

**CENTRO UNIVERSITÁRIO
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO DE PRESIDENTE PRUDENTE**

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO LEVE COM A
INSERÇÃO DE ARGILA EXPANDIDA E PÉROLAS DE EPS**

Thaís Cravo Calderan

Presidente Prudente/SP

2019

**CENTRO UNIVERSITÁRIO
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO DE PRESIDENTE PRUDENTE**

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO LEVE COM A
INSERÇÃO DE ARGILA EXPANDIDA E PÉROLAS DE EPS**

Thaís Cravo Calderan

Trabalho de Curso apresentado como requisito parcial de Conclusão do Curso para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Ms. Rodrigo Bohac Ferreira da Rosa.

Presidente Prudente/SP

2019

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO LEVE COM A INSERÇÃO DE ARGILA EXPANDIDA E PÉROLAS DE EPS

Trabalho de Curso apresentado como requisito
parcial para obtenção do Grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Prof. Ms. Rodrigo Bohac Ferreira Rosa
Orientador

Prof. Ms. Alonso Droppa Junior
Examinador

Prof. Ms. Murillo da Silva Paiano
Examinador

Presidente Prudente, 01 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus, por estar sempre ao meu lado, me dando forças para concluir este trabalho.

À minha família, principalmente à minha mãe Lucilene, por ser minha base durante toda a vida, não medindo esforços em me ajudar nesses 5 anos de graduação. Ao meu namorado Junio, por todo apoio, paciência e compreensão.

Ao meu primeiro orientador Prof. Dr. Bruno do Vale Silva, por toda dedicação e capacidade de transmitir seus conhecimentos.

Ao meu segundo orientador Prof. Ms. Rodrigo Bohac Ferreira da Rosa pelo suporte no pouco tempo que lhe coube.

Às minhas amigas Luana e Geovanna, que me ajudaram na confecção dos corpos de prova e me apoiaram durante toda a faculdade.

À Instituição, por disponibilizar parte dos materiais e o Laboratório de Materiais de Construção Civil, para serem fabricados e ensaiados os corpos de prova.

E a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para essa pesquisa e para minha formação.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo comparar o concreto leve com a inserção de argila expandida e pérolas de EPS com o concreto convencional, tendo a finalidade de analisar suas propriedades, como a resistência à compressão, massa específica e absorção de água. Para realizar os ensaios foram produzidos 3 tipos de concreto: concreto referência (concreto convencional), concreto com argila expandida com o traço 1:2:3 e o concreto com pérolas de EPS com o traço 1:1,5:2; todos com relação $a/c=0,5$. Para isso, foram fabricados 6 corpos de prova cilíndricos, para serem rompidos aos 28 dias após a cura, realizando-se os ensaios de compressão axial, de acordo com a ABNT NBR 5739:2018, além do “*Slump Test*” realizado segundo a ABNT NM 67:1998. Não sendo possível realizar o ensaio de absorção de água devido à falha na estufa da instituição. Pode-se concluir que a substituição do agregado brita pela argila expandida diminuiu a massa específica em 33% e a resistência à compressão diminuiu 20%. Enquanto a substituição pelas pérolas de EPS, mostra redução de 47% na massa específica, entretanto a resistência a compressão reduziu em 79%; sendo o concreto leve utilizado para fins não estruturais.

Palavras-chave: Argila expandida; Pérolas de EPS; Propriedades mecânicas; Massa específica.

ABSTRACT

The aim of this work is to compare the concrete lightweight with the insertion of expansion clay and EPS pearls with the conventional concrete, in order to analyze their mechanical properties, such as axial compression, specific mass and water absorption. In order to perform the tests, 3 types of concrete were produced: reference concrete (conventional concrete), expanded clay concrete with a 1:2:3 trace and concrete with EPS pearls with 1: 1.5: 2 dash; all in the water/ cement proportion is 0,5. Having said that, 3 cylindrical test specimens were fabricated and ruptured at 28 days after curing. The axial compression tests were performed, according to the ABNT NBR 5739: 2018 in addition to the Slump Test based on ABNT NM 67: 1998. It was not possible to perform the water absorption test due to the institution's greenhouse failure. It can be concluded that the replacement of stone aggregate by expanded clay decreased the specific mass by 33% and the compressive strength decreased by 20%. While substitution by EPS pearls shows a 47% reduction in specific mass, but the strength is reduced by 79%; being the lightweight concrete used for no structural purposes.

Keywords: Expansion clay; EPS pearls; Mechanical properties; Specific mass.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

a/c – Fator água e cimento

CA – Concreto com Argila Expandida

CE – Concreto com Pérolas de EPS

CP – Corpo de Prova

CR – Concreto referência

EPS – Poliestireno Expandido

fc – Resistência à compressão mecânica

F – Carga máxima apresentada pela prensa hidráulica

FE – Fator de Eficiência

kN – Quilograma Força

MPa – Mega Pascal

m_s – Massa do corpo de prova seco em estufa

m_{sat} – Massa do corpo de prova saturado

NBR – Norma Técnica Brasileira

NM – Norma Mercosul

PS – Poliestireno

R – Raio do corpo de prova

ρ – Massa Específica

LISTA DE ILUSTRAÇÕES, TABELAS OU QUADROS

FIGURAS

FIGURA 1 – Panteão de Roma.....	11
FIGURA 2 – Intervalo da massa específica (kg/m ³) de concretos com agregados leves.....	14
FIGURA 3 – Influência da massa específica do concreto com argila expandida no valor da condutividade térmica.....	16
FIGURA 4 – Zonas que se encontram as composições químicas das argilas com características expansivas.....	17
FIGURA 5 – Argila expandida.....	18
FIGURA 6 – Pérolas de EPS.....	19
FIGURA 7 – Resistência do EPS a compressão.....	20
FIGURA 8 – Organograma da metodologia adotada no trabalho.....	22
FIGURA 9 – Molde do corpo de prova cilíndrico.....	22
FIGURA 10 – Verificação da dimensão da argila expandida.....	23
FIGURA 11 – Verificação da dimensão da pérola de EPS.....	24
FIGURA 12 – Massa de concreto: a) CR, b) CA, e c) CE.....	24
FIGURA 13 – Molde utilizado para a realização do ensaio de Abatimento de Tronco de Cone.....	25
FIGURA 14 – Abatimento para a) CR, b) CA, e c) CE, respectivamente.....	26
FIGURA 15 – Estufa para secagem dos corpos de prova.....	28
FIGURA 16 – Equipamento para ensaio de compressão.	28
FIGURA 17 – Corpos de prova após rompimento para a) CR, b) CA, e c) CE, respectivamente.....	30

GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Resultado da resistência à compressão axial dos corpos de prova.....	32
GRÁFICO 2 – Resultado da massa específica dos corpos de prova.....	33

