt por metro por kelvin
W/m.°C	Watt por metro por graus célsius

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3. JUSTIFICATIVA	2
2. REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1. HISTÓRICO DO CONCRETO	4
2.2. HISTÓRIA DO CIMENTO	6
2.3. AGREGADOS	7
2.4. CONCRETO LEVE	10
2.5. CONCRETO LEVE ESTRUTURAL	11
2.6. EPS	12
2.7. DESEMPENHO TÉRMICO	13
2.8. ESTUDOS QUE JÁ FIZERAM COM O USO DE EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	15
3. METODOLOGIA	17
3.1. DESENHO DO ESTUDO	17
3.2. LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA	17
3.3. OBJETO DE ESTUDO OU POPULAÇÃO E AMOSTRA	17
3.4. CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO	17
3.5. VARIÁVEIS	18
3.6. MATERIAIS A SEREM UTILIZADOS	19
3.7. MOLDAGENS E ENSAIOS	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1. Trabalhabilidade	30
4.2. Massa Específica	31
4.3. Resistência à compressão	35
4.4. Resistência a compressão diametral	36
4.5. Análise da resistência com a massa específica, índice de vazios e taxa de absorção do concreto	36
4.6. Concreto Leve Estrutural	39
4.7. Resistência Térmica	44
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.	51
5.1. CONCLUSÕES	51

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	52
REFERÊNCIAS.....	53
ANEXOS	58

1. INTRODUÇÃO

Apresentando várias utilidades para a construção civil, o concreto leve pode ser executado com diversos materiais, como argila expandida, vermiculita expandida, isopor e EVA. Entre todos eles destaca-se o EPS (Poliestireno Expandido), também conhecido como Isopor, que obteve uma condição estável na construção civil pois ele tem várias características, sendo elas a de ser leve, resistente, isolante, fácil de manusear e de baixo custo.

O concreto leve pode ser empregado em variadas áreas da construção civil. Entre as vantagens causadas pela substituição total ou parcial de agregados convencionais por agregados leves está à diminuição da massa específica. Reduzindo assim esforços na estrutura e infraestrutura das edificações tendo uma economia com fôrmas, pela redução das solicitações, e também a redução dos custos com transporte e montagem de construções pré-fabricadas, pela redução no peso dos materiais manuseados e aumento da produtividade (CATÓIA, 2012).

Dentre os materiais operados como agregados leve, o Poliestireno Expandido (EPS) se destaca, pois, é um isolante térmico, com um manuseio fácil, custo baixo, ele se caracteriza leve, rígido, resistente. Sendo também um material que não contamina a água o ar e o solo, e pode ser reciclado.

Segundo Oliveira (2013), o EPS foi descoberto em 1949, é classificado como um polímero. O EPS é utilizado em diversos setores de embalagens industriais, artigos de consumo, alimentício, agricultura e também na construção civil. De acordo com pesquisa do Índice de Reciclagem, no Brasil cerca de 34,5% do EPS pós consumo foi reciclado no ano de 2012, barateando ainda mais o produto com uma demanda maior de reciclados. (ÍNDICE DE RECICLAGEM, 2012)

O Poliestireno Expandido (EPS), devido a sua competência de isolamento termo-acústico e baixa densidade está sendo empregado cada vez mais como material para construção civil. Sua introdução permite potencializar a refrigeração dos sistemas de condicionares de ar, tendo maiores qualidades de conforto juntamente com uma economia nos gastos anuais com energia elétrica.

Neste trabalho será executado um programa experimental com objetivo de estudar e analisar a substituição de diferentes proporções de substituições de

agregado por pérolas de EPS, verificando as propriedades mecânicas e térmicas dos traços realizados.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o uso de diferentes quantidades de perolas de EPS para confecção de concreto leve estrutural e suas características no estado fresco e endurecido.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar as propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com adição de EPS;

Especificar a composição de traços de concreto, com a respectiva quantidade de EPS, para aplicações em construções;

Quantificar o desempenho na capacidade de resistência térmica;

Avaliar a melhor relação entre o peso específico e a resistência do concreto com adição de EPS.

1.3. JUSTIFICATIVA

A indústria da construção civil é uma grande consumista de matérias primas e a eficácia dos ambientes projetados está diretamente conectada às características desses materiais. Análises de Avaliação Pós-Ocupação tem revelado um desagrado de clientes no que tange ao isolamento térmico e principalmente isolamento acústico (JOBIM,2003).

Sob este ângulo, ratifica-se o potencial de emprego do poliestireno expandido, cujas características o consideram como um extraordinário material isolante. Outrossim, verifica-se o problema do grande volume de resíduos de EPS, provocando uma poluição na estética urbana das cidades, quando colocados em locais inadequados.

Este trabalho de pesquisa, dará respaldo para uma futura análise experimental e é de suma importância para avaliar as propriedades mecânicas e o desempenho térmico deste novo tipo de concreto dosado com EPS. Pelo fato de ser uma análise de cunho regional, beneficiará e incentivará a produção do concreto nessa municipalidade, trazendo inúmeros benefícios. Este por sua vez contribui para facilitar e agilizar a produção e reduzir problemas térmicos e acústicos, além de diminuir os custos com a mão de obra.

Condicionando a justificativa desta pesquisa, ao suprir a necessidade de diminuir os problemas térmicos e acústicos focando em opções de matérias primas existente em Palmas e instigando o comércio a concorrência, quesito saudável para os consumidores.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. HISTÓRICO DO CONCRETO

O concreto é um dos materiais de construção mais antigos que a humanidade conhece, depois da pedra, da argila e da madeira. O surgimento do concreto foi pela descoberta de um agente aglomerante cimentício. Reações entre calcário e argila xistosa em uma combustão espontânea fizeram depósitos naturais de cimento em Israel 12.000 a.C. Desta forma deu origem ao primeiro cimento natural que o homem usou. E então somente entre 8000 e 4000 a.C. Surgiu entre os povos do mediterrâneo as primeiras construções de pedra feitas pelo homem. (BARROSO, 2014).

Foi utilizado o concreto na construção de muros de uma cidade aos arredores de Roma, Era um tipo especial de areia vulcânica chamada 'pozolana', encontrada apenas na região sul da Itália, na baía de Nápoles, próximo a Pozzuoli, de onde o nome se originou. A pozolana é uma 'areia' especial, que reage quimicamente com cal e água, para endurecer formando uma pedra artificial, resistente mesmo quando submersa. Esse material era usado com pedras de diferentes tamanhos, mantendo as unidas e formando um tipo rudimentar de concreto (METHA e MONTEIRO, 1994).

A pozolana foi bastante usada pelos romanos em sua argamassa, dando origem a diversas construções, uma que se tem notícia ser a mais antiga é o Pórtico Amélia, construída em 193 a.C. Então a partir de 1824, com a força que o cimento Portland conseguiu, o concreto assumiu um lugar de destaque entre os materiais de construção, pois comparando com os demais produtos ele tem uma versatilidade maior. (ARAUJO, RODRIGUES & FREITAS, 2013)

Obeve-se uma primeira indicação dos concretos com agregados leves em torno de 1100 a.C. quando alguns construtores pré-colombianos, de origem da atual cidade de El Tajin, México, fizeram uma mistura a base de pedra-pome e um ligante de cinzas vulcânicas e cal para a construção de elementos estruturais. Mas as aplicações históricas mais conhecidas com agregados leves são dos romanos, durante a República Romana, o Império Romano e o Império Bizantino. Com a intensão de diminuir as cargas nas estruturas, eles combinavam aglomerante a base de cal e rochas vulcânicas. (RISSIGNOLO, 2009)

Um exemplo de concreto leve foi o coliseu de Roma (figura 1), construído entre os anos de 75 e 80 a.C.

Figura 1- Coliseu ROMA



Fonte: A arte da antiguidade clássica – pg 12

Foi utilizado concreto com agregados leves em sua estrutura de fundação e em diversas paredes. Outro exemplo é a cobertura do panteão de Roma (figura 2), uma cúpula com 44m de diâmetro que foi reformada pelo imperador Adriano em 125 d.C., utilizando pedra-pomes, tentando melhorar seu desempenho estrutural.

Figura 2- Panteão Romano



Fonte: CATOIA (2012)

Foi no século XX que se iniciou a produção de agregados leves artificiais. O fabricante de tijolos e engenheiro Stephen J. Hayde, um Americano inventou um processo para obterem-se agregados expandidos artificialmente, ele observou em sua fábrica que quando a etapa de aquecimento nos fornos ocorria mais rápido que o usual, os tijolos se transformavam em elementos expandidos, deformados e extremamente leves. O fabricante observou que se reduzissem as dimensões dos tijolos ele conseguia 'tijolos expandidos' que poderiam servir como agregado para produção de concreto leve. (RISSIGNOLO, 2009)

No Brasil a fundação da construção Industrializada Nacional (CINASA), que foi uma parceria entre Grupo Rabello e a empresa Compact Engenharia Ltda, com o objetivo de produzir elementos pré-fabricados em concreto armado para a construção de habitações. A Cinasa com o propósito de melhorar o desempenho do processo produtivo das unidades habitacionais, ocorreu a possibilidade de utilizar concreto leve nos elementos pré-fabricados, facilitando o transporte e a montagem das peças. (RISSIGNOLO, 2009)

Com a necessidade de fornecimento de agregados leves para o Brasil o grupo Rabello resolveu instaurar uma unidade de produção desse material, iniciando assim uma produção de argila expandida no município de Jundiaí em 1968 com uma produção de 7500m³ o local foi escolhido pela disponibilidade de argila piro-expansiva na região. (RISSIGNOLO, 2009)

2.2. HISTÓRIA DO CIMENTO

A palavra cimento deriva do latim *caementum*, que significa união. O cimento pode ser definido como um aglomerante hidráulico constituído de óxidos (cálcio, silício, ferro e alumínio) que em contato com a água tem a capacidade de endurecer. A ASTM (American Society for Testing and Materials) C 150 define Cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfatos de cálcio como um produto de adição.

Uma das mais antigas, ou talvez as mais antigas, evidências de uso de cimento se encontra nas pirâmides do Antigo Egito (Figura 3). Nesta época eles produziam uma liga formada por uma mistura de gesso calcinado. Mais adiante, os romanos e os gregos começaram a utilizar um material obtido da queima de um gesso

composto de calcário e cinzas vulcânicas, e este era misturado com areia e cacos de telhas. Essa argamassa foi utilizada em construções que existem até os dias atuais. TETRCON (2015).

Figura 3 – Pirâmides do Egito



Fonte: História do mundo

2.3. AGREGADOS

2.3.1. DEFINIÇÃO

Material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula (inerte), constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos, sendo um conjunto de partículas primárias (argila, silte, areia) do solo que se aderem umas às outras mais fortemente do que a outras partículas circunvizinhas (KEMPER & ROSENAU, 1986)

A fase agregado, é a principal responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. As características mais importantes do agregado são sua massa específica, granulometria, resistência à abrasão e sanidade (MEHTA e MONTEIRO, 1994)

2.3.2. ORIGEM

Os naturais de densidade média são encontrados na natureza já fragmentados sob a forma particulada: areias de barranco, minas, rios e mar; seixos rolados ou pedregulhos extraídos das jazidas de rios, mar ou das jazidas de solos.

Os naturais de densidade leve são inorgânicos celulares granulados constituídos da matéria prima por fontes naturais como: pedras polmes, escórias vulcânicas ou tufo.

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

2.3.3. DIMENSÕES

Quanto a dimensões, os agregados são classificados em dois grupos. Os miúdos: areias (figura 4); os graúdos: seixo rolado, cascalho, britas (figura 5), conforme estabelecidas especificações da NBR- 7211 (ABNT, 2009).

Figura 4- Tipos de areia quanto às dimensões



Fonte: Agregados para concreto, pg 06

Figura 5- Britas de dimensões variadas



Fonte: Agregados para concreto, pg 07.

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

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

A resistência requerida pelo agregado deve ser superior à resistência normal do concreto, pois as tensões reais nos pontos de contato das partículas com o concreto podem ser maiores que a tensão nominal de compressão aplicada (NEVILLE,1997).

Agregado deve estar isento de substancias deletérias como impurezas orgânicas, torrões de argila, materiais pulverulentos e cloretos. A presença dessas substancias pode alterar a resistência do concreto e sua durabilidade (DAL MOLIN, 1995)

2.4. CONCRETO LEVE

Para Petrucci (1995), o avanço tecnológico das técnicas construtivas, forçou o aparecimento de novos materiais afim de satisfazer as necessidades das obras. Como umas das características do concreto é o peso próprio elevado, materiais que possam substituí-lo com redução de peso tornam-se usuais diante dessa realidade, surge então o concreto leve.

