

**Medição da condutividade térmica em concreto leve produzido com  
resíduo de pedra basáltica**

**Cláudio Nelson Mateus Lucas**

Mestrando PPGARQ, UNESP, Brasil  
mateus.lucas@unesp.br

**Maximiliano dos Anjos Azambuja**

Professor Doutor PPGARQ, UNESP, Brasil  
m.azambuja@unesp.br

**Vicente Luiz Scalon**

Professor Doutor PPGEM, UNESP, Brasil  
scalon@feb.unesp.br

## RESUMO

Com o avanço de tecnologias de produção do concreto tais como desenvolvimento de aditivos, utilização de diferentes agregados, métodos de dosagem, equipamentos de mistura e aplicação, contribuíram no surgimento de concretos com características especiais, como é o caso dos concretos leves. Frente ao exposto, a presente pesquisa dá continuidade aos estudos experimentais de concretos leves estruturais com argila expandida (agregado graúdo) elaborados por Lucas e Azambuja (2020). Essa pesquisa apresenta os resultados de propriedades mecânicas em idades mais avançadas, de 28 dias a 214 dias para os Traço 1 (AN100%) e Traço 2 (AB20%) em comparação aos resultados de 7 dias de idade, entretanto, a principal contribuição foi a medição da condutividade térmica com construção de um protótipo de baixo custo em conformidade com a NBR 15220-4:2005, por meio do método de placa quente protegida. Os resultados apresentaram valores de resistência à compressão, como mínimo de 17,8 MPa aos 7 dias de idade e como máximo de 28,6 MPa aos 214 dias, valores estes acima de 17 MPa estabelecido pela NBR NM 35:1995 aos 28 dias, assim como também a resistência à tração por compressão diametral, que também apresentou valores que serviram como base para o enquadramento do concreto como leve e estrutural. A avaliação da condutividade térmica foi por meio da placa quente (Hot Plate), na qual os resultados apresentaram-se satisfatórios entre 0,44 e 0,71 W/(m.k), valores apropriados para dar resposta à questão do desempenho térmico, assim como também que cumprem com o estabelecido pela ABNT NBR 15220-2:2008.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto leve. Argila Expandida. Areia de Britagem.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com ACI 213R-87 os concretos leves podem ser elaborados através da substituição parcial ou total dos agregados convencionais e devem apresentar massa específica no estado endurecido entre 1.400 a 2.000 kg/m<sup>3</sup>. A principal característica do concreto leve é sua massa específica reduzida em comparação ao concreto convencional. O desempenho térmico e acústico de concretos leves é influenciado pelos agregados leves utilizados em sua produção (ANGELIN *et al.*, 2017); (DÍAZ *et al.*, 2010).

Este artigo dá continuidade da pesquisa realizada por Lucas e Azambuja (2020) que avaliaram as propriedades mecânicas de concreto leve produzido com argila expandida com substituição parcial de 20% de areia natural pela areia de britagem, com aditivo plastificante. Na qual foram produzidos dois traços, o primeiro Traço 1 de referência (AN100%) e o segundo Traço 2 com a substituição de 20% da areia natural por areia de britagem (AB20%). Avaliaram-se corpos de prova com 7 dias de idade. Nesta idade, os resultados mostraram que a substituição de 20% da areia natural pela areia de britagem provocaram redução de 6% da resistência à tração por compressão diametral e um acréscimo de 9% da resistência à compressão em relação ao Traço 1 que não contém areia de britagem. Os valores de massa específica no estado endurecido foram para o Traço 1 e Traço 2 de 1.612 kg/m<sup>3</sup> e 1.570 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Entretanto, o Traço 2 com areia de britagem apresentou resultados adequados para produção de concretos leves com resistência à compressão axial de 19,5MPa aos 7 dias de idade, valor superior ao mínimo de 17MPa, aos 28 dias, estabelecido para concretos leves estruturais na NBR NM 35, 1995.

O concreto leve produzido por Lucas e Azambuja (2020) atende aos requisitos ACI 213R-87 quanto ao parâmetro de massa específica no estado endurecido. Entretanto, existe a necessidade de investigar suas propriedades mecânicas em idades mais avançadas, além de mensurar sua condutividade térmica. Esses dados podem contribuir para o conhecimento científico sobre o concreto leve produzido.

A condutividade térmica é uma medida caracterizada pela capacidade que um material tem de conduzir certa quantidade de calor através de uma espessura unitária, em virtude de um gradiente de temperatura, sob determinadas condições. Estudos anteriores indicam que a massa específica, a forma dos agregados e o teor de umidade determinam as propriedades do concreto e produzem influência sobre sua condutividade térmica (MYDIN; WANG, 2011; SERRI *et al.*, 2014).

Diante deste cenário, a indústria da construção civil vem desenvolvendo cada vez mais estudos referentes às propriedades térmicas dos materiais usados na elaboração dos concretos. As normas de desempenho térmico têm como propósito aperfeiçoar a qualidade necessária nos elementos cimentícios de acordo com o estabelecido para avaliação destas propriedades (DÍAZ *et al.*, 2010; ANGELIN, 2014).