TABELAS

TABELA 1 – Valores de referência de massa específica dos concretos leves.....	12
TABELA 2 – Características de alguns agregados leves.....	15
TABELA 3 – Consumo de materiais para 6 corpos de prova de cada concreto.....	23
TABELA 4 – Consumo de materiais para 1 m ³ dos concretos.....	23
TABELA 5 – Tabela orçamentária dos materiais utilizados nos corpos de prova.....	29
TABELA 6 – Valores obtidos pela prensa hidráulica no ensaio de compressão axial.....	31
TABELA 7 – Valores em MPa da resistência à compressão axial para corpos de prova cilíndricos.....	31
TABELA 8 – Valores da massa específica dos corpos de prova.....	32
TABELA 9 – Valores do fator de eficiência (MPa.dm ³ /kg).....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Concreto Leve.....	12
2.1.1 Classificação dos agregados.....	13
2.1.2 Classificação do concreto leve.....	14
2.1.3 Efeito da absorção de água pelo agregado leve.....	15
2.1.4 Propriedades térmicas do concreto leve.....	15
2.2 Argila Expandida como Agregado Leve.....	16
2.3 Concreto Leve com EPS.....	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1 Concretagem dos Corpos de Prova.....	24
3.2 Análise dos Custos para a Realização do Trabalho.....	29
4 RESULTADOS.....	30
4.1 Ensaio de Absorção de Água.....	30
4.2 Ensaio de Compressão Axial.....	30
4.3 Massa Específica.....	32
4.4 Fator de Eficiência.....	33
5 CONCLUSÕES.....	34
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

O tijolo e a pedra foram os materiais mais utilizados nas construções desde a antiguidade, mas devido à baixa resistência e a necessidade de obras com vão maiores, desenvolveu-se através de inúmeros testes, o cimento Portland; este juntamente com a água, o agregado miúdo e o agregado graúdo, resulta no concreto simples, que possui resistência à compressão entre 20 e 40 MPa (FUSCO, ONISHI, 2017, p. 16-17).

Atualmente, o índice de consumo de concreto é muito maior se comparado nos anos 60; estima-se o consumo mundial de cerca de 19 bilhões de toneladas métricas ao ano (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 03).

São três as razões que levam à utilização massiva do concreto: a primeira diz respeito à excelente resistência do concreto à água sem que haja maiores deteriorações da estrutura, tornando-se muito utilizado em construções de estrutura para controle, armazenamento e transporte de água, além de barragens, revestimentos de canais, cisternas, aquedutos, e pavimentos; a segunda refere-se à facilidade que os elementos estruturais podem ser adquiridos pela variedade de formas e tamanhos por sua consistência plástica quando fresco, o que facilita o adensamento do material no interior das formas; e a terceira é em razão do baixo custo do material e sua disponibilidade, pois os elementos integrantes para a produção do concreto são relativamente baixos e encontrados facilmente (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 4-8).

A dosagem certa dos materiais englobantes do concreto, fazem com que a obra alcance vantagens, tais como o menor custo, maior resistência mecânica, durabilidade e facilidade de executar a obra. Entretanto, para calcular a dosagem exata da mistura e escolha de procedimentos, deve-se conhecer as características atingíveis no concreto endurecido (ARAÚJO, RODRIGUES, FREITAS, 1999 p.30 apud VARGAS, 2018, p.16).

Dentro da construção civil existem vários materiais que podem ser especificados dependendo da necessidade, a correta escolha depende principalmente do conhecimento técnico dos engenheiros envolvidos. Sendo assim, este trabalho apresenta a temática concretos especiais leves. Os concretos leves têm como principal vantagem o peso específico menor que o concreto convencional devido a utilização de agregados leves, fato que facilita sua implementação em locais que

precisam de cargas reduzidas, como em projetos de reforma, onde a estrutura base não será modificada e conseqüentemente tem-se limites de cargas máximas.

Rossignolo e Agnesini (2005, p. 1334-1335) citam que as primeiras aplicações de concreto leve datam de 3 mil anos, na cidade de *El Tajin*, no México, em que foi utilizada mistura de pedra-pomes com ligas baseadas em cal e cinzas vulcânicas; doutro modo, podemos citar a reconstrução do Panteão de Roma, idealizado pelos romanos, considerado uma das obras mais conhecidas historicamente, que encontra-se em ótimo estado de conservação até os dias atuais, conforme Figura 1.

FIGURA 1 – Panteão de Roma



Disponível em: < <https://blogreciclos.wordpress.com/2016/08/31/o-concreto-leve/>>. Acesso em 01 dez 2019.

Desta forma, o referente estudo tem por objetivo comparar o concreto leve com a inserção de argila expandida e EPS com o concreto convencional no que se refere a viabilidade técnica e econômica, e como objetivos específicos pretende-se analisar a resistência à compressão, massa específica e absorção de água dos corpos de prova segundo a norma, e relacioná-las com as propriedades do concreto referência.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O texto a seguir aborda uma revisão bibliográfica sobre o tema deste trabalho, como as características e classificação do concreto leve e seus agregados.

2.1 Concreto Leve

O concreto leve surge para suprimir às necessidades que aparecem na obra, e trazer benefícios à construção civil. O uso de argila expandida como agregado leve na produção do concreto tem demonstrado o interesse de pesquisadores em buscar melhores alternativas para o uso deste (PEREIRA, 2008, p. 16).

Nos termos de Rossignolo e Agnesini (2005, p. 1334-1335), é considerado leve, o concreto que atinge massa específica abaixo de 2000 kg/m³, assim como observa-se na Tabela 1.

TABELA 1 – Valores de referência de massa específica dos concretos leves.

Referência	Massa específica (kg/m ³)
RILEM (1975)	$\gamma < 2000$
CEB-FIP (1977)	$\gamma < 2000$
NS 3473.E (1998)	$1200 < \gamma < 2200$
ACI 213R-87 (1995)	$1400 < \gamma < 1850$
CEN prEN 205-25 (1999)	$800 \leq \gamma \leq 2000$

Fonte: Rossignolo e Agnesini, 2005.

A aplicação do concreto leve no Brasil somente teve início na década de 90, através da implantação da fábrica de argila expandida CINEXPAN, sendo utilizado mais especificado em peças pré-fabricadas (ROSSIGNOLO; AGNESINI, 2005, p. 1357).

Em relação ao impacto ambiental, pode-se dizer que o concreto leve é considerado mais prejudicial ao meio ambiente, devido ao maior consumo de energia utilizada no modo de produção dos agregados para este tipo, como é o caso da argila expandida produzida em forno, método este que eleva em até 60% a tensão-energia se comparada ao concreto tradicional; mas este índice pode ser compensado pela massa específica reduzida, e conseqüentemente menor uso de armadura e volume

de concreto, além de ser um material isolante térmico diminuindo a temperatura do ambiente. (ROSSIGNOLO; AGNESINI, 2005, p. 1358).

2.1.1 Classificação dos agregados

Conforme a NBR 9935:2011, agregado é definido como o material granular de dimensões e características que sejam passíveis à incorporação a argamassas e concretos, podendo ser extraídos da natureza (considerados de origem natural), bem como podem ter sua estrutura alterada por processos químicos ou físico-químico (origem artificial).

Pode-se dizer que os agregados compõem de 60 a 80% da massa do concreto, visto como um material inerte e influenciador nas diversas características deste. Os agregados são classificados de acordo com o tamanho das partículas, massa específica ou origem, por isso pode-se utilizar dois termos para distingui-los, o “agregado graúdo” que é empregado para descrever partículas maiores do que 4,75 mm, e o “agregado miúdo” utilizado para partículas com menos de 4,75 mm (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 276).

A maior parte dos agregados naturais tem massa unitária entre 1520 a 1680 kg/m³, e geram concretos de densidade normal aproximada de 2400 kg/m³. Na maioria das vezes, os agregados de massa unitária inferior a 1120 kg/m³ são denominados como leves, enquanto que os que pesam mais de 2080 kg/m³ são classificados como pesados (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 276).

Para concretos leves, também se utiliza a combinação de agregados leves e normais, a qual não é o objetivo deste trabalho.