Segundo NEVILLE (1997), o concreto de moderada resistência, cuja resistência à compressão, em cilindros, varia de 7 MPa a 17 MPa, tem característica de isolamento térmica intermediária entre o de baixa massa específica, sendo normalmente usados para enchimento. O concreto leve tem uma densidade aparente que pode variar de acordo com as necessidades das aplicações de agregados leves, pode ser obtida densidades de 400kg/m³ a 1.600kg/m³, já a densidade do concreto é aproximadamente 2.400kg/m³.

Na figura 8 mostra-se a densidade obtida em corpos de prova com a substituição completa do agregado graúdo por EPS em 50 kg de cimento.

Tabela 1 -Concreto leve de EPS com 50 kg de cimento

Densidade Nominal (kg/m ³)	EPS (litros)	Adesivo (kg)	Água p/ Adesivo (litros)	Cimento (kg)	Areia (litros)	Água Total (litros)
700	140	0,14	2,8	50	15	14,7
800	130	0,13	2,6	50	24	16,0
900	118	0,12	2,4	50	30	17,0
1000	109	-	-	50	39	22,5
1100	101	-	-	50	48	22,5
1200	95	-	-	50	60	22,8
1300	87	-	-	50	69	22,8
1400	80	-	-	50	80	23,0
1500	73	-	-	50	81	23,0
1600	65	-	-	50	102	23,3

Fonte: Manual de utilização Eps na construção civil / ABRAPEX

A classificação de concretos com agregados leves são:

Concretos de baixa massa específica: São concretos pouco densos, segundo NEVILLE (1997), indica que o intervalo prático de valores de massa

especifica dos concretos leves é de 300kg/m^3 a 1800kg/m^3 . Porém, nada impede que outras massas específicas, fora deste intervalo, possam ser consideradas pertencentes a concretos leves, possuem também coeficientes de condutividade térmica baixos.

2.5. CONCRETO LEVE ESTRUTURAL

O Guia do concreto estrutural com agregados leves do ACI 213R-87 (2003) especifica que o concreto leve estrutural deve apresentar massa específica entre 1120 kg/m^3 e 1920 kg/m^3 e resistência à compressão aos 28 dias acima de 17 Mpa. Em contrapartida a NBR 6118 (ABNT, 2014) exige resistência mínima de 20 MPa para concretos estruturais.

Para ser considerado concreto leve estrutural, a massa específica do concreto deve ter valores com referências. Na Tabela 2, segue valores de referência para massa específica de concreto leve estrutural de acordo com normativas internacionais.

Tabela 2 – Referências normativas para massa específica do concreto leve

Referência	Massa Específica (Kg/m ³)
RILEM (1975)	$\gamma < 2000$
CEB-FIP (1977)	$\gamma < 2000$
ACI 213R- 87 (1997)	$1400 < \gamma < 1850$
CEN PREN 206-25 (1999)	$800 < \gamma < 2000$

Relacionando suas duas principais características: resistência à compressão e massa específica, sua eficiência estrutural é um parâmetro muito utilizado para caracterizar concretos leves.

Características do concreto leve com EPS:

- ✓ Densidade aparente baixa
- ✓ Resistência mecânica para aplicações não estruturais
- ✓ Bom Isolamento térmico
- ✓ Pequena absorção de umidade
- ✓ Pode ser feito por métodos convencionais de obra.
- ✓ Aplicações para o concreto leve com EPS:
- ✓ Regularização de lajes em geral
- ✓ Painéis para fechamento
- ✓ Elementos pré-fabricados
- ✓ Pavimentos
- ✓ Mobiliário
- ✓ Áreas de lazer

2.6. EPS

Pérolas de EPS (*Figura 6*) é um isopor que após a expansão do poliestireno ser concretizada, formam pérolas de isopor que tem aproximadamente 3mm de diâmetro e são compostas de 98% de ar e 2% de poliestireno.

Figura 6- PEROLAS DE EPS



Fonte: EPS Brasil.

Este material apesar de ser leve é resistente a compressão e utilizado em diversos setores. Os polímeros expandidos apresentando importantes propriedades, tais como a baixa densidade aparente, melhores propriedades dielétricas e maior

isolação térmica e acústica (RABELLO, 2000). Em São Paulo o fornecimento deste tipo de isopor é pela Div Tern tecnomoldura desde 1991, as pérolas de isopor estão entre os principais produtos fornecidos.

O EPS reciclado pode ser novamente utilizado para moldagem de blocos, injetados em embalagens, usados como melhoramento em solo, drenagens, na construção civil (GROTE & SILVEIRA, 2001) e como matriz em materiais compósitos, entre outras aplicações. Por ser um material leve o EPS se espalha facilmente por ação eólica ao ser depositado sem controle em aterros e lixões, porém não contamina quimicamente o solo, a água e o ar (SCHMIDT P. N. S., 2011).

2.7. DESEMPENHO TÉRMICO

Segundo Holm e Bremner (2000) o ar aprisionado na estrutura celular do concreto leve, apresenta a transferência e absorção de calor, se comparado ao concreto convencional. A Tabela 3, apresenta uma comparação entre as propriedades térmicas do concreto leve e as do convencional.

Tabela 3 – Propriedades térmicas dos concretos leves

Propriedades	Concreto com agregados leves	Concreto com agregados convencionais
Massa específica (kg/m ³)	1850	2400
Resistência à compressão (MPa)	20 - 50	20 - 70
Calor específico (cal/g.°C)	0,23	0,22
Condutividade térmica (W/m.0K)	0,58 – 0,86	2400
Difusão térmica (m ² /h)	0,0015	0,0025 – 0,0079
Expansão térmica (10-6/°C)	9	11

Fonte: HOLM e BREMNER (2000)

A condutividade térmica é um fator que quanto maior seu valor, maior será o fluxo de calor através da parede, deixando a temperatura da face interna elevada.

O alumínio, por exemplo, $K=237$ a 300W/m.K (watt por metro por kelvin), enquanto o EPS $0,044$ à $0,035\text{ W/m}^\circ\text{C}$. (watt por metro por grau celsius) Como o EPS alguns Materiais que possuem baixa densidade e apresentam porosidade, tem baixa condutividade, pois o ar confinado dificulta a transferência de calor (INCROPERA e DEWITT 1998).

Em uma comparação computacional pelo programa Arqitrop tendo em vista o desempenho térmico de um ambiente feito com alvenaria de tijolos de 8 furos e blocos de concreto leve, foi constatado uma diferença de carga térmica dez vezes entre os dois casos, obtendo um melhor desempenho pelo concreto leve. (MARINHO 2003).

O EPS sofreu um crescimento elevado nos últimos anos na construção civil, sendo utilizado como isolante térmico, como blocos para confecção de pisos, lajes, alvenaria estrutural (figura 7) e também, podendo ser construídas paredes inteiriças de EPS, que recebem posterior acabamento com cimento.

Figura 7- alvenaria estrutural leve



Fonte: ECOPORE

Segundo RANDEMBERG (2014) em sua tese de doutorado, para se fazer um projeto de cômodos existe a necessidade de se obter conhecimento sobre a transferência de calor do ambiente externo para o interior das edificações, e sua condutividade térmica tem finalidade de verificar a associação dos diferentes materiais e às condições desejadas para um conforto térmico.

Segundo CORREIA (2009, RANDEMBERG, 2014) por causa da condutividade térmica dos materiais de construção podem ser aplicados e proporciona um conforto térmico sendo um isolante térmico.

2.8. ESTUDOS QUE JÁ FIZERAM COM O USO DE EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.

Metha e Monteiro (1994), afirmam que a produção de elementos pré-fabricados se mostra como a aplicação mais vantajosa do concreto leve em todo mundo, considerando-se os menores custos de manuseio, transporte e montagem. Segundo estes pesquisadores, painéis pré-fabricados de vedação são uma das aplicações mais econômicas dos concretos leves.

Babu (2003 apud TESSARI, 2006) realizou um estudo sobre o uso de agregados leves de EPS, nas proporções compreendidas entre 94,5% e 0%, em concretos contendo 50% de cinzas volantes no material cimentício, visando identificar as características de durabilidade destes concretos, tais como: a permeabilidade, a absorção e o ataque químico. O estudo concluiu que a permeabilidade e a absorção diminuem com o aumento da densidade. Contudo, todos os concretos testados (exceto àqueles com proporções de 94,5% e 90% de agregados de EPS – impossibilidade de condução do teste em função do esmagamento da superfície ao apertar o medidor) apresentaram valores de permeabilidade entre 1×10^{-12} e 9×10^{-12} m/s, considerados concretos de qualidade média pelo CEB.

Os ensaios revelaram valores de absorção 40 iniciais - primeiros 30 minutos -, em torno de 3% para os concretos da amostra (exceto para o concreto com 94,5% de agregados de EPS), limite especificado para um concreto de boa qualidade pelo CEB. As características químicas de ataque e corrosão mostraram uma melhoria significativa atribuída, segundo o autor, aos índices mais baixos do cimento nestes concretos. Na produção de concretos leves de EPS, atenção especial deve ser dada à interface dos grânulos de EPS e da pasta de cimento.

Pesquisa realizada por Chen e Liu (2003 apud TESSARI, 2006), com adição de sílica ativa nestes concretos revelou uma melhor dispersão das espumas de EPS na matriz do cimento e conseqüentemente na ligação entre estes. Concluiu também que as propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto leve podem ser otimizadas adicionando-se sílica ativa e fibras de aço em índices apropriados.

Resultados obtidos por Monteiro e Metha (1988), mostram que a espessura da zona de transição agregado-matriz variou de 50 μm , para concreto sem adições minerais, para valores inferiores à 10 μm , em concretos com sílica ativa.

3. METODOLOGIA

3.1. DESENHO DO ESTUDO

Este trabalho consiste em uma pesquisa aplicada de natureza qualitativa e um objetivo metodológico descritivo.

O trabalho foi desenvolvido, na maior parte, por meio de pesquisa exploratória e experimental, seguindo os métodos para alcançar o objetivo proposto, qual seja o de avaliar as propriedades físicas e térmicas do concreto leve com o uso de EPS, utilizando os métodos apresentados nas normas: NBR 8082, NBR 12094 e NBR 11752.

A pesquisa exploratória estabelece critérios, métodos e técnicas para a elaboração de uma pesquisa e visa oferecer informações sobre o objeto desta e orientar a formulação de hipóteses (CERVO e SILVA, 2006).

Tendo em vista os objetivos específicos, relativo a efetuar um relato sucinto sobre as normas referenciadas, serão buscadas referências literárias, normas e outros documentos correlatados. E também foi feita pesquisa em laboratório, avaliando na prática os estudos sobre a aplicação do EPS, focando avaliar características físicas e térmicas, chegando a conclusões referentes aos resultados obtidos.

3.2. LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa em laboratório foi feita no laboratório de materiais do Centro Universitário Luterano de Palmas no segundo semestre de 2017.

3.3. OBJETO DE ESTUDO OU POPULAÇÃO E AMOSTRA

Foram confeccionados 44 corpos de prova no laboratório de materiais.

3.4. CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Fizeram parte da amostra corpos de prova com a substituição do agregado graúdo por perolas de EPS na proporção de 45%, 50% e 55% do volume. Foi adotado essas proporções de EPS de 45 50 e 55% pois, segundo (CÉSAR, 2017) em sua

pesquisa, concluiu que as melhores proporções de substituição de agregado graúdo por pérolas de EPS para se obter um concreto leve estrutural, estão na faixa de 40% e 60%.

- I. Ensaio de abatimento
- II. Teor de ar incorporado
- III. Ensaio a serem executados no estado endurecido são:
- IV. Resistência a compressão
- V. Resistência a tração por compressão diametral
- VI. Medição do desempenho térmico pelo cálculo da transmitância térmica.

3.5. VARIÁVEIS

3.5.1. PARÂMETROS FIXOS

- a) Slump teste
- b) Relação A/C

3.5.2. VARIÁVEIS INDEPENDENTES

As variáveis independentes foram escolhidas para delimitar a pesquisa em questão, além de melhor especificar a matriz experimental do estudo.

- a) Tipos de cimento que será utilizado na confecção dos corpos de prova;
- b) Tipos de adições
- c) Traço
- d) Tipos de areia
- e) Tipo de EPS

3.5.3. VARIÁVEIS DEPENDENTES

As variáveis dependentes foram escolhidas de acordo com os ensaios necessários para a caracterização das propriedades físico-mecânica e térmica do concreto em estudo.