Segundo Sacht *et al.* (2010), ao avaliarem a condutividade do concreto leve através do método do fio quente paralelo, foram alcançados valores de condutividade térmica e massa específica variando entre 1,8 W/(m.k) a 0,54 W/(m.k) e 2.364 kg/m<sup>3</sup> a 1.216 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Estudos recentes feitos por Angelin (2014), referem também que a ABNT NBR 15220:2005 descreve a realização de ensaios de condutividade térmica através do método da placa quente protegida, alcançando valores de condutividade térmica e massa específica de 0,61 W/(m.k) e 1.687 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

AHMAD e CHEN (2019) avaliaram as propriedades térmicas de concreto leve espumado produzido com adição de argila expandida e sílica ativa, através do fio quente paralelo, alcançando valores máximos de condutividade térmica e massa específica de 0,92 W/(m.k) e 1.578 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

A ABNT NBR 15220-2:2008, no seu item B.3, estabelece os valores de condutividade térmica, assim como também a relação destes valores de acordo com a massa específica, conforme transcrito na Tabela 1.

**Tabela 1:** Propriedades térmicas de concretos leves

<b>Massa Específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Condutividade Térmica W/(m.k)</b>
2.200 – 2.400	1,75
1.600 – 1.800	1,05
1.400 – 1.600	0,85
1.200 – 1.400	0,70
1.000 – 1.200	0,46

Fonte: ABNT NBR (2008)

Frente ao exposto, a presente pesquisa dá continuidade aos estudos experimentais de concretos leves estruturais com argila expandida (agregado graúdo) elaborados por Lucas e Azambuja (2020). Essa pesquisa apresenta os resultados de propriedades mecânicas em idades mais avançadas, de 28 dias e 7 meses (214 dias) para os Traço 1 (AN100%) e Traço 2 (AB20%) em comparação aos resultados de 7 dias de idade, entretanto, a principal contribuição foi a medição da condutividade térmica com construção de um protótipo de baixo custo em conformidade com a NBR 15220-4:2005, por meio do método de placa quente protegida.

## 2. OBJETIVOS

Esta pesquisa dá continuidade aos estudos experimentais para avaliação de propriedades mecânicas de concreto leve, no momento atual, em idades mais avançadas e desenvolve em especial um protótipo de baixo custo para medição da condutividade térmica pelo método de placa quente protegida.

## 3. METODOLOGIA

O método utilizado na produção dos concretos leves estruturais nesta pesquisa foi de acordo com as prescrições do IPT/USP (Instituto de Pesquisa Tecnológica) e pelo método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). A dosagem e os ensaios foram realizados no Laboratório de Construção Civil da UNESP/FEB/DEC. Os ensaios realizados foram no concreto no estado fresco (*slump test*) e no estado endurecido (resistência à tração diametral, resistência à compressão axial e medição da condutividade térmica) embasados nas normas brasileiras descritas a seguir.

A determinação dos valores de resistência à tração por compressão diametral seguiu as prescrições da ABNT NBR 7222:2011 e resistência à compressão axial de acordo com a ABNT NBR 5739:2007, em seis corpos de prova cilíndricos de 100mm de diâmetro e 200mm de altura para cada traço estudado, nas idades de 28 dias e 214 dias (7 meses). É importante destacar que a dosagem do concreto ocorreu no dia 25 de setembro de 2020, época, referente aos estudos realizados por Lucas e Azambuja (2020) em números de corpos de prova suficientes para uma avaliação futura em idades mais avançadas. Neste estudo, os ensaios para avaliação das propriedades mecânicas ocorreram no dia 26 de abril de 2021, razão dos 214 dias.

A condutividade térmica foi avaliada de acordo com as prescrições da ABNT NBR 15220-4:2005, em dois corpos de prova de concreto idênticos com dimensões de 320mm x 320mm de largura, com espessura de 50mm, aos 28 dias de idade, para os traços  $T_1$  (AN100%) e  $T_2$  (AB20%).

### 3.1 MATERIAIS

Foram utilizados os seguintes materiais para dosagem do concreto leve: cimento Portland CII-F-32, agregados miúdos (areia natural e areia de britagem), argila expandida (agregado graúdo) e aditivo plastificante em dois traços diferentes:  $T_1$  (AN100%) de 1:0, 47:1, 25:0,38 e  $T_2$  (AB20%) de 1:0, 59:0, 42:1, 25:0,45. Utilizou-se na dosagem aditivo plastificante na proporção de 1,5% em relação ao peso do cimento (Lucas e Azambuja, 2020).

Para medição da condutividade térmica utilizou-se as recomendações prescritas na NBR 15220-4:2005. A determinação da condutividade térmica por este método envolve a medição do gradiente de temperatura médio estabelecido sobre o corpo de prova, a partir de um certo fluxo de calor e em condições de regime permanente. Estabelece que a placa quente possa ser quadrada com lado de pelo menos 200mm, ainda, a razão entre a largura do anel de guarda e a dimensão da placa quente deve se situar entre 1:4 a 1:6.