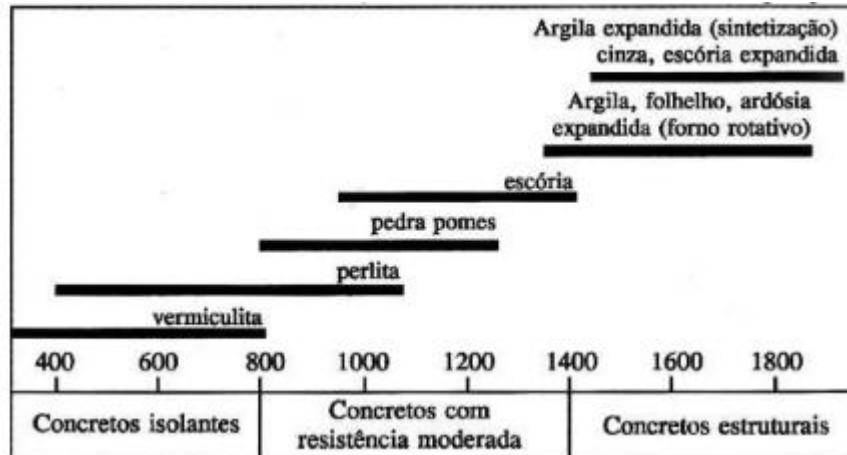
2.1.2 Classificação do concreto leve

Neville (2016, p. 719) escreve que o concreto leve pode ser classificado quanto à forma que o ar se emprega em seu interior, podendo apresentar-se em três locais distintos: nas partículas dos agregados, na pasta de cimento ou entre as partículas dos agregados graúdos.

De acordo com Neville (2016, p. 719), a variação das massas específicas dos tipos de concreto leve é entre 300 a 1.850 kg/m³. A medida classificatória que leva em conta a massa específica é importante na medida que a resistência do material

bastante se associa a ela. Relaciona-se na Figura 2 os tipos de concretos leves de acordo com a massa específica.

FIGURA 2 – Intervalo da massa específica (kg/m^3) de concretos com agregados leves.



Fonte: Neville (2016, p. 719).

São três as categorias existentes segundo Neville (2016, p. 719):

- O concreto leve estrutural, o qual possui massa específica entre 1.350 e 1.900 kg/m^3 , e como indicado em sua nomenclatura, é utilizado para fins estruturais, possuindo resistência mínima de 17 MPa;
- Por sua vez, o concreto de moderada resistência, tem resistência à compressão entre 7 MPa e 17 MPa, com características médias de isolamento;
- Encontra-se também o concreto de baixa massa específica, que possui a propriedade com valores em 300 e 800 kg/m^3 , e baixa resistência entre 0,7 MPa e 7 MPa, utilizado para fins não estruturais, notadamente o isolamento térmico.

2.1.3 Efeito da absorção de água pelo agregado leve

Uma dificuldade encontrada na prática, é a absorção de água pelos agregados leves, que é de 5 a 20%, por isso existem diversos procedimentos utilizados nos ensaios que visam a prevenção da penetração excessiva de água nos poros das partículas, como a pulverização com revestimento hidrófugo. Devido essa

absorção, a massa específica do agregado acaba tornando-se maior. Por este motivo, deve-se ter cuidado com a quantidade de água na massa, devendo ser levada em consideração o pré-umedecimento dos agregados secos (NEVILLE, 2016, p. 726-728).

Segundo Neville (2016, p. 727), “[...] ainda pode ser dito que, a menos que o agregado seja totalmente saturado antes da mistura, seus poros não serão totalmente preenchidos com água”.

A Tabela 2 a seguir demonstra características, assim como, a taxa de absorção de água de alguns agregados leves:

TABELA 2 – Características de alguns agregados leves.

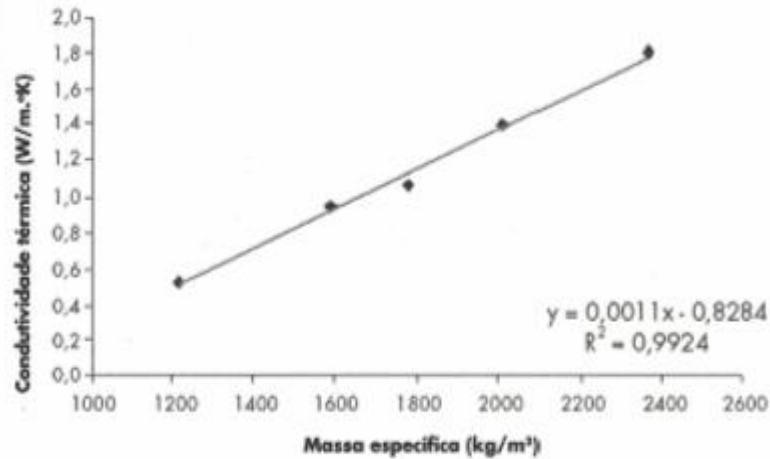
NOME COMERCIAL	PAÍS	MATÉRIA-PRIMA	FABRICAÇÃO	MASSA ESPECÍFICA (kg/dm ³)	MASSA UNITÁRIA (kg/dm ³)	DIMENSÃO (mm)	ABSORÇÃO DE ÁGUA 24H. (%)
Lyttag	Inglaterra	Cinzas Volantes	Sinterização	1,3 - 2,1	0,6 - 1,1	0,5 - 19	15 - 20
Solite	Estados Unidos	Folhelo	Forno Rotativo	1,4	0,8	4,0 - 16	15
Liapor	Alemanha	Argila	Forno Rotativo	0,6 - 1,8	0,3 - 0,9	2,0 - 19	11 - 17
Leca	Áustria e Noruega	Argila	Forno Rotativo	0,6 - 1,8	0,3 - 0,9	0,5 - 16	11 - 30
Arlita	Espanha	Argila	Forno Rotativo	1,4	0,8	1,0 - 10	13
Cinexpan 0500	Brasil	Argila	Forno Rotativo	1,5	0,9	0,5 - 5,0	6
Cinexpan 1506	Brasil	Argila	Forno Rotativo	1,1	0,6	6,0 - 15	7
Cinexpan 2215	Brasil	Argila	Forno Rotativo	0,7	0,5	15 - 22	10

Fonte: Rossignolo; Agnesini, 2005.

2.1.4 Propriedades térmicas do concreto leve

As propriedades térmicas do concreto leve são diferentes do concreto convencional, ou seja, a transferência e absorção do calor são reduzidas em razão do ar preso na estrutura porosa dos agregados leves. Por esse motivo algumas edificações utilizam o concreto leve na vedação de fachadas e na cobertura para reduzir a absorção e transferência de calor proveniente da radiação solar para o ambiente interno (ROSSIGNOLO; AGNESINI, 2005).

FIGURA 3 - Influência da massa específica do concreto com argila expandida no valor da condutividade térmica.



Fonte: Sacht et al., 2007.