- a) Ensaio no estado fresco: Slump teste.

b) Ensaios no estado enrijecido: Resistencia à compressão, resistência a tração por compressão diametral e medição do desempenho térmico pelo método de cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica de elementos.

3.6. MATERIAIS A SEREM UTILIZADOS

Segundo MEHTA E MONTEIRO (2008), o concreto leve pode consistir somente em agregados leves ou em uma combinação de leves e normais, e é comum utilizar areia com densidade normal como agregado miúdo e limitar a dimensão máxima do agregado leve graúdo em 19mm, apesar de na maioria dos processos de fabricação serem obtidas partículas com diâmetros de até 25mm.

Materiais a serem utilizados são:

- CIMENTO- Portland CP-II-F 40 (classificado de acordo com a norma NBR 11578:1991
- BRITA- foi adotado brita 1 com dimensão máxima de 9,5 mm a 19,0 mm
- PEROLAS DE EPS- com um diâmetro de 6mm
- AREIA- foi adotada da região apresentando dimensão máxima característica de 0.3 a 1.20mm e sendo classificada como areia média.

3.6.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A caracterização dos materiais trata-se da caracterização física de todos os materiais que foram usados nos traços de referência e demais traços com teores de EPS reciclado. Essa caracterização foi feita com base nas Normas Brasileiras (NBR) aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Com os resultados da caracterização foi possível calcular a dosagem dos materiais para a produção do concreto. Os materiais caracterizados foram: cimento, areia, brita e o EPS.

a. CIMENTO

Realizou o ensaio presente na NBR 11579:1991, que determina a finura do cimento por meio da peneira nº 200. O cimento utilizado foi o Cimento GOIAS, sendo do tipo CP II F 40.

A massa específica do cimento pôde ser obtida pelas especificações do fabricante, sendo a mesma de 3090kg/m³. Para a obtenção do módulo de finura do cimento, realizou-se o ensaio da NBR 11579:1991, cujo resultado deu que 7% do cimento ficou retido na peneira 75 µm. O cimento utilizado está dentro dos padrões estabelecidos, pois segundo a norma, para cimento CP II, o valor do módulo de finura deve ser inferior a 12%.

b. AREIA

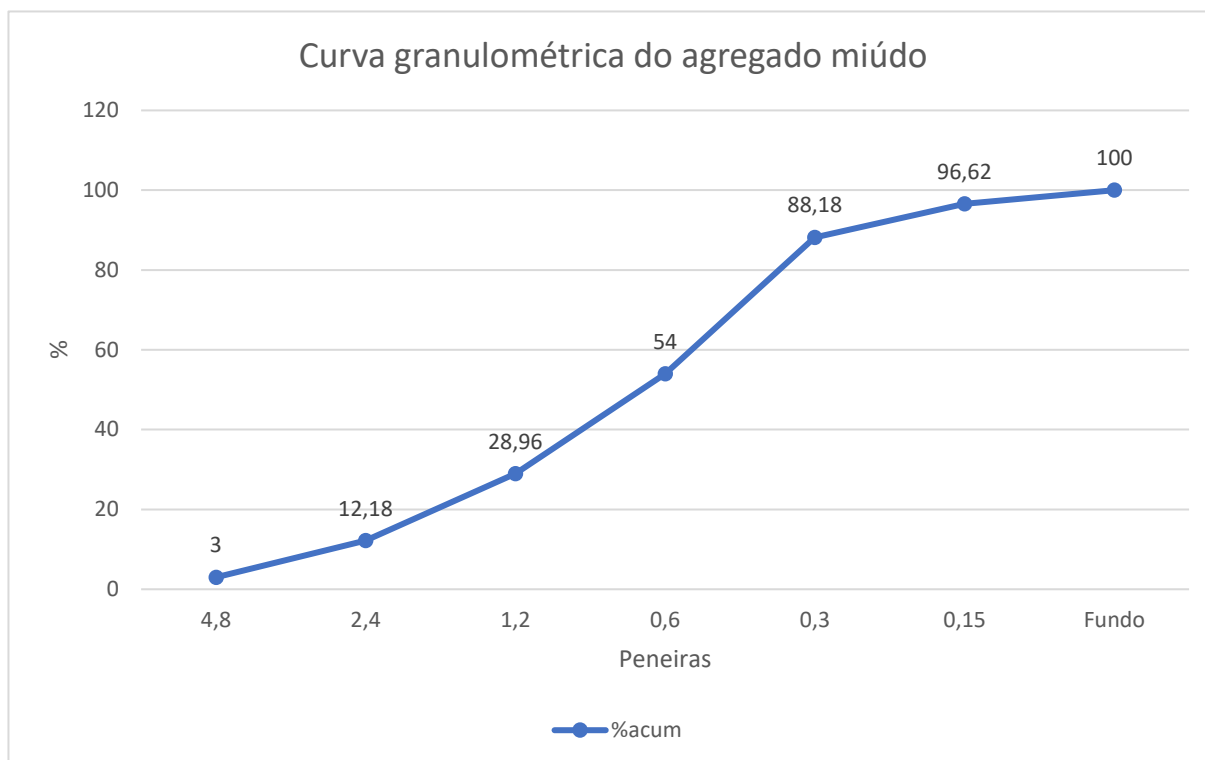
De acordo com a NBR NM 52:2009, foi determinado a massa específica através de ensaio laboratorial. Obtendo-se dois valores de massa específica foi tirada a média aritmética das amostras, chegando em um resultado de 2690 kg/m³

E também foi determinado a massa unitária de acordo com a NBR NM 45:2006, a primeira amostra teve um resultado de 2604 kg/m³, e a segunda de 2616 kg/m³. O resultado da massa unitária para areia em estudo obteve-se pela média entre as duas, que foi de 1610 kg/m³

A dimensão máxima característica e o módulo de finura, puderam ser obtidos pelo ensaio laboratorial regido pela NBR NM 248:2003.

A composição granulométrica se deu pelo ensaio laboratorial regido pela NBR 7217:1987, e sua classificação pela NBR 7211:2005. Através da distribuição granulométrica pode-se conferir que o módulo de finura foi de 2,83. A figura 8 mostra a curva granulométrica da média entre as duas amostras.

Figura 8 – Curva granulométrica do agregado miúdo.



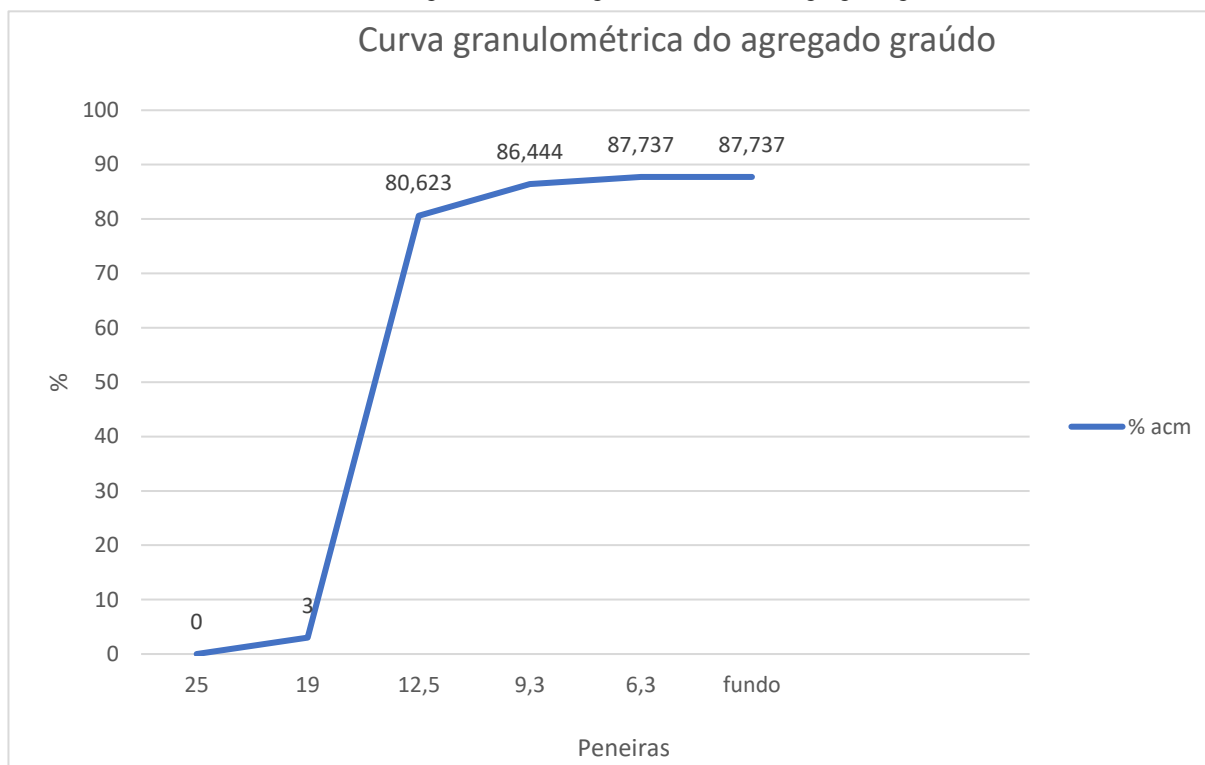
Fonte: (AUTOR,2017)

c. BRITA

Para a brita segue as mesmas avaliações da areia, a massa específica foi determinada de acordo com a NBR NM 53:2009, e foi a média dos resultados de duas amostras, sendo a mesma no valor de 2640 kg/m^3 . Para massa unitária, o resultado foi a média das duas amostras, tendo a mesma um valor de 1425 kg/m^3 .

A determinação da distribuição granulométrica do agregado graúdo foi realizado com base na NBR 7217:1987 e sua classificação pela NBR 7211:2005. Representado pela Figura 9 a curva granulométrica nos mostra que o maior percentual retido ficou entre 12,5 e 25mm caracterizando-se Brita 1. O diâmetro máximo verificado foi de 19mm.

Figura 9 – Curva granulométrica do agregado graúdo.



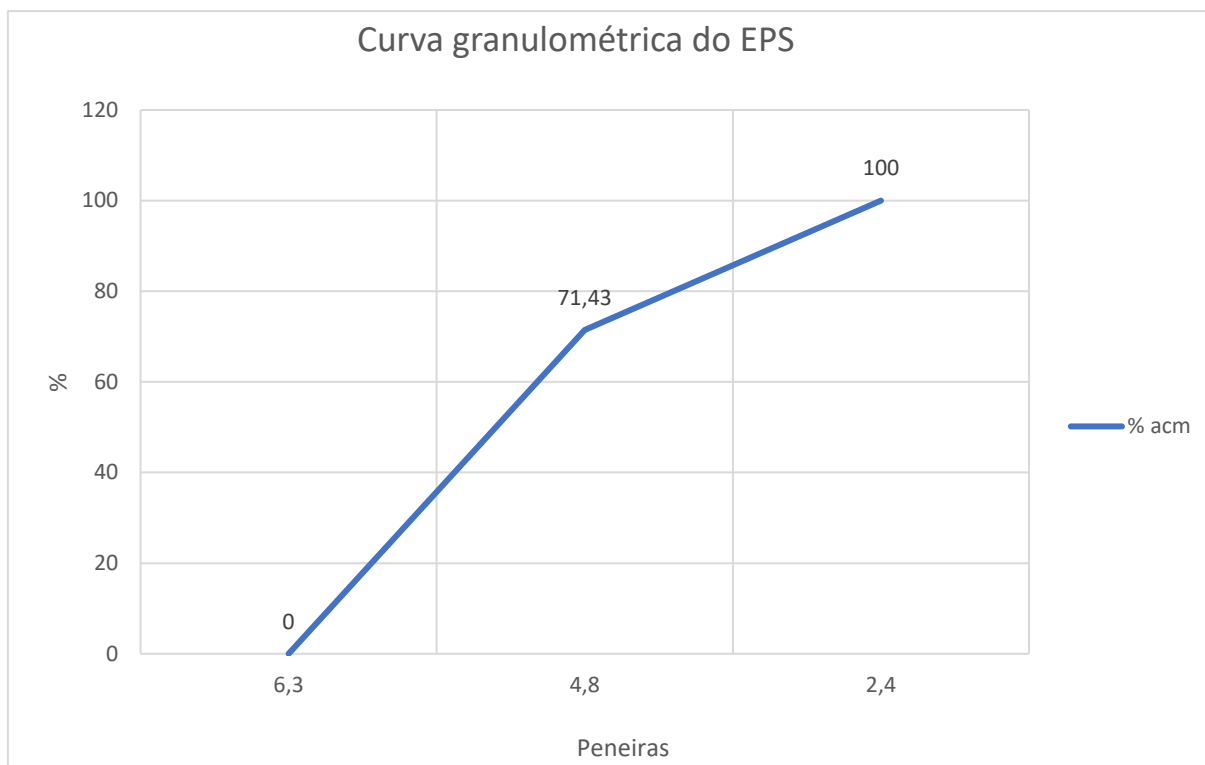
Fonte: (AUTOR,2017)

d. EPS

O EPS foi comprado na loja Shop Fest, vindo com informações do fornecedor sobre a sua massa específica de 16kg/m^3 com condutividade térmica de $0,025\text{ kcal/h.m}^2.\text{C}$. Para determinação de massa unitária foi realizado o mesmo ensaio para brita e areia. Usando os mesmos materiais e métodos, verificou-se massa unitária de $10,86\text{kg/m}^3$.