A partir dos dados apontados no texto normativo iniciou-se um estudo de viabilidade técnica de construção de um protótipo de baixo custo para medição da condutividade térmica em laboratório. Para isso foi necessário encontrar os insumos essenciais para elaboração do

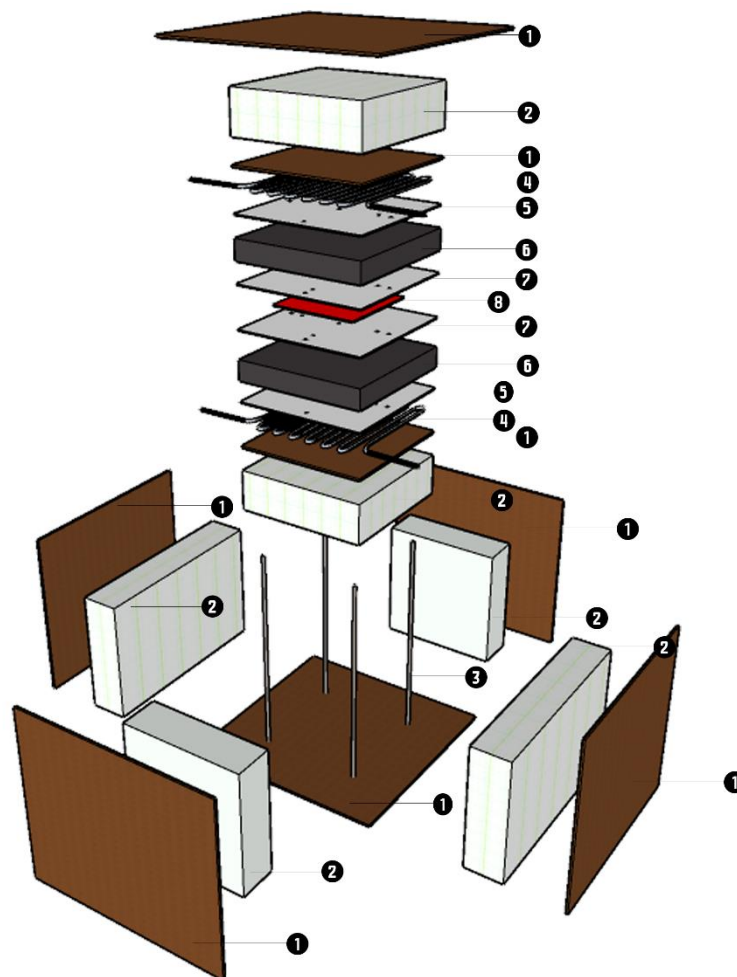
protótipo tais como: placa aquecedora, sensor de temperatura, isolante térmico e sistema para leitura de dados.

Após pesquisas, definiu-se que a mesa aquecida utilizada em impressoras 3D que servem como base aquecida para a criação das peças por meio dos filamentos expelidos pelo bico extrusor, mesa aquecida MK2B PCB, com dimensões 210mm x 210mm, por atender os requisitos estabelecidos pela NBR 15220-4:2005.

A dimensão dos corpos de prova, para medição da condutividade térmica, foi definida respeitando a razão entre a largura do anel de guarda e a mesa aquecida. Portanto, foram fabricados corpos de prova de 320mm x 320mm, com espessuras de 50mm.

Na Figura 1 apresenta-se um esquema de montagem do protótipo e suas partes.

**Figura 1:** Esquema do conjunto para medição da condutividade térmica.



- 1- Placas de compensado plastificado Poliestireno (base isolante)
- 2- Força de aprisionamento (barras roscadas)
- 3- Serpentina de alumínio
- 4- Placa de alumínio (disposição do sensor na placa fria)
- 5- Corpos de prova (concreto)
- 6- Placa de alumínio (disposição do sensor na placa quente)
- 7- Placa aquecedora (MK2B PCB)

Fonte: AUTORES (2021)

Conforme ilustrado na Figura 1, dois corpos de prova de concreto leve, idênticos, com superfícies planas e paralelas, são dispostos horizontalmente em cada lado da PLACA QUENTE CENTRAL [(é formada pelo conjunto: Placa de alumínio + Placa aquecedora (MK2B PCB) + Placa de alumínio)] e colocados entre as duas placas frias isotérmicas [(são formadas pelo conjunto: Placa de alumínio + Serpentina de alumínio)]