2.2 Argila Expandida como Agregado Leve

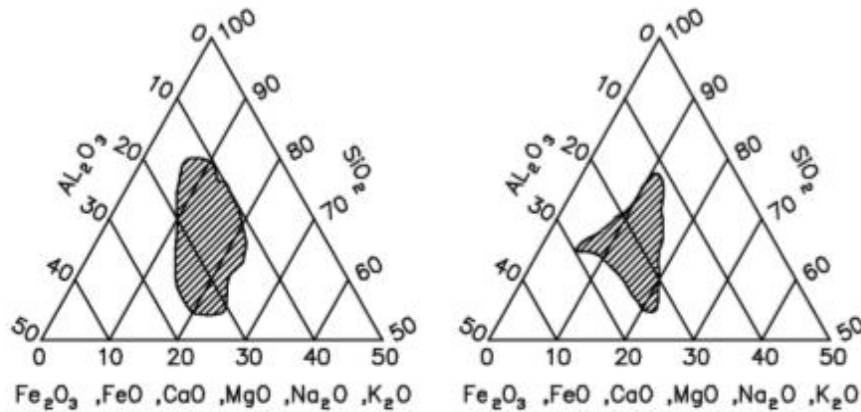
Os agregados leves, como a argila expandida, são produzidos segundo os termos de Neville (2016, p. 722):

São obtidos pelo aquecimento, em fornos rotativos, de matérias-primas adequadas até a fusão incipiente (temperatura entre 1.000 e 1.200 °C), quando ocorre a expansão dos materiais devido aos gases gerados e aprisionados na massa pirolástica viscosa. Essa estrutura porosa é mantida no resfriamento, de modo que a massa específica do material expandido resultante é menor do que antes do aquecimento. Com frequência, o material é reduzido à dimensão desejada antes do aquecimento, mas a britagem após a expansão também pode ser realizada. A expansão também pode ser obtida pelo uso de uma esteira de sinterização. Nesse caso, o material umedecido (que ou contém material carbonoso ou é misturado com combustível) é conduzido por uma grelha transportadora sobre queimadores de maneira que o calor penetre gradualmente na espessura total da camada de material. Sua viscosidade é tal que os gases são aprisionados. Assim como no forno rotativo, a massa resfriada é britada.

Os agregados de argila expandida feitos por esteiras possuem massa unitária entre 650 e 900 kg/m³, e os produzidos em forno rotativo entre 300 e 650 kg/m³. Os concretos gerados com esses agregados resultam em massas específicas em torno de 1.400 e 1.800 kg/m³ e têm maior resistência do que com qualquer outro agregado leve (NEVILLE, 2016, p. 723).

Para que a argila conserve suas características expansivas, a composição química deve estar dentro das apresentadas na Figura 4 a seguir (MORAVIA; OLIVEIRA; GUMIERI; VASCONCELOS, 2006):

FIGURA 4 – Zonas que se encontram as composições químicas das argilas com características expansivas.



Fonte: Moravia; Oliveira; Gumieri; Vasconcelos, 2006.

Conforme fichas técnicas dos produtos produzidos pela CINEXPLAN, as argilas expandidas são encontradas em 5 tipos, sendo mais comuns, a argila expandida 1506 que equivale ao tamanho da brita denominada como 0 (dimensões entre 6 e 15 mm) e a argila expandida 2215, que é equivalente à brita comercialmente denominada como 01 (dimensões entre 15 e 22 mm); e, sendo disponibilizada em sacos de 50 kg ou à granel.

A Figura 5 evidencia a argila expandida 2215, a qual foi empregada como agregado graúdo para confecção do trabalho experimental e tem densidade aparente de 500 kg/m³ (variação de +/- 10%) e massa específica de 0,64 kg/dm³.

FIGURA 5 – Argila expandida.



Fonte: O autor, 2019.

2.3 Concreto Leve com EPS

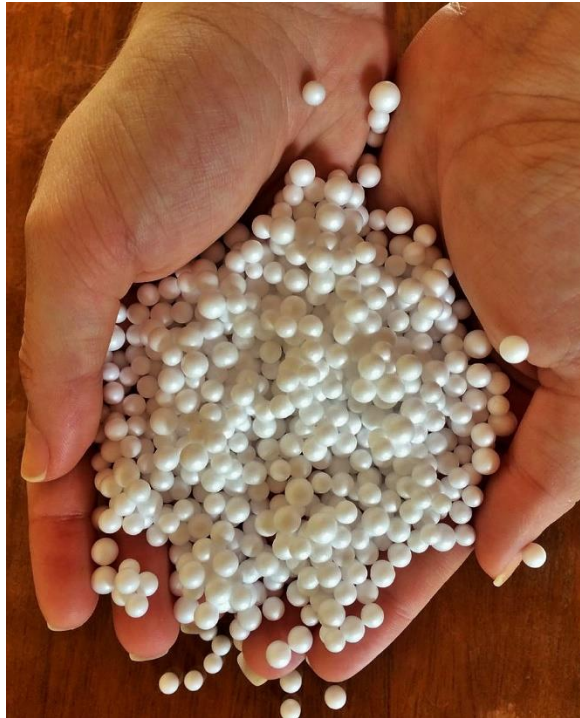
O concreto ultraleve é aquele concreto leve com EPS (ou seja, Poliestireno Expandido), conhecido popularmente como isopor (marca registrada da Knauf Isopor Ltda). Este polímero sintético atua como agregado leve e incorporador de ar ao mesmo tempo, destinado para fins estruturais e não estruturais, em que a massa específica varia entre 400 kg/m^3 e 1.300 kg/m^3 (KERBAUY, 2011 apud Catoia, 2012).

O concreto leve com EPS tem sua composição igual ao do concreto convencional, feita somente a substituição do agregado brita pelo isopor, e destaca-se dos outros tipos de materiais leves por ser mais conhecido como isolante térmico.

Segundo Catoia (2012), a utilização do EPS no concreto ajuda na redução do custo, além de funcionar como redutor de massa específica; atua como agregado no processo de mistura do concreto, podendo ser inserido em pérolas ou flocos, sendo incorporador de ar, distribuído igualmente.

A Figura 6 demonstra as pérolas de isopor de diferentes diâmetros, que variam de 2 a 5 mm, as quais foram utilizadas como agregados neste trabalho.

FIGURA 6 – Pérolas de EPS.



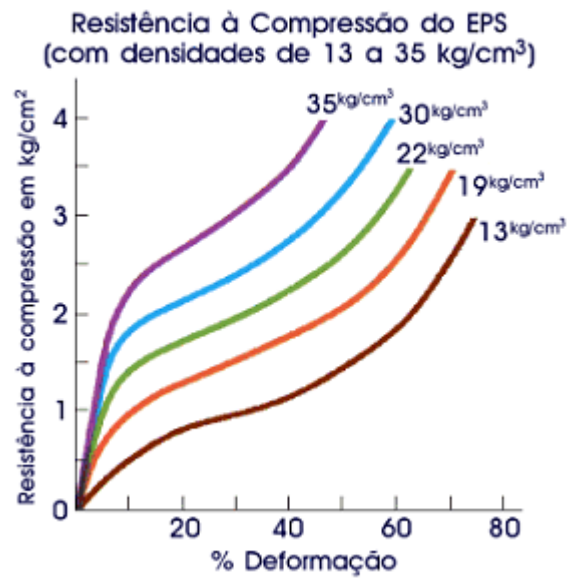
Fonte: O autor, 2019.

O Poliestireno Expandido (EPS), é produzido por meio da expansão da resina de Poliestireno com o emprego de gás de expansão gerados. A geração de gases voláteis nesse processo forma as pérolas de EPS, podendo o volume final apresentar 95% a 98% de ar (ANDRADE, 2010).

Ainda, conforme Albuquerque (2001), os tipos de Poliestireno básicos são:

- a) PS comum: usado em produtos de menor custo, como materiais rejeitáveis;
- b) PS resistente ao calor: empregado em condições de elevada temperatura de trabalho, como peças de eletrodomésticos e de aparelhos eletrônicos, ventiladores e exaustores;
- c) PS resistente a impacto: usados na produção de aparelhos domésticos e brinquedos;
- d) PS expandido: aplicado em bandejas de alimentos, isolantes térmicos e protetor de equipamentos.

Pode-se verificar na Figura 7, a resistência à compressão do EPS de várias densidades, o que significa que o concreto leve pode chegar a resistência maior.