Com o ensaio de granulometria pela norma NBR 7217:1987, foi feita a caracterização do EPS com o intuito de determinar a curva granulométrica e o diâmetro máximo do agregado e módulo de finura. O módulo de finura resultou em 6,39 com um diâmetro máximo de 6,3mm. O EPS é um agregado graúdo fino como mostra a Figura 10 da curva granulométrica do EPS.

Figura 10 – curva granulométrica do EPS



Fonte: (AUTOR, 2017).

Segundo estudo, após colocar-se uma amostra de EPS imersa em água por 24 horas, anotou-se a variação de peso que a mesma adquiriu, tendo um aumento de 2% aproximadamente. Então segundo Rossignolo e Agnessini (2005), para esse grau de absorção do agregado leve, adota-se o método de mistura do concreto convencional, não sendo necessário maior atenção quanto a absorção da água da mistura pelo agregado. O único cuidado a se atentar, é quanto a leveza do agregado, dessa forma, o mesmo foi misturado junto com os demais agregados e parte da água de amassamento.

3.6.2. DOSAGEM DO TRAÇO DE REFERÊNCIA

Após a caracterização dos materiais, foi realizado o cálculo do traço de referência, sem a substituição do agregado graúdo pelo EPS. Essa dosagem seguiu a norma internacional ACI 211.1-91, que normatiza a dosagem do concreto convencional. É um cálculo simplificado baseado em sete etapas “*seven steps*”.

Depois de ter finalizado os cálculos de todos os teores de agregado é possível obter os traços em massa, como é mostrado a seguir:

cimento: areia: brita

Traço em Massa - 397,29: 768,29: 959,03

cimento: areia: brita

Traço em Volume - 0,126: 0,286: 0,363

Foi então feito o cálculo dos traços com a substituição parcial do agregado graúdo por EPS. Foram baseados no traço referência de acordo com o teor de substituição em volume para cada traço. Foram feitos então com 45%, 50% e 55% de substituição.

Traço T45, com 45% de substituição de agregado graúdo em EPS:

cimento: areia: brita: EPS

Traço em Massa - 397,29 : 768,29 : 528,0: 2,61

cimento: areia: brita: EPS

Traço em Volume - 0,126 : 0,447 : 0,200: 0,163

Traço T50, com 50% de substituição de agregado graúdo em EPS:

cimento: areia: brita: EPS

Traço em Massa - 397,29 : 768,29: 479,16: 2,90

cimento: areia: brita: EPS

Traço em Volume - 0,126 : 0,447 : 0,182: 0,182

Traço T55, com 55% de substituição de agregado graúdo em EPS:

cimento: areia: brita: EPS

Traço em Massa - 397,29 : 768,29: 430,32: 3,2

cimento: areia: brita: EPS

Traço em Volume - 0,126 : 0,447 : 0,163: 0,200

3.7. MOLDAGENS E ENSAIOS

3.7.1. MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Serão produzidos 36 corpos de prova de 10x20cm para o ensaio de Resistência à compressão.

Tabela 4 – Numero de Rompimentos por Resistência à Compressão

RC	7d	14d	28d
TR	3	3	3
45%	3	3	3
50%	3	3	3
55%	3	3	3

E também serão produzidos 8 corpos de prova de 15x30cm para ensaio de Resistência à tração por compressão diametral.

Tabela 5 – Numero de Rompimentos por Resistencia à tração por compressão diametral.

RTCD	28d
TR	2
45%	2
50%	2
55%	2

3.7.2. ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

a. SLUMP

Todos os traços de concreto produzidos foram ensaiados para que pudesse ser feita a caracterização mecânica dos mesmos.

Para ser determinada a trabalhabilidade do concreto, foi realizado o “slump teste”, indicado pela NBR NM 67:1998 cujo objetivo é determinar o abatimento do concreto. A Figura 11 mostra o ensaio de abatimento para o traço referência, que segundo o cálculo do traço deverá ter um valor esperado de 90mm variando em 10mm para mais ou para menos.

Figura 11 – Ensaio de abatimento do concreto.



É esperado esse valor para o traço referência e para os demais traços, pois para os que contém EPS foi feita a correção do traço.

b. MASSA ESPECÍFICA

Para aferição da massa específica, seguiu-se como padrão a NBR 9778:2005 para o Traço Referência(TR), Traço com 45% de substituição(T45), Traço com 50% de substituição(T50) e Traço com 55% de substituição(T55), com fragmentos do concreto após rompimento dos corpos de prova.

3.7.3. ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

a. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

A verificação da resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos foi feita em 3 corpos de prova para cada traço calculado, nas idades de 7 dias, 14 dias e 28 dias. Esse ensaio foi feito realizado de acordo com a NBR NM 5739:1992, em prensa hidráulica EMIC com velocidade de carregamento igual a 0,3 Mpa/s.

Antes do ensaio os corpos de prova foram mantidos em cura por aspersão até as datas de rompimento de cada um. A resistência a compressão de cada corpo de prova pôde ser obtida dividindo-se a força de ruptura, obtida no ensaio, pela área da seção transversal do corpo de prova. A disposição do corpo de prova no momento do ensaio pode ser observada na Figura 12.

Figura 12 – Resistencia a Compressão



b. RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

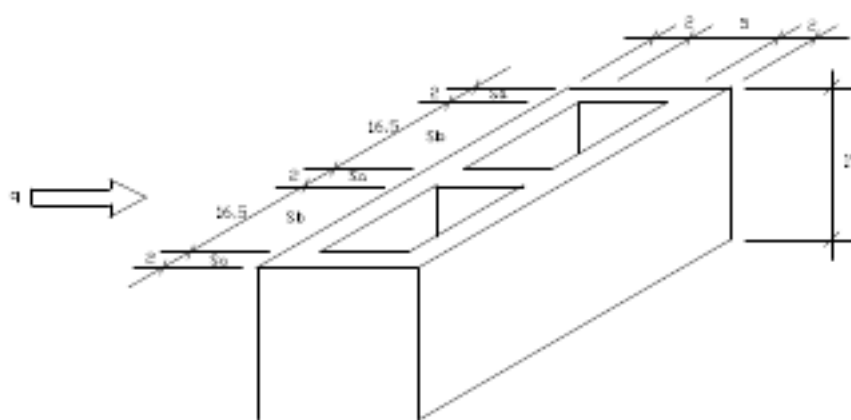
O ensaio para verificação da capacidade de resistência à tração, foi realizado de acordo com a NBR 7222:1994 em prensa hidráulica, com velocidade de carregamento de 0,3 Mpa/s. O concreto ensaiado foi moldado em corpos de prova cilíndricos de 15x30cm.

O método do ensaio é similar ao de compressão axial, contudo as dimensões do corpo de prova e a posição deste na prensa são diferentes. Neste ensaio o CP fica submetido ao carregamento na posição diametral, desta forma a ruptura se dá no limite da capacidade de resistência à tração do concreto. Como mostrado na Figura 14.

c. MEDIÇÃO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES PELO MÉTODO DE CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, DA CAPACIDADE TÉRMICA DE ELEMENTOS.

A medição do desempenho térmico foi feita respaldada pela ABNT NBR 15220, parte 2 e usado o exemplo 2: paredes com blocos de concreto colados, sem reboco (ver figura 13)

Figura 13: parede de blocos de concreto colados, sem reboco



Fonte: NBR 15220

Após a coleta dos dados do elemento foi feito os cálculos:

- ✓ Resistência térmica da parede
- ✓ Resistencia térmica total

Chegando então nos valores calculados saberemos sua resistência térmica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segue os resultados e discussões dos ensaios realizados nos traços obtidos, como descrito na metodologia desse estudo.

4.1. Trabalhabilidade

Foram ensaiados traços de concreto com e sem substituição de agregado graúdo por EPS. Para o traço de referência (TR), o resultado de batimento foi dentro do esperado, com 100mm. Foi previsto que o concreto obtido pela substituição parcial do agregado graúdo por EPS, teria uma fluidez maior que o traço referência, devido à baixa massa específica do agregado e a baixa taxa de absorção de água pelo agregado, resultando em um percentual de água maior disponível para reagir com o cimento e os agregados.

Sabendo disso foi feito a correção para cada traço com a substituição parcial de agregado graúdo por EPS, (T45, T50 e T55). Os resultados dos ensaios de abatimento dos traços estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados dos ensaios de abatimento.

Traço	Abatimento(mm)
Traço	100
T45	100
T50	90
T55	90

A correção do traço foi feita pelo método do American Concrete Institute, conhecido por ACI 211.1-91 (Reapproved, 2009), denominado *Standard Practice for Selecting Proportions for normal, Heavyweight, and Mass Concrete* considera tabelas e gráficos elaborados a partir de valores médios de resultados experimentais. O método abrange uma classe de resistência à compressão do concreto, aos 28 dias de idade, entre 15Mpa e 40Mpa e relações A/c de 0,39 a 0,79. A consistência do concreto fresco para bons resultados do método deve estar de plástica (50mm) à fluida (150mm).

Caso haja necessidade de correção do traço, uma vez que a mistura esteja pouco argamassada deve-se acrescentar mais areia à mistura, mantendo-se constante a relação a/c.

No traço referência (TR) feito sem substituição, foi possível conferir que o concreto estava homogêneo, sem presença de exsudação e com um aspecto visual ideal para uso em determinados fins, como aplicação em lajes, pilares e demais aplicações. O valor do abatimento para o traço de referência foi de 100mm, estando de acordo com as condições de dosagem, como detalhado anteriormente.

No traço com substituição de 20% de agregado graúdo por EPS (T45), verificou-se que com a correção no traço, a fluidez do concreto não aumentou em relação ao traço referência. Não houve flutuação do EPS ou falta de homogeneidade na mistura, o resultado do “*slump test*” foi um abatimento de 100mm valor dentro do esperado no dimensionamento da dosagem.

O traço T50 obteve um abatimento esperado de 90mm e não se observou falta de homogeneidade ou flutuação de agregado.

No traço com 55% de substituição (T55), o abatimento foi também de 90mm, dentro do esperado e houve homogeneidade da mistura e ausência de flutuação de agregado.

4.2. Massa Específica

Os traços de substituição e de referência, foram ensaiados quanto a massa específica, na idade de 28 dias.

Além da determinação da massa específica, a NBR 9778:2005, também normatiza os ensaios para determinação do índice de vazios e absorção do concreto. Essas características foram verificadas para todos os traços do estudo, e o resultado para cada traço, estão na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultado dos ensaios da NBR 9778:2005

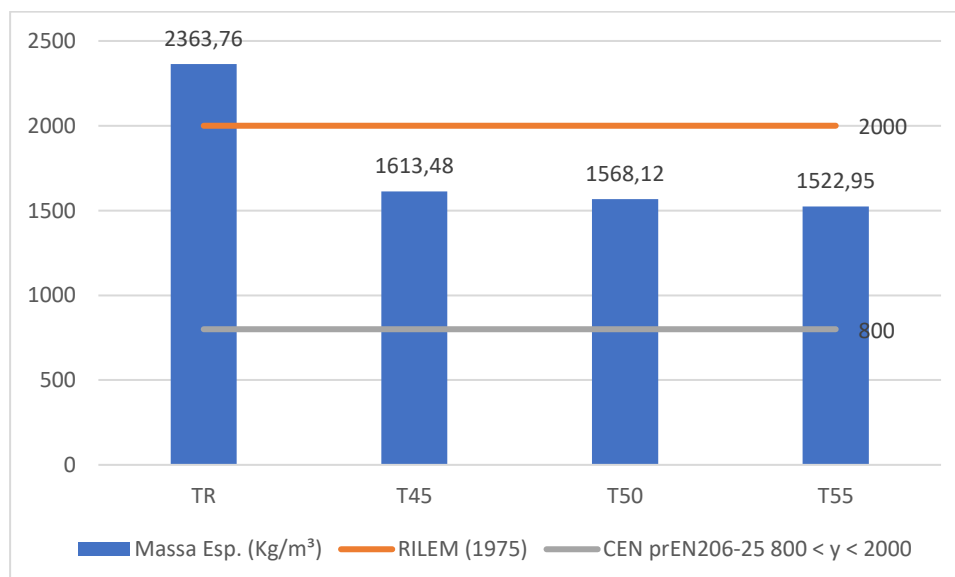
Traço	Absorção(%)	Ind.Vazios(%)	Massa Esp. (Kg/m ³)
TR	7,37	13,48	2363,76
T45	11,53	15,47	1613,48
T50	12,15	15,75	1568,12
T55	12,94	16,23	1522,95

Todo estudo que envolve agregados leves para produção de concreto, é necessário verificar a classificação quanto à massa específica. Pois, essa análise é importante para se dizer se o concreto ensaiado pode ser considerado leve ou não. O concreto deve ter um limite máximo de massa específica para ser considerado leve, para classificar os traços quanto à massa específica, utilizou-se os limites estabelecidos na Tabela 2 deste estudo.