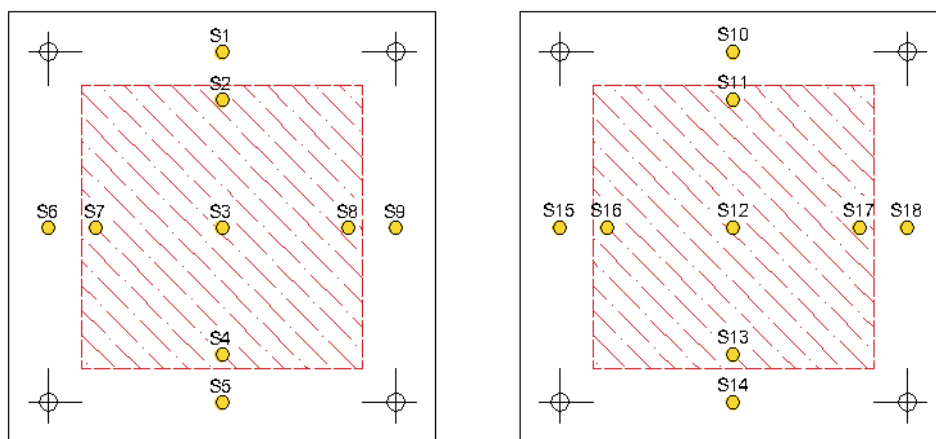
Para a medição de temperatura, conforme estabelecido na ABNT NBR 15220-4:2005, são dispostos sensores termopares nas placas quente e nas placas frias. Utilizou-se sensores de temperatura DS18B20, produzido pela empresa Dallas, por medir temperaturas entre -55 °C e 125 °C, com uma precisão de cerca de 0,5°C na faixa de -10 °C e +85 °C. A resolução programável é de 9 a 12 bits.

De acordo com o fabricante, o sensor se conecta a outro dispositivo por meio da comunicação onewire, o que quer dizer que vários dados poderão ser transmitidos através de um único conector identificado pela sigla DQ. Outros dois conectores do sensor são utilizados para alimentação que são o ground (GND) e 5V (VCC). É recomendável que se utilize a ligação de um resistor de 4,7 kΩ entre a fonte de alimentação 5V e o pino DQ.

Este sensor é peculiar, pois é possível conectar vários sensores DS18B20 ao conector (único cabo), porque cada sensor contém um código único de 64 bits que identifica de qual deles provém o sinal.

Nas placas quentes os sensores de temperatura foram posicionados conforme a Figura 2.

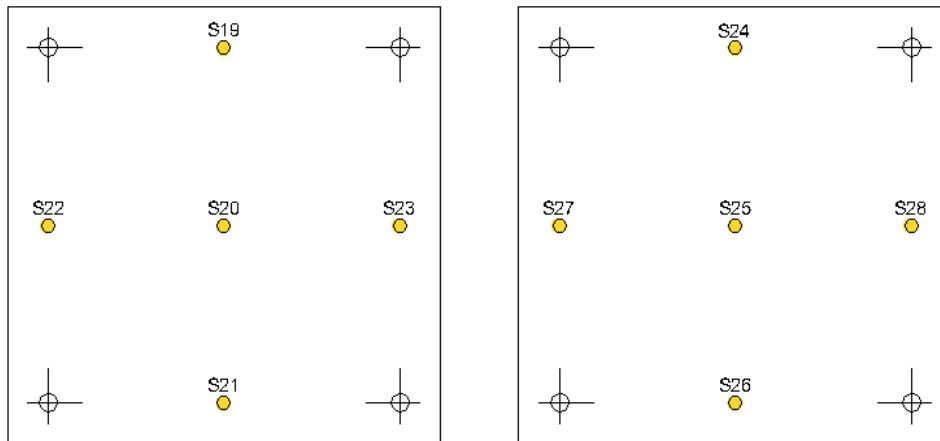
**Figura 2:** Disposição dos sensores de temperatura na placa quente.



Fonte: AUTORES (2021)

A quantidade e disposição de sensores colocados nas superfícies de cada placa são idênticas àquelas utilizadas na seção central da placa quente (Figura 3). Para colocação dos sensores foram feitos pequenos orifícios e ranhuras sobre a superfície da placa para passagem dos cabos conectados aos sensores de temperatura, depois todas as ranhuras foram preenchidos com pasta térmica.

**Figura 3:** Disposição dos sensores na placa fria

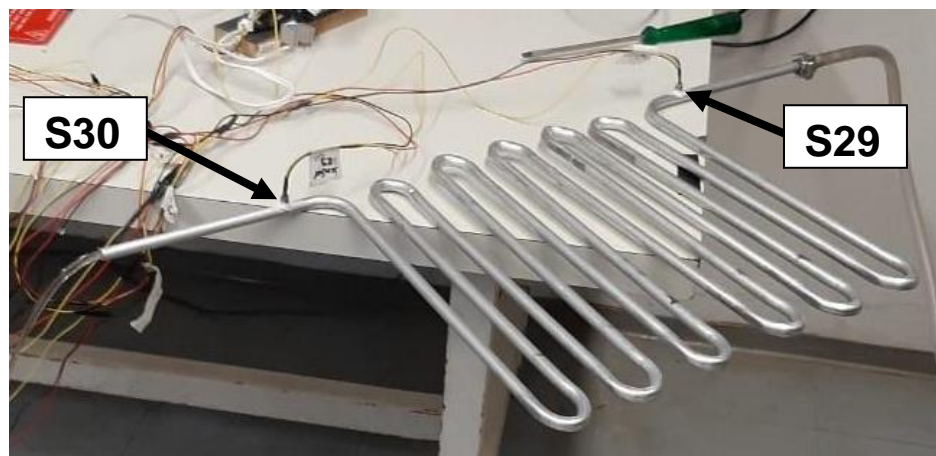


Fonte: AUTORES (2021)

Para passagem do fluido de refrigeração na placa fria, foi utilizada serpentina de alumínio (Figura 4), para entrada e saída da água. Essa serpentina foi construída por meio da dobra do tubo de alumínio com aquecimento por maçarico e com uso de um curvador de tubos e sargentos e/ou grampos. Deve-se ter cuidado nesta operação para evitar o rompimento da tubulação.