FIGURA 7 – Resistência do EPS a compressão.

Fonte: Abrapex, 2011.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os métodos e materiais utilizados no desenvolvimento dos corpos de prova. Ainda, escolheu-se este tema, pelo motivo da construção civil deve combinar elementos de qualidade, economia e praticidade na execução da obra no menor prazo possível. Além disso, existe a necessidade de reformas em construções, principalmente pontes e edifícios, nos quais verifica-se problemas no mal dimensionamentos das fundações, o que justifica diminuir o peso da obra em si; tornando-se justificável a pesquisa.

Além disso, partindo de um conhecimento prévio, o concreto com isopor é principalmente utilizado no enchimento de lajes, peças pré-fabricadas, isolantes térmicos, drenagem, painéis divisórios, fachadas aparentes, entre outros. Podendo ser considerado resíduo de obra, quando empregado nas lajes, entretanto, utilizando-se das sobras, conseqüentemente contribui para ajudar o meio ambiente.

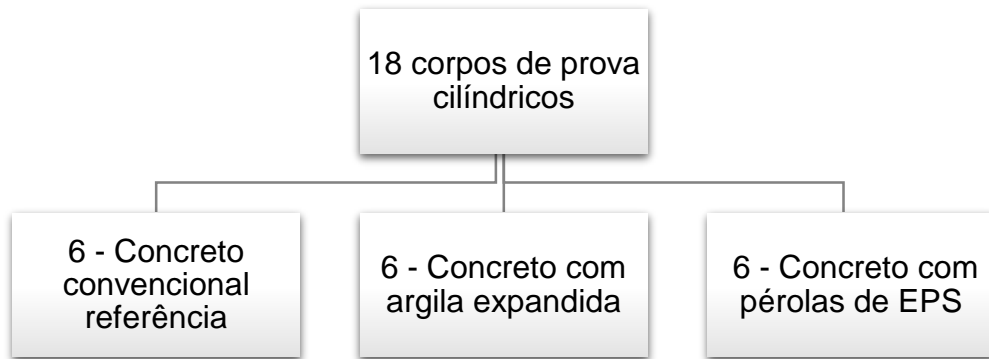
Pensando em mais uma alternativa de reduzir o peso, foi concebida a ideia de desenvolver a pesquisa do concreto com argila expandida, na qual possui granulometria maior quando comparada às pérolas de isopor; justificando assim a busca pela comparação do peso e da resistência através de ensaios.

Portanto, a metodologia utilizada no trabalho foi experimental, por meio da confecção de corpos de prova cilíndricos de concreto convencional e concreto leve com argila expandida e pérolas de EPS; foi proposto um experimento de absorção de água para comparação da densidade pelas fórmulas aplicadas e para avaliar a resistência mecânica dos concretos, foi realizado por meio de teste de resistência à compressão axial.

Para melhor apresentação deste estudo, apresenta-se o organograma na Figura 8, na qual observa-se que foram produzidos 6 corpos de prova para 3 tipos de concreto, sendo utilizados 9 amostras para cada teste.

Segundo a ABNT NBR 5738:2015 os corpos de prova cilíndricos devem ter diâmetro mínimo de 10,0 cm e a altura, igual ao dobro do diâmetro (20,0 cm), apresentado assim, o molde na Figura 9.

FIGURA 8– Organograma da metodologia adotada no trabalho.



Fonte: O autor, 2019.

FIGURA 9 – Molde do corpo de prova cilíndrico.



Fonte: O autor, 2019.

Adotou-se para o trabalho experimental o traço unitário padrão de 1:2:3 para o concreto convencional e com argila, e foi necessário alterar este para o concreto com EPS para 1:1,5:2 devido ao excesso das pérolas e também a sua falta de adesão aos outros materiais da mistura; e a relação a/c de 0,5 foi mantida para todos. Apresenta-se na Tabela 3, de forma técnica, o consumo de materiais utilizados no experimento, para confecção dos 6 corpos de prova de cada tipo de concreto; considerando a densidade de cada material para os respectivos dados em volume. Na tabela 4, visualiza-se de forma científica, o consumo necessário para 1 m³.

TABELA 3 – Consumo de materiais para 6 corpos de prova de cada concreto.

Materiais	Concreto Referência		Concreto Argila Expandida		Concreto EPS	
	Massa (kg)	Volume (m ³)	Massa (kg)	Volume (m ³)	Massa (kg)	Volume (m ³)
Cimento	2,1600	0,0017	2,1600	0,0017	2,8200	0,0023
Areia	4,5000	0,0035	4,5000	0,0035	4,3800	0,0034
Brita	7,3000	0,0052	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Argila Expandida	0,0000	0,0000	2,6000	0,0052	0,0000	0,0000
Pérolas de EPS	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0450	0,0045
Água	0,8700	0,0009	0,8700	0,0009	0,8700	0,0009

Fonte: O autor, 2019.

TABELA 4 – Consumo de materiais para 1 m³ de cada concreto.

Materiais	Concreto Referência		Concreto Argila Expandida		Concreto EPS	
	Massa (kg)	Volume (m ³)	Massa (kg)	Volume (m ³)	Massa (kg)	Volume (m ³)
Cimento	191,49	0,15	191,49	0,15	250,00	0,20
Areia	398,94	0,31	398,94	0,31	388,30	0,30
Brita	647,16	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00
Argila Expandida	0,00	0,00	230,50	0,46	0,00	0,00
Pérolas de EPS	0,00	0,00	0,00	0,00	3,99	0,40
Água	77,13	0,08	77,13	0,08	77,13	0,10

Fonte: O autor, 2019.

Logo, apresenta-se detalhadamente nas Figuras 10 e 11, os materiais leves que foram empregados como agregados para a fabricação dos concretos leves.

FIGURA 10 – Verificação da dimensão da argila expandida.

Fonte: O autor, 2019.

FIGURA 11 – Verificação da dimensão da pérola de EPS.



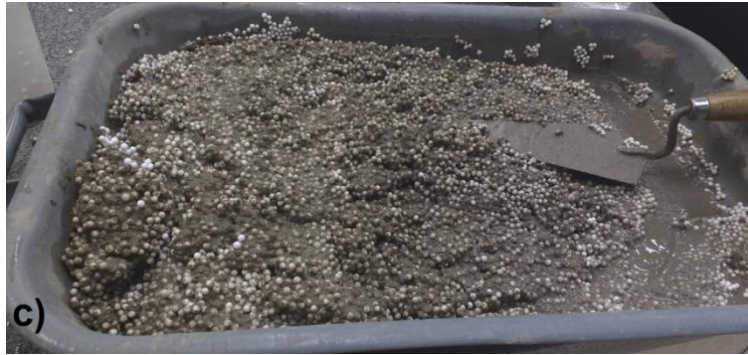
Fonte: O autor, 2019.

3.1 Concretagem dos Corpos de Prova e Testes

Foram produzidos 6 corpos de prova de cada concreto, um por semana, no pátio do laboratório de materiais, sem a necessidade do uso da betoneira devido ao baixo volume produzido, conforme na Figura 12.

FIGURA 12 – Massa de concreto: a) CR, b) CA, e c) CE.





Fonte: O autor, 2019.