O gráfico da figura 14, mostra a relação entre as massas específicas com os limites para classificação do concreto como leve, de acordo com as normas internacionais RILEM (1975) e CEB-FIP (1977), para ser considerado como leve, o concreto deve ter no máximo 2000 Kg/m³. Também de acordo com a norma internacional CEN prEN 206-25 (1999), o limite está entre 800Kg/m³ e 2000Kg/m³ de massa específica para o concreto ser considerado leve. Desta forma todos os traços com EPS, são classificados como leves.

Foram pegos essas normas internacionais a fim de se obter um comparativo e um respaldo maior para os resultados encontrados.

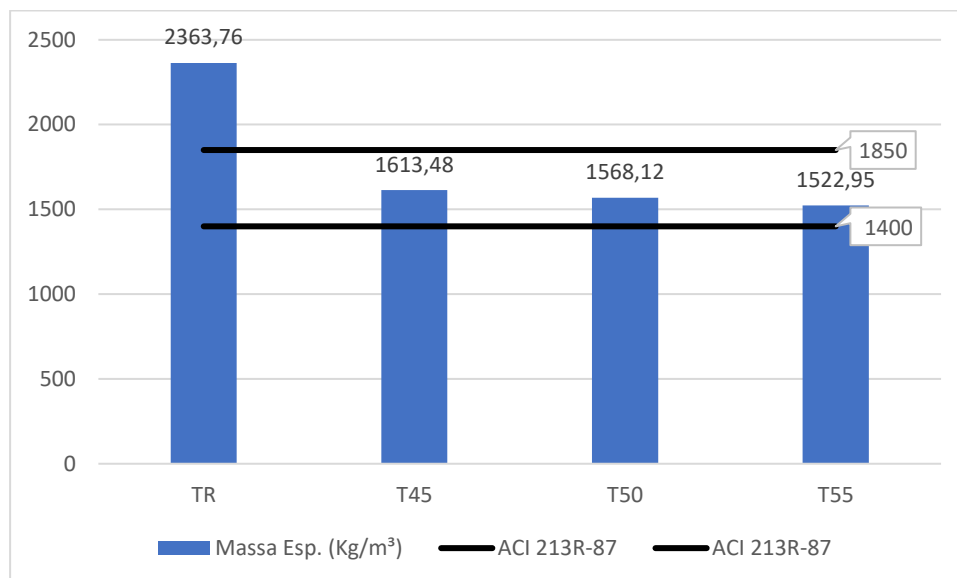
Figura 14 – Gráfico de classificação do concreto quanto à massa específica



Já o gráfico da Figura 15 mostra o mesmo tipo de análise, mas com a norma ACI 213R-87 (1999) como referência para a caracterização do concreto. Segundo a norma, para ser considerado leve, o concreto deve ter massa específica entre 1400

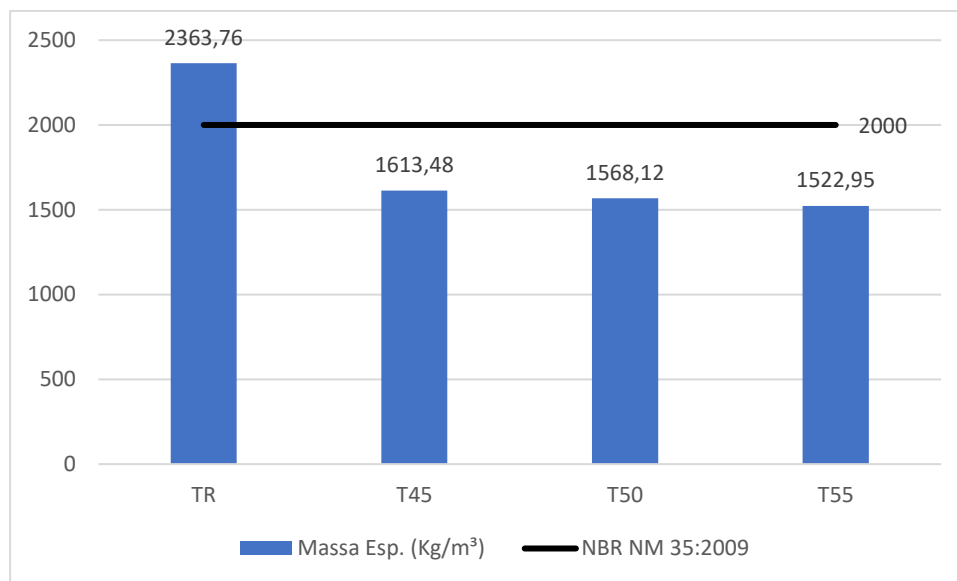
Kg/m³ e 1850 Kg/m³. Tendo esse parâmetro é possível afirmar que os traços com teor de EPS T45, T50 e T55 são concretos leves.

Figura 15 – Gráfico de classificação do concreto quanto à massa específica



De acordo com a norma nacional NBR NM 35:2009, que determina que o máximo de massa específica que o concreto pode ter para ser considerado leve é de 1850 Kg/m³. Diante disso, os traços estudados foram comparados com o limite da norma, como mostra o gráfico da Figura 16. Observando que todos os traços podem ser considerados leves.

Figura 16 – Gráfico de classificação do concreto quanto à massa específica



É possível verificar que determinados traços do estudo são de concreto leve. A Tabela 8 deste estudo mostra a classificação dos traços quanto a massa específica, classificando ou não os traços como de concreto leve.

Tabela 8 – Classificação dos traços quanto a massa específica

Referência	Limite de Massa Específica	Traço	Massa Específica (Kg/m ³)	Classificação
NBR NM 35:1995	$\gamma < 1850$	TR	2363,76	Concreto Convencional
		T45	1613,48	Concreto Leve
		T50	1568,12	Concreto Leve
		T55	1522,95	Concreto Leve
ACI 213-87 (1997)	$1400 < \gamma < 1850$	TR	2363,76	Concreto Convencional
		T45	1613,48	Concreto Leve
		T50	1568,12	Concreto Leve
		T55	1522,95	Concreto Leve
CEN prEN 206-25 (1999)	$800 < \gamma < 1850$	TR	2363,76	Concreto Convencional
		T45	1613,48	Concreto Leve
		T50	1568,12	Concreto Leve
		T55	1522,95	Concreto Leve
RILEM (1975) e CEB-FIP (1977)	$\gamma < 2000$	TR	2363,76	Concreto Convencional
		T45	1613,48	Concreto Leve
		T50	1568,12	Concreto Leve
		T55	1522,95	Concreto Leve

4.3. Resistência à compressão

A verificação de compressão é importante para saber se o concreto é qualificado como estrutural ou não estrutural. Foi obtido pela média entre os corpos de prova com menor desvio padrão, sendo o resultado com desvio padrão maior eliminado da média. Os resultados dos ensaios de capacidade de resistência à compressão para cada traço nas idades de 7 e 28 dias seguem na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados do ensaio à compressão

Traço	7 dias (Mpa)	28 dias (Mpa)
TR	28,13	31,57
T45	18,70	20,75
T50	16,57	18,38
T55	15,53	17,60

A resistência a compressão considerada na dosagem do traço referência foi de 25 Mpa. Como vimos nos resultados, em 7 dias o corpo de prova já ultrapassou essa referência, caracterizando um ganho alto de resistência já nos primeiros dias.

4.4. Resistência a compressão diametral.

O ensaio de tração foi realizado na idade de 28 dias. O resultado se deu pela média dos resultados com menor desvio padrão, sendo que foram moldados e rompidos, 2 corpos de prova para cada traço. Os resultados obtidos estão na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados do ensaio à compressão

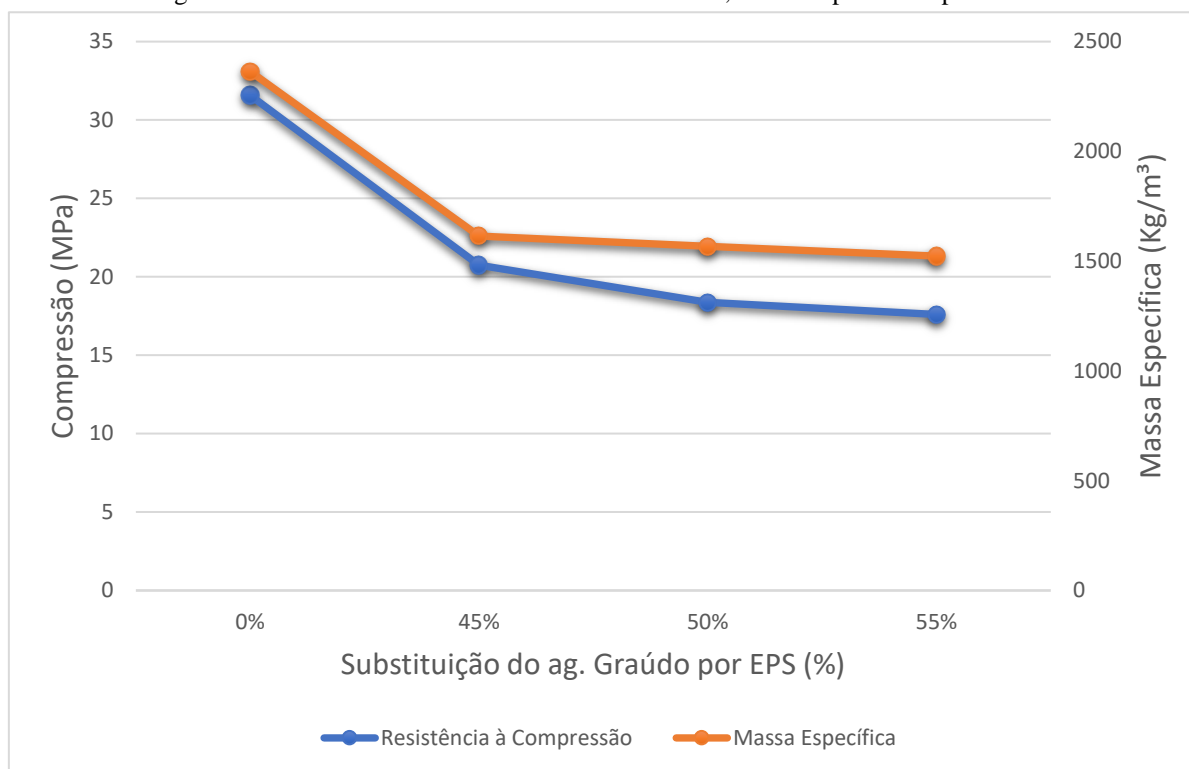
Traço	28 dias (Mpa)
TR	3,15
T45	2,39
T50	2,06
T55	1,98

4.5. Análise da resistência com a massa específica, índice de vazios e taxa de absorção do concreto

As Figuras a seguir irão mostrar os resultados dos ensaios de massa específica, índice de vazios e absorção de água pelo concreto relacionados com a resistência à compressão para cada traço ensaiado. Fazendo essa análise iremos poder relacionar a resistência do concreto de acordo com suas características físicas.

O gráfico da Figura 17 mostra uma relação entre a resistência à compressão, com a massa específica e a porcentagem de substituição do agregado graúdo por EPS.