Foram colocados dois sensores de temperatura na serpentina para leitura de entrada e saída de água, onde S29 é o sensor de entrada de água e S30 o de saída.

**Figura 4:** Serpentina para entrada e saída de água



Fonte: AUTORES (2021)

O equipamento foi isolado em toda sua extensão com poliestireno expandido, EPS (Expanded Polystyrene), de 10 cm de espessura, para evitar trocas de temperatura com o meio externo, conforme ilustra a Figura 5, conforme recomendações da NBR 15220:2005.



**Figura 5:** Protótipo para medição da condutividade térmica.



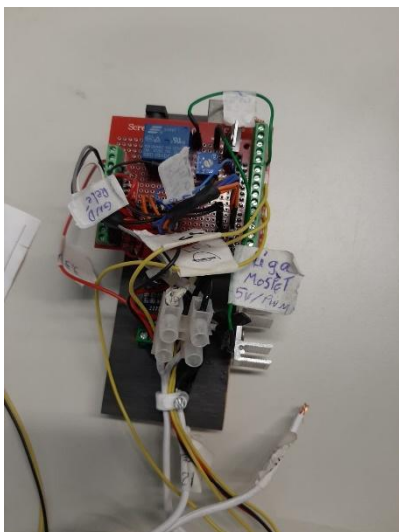
Fonte: AUTORES (2021)

Para a leitura de temperatura é necessário utilizar-se sensores Dallas conectados a uma placa microcontroladora Arduino UNO (Figura 6) baseada no chip ATmega328. Esta placa possui 14 pinos digitais I/O, 6 entradas digitais, um cristal oscilador de 16 MHz, uma conexão USB, conector de energia, barramento ICSP e um botão de reset (RODRIGO, 2017).

Foi desenvolvida a programação que está inserida no Arduino UNO, possibilitando a realização das medições de temperaturas com o sensor Dallas DS18B20.

Foram inseridas as duas bibliotecas (Onewire e Dallas Temperature), permitindo a interação entre o sensor DS18B20 com o Arduino UNO.

**Figura 6:** Placa Arduino UNO



Fonte: AUTORES (2021)

**Figura 7:** Fonte elétrica



Fonte: AUTORES (2021)

Por se tratar de montagem de um equipamento que envolve programação e com sistema eletrônicos, como as linguagens utilizadas para reconhecimento dos sensores.



Os principais insumos do protótipo para medição da condutividade térmica, montado no laboratório, e seus preços unitários, cotados em 19 de maio de 2021, são apresentados no quadro 1:

**Quadro 1: Custo dos principais insumos**

Principais insumos	Quantidades	R\$ (unitário)	Custo (R\$)
Compensado Plastificado 25mm 2,20x1,10 Preto	1	175,00	175,00
Poliestireno expandido (EPS) 100cm x 50cm x 10cm	2	30,00	60,00
Barras Roscadas 3/8 Zincada 1 metro + 2 Porcas e 2 Arruelas	4	10,00	40,00
Tubo Redondo Alumínio 1/2"x1/16" (6 metros) para serpentina	1	15,00	15,00
Placas de alumínio (320mmx320mmx6,35mm)	4	82,50	330,00
Placa aquecedora (MK2B PCB)	1	66,00	66,00
Sensores Temperatura Dallas DS18B20	32	10,00	320,00
Cabo Manga 4 Vias (50 metros)	1	50,00	50,00
Placa de Arduino	1	90,00	90,00
Fonte de Energia (12V)	1	154,00	154,00
<b>Total</b>			<b>1.300,00</b>

Fonte: AUTORES (2021)

A montagem do equipamento foi ajustada para evitar erros de medição das temperaturas por fatores externos ou internos não previstos no seu desenvolvimento.

A avaliação da condutividade térmica foi realizada em dois corpos de prova de concreto idênticos, polidos com esmerilhadeira elétrica com lixa rebolo (gramatura 120), aos 28 dias de idade, para os traços  $T_1$  (AN<sub>100%</sub>) e  $T_2$  (AB<sub>20%</sub>). A Figura 8 ilustra um corpo de prova polido com dimensões de 320mm x 320mm e 50mm de espessura.