Após a mistura estar homogênea, foi realizado o Abatimento de Tronco de Cone, conhecido popularmente como “*Slump Test*”, com o objetivo de determinar a trabalhabilidade do concreto. Segundo NBR NM 67:1998 o molde em forma de tronco de cone oco (Figura 13) deve ser preenchido em três camadas, com aproximadamente um terço da altura do molde cada uma, e compactadas com a haste de socamento com 25 golpes uniformes. Após preenche-lo, levanta-se o molde cuidadosamente na direção vertical, de 5 a 10 segundos, com movimento sem paradas, e após a desmoldagem mede-se a diferença da altura do molde com a altura média do corpo de prova, sendo que a operação finalizada até a retirada do cone deve concluir-se dentro de 150 segundos.

FIGURA 13 – Molde utilizado para o ensaio de Abatimento de Tronco de Cone.

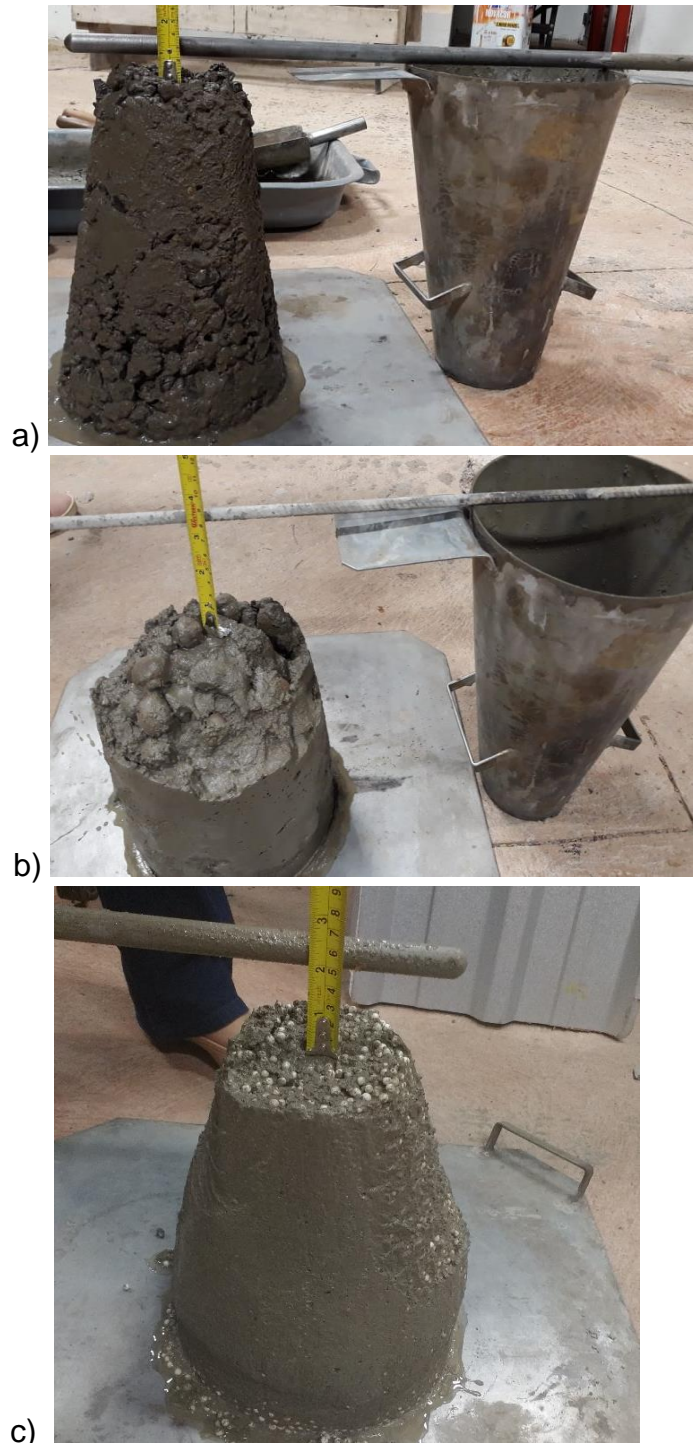


Fonte: O autor, 2019.

Os abatimentos através do “*Slump Test*” ofereceram boa consistência, e trabalhabilidade; são apresentados na Figura 14, na qual correspondem:

- a) CR = abatimento de 10,00 mm;
- b) CA = abatimento de 38,00 mm;
- c) CE = abatimento de 25,00 mm.

FIGURA 14 – Abatimento para a) CR, b) CA, e c) CE, respectivamente.



Fonte: O autor, 2019.

Posteriormente, a massa de concreto foi introduzida nos moldes. A ABNT NBR 5738:2015 afirma que os estes podem ser revestidos internamente com uma fina camada de óleo vegetal, e a realização do adensamento do concreto é determinada de acordo com as dimensões dos corpos de provas. Ou seja, com a utilização do corpo de prova cilíndrico com diâmetro de 10 cm, é estabelecido a colocação de duas camadas de concreto com 12 golpes para adensamento manual.

Ainda segundo a Norma deve-se evitar golpear a base do molde com a haste, penetrando 20 mm da camada anterior e para a eliminação dos vazios, deve-se bater levemente na face externa apenas. Após o preenchimento da última camada, deve ser feito o arrasamento da superfície, podendo ser com uma colher de pedreiro ou uma régua metálica.

Após a concretagem dos moldes, iniciou-se a cura, e foram armazenados em local livre de intempéries e cobertos durante as primeiras 24 horas, para evitar a perda de água do concreto. Depois de feita a desmoldagem, os corpos de prova foram identificados e implantados em solução saturada de hidróxido de cálcio, à 23 °C, onde ficaram armazenados até a véspera da realização do ensaio.

Conforme a ABNT NBR 5739:2018, os corpos de prova podem ser rompidos com diferentes idades de cura, sendo adotado para o referente trabalho aos 28 dias, após a concretagem.

Foi proposto o teste de absorção de água com 3 corpos de prova de cada tipo de concreto (devido à necessidade de verificar se a alta temperatura do teste influencia na resistência); conforme a NBR 9778:2005; onde descreve que após a cura, os corpos de prova cilíndricos ficam saturados em água por 72 horas com temperatura próxima de 23 °C, e logo em seguida secados superficialmente com um pano para remover apenas a umidade superficial e efetuada a pesagem (m_{sat}), e após a secagem na estufa (Figura 15) por 24 horas, em temperatura de 110 °C, é realizada nova pesagem (m_s) em uma balança hidrostática sensível a 0,025%. Deve ser calculado apenas o Índice de Absorção (Ia), através da Equação 01:

$$Ia = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (\text{Equação 01})$$

Onde:

m_{sat} = massa do corpo de prova saturado;

m_s = massa do corpo de prova seco em estufa.

Classificando-se os concretos como durável se atingir $\leq 4,2\%$, convencional se estiver entre $4,2\%$ a $6,2\%$ e deficiente se $\geq 6,2\%$.

FIGURA 15 – Estufa para secagem dos corpos de prova.



Fonte: O autor, 2019.

Para o ensaio de resistência à compressão utilizou-se a prensa hidráulica para concreto com capacidade para 1000 kN, conforme mostra a Figura 16.

FIGURA 16 – Equipamento para ensaio de compressão.



Fonte: O autor, 2019.

Depois de realizado todos os testes, relacionou-se à resistência a compressão com a massa específica, de cada tipo de concreto, avaliando-se qual apresenta melhor fator de eficiência, conforme Equação 02:

$$FE = \frac{f_c}{\rho} \quad (\text{Equação 02})$$

FE = fator de eficiência (MPa.dm³/kg);

f_c = resistência a compressão mecânica (MPa);

ρ = massa específica (kg/dm³).

3.2 Análise dos Custos para a Realização do Trabalho

A Tabela 5 mostra o levantamento da quantidade total de materiais adquiridos para a realização dos corpos de prova cilíndricos deste trabalho.