Figura 17 - Gráfico de linhas relacionando resistência, massa específica e percentual de EPS

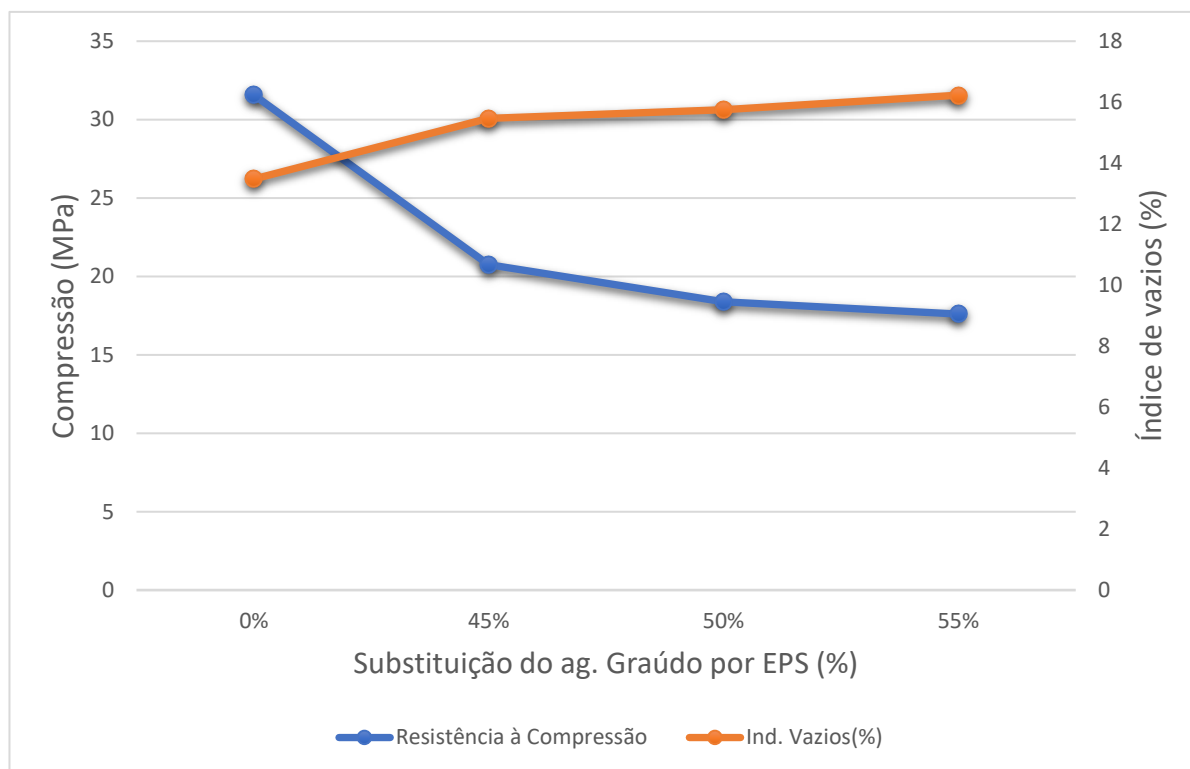


Observando o gráfico acima, é possível compreender que a medida que é substituído agregado graúdo por EPS, obtém-se tem uma queda significativa na massa específica e na resistência à compressão. Também se nota que a diminuição na resistência a compressão acompanha a diminuição da massa específica.

Na Figura 18 é feita uma mesma análise, mas agora relacionando a resistência a compressão, o índice de vazios e o teor de substituição de agregado graúdo por EPS.

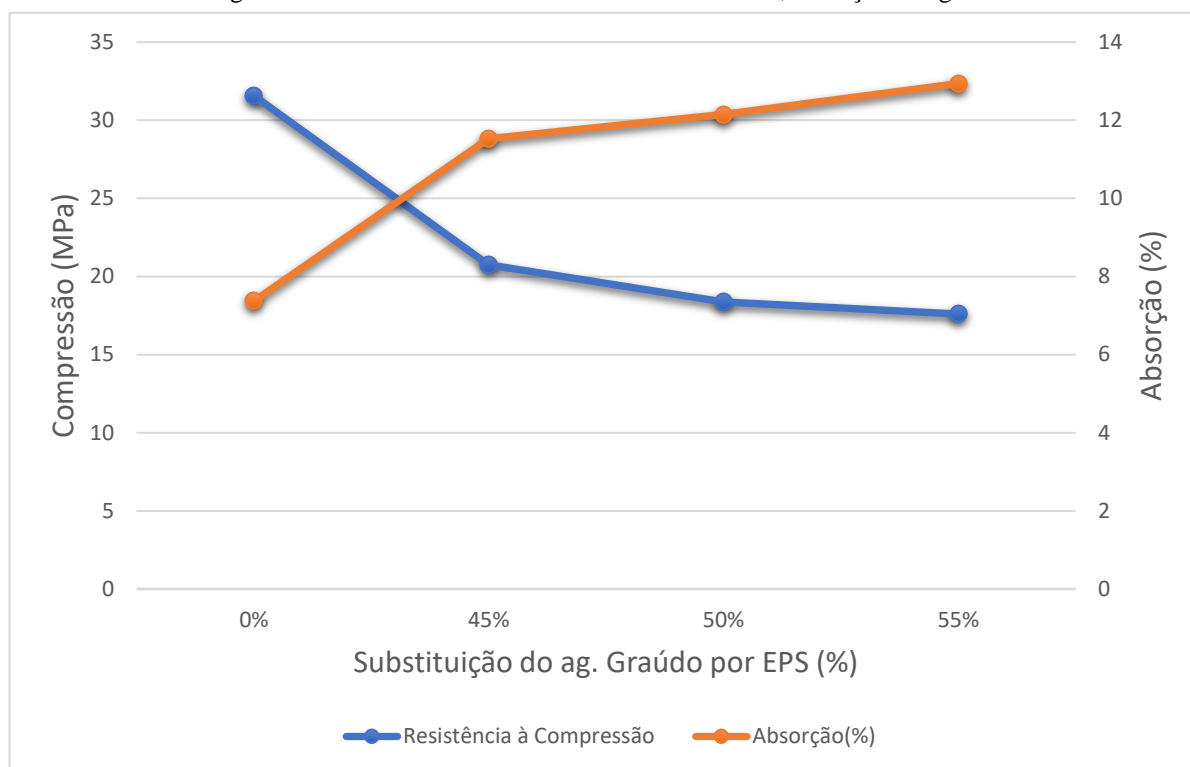
É possível analisar que a medida em que aumenta a substituição do agregado, seu índice de vazios também aumenta, tendo uma queda significativa na resistência a compressão.

Figura 18 – Gráfico de linhas relacionando resistência, Índice de vazios e Teor de EPS



No gráfico da Figura 19 foi relacionado resistência a compressão, absorção de água e substituição de agregado graúdo por EPS. O gráfico mostra que conforme aumenta a substituição de agregado graúdo por EPS a absorção de água também aumenta, e sua resistência a compressão diminui.

Figura 19 - Gráfico de linhas relacionando resistência, absorção de água e Teor de EPS.



Após essas análises e possível constatar que a relação entre massa específica, índice de vazios e taxa de absorção no concreto leve não é diferente do que para o concreto convencional. A medida em que a porcentagem de substituição de agregado graúdo por EPS aumenta, sua massa específica e sua resistência diminuem, e seu índice de vazios e absorção de água aumentam. O EPS tem um volume de até de 98% de ar e apenas 2% de poliestireno, fazendo seu índice de vazios subir, deixa o concreto poroso, aumentando sua absorção e leve reduzindo sua massa específica.

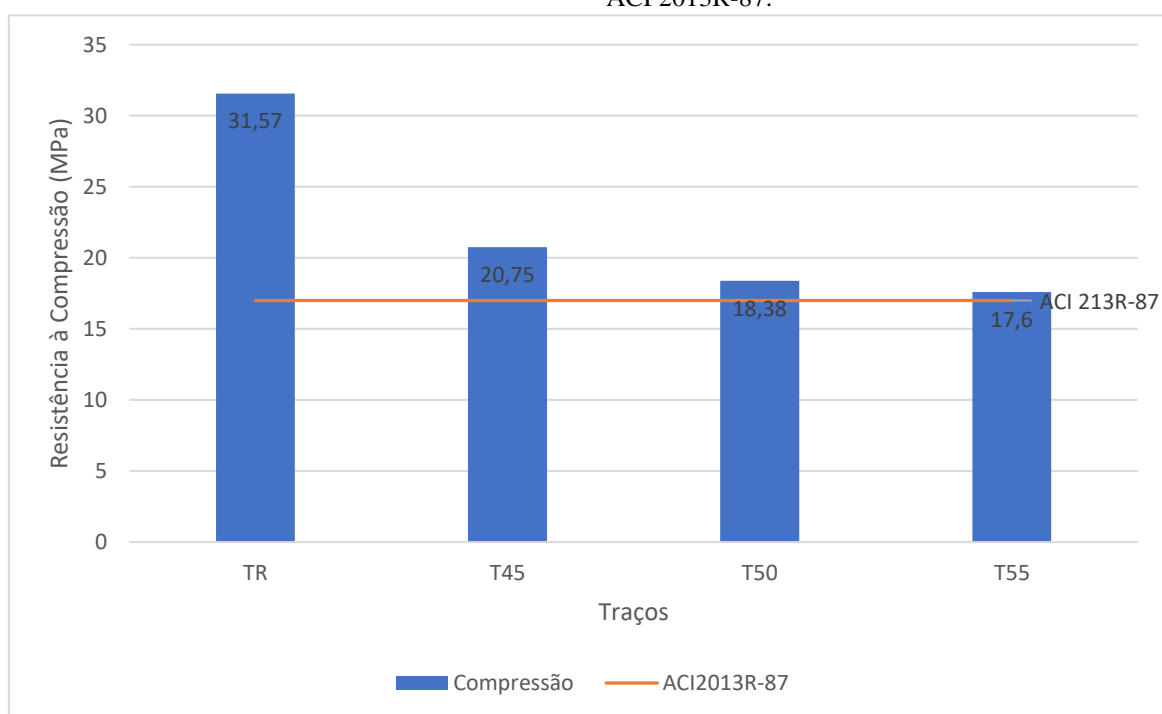
4.6. Concreto Leve Estrutural

Relacionando os valores de massa específica e resistência é possível determinar se o concreto pode ser considerado concreto leve estrutural ou concreto convencional.

A norma internacional ACI 213R-87 estabelece limites para que o concreto possa ser considerado leve e estrutural, que além de obedecer aos limites de massa específica $1400 < \gamma < 1850$, o concreto deve ter no mínimo 17 Mpa de resistência a compressão na idade de 28 dias.

O gráfico da Figura 20 mostra os resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias com corpos de prova cilíndricos de 100x200mm, e caracteriza-os em relação ao limite mínimo de resistência à compressão pela norma.

Figura 20 – Resistência à compressão dos traços em relação ao limite estabelecido pela norma ACI 2013R-87.



Com base nos gráficos da Figura 20 e 25 podemos dizer que os traços T45, T50 e T55 é caracterizado como concreto leve estrutural, pois seus resultados estão dentro dos limites impostos pela norma. ACI 213R-87 (1999).

Já tendo em vista que os traços foram aceitos pela norma internacional, fazemos então a mesma análise, só que com a norma nacional NBR NM 35:1995. Ela estabelece relações de massa específica e resistência à compressão do concreto em 3 limites, nos quais o concreto pode ser considerado leve estrutural.

A Tabela 11 mostra os limites estabelecidos pela norma juntamente com os resultados dos traços.