**Figura 8:** Corpo de prova de concreto polido



Fonte: AUTORES (2021)

Para a medida da condutividade térmica foi construído um dispositivo simétrico utilizando uma placa aquecedora central e dois dissipadores nas outras extremidades. Para a determinação da condutividade térmica é necessário identificar o fluxo de calor atravessando o

bloco e as temperaturas em sua extremidade, de modo que deve ser determinada com seguinte expressão:

$$k_a = L_a \frac{q''}{T_q - T_f} = L_a \frac{(q/A)}{T_q - T_f}$$

Em que:

$k_a$  é a condutividade térmica da amostra

$L_a$  é a espessura do concreto

$q'' = q/A$  é o fluxo de calor cruzando a amostra

$T_q$  e  $T_f$  são as medidas das temperaturas nas placas quente e fria, respectivamente.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados resistência à tração por compressão diametral, resistência à compressão axial e de condutividade térmica do concreto leve produzido com resíduo de pedra basáltica.

##### 4.1. Resistência à tração compressão diametral

Os resultados de resistência à tração por compressão diametral foram determinados nas idades de 28 dias e 7 meses (214 dias). A tabela 2 apresenta os resultados dos traços 1 e 2. Ressalta-se que são apresentados os resultados na idade de 7 dias conforme Lucas e Azambuja (2020).

Tabela 2: Determinação da Resistência à Tração por compressão diametral

	T <sub>1</sub> (AN100%)			T <sub>2</sub> (AB20%)		
	7 dias <sup>(1)</sup> f <sub>c0,7d</sub> (MPa)	28 dias <sup>(2)</sup> f <sub>c0,28d</sub> (MPa)	214 dias <sup>(2)</sup> f <sub>c0,214d</sub> (MPa)	7 dias <sup>(1)</sup> f <sub>c0,7d</sub> (MPa)	28 dias <sup>(2)</sup> f <sub>c0,28d</sub> (MPa)	214 dias <sup>(2)</sup> f <sub>c,0214d</sub> (MPa)
<b>Média</b>	<b>1,86</b>	<b>2,16</b>	<b>2,50</b>	<b>1,71</b>	<b>2,13</b>	<b>2,60</b>
Desvio Padrão (S)	4,7	2,8	5,27	1,6	2,2	4,25
Coeficiente (%)	25,3	13,3	21,07	9,3	10,1	16,08
Valor mínimo	13,5	17,1	15,16	14,6	19,0	20,74
Valor Máximo	25	25,2	29,26	19,2	25,1	31,09

Fonte: <sup>(1)</sup>Lucas e Azambuja (2020); <sup>(2)</sup>AUTORES (2021)

Como se pode observar nos dois traços estudados, os valores alcançados tanto aos 28 dias como aos 214 dias foram maiores que 2 MPa, valor mínimo de resistência a tração estabelecido pela ABNT NBR 7222:2011. Como se pode observar que entre o T1(AN100%) e o T2(AB20%) não há diferenças significativas nos resultados da resistência a tração, isso quer dizer que a influência de 20% de areia britagem apresentou ser eficiente.

##### 4.2. Resistência à compressão axial

Os resultados de resistência à compressão axial foram determinados nas idades de 28 e 7 meses (214 dias). A tabela 3 apresenta os resultados de resistência à compressão axial e a resistência à compressão característica dos traços estudados. Destaca-se que são apresentados os resultados na idade de 7 dias conforme Lucas e Azambuja (2020).

**Tabela 3: Determinação da Resistência à compressão axial**

	<b>T<sub>1</sub> (AN100%)</b>			<b>T<sub>2</sub> (AB20%)</b>		
	7 dias <sup>(1)</sup> f <sub>c,7d</sub> (MPa)	28 dias <sup>(2)</sup> f <sub>c,28d</sub> (MPa)	214 dias <sup>(2)</sup> f <sub>c,214d</sub> (MPa)	7 dias <sup>(1)</sup> f <sub>c,7d</sub> (MPa)	28 dias <sup>(2)</sup> f <sub>c,28d</sub> (MPa)	214 dias <sup>(2)</sup> f <sub>c,214d</sub> (MPa)
<b>Média</b>	<b>23,1</b>	<b>25,5</b>	<b>31,3</b>	<b>22,5</b>	<b>24,3</b>	<b>27,3</b>
Desvio Padrão (S)	3,2	1,5	1,6	1,8	1,9	1,9
Coeficiente (%)	14,1	6,1	5,2	7,9	7,8	7,1
Valor mínimo	19,4	23,1	29,5	20,8	21,1	25,3
Valor Máximo	26,5	27,6	33,3	25,3	26	29,3
Resistência a compressão axial característica - f <sub>ck</sub> (MPa)						
	<b>17,8</b>	<b>23</b>	<b>28,6</b>	<b>19,5</b>	<b>21,1</b>	<b>23,8</b>

Fonte: <sup>(1)</sup> Lucas e Azambuja (2020); <sup>(2)</sup>AUTORES (2021)

A resistência à compressão axial característica, apresentada na Tabela 3, foi determinada pela seguinte expressão:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65SD$$

Em que:

**f<sub>ck</sub>** é a resistência à compressão característica

**f<sub>cm</sub>** é a resistência média à compressão

**SD** é o desvio padrão

A NBR NM 35 (1995), item 4.3.1.1., estabelece o valor mínimo de 17 MPa para resistência à compressão axial aos 28 dias. Observa-se que os Traços T1(AN100%) e Traço 2 (AB20%) obtiveram resultados superiores ao recomendado pelo texto normativo.