Observa-se que não foram considerados os custos com mão de obra para a elaboração das formas e para utilização dos equipamentos.

TABELA 5 – Tabela orçamentária dos materiais utilizados nos corpos de prova.

Material	Qtd.	Unid.	Fornecedor 1	Fornecedor 2
Cimento CP II Z (50kg)	1	saco	R\$ 23,00	R\$ 25,00
Areia lavada	1	m ³	R\$ 75,00	R\$ 80,00
Brita 1	1	m ³	R\$ 80,00	R\$ 95,00
Argila Expandida	2	kg	R\$ 28,00	R\$ 35,00
Pérolas de EPS	1	kg	R\$ 89,90	R\$ 110,00
		Total	R\$ 295,90	R\$ 345,00

Fonte: O autor, 2019.

Sendo assim, foi gerado um gasto total de R\$ 295,90 para a realização desta pesquisa, porém, a faculdade forneceu os materiais base do concreto e foram comprados apenas a argila expandida e o EPS, ou seja, gastou-se apenas R\$ 117,90. Observa-se que estes não são encontrados em pequenas quantidades.

RESULTADOS

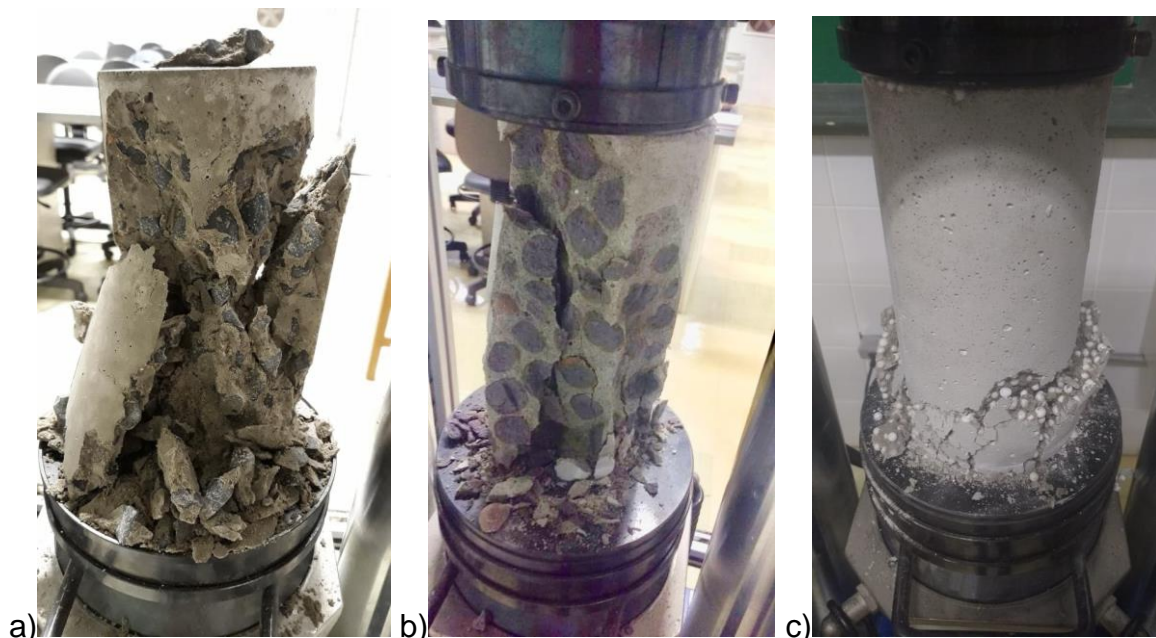
4.1 Ensaio de Absorção de Água

Foi proposto este ensaio para verificar qual o índice que os concretos absorvem de água, mas devido à uma falha na estufa da Instituição e a não ocorrência do conserto a tempo pela assistência técnica, não foi possível concluir este teste.

4.2 Ensaio de Compressão Axial

A princípio, realizou-se o ensaio de compressão axial dos corpos de prova cilíndricos de cada concreto. Na Figura 17 observa-se os concretos após rompimento. Logo na Tabela 6 apresenta-se os valores da carga máxima de compressão axial (kN) obtidos no teste.

FIGURA 17 – Corpos de prova após rompimento para a) CR, b) CA, e c) CE, respectivamente.



Fonte: O autor, 2019.

TABELA 6 – Valores obtidos pela prensa hidráulica no ensaio de compressão axial.

Carga máxima de compressão axial (kN)			
	CR	CA	CE
CP 1	93,49	79,30	20,51
CP 2	115,37	96,80	21,44
CP 3	103,04	74,62	22,02
Média	103,97	83,57	21,32

Fonte: O autor, 2019.

Como a prensa hidráulica apresenta resultados de carga em kN, utiliza-se destes para obter a resistência a compressão em MPa, a partir da Equação 03:

$$f_c = \frac{F}{\pi \times R^2} \quad (\text{Equação 03})$$

Onde:

f_c = resistência à compressão axial (MPa);

F = carga máxima apresentada pela prensa hidráulica (N);

π = aproximadamente 3,14;

R = raio do corpo de prova (mm).

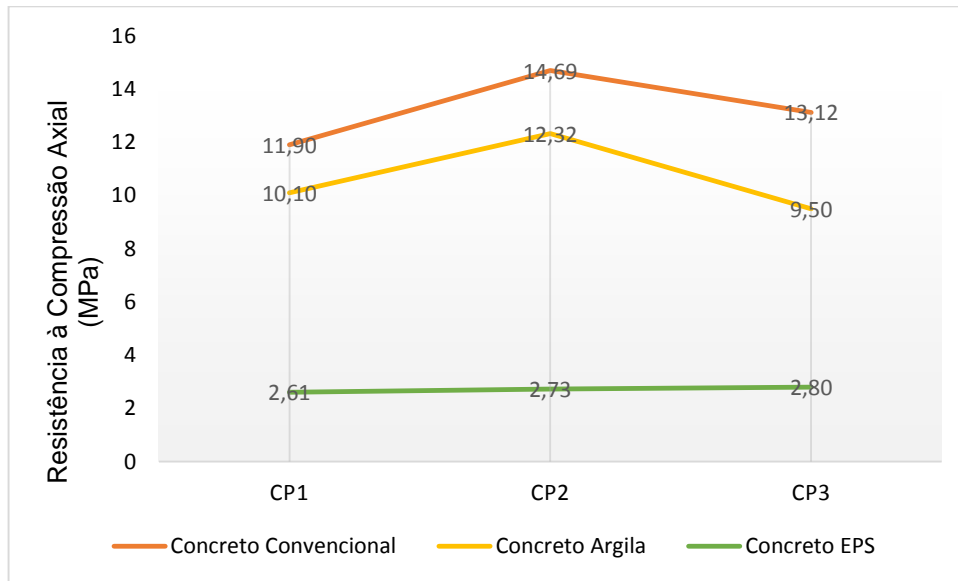
Assim, os valores calculados foram inseridos na Tabela 7, juntamente com o valor médio obtido pelas 3 amostras.

TABELA 7 – Valores em MPa da resistência à compressão axial para corpos de prova cilíndricos.

Resistência à Compressão Axial (MPa)			
	CR	CA	CE
CP 1	11,90	10,10	2,61
CP 2	14,69	12,32	2,73
CP 3	13,12	9,50	2,80
Média	13,24	10,64	2,71

Fonte: O autor, 2019.

A partir dessa tabela, obtém-se o Gráfico 01, para melhor visualização dos resultados.