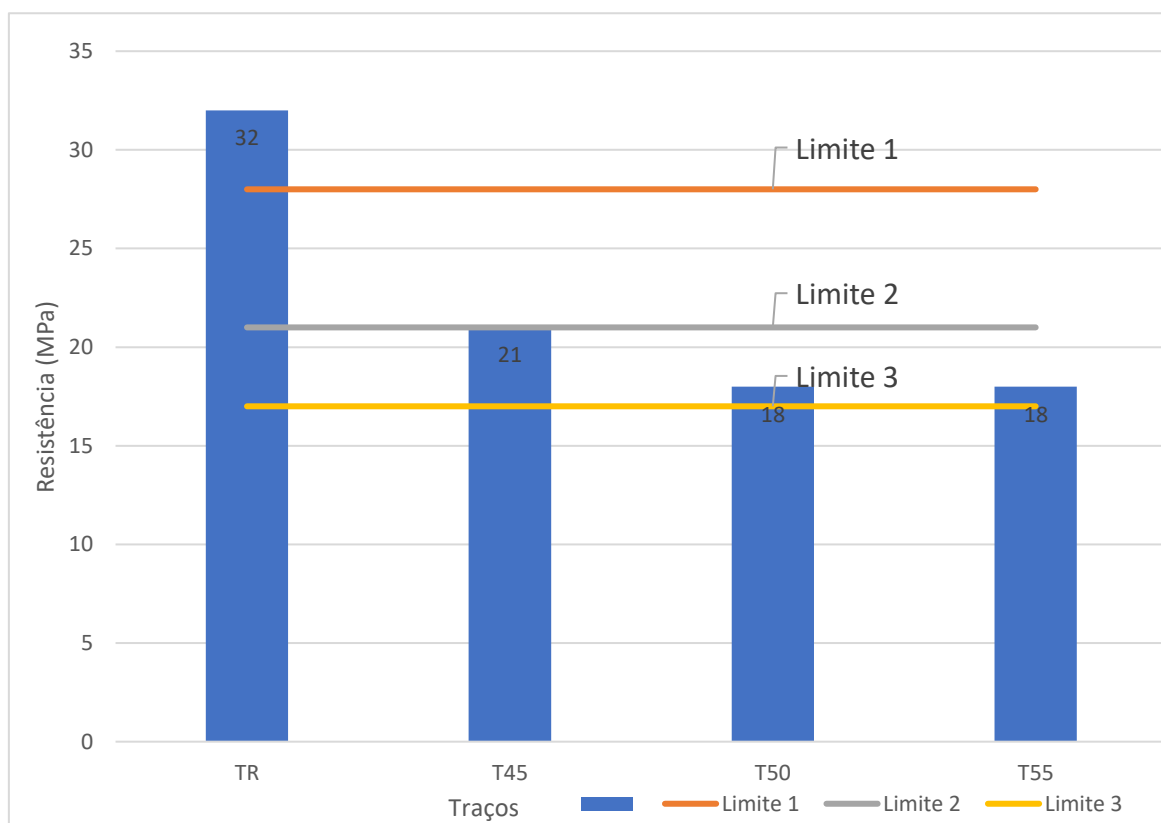
Tabela 11 – Limites para concreto leve estrutural NBR 35:1995

NBR NM 35:1995		
	Massa Específica Kg/m ³	Resistência à Compressão MPA
Limite 1	1840	28
Limite 2	1760	21
Limite 3	1680	17
Traços		
	Massa Específica Kg/m ³	Resistência à Compressão MPA
T45	1613	21
T50	1568	18
T55	1523	18

Fonte: NBR NM 35:1995 alterada pelo AUTOR, 2017

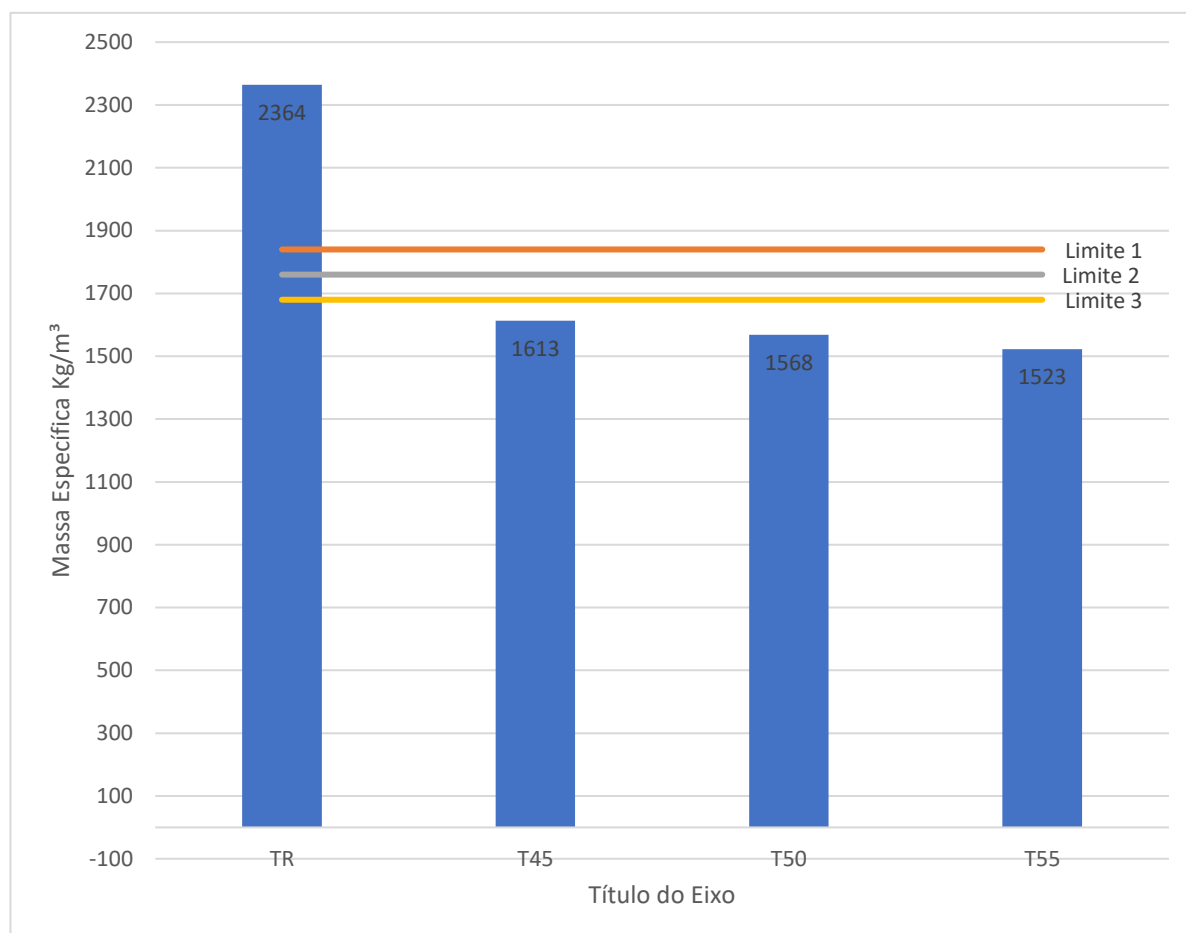
A Figura 21 nos auxilia a visualizar a relação entre os limites e os resultados dos traços.

Figura 21 – Relação entre os limites mínimos de resistência à compressão pela NBR 35:1995



Temos também a Figura 22 que nos auxilia a visualizar a reação entre os limites de massa específica na norma e do traço.

Figura 22 – Relação entre os limites máximos de massa específica pela NBR 35:1995.



No gráfico da figura 21, é possível verificar que todos os traços com substituição de agregado graúdo por EPS ficaram no Limite 3 segundo a NBR NM 35:1995. Já analisando os dois gráficos acima, é possível afirmar que pela relação de massa e compressão do limite 1 e 2 nenhum traço se enquadrou, logo, para esse parâmetro, nenhum traço pode ser classificado como concreto leve estrutural. Para o limite 3, todos os traços se enquadraram, logo podem ser considerados concreto leve estrutural.

A ASTM C330:2009, utiliza a mesma relação entre massa específica e resistência à compressão verificada acima, com os mesmos 3 limites. Além de relacionar massa com resistência à compressão, a norma relaciona as duas características com valores mínimos de

resistência à tração por compressão diametral, para definição do concreto leve estrutural, como mostra a Tabela 12.

Tabela 12 – Relação entre massa específica, tração e compressão para concreto leve estrutural.

ASTM C330:2009			
	Massa Específica Kg/m ³	Resistência à Compressão MPA	Tração Mpa
Limite 1	1840	28	2,3
Limite 2	1760	21	2,1
Limite 3	1680	17	2,1
Traços			
	Massa Específica Kg/m ³	Resistência à Compressão MPA	Tração MPa
T45	1613	21	2,4
T50	1568	18	2,1
T55	1523	18	2

Fonte: ASTM C330:1989, alterada pelo autor, 2017

É possível observar na tabela que, apenas o T45 e o T50 com substituição parcial de agregado graúdo por EPS, teve resultado dentro dos limites mínimos de resistência à tração.

O traço T45 está dentro do limite 3 e o T50 está dentro do limite 1 para tração, dentro do limite 3 para massa específica e dentro do limite 2 para compressão, logo eles são considerados concreto leve estrutural. O traço e T55 se enquadra nos limites mínimos de resistência a compressão, mas não se enquadram nos limites de resistência à tração, logo, não podem ser considerados concreto leve estrutural, segundo a norma ASTM C330:2009.

Ao analisar os resultados dos ensaios com os limites estabelecidos pelas normas, é possível verificar quais traços são considerados leve e estrutural e qual não são. A Tabela 11 mostra de forma sucinta as classificações. Pode-se concluir que os traços T45, T50 e T55 são de Concreto Leve Estrutural.

Tabela 13 – Classificação dos traços de concreto leve estrutural

Referência	Limite de Massa Específica	Traço	Massa Específica (Kg/m ³)	Compressão aos 28 dias (Mpa)	Classificação
NBR NM 35:1995	$\gamma < 1850$	TR	2363,76	31,57	Concreto Convencional
	Fc > 17MPa	T45	1613,48	20,75	Concreto Leve Estrutural
		T50	1568,12	18,38	Concreto Leve Estrutural
		T55	1522,95	17,6	Concreto Leve Estrutural
ACI 213-87 (1997)	$1400 < \gamma < 1850$	TR	2363,76	31,57	Concreto Convencional
	Fc > 17MPa	T45	1613,48	20,75	Concreto Leve Estrutural
		T50	1568,12	18,38	Concreto Leve Estrutural
		T55	1522,95	17,6	Concreto Leve Estrutural
ASTM C330:2009	$\gamma < 1840$	TR	2363,76	31,57	Concreto Convencional
	Fc > 17MPa	T45	1613,48	20,75	Concreto Leve Estrutural
		T50	1568,12	18,38	Concreto Leve Estrutural
		T55	1522,95	17,6	Concreto Leve

Fonte: (AUTOR,2017)

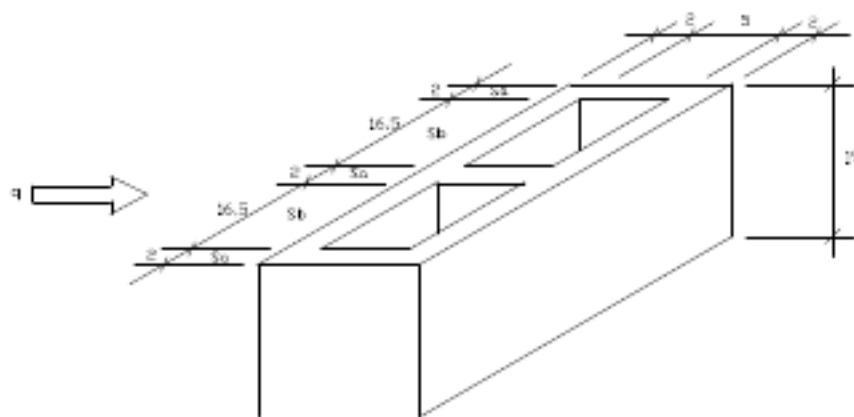
4.7. Resistência Térmica

Por fim, vejamos os resultados da análise da resistência térmica, para o qual foi utilizado os métodos de cálculo previstos na NBR 15220:2003.

Foi feito apenas cálculo da resistência térmica para identificar, se com a quantidade de adição de EPS, o concreto produzido tem uma resistência térmica maior comprada com a norma.

Primeiramente fazer o cálculo da área conforme mostra a Equação 1.

Figura 23: parede de blocos de concreto colados, sem reboco



Fonte: NBR 15220

Equação 1 - Área corte A

$$Aa = Ba \times Ha$$

$$Aa = 0,0150,02 \times 0,19 = 0,0038 \text{ m}^2$$

Em que:

Aa : Área da corte A.