Se pode observar que houve uma redução da resistência em 16% entre o T1(AN100%) e o T2(AB20%), entretanto isto sucede devido a diferença entre as massa específicas, isso quer dizer que quanto maior for massa específica do concreto, maior será sua resistência, aspecto observado por diversos pesquisadores como, Shafigh *et al* (2018), com valores de resistências a compressão e massa específica de 22 a 27 MPa e 1.640 a 1.770 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, Moravia *et al* (2010) na qual obtiveram valores de resistência à compressão e massa específica de 17,6 a 33 MPa e 1.571 a 1.652 kg/m<sup>3</sup> respectivamente e Oliveira *et al* (2011) com resistência e massa específica variando entre 17,7 a 22,4 MPa e 1.267 a 1.442 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

### 4.3. Condutividade Térmica

Os resultados alcançados para a condutividade térmica são apresentados na Tabela 5, assim como suas respectivas massas específicas.

**Tabela 5: Resultado da Condutividade térmica e massa específica**

Traços	Condutividade Térmica (W/m.k)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
<b>T<sub>1</sub> (AN100%)</b>	0,71	1.612
<b>T<sub>2</sub> (AB20%)</b>	0,44	1.570

Fonte: AUOTRES (2021)

A NBR 15220-2:2008, no seu item B.3., indica para concreto leves com massa específica entre 1.600 a 1.800 kg/m<sup>3</sup> a condutividade de 1,05 W/(m.k) e com massa específica entre 1.400 a 1.600 kg/m<sup>3</sup> a condutividade térmica de 0,85 W/(m.k). Os concretos apresentaram valores de condutividade térmica aceitáveis por serem inferiores aos parâmetros estabelecidos pela

norma. Para o T1 (AN100%) a condutividade térmica foi menor em um 33% em relação ao estabelecido pela norma, enquanto que para o T2 foi de 49%.

Ainda, são coerentes aos resultados apresentados pelos pesquisadores Sacht *et al.* (2010) com valores de condutividade térmica e massa específica até 1,8 W/(m.k) e 2.364 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, Angelin (2014) com valor de condutividade térmica e massa específica de 0,61 W/(m.k) e 1.687 kg/m<sup>3</sup> respectivamente e Ahmad e Chen (2019) que alcançaram valores de condutividade térmica e massa específica de 0,92 W/(m.k) e 1.578 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

## 5. CONCLUSÃO

Este artigo com já antes mencionado, deu continuidade aos estudos experimentais de concretos leves estruturais com argila expandida (agregado graúdo) elaborados por Lucas e Azambuja (2020). Os resultados demonstraram que a substituição da areia natural por 20% da areia de britagem provocou na redução significativa da resistência à compressão de aproximadamente 16%. Embora haja esta redução na resistência à compressão, a areia de britagem apresentou resultados satisfatórios para produção de concretos leves estruturais, pois os valores de resistência a compressão para todos os traços aos em todas as idades do concreto, superaram o valor mínimo de 17 MPa aos 28 dias, estabelecido pela NBR NM 35:1995.

Observou-se que a massa específica do T2 (AB20%) é menor a do T1 (AN100%) proporcionando resultado inferior de condutividade térmica. Os concretos apresentaram valores de condutividade térmica aceitáveis entre 0,44 e 0,71 W/(m.k), valores apropriados para dar resposta à questão do desempenho térmico, assim como também que cumprem com o estabelecido pela ABNT NBR 15220-2:2008.

## 6. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Instituto Nacional Angolano de Gestão de Bolsas de Estudos (INAGBE) pelo apoio financeiro e a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP – Campus de Bauru).

## 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABD ELRAHMAN, M., CHUNG, S.-Y., STEPHAN, D. Effect of different expanded aggregates on the properties of lightweight concrete. *Magazine of Concrete Research*, [S. l.], vol. 71, 2018.

ABDULAMEER, O. Assessment the thermal properties lightweight concrete produced by using local industrial waste materials. *MATEC Web of Conferences*, [S. l.], v. 162, 2018.

ABREU, F. de S. **Análise da Durabilidade de Concreto Leve de Argila Expandida com Camada Protetora Submetida a Meio Agressivo Ácido**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. **Guide for structural light weight aggregate concrete**. ACI 213R-87. USA, 1999.

ANGELIN, A. F. **Concreto leve estrutural: Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturas**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, 2014.

ANGELIN, A. F. **Análise dos Desempenhos Físicos, Mecânicos, Térmico Acústico da Microestrutura do Concreto Leve Autoadensável Emborrachado (CLAE)**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, 2018.

ANGELIN, A. F.; Lintz, R. C. C.; Barbosa, L. A. G. Uso da Argila Expandida e Sílica Ativa no Melhoramento dos Desempenhos Mecânicos, Físicos e Térmicos de Concretos Leves Estruturais. **Revista Matéria**, [S. l.], v. 22, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações- Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, 2008.