GRÁFICO 1 – Resultado da resistência à compressão axial dos corpos de prova.

Fonte: O autor, 2019.

Ao analisar o comportamento dos concretos, nenhum atingiu a resistência mínima de 20 Mpa, sendo as possíveis causas qualidade dos materiais, relação água/cimento, falta de capeamento do corpo de prova, desalinhamento do corpo de prova na prensa hidráulica ou traço incorreto. Nota-se que o concreto com argila difere pouca resistência à compressão, se comparado à brita; enquanto o EPS oferece uma redução muito significativa desta.

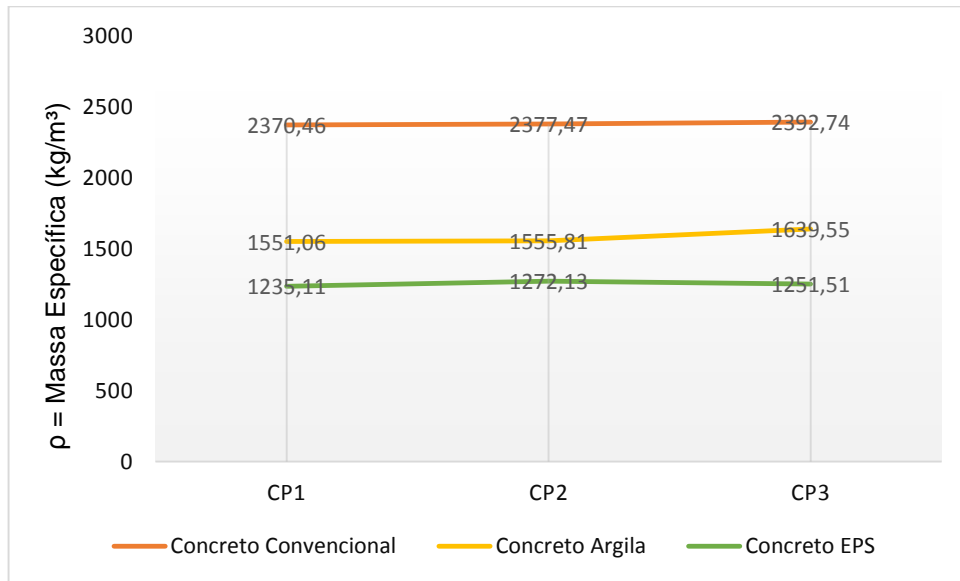
4.3 Massa Específica

Realizou-se a pesagem dos corpos de prova antes do ensaio à compressão, e partindo-se de um volume único para todos estes, obteve-se as seguintes massas específicas, detalhadas na Tabela 8 e Gráfico 2.

TABELA 8 – Valores da massa específica dos corpos de prova.

Massa Específica (kg/m³)			
	CR	CA	CE
CP 1	2370,46	1551,06	1235,11
CP 2	2377,47	1555,81	1271,13
CP 3	2392,74	1639,55	1251,51
Média	2380,22	1600,29	1252,58

Fonte: O autor, 2019.

GRÁFICO 2 – Resultado da massa específica dos corpos de prova.

Fonte: O autor, 2019.

As amostras possuem pouca variação para cada tipo de concreto, ou seja, a quantidade de materiais em cada corpo de prova se manteve constante.

4.4 Fator de Eficiência

Conforme as médias de valores obtidos em resistência a compressão axial e da massa específica, obtém-se os seguintes valores conforme Tabela 9:

TABELA 9 – Valores do fator de eficiência ($\text{MPa}\cdot\text{dm}^3/\text{kg}$).

Fator de Eficiência ($\text{MPa}\cdot\text{dm}^3/\text{kg}$).			
Tipo	CR	CA	CE
Média	5,56	6,65	2,16

Fonte: O autor, 2019.

Percebe-se que o concreto leve com argila expandida tem o maior valor de eficiência, cerca de 16% maior que o concreto referência; pois apesar do concreto convencional possuir a maior resistência mecânica, este apresenta uma redução significativa da massa específica. Tratando-se do concreto com EPS, mesmo este apresentando a menor massa específica, possui baixíssima resistência, fator que leva este a ser o menos eficiente, cerca de 61% menor que o convencional e 67% que o com argila.

5 CONCLUSÕES

Conforme os resultados do ensaio de compressão axial, pode-se concluir que nenhum dos concretos atingiu a resistência de 20 MPa para fins estruturais. Tratando-se de comparação de média de resultados, afirma-se que os concretos leves tiveram resistência menor que o concreto convencional, cerca de 20% a menos para o concreto com argila expandida e 79% a menos para o concreto com pérolas de EPS, justificando-se pela menor interação entre pasta de cimento e agregado.

O concreto leve ainda possui a vantagem da redução da massa específica, que é uma das características almejadas para reduzir esforços na estrutura. Os concretos com argila e isopor produzidos neste experimento enquadram-se como leve, pois atingem massa específica abaixo de 2000 kg/m³. O concreto com argila apresentou redução de 33%, e com EPS reduziu 47%, se comparado ao concreto referência.

A análise do fator de eficiência possui um resultado mais significativo, do que somente a comparação da resistência à compressão axial, portanto, o concreto com argila torna-se mais vantajoso.

Conclui-se, que o concreto leve pode ser utilizado para fins não estruturais, como contrapiso, reboco, elementos de vedação e isolamento térmico e acústico.

O referente trabalho trata-se de agregados analisados separadamente, sugerindo para futuros estudos, testá-los juntos, com novos traços, tendo como opção efetivar-se a impermeabilização dos agregados, além de realizar outros ensaios como, por exemplo, módulo de elasticidade e isolamento térmico.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A. C. **Planeta plástico: tudo o que precisa saber sobre plásticos**. Porto Alegre: Sagra Luzatto, 2001.

ANDRADE, J. J. O. **Propriedades dos polímeros**. In: Concreto: ensino, pesquisas e realizações. São Paulo: IBRACON, 2010, vol. 2, cap. 43. p. 1323-1350.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005 (Versão Corrigida 2:2009).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9935**. Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 67**. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

CATOIA, Thiago. **Concreto ultraleve estrutural com pérolas de EPS: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes**. 2012. 154. F. Tese apresentada para obtenção de título de Doutor em Engenharia Civil (Área Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CINEXPAN - **Indústria E Comercio De Argila Expandida Ltda**. Disponível em <<https://www.cinexpan.com.br/argila-expandida-cinexpan.html>>. Acesso: em 27 mar. 2019.

FUSCO, Péricles Brasiliense; ONISHI, Minoru. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto**. 1. Ed. Cengage Learning, 2017.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 2 ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

MORAVIA, W. G.; OLIVEIRA C. A. S.; GUMIERI A. G.; VASCONCELOS W. L. **Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve**. Revista Cerâmica, v.52, p. 193-199, 2006.

NEVILLE, A. M., **Propriedades do Concreto**. 5 ed. São Paulo: Bookman, 2016.

PEREIRA, Maurício Rodrigues. **Estudo da adição de argila expandida na formulação de concretos leves**. 2008. 85. F. Dissertação de Mestrado – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

ROSSIGNOLO, João A.; AGNESINI, Marcos V.C. **Concreto estrutural leve**. In: Concreto: ensino, pesquisas e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005, vol. 2, cap. 43. p. 1333-1362.

VARGAS, Vanessa Cardoso de. **Concreto Leve: Estudo de Dosagens substituindo o agregado graúdo convencional pela argila expandida**. 2018. 80. F Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Alto Vale do Rio do Peixe, Caçador, 2018.