Ba : Base da corte A

Ha : Altura da corte A

Então achou quanto que o teor de EPS modifica a condutividade térmica (CT) do concreto comum para cada traço, como mostra a equação 2

Equação 2 – Condutividade Concreto + EPS

T45 em volume:

$$\begin{array}{cccccc} \text{Cimento} & \text{Areia} & \text{Brita} & \text{EPS} & \text{Água} & \\ 0,126 & : & 0,447 & : & 0,200 & : & 0,163 & : & 0,06426 & = & 1\text{m}^3 \end{array}$$

16,3% EPS

Condutividade térmica do EPS = 0,4 W/m.k

83,7% CONCRETO

Condutividade térmica do concreto 1,75 W/m.k

$$CT = (1,75 \times 0,837) + (0,4 \times 0,163)$$

$$CT = 1,52995 \text{ W/m.k}$$

T50 em volume:

Cimento Areia Brita EPS Água

$$0,126 : 0,447 : 0,182 : 0,182 : 0,06426 = 1\text{m}^3$$

18,2% EPS

Condutividade térmica do EPS = 0,4 W/m.k

81,8% CONCRETO

Condutividade térmica do concreto 1,75 W/m.k

$$CT = (1,75 \times 0,818) + (0,4 \times 0,182)$$

$$CT = 1,5043 \text{ W/m.k}$$

T50 em volume:

Cimento Areia Brita EPS Água

$$0,126 : 0,447 : 0,163 : 0,200 : 0,06426 = 1\text{m}^3$$

20% EPS

Condutividade térmica do EPS = 0,4 W/m.k

80% CONCRETO

Condutividade térmica do concreto 1,75 W/m.k

$$CT = (1,75 \times 0,8) + (0,4 \times 0,2)$$

$$CT = 1,48 \text{ W/m.k}$$

Em seguida foi calculada a resistência térmica da corte A, conforme Equação 3:

Equação 3- Resistencia Térmica da Corte A

$$RTA = \frac{\text{Espessura}}{\text{Condutividade térmica}}$$

T45

$$RTA = \frac{0,09}{1,52995} = 0,0588 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

T50

$$RTA = \frac{0,09}{1,5043} = 0,0598 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

T55

$$RTA = \frac{0,09}{1,48} = 0,0608 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Partimos para o Corte em B como mostra na Equação 4, em seguida, realizou-se o cálculo da resistência térmica da corte B, conforme a equação 5. Vejamos:

Equação 4 – Área corte B

$$Aa = Ba \times Ha$$

$$Ab = 0,165 \times 0,19 = 0,03135 \text{ m}^2$$

Em que:

Ab : Área da corte b.

Bb: Base da corte b

Hb: Altura da corte b

Equação 5– Resistencia Térmica do Corte B

$$RTB = \frac{B}{c} + RCA + \frac{B}{c}$$

T45

$$R_{tb} = \frac{0,02}{1,52995} + 0,16 + \frac{0,02}{1,52995} = 0,1861 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

T50

$$R_{tb} = \frac{0,02}{1,5043} + 0,16 + \frac{0,02}{1,5043} = 0,1866 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

T55

$$R_{tb} = \frac{0,02}{1,48} + 0,16 + \frac{0,02}{1,48} = 0,1870 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Em que:

B : Base da corte B.

C : Condutividade Térmica, de acordo com a tabela 01.

Rca: Resistencia térmica da Câmara de ar, de acordo com a tabela 02.

Obtidos os valores das resistências térmicas das seções A e B, foi possível determinar a resistência térmica total da parede (RTP). Para tal fim, onde é feita relação entre a área das seções e a resistência das seções, de acordo com a equação 6 abaixo exposto, verificando-se assim o desempenho térmico do modelo.

Equação 6 - Resistencia térmica Total da Parede (RTP)

$$RTP = 3 X \frac{\text{Area da corte A}}{\text{Area da corte A}} \frac{1}{\text{Resistencia Termica da corte A}} + 2X \frac{\text{Area da corte B}}{\text{Area da corte B}} \frac{1}{\text{Resistencia termica corte B}}$$

T45

$$RTP = \frac{3 \times 0,0038}{0,0598} + \frac{3 \times 0,03135}{0,1861}$$

$$RTP = 0,1508 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

T50

$$RTP = \frac{3 \times 0,0038}{0,0588} + \frac{3 \times 0,03135}{0,1866}$$

$$RTP = 0,1511 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

T55

$$RTP = \frac{3 \times 0,0038}{0,0608} + \frac{3 \times 0,03135}{0,1870}$$

$$RTP = 0,1527 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Após determinar a resistência térmica total dos blocos é necessário somá-las com as resistências internas e a resistência externa, fornecidas na norma 15220, para obter a denominada “resistência térmica de ambiente a ambiente”. De acordo com a Equação 7 que segue:

Equação 7- Resistencia térmica de ambiente a ambiente

$$RTAA = RTP + RTI + RTE$$

T45

$$RTAA = 0,1508 + 0,13 + 0,04 = 0,3208 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

T50

$$RTAA = 0,1511 + 0,13 + 0,04 = 0,3211 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

T55

$$RTAA = 0,1527 + 0,13 + 0,04 = 0,3227 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Em que:

RTAA : Resistencia térmica de ambiente a ambiente

RTP: Resistencia térmica da Parede

RTI: Resistencia térmica interna, de acordo com a tabela 03.

RTE: Resistencia térmica externa, de acordo com a tabela 03.

Obtivemos os resultados da Resistência térmica de todos os traços estudados, de acordo com a Equação 11, foram de T45 0,3208 (m².K)/W, T50 0,3211 (m².K)/W e T55 0,3227 (m².K)/W, segundo a NBR 15220:2003 Parte 2 a resistência térmica total do bloco de concreto sem reboco é de 0,3012(m².K)/W , desta forma traços com EPS tem maior resistência térmica.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.

5.1. CONCLUSÕES

Conforme amplamente exposto, o objetivo do presente trabalho é avaliar as propriedades mecânicas e desempenho térmico do concreto leve estrutural com o uso de EPS, obtivemos conclusões finais sobre os resultados.

Para as características mecânicas no estado plástico a trabalhabilidade foi a principal característica analisada, verificando que a sua fluidez da mistura do concreto não obteve aumento à medida que a quantidade de EPS era adicionada. Isso se teve pois foi previsto antecipadamente que o EPS tendo uma baixa taxa de absorção de água sobriaria mais água para a mistura, foi então feito a correção do traço, mantendo o fator A/C garantindo o slump da dosagem.

Ainda com relação à característica no estado plástico, o abatimento dos traços com EPS ficaram dentro dos parâmetros adotados na dosagem do traço referência. Isso se dá pois foi levada em consideração as características do EPS na dosagem.

Já para as características do estado endurecido foi possível verificar redução da resistência à medida que a quantidade de EPS aumentava no concreto. Esse tipo de resultado era esperado, visto que o agregado EPS não tem como característica altos valores de resistência à compressão, o mesmo funciona na redução de massa específica, e não no aumento de resistência.

Quanto à classificação em relação à massa específica, à medida que aumentou o percentual de EPS, a massa específica reduziu, e todos os traços com substituição de agregado graúdo por EPS se enquadraram como leves em todos limites normativos considerados.

Em relação aos índices de vazios e absorção, se comportaram como esperado. À medida que aumentou a quantidade de EPS no concreto, os índices de vazios e taxa de absorção também aumentaram.

A avaliação dos resultados de massa específica e resistência a compressão, foram feitas comparadas as normas NBR NM 35:1995, ACI 213-87 (1997) e ASTM C330:2009. Todos os traços com substituição de agregado graúdo por EPS se adequaram aos limites normativos e se enquadraram como concreto leve

estrutural, menos o T55 que não chegou ao limite mínimo de tração imposto pela norma ASTM C330:2009.

O traço com EPS de maior eficiência mecânica foi o T45, com 40% de substituição de agregado graúdo por EPS. Com relação a resistência térmica dos traços estudados, conclui-se que a resistência térmica do bloco feito de concreto com substituição parcial do agregado graúdo por EPS é mais elevada do que a resistência térmica de um bloco de concreto convencional, tornando os concretos com teor de EPS mais resistentes a temperaturas térmicas do que os blocos convencionais.

É possível concluir que usar EPS como agregado nos traços de concreto é uma alternativa viável no ponto de vista técnico, pois não se implica em processos complicados de produção e é uma alternativa para se produzir um concreto com massa específica baixa. Como visto no estudo, o concreto com EPS pode atingir resistência que viabiliza o seu uso nas mais diversas obras que utilizam concreto armado e alternativas de desempenho térmico.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para entendimento mais abrangente do comportamento do concreto leve com substituição de EPS, os seguintes estudos são sugeridos.

- Verificar a resistência e a transmitância térmica em blocos produzidos *in loco*.
- Executar estudos de EPS em concreto de alvenaria estrutural para melhor aferimento mecânico
- Avaliar as resistências mecânicas com essas substituições entre 40% e 50%.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for structural lightweight aggregate concrete**. ACI 213R-87. USA, 1997.

ÂNGULO, S.C. – **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclado e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. 167p. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, universidade de São Paulo. São Paulo 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14724: **informação e documento trabalhos acadêmicos - apresentação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739: **Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**, Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7222: **argamassa e concreto – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**, Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220 parte 2: **medição desempenho térmico de edificações pelo método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica de elementos**, Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575: **Edificações habitacionais - Desempenho**, Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14724: **Informação e documento trabalhos acadêmicos**, Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7211: **Agregados para Concretos - Especificações**, Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7213: **Agregados leves para concreto isolante térmico - Requisitos**, Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO (ANM). NBR NM 35: **Agregados leves em concreto estrutural**, Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO (ANM). NBR NM 67: **Ensaio de abatimento do concreto**, Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO (ANM). NBR NM 47 **Incorporação de ar, método piesométrico**, Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM C 150 – 07 – **Standard Specification for Portland Cement**. In: Annual Book of ASTM STANDARDS, 2007

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM C 150 – 07 – **Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete**. In: Annual Book of ASTM STANDARDS, 2009

BEZERRA, L. A. C.; GURGEL, T. L.; MENDES, J. U. L.; MARINHO, G. S. **Desempenho térmico de parede com bloco de concreto leve**. IN: **Simpósio de desempenho térmico de sistemas construtivos alternativos**. Natal-RN, 06 a 08 de Agosto, 2003.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **CEN prEN 205-25**. Betón. Performances, production et conformité 1999.

COMITÉ EURO-INTERNACIONAL DU BÉTON and FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAÎNTE – CEB-FIP. **Lightweight aggregate concrete – manual of design and technology**. London: the construction press, 1977.

CONCRETO LEVE ESTRUTURAL: **produção, propriedades, microestruturas e aplicações** /João Adriano Rissignolo – São Paulo: Pini, 2009

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, IBRACON, 2007.

GROTE, Z. V., SILVEIRA, J. L. **Processo térmico de reciclagem de poliestireno expandido (isopor): uma realidade para a redução de custos e a conservação de energia**. In: Proceedings of Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Uberlândia, MG, 2001.

HOLM, T. A.; BREMNER, T. W. **High strength lightweight aggregate concrete**. In: SHAH S.P.; AHAMAD S.H. high performance concrete: Properties and Applications. Great Britain, McGraw-Hill, 1993. P.341-374.

INCROPERA, F. P.; DeWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 4ª edição. Rio de Janeiro, RJ. Ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1998.

ÍNDICE DE RECICLAGEM, Plastivida, índice de Reciclagem. Disponível em: (<http://www.plastivida.org.br/images/releases/Release_092_Indice_Reciclagem.pdf>). Acesso em: Abril de 2017.

JOHN, V. M. **reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de Pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, Escola Politécnica da USP, Departamento de Construção Civil; tese de livre docência, 2000, 113p.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis. Part I. Physical and mineralogical methods**. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1986. p. 425-442. (Agronomy Monograph N. 9).

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO – Araujo, Rodrigues & Freitas Disponível em: <<http://engenhariaconcursos.com.br/arquivos/Materiais/concretosimples.pdf>> Acesso em 17 de abril de 2017

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

MEHTA, Kumar P., MONTEIRO, PAULO J.M. **Concreto: microestrutura, Propriedades e Materiais**. Editora Pini, 3ª Edição. São Paulo, 2008.

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

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

RANDEMBERG G. S Natanaeyfle. **Caracterização Mecânica, Térmica e Acústica de um Compósito que Utiliza Rejeitos de Mármore, Granito e EPS para a Fabricação de Blocos para a Construção Civil**, Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Mecânica- Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) 2014.

SILVA, Moema Ribas. **Materiais de Construção**. 2ª Ed. São Paulo, PINI, 1991.

SER PROTAGONISTA, **história; revisão; ensino médio, volume único / obra coletiva concebida**, desenvolvida e produzida por Edições SM. — 1. ed. — São Paulo: Edições SM, 2014.

SCHMIDT, P. N. S. - **A Qualidade de placas de circuito impresso confeccionadas a partir de poliestireno reciclado**. 2012. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

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.

YAZIGI, Walid. **A Técnica de Edificar**, Walid Yazigi. 7ª Ed. São Paulo, PINI, 2006.

ANEXOS

Slump teste do traço com substituição de 45% de agregado graúdo por EPS.



Slump teste do traço com substituição de 50% de agregado graúdo por EPS.



Slump teste do traço com substituição de 55% de agregado graúdo por EPS



Resistência a compressão do corpo de prova com substituição de 50% de agregado graúdo por EPS.



Ensaio de Resistência a Tração por compressão diametral no corpo de prova com substituição de 50% de agregado graúdo por EPS.