AQUINO, J. L. S. **Desenvolvimento de Compósitos de Matriz Cimentícia Utilizando Resíduos de Politereftalato de Etileno (Pet) e de Areia de Britagem na Produção de Concretos**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, 2013.

CHUNG, S.-Y. *et al.* Evaluation of the Effects of Crushed and Expanded Waste Glass Aggregates on the Material Properties of Lightweight Concrete Using Image-based Approaches. **Materials**, [S. l.], v. 10, 2017.

CINEXPAN. **Ficha Técnica da Argila Expandida**: Disponível em: <https://www.cinexpan.com.br/>. Acesso em 13 fev. 2021.

IBRAHIM, N.M. *et al.* Performance of lightweight foamed concrete with waste Clay brick as coarse aggregate. **ICESD**, [S. l.], p.497-501, Dubai, 2013.

JEONG, Y-W. *et al.* Experimental Evaluation of Thermal Performance and Durability of Thermally-Enhanced Concretos. **Applied Sciences**, v. 7, 2017.

JHATIAL, A.A. *et al.* Effect of Polypropylene Fibres on the Thermal Conductivity of Lightweight Foamed Concrete. **MATEC Web of Conferences**, v. 150, 2018.

LIU, M. Y. J. *et al.* Evaluation of Thermal Conductivity, Mechanical and Transport Properties of Lightweight Aggregate Foamed Geopolymer Concrete. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 72, p. 238-245, 2014.

LYRA, G. P. **Agregados Leves de Cerâmica Vermelha com Incorporação de Cinza do Bagaço de Cana-De-Açúcar Sinterizados em Fornos de Micro-ondas**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2019.

LUCAS, C. N. M.; AZAMBUJA, M. dos A. Análise experimental da resistência do concreto leve produzido com resíduo de pedra basáltica. **Revista Nacional e Gerenciamento de Cidades**, [S. l.], v. 8, n.66 p. 129-142, 2020.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª Edição, São Paulo, IBRACON, 2008.

MORAVIA, W. G. *et al.* Caracterização Microestrutural da Argila Expandida para Aplicação como Agregado em Concreto Estrutural Leve. **Cerâmica**, [S. l.], v. 52, p. 193-199, 2006.

MORAVIA, W. G.; GUMIERI, A. G.; VASCONCELOS, W. L. Fator de Eficiência e Módulo de Elasticidade do Concreto Leve com Argila Expandida. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, [S. l.], v. 3, p. 195-204, 2010.

MORAVIA, W.G. **Influência de parâmetros microestruturais na durabilidade do concreto leve produzido com argila expandida**. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

OLIVEIRA, A. de.; GARCIA, S. L. G.; CORDEIRO, G. C. Avaliação do Desempenho Estrutural em Serviço de Lajes Treliçadas Pré-moldadas de Concretos com Agregados Leves. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 37-45, 2011.

REAL, S. *et al.* Thermal Conductivity of Structural Lightweight Aggregate Concrete. **Magazine of Concrete Research**, [S. l.], v. 68, 2016.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M.V.C. **Retração por secagem dos concretos leves de alto desempenho modificados com polímero**. In: 43º Congresso Brasileiro do Concreto, Foz do Iguaçu, p.01-11, 2001.

ROSSIGNOLO, J.A.; AGNESINI, M.V.C. **Propriedades no estado fresco dos microconcretos leves de alto desempenho modificados com polímero – Estudo de caso**. In: IV Congresso de Engenharia Civil, Juiz de Fora, v.1, p.511-22, 2000.

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

ROSSIGNOLO, J.A. Módulo de deformação do concreto leve estrutural de alto desempenho. **Revista Minerva**, [S. l.], v.2, p.99-106, 2005.

SACHT, H.M.I.; ROSSIGNOLO, J.A.; SANTOS, W.N. Avaliação da Condutividade Térmica de Concretos Leves com Argila Expandida. **Revista Matéria**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 31-39, 2010.

SACHT, H. M.; ROSSIGNOLO, J. A.; SANTOS, W. N. Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida. **Revista Matéria**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 031-039, 2010.

SERRI, E.; MYDIN, M. A. O.; SULEIMAN, M. Z. Thermal Properties of Oil Palm Shell Lightweight Concrete with Different Mix Designs. **Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)**, [S. l.], v. 70:1, p. 155–159, 2014.

VERZEGNASSI, E. **Estudo das propriedades no estado fresco e endurecido do concreto leve autoadensável**. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, 2015.

VIEIRA, M.G. **Betões de elevado desempenho com agregados leves – Durabilidade e microestrutura**. Dissertação (mestrado)- Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2000.

VIERO, E. H. **Aplicação de Areia de Britagem de Rochas Basálticas na Fabricação de Concreto de Cimento Portland**. Dissertação (Mestrado) –Universidade de Caxias do Sul, 2010.

WANDERLEY, G. V. **Produção de Material para Enchimento Leve de Elementos das Edificações a partir da Mistura de Geopolímero com Argila Expandida**. Dissertação (Mestrado) –Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, 2018.