

Avaliação das propriedades físico-mecânicas e térmica em concretos leves produzidos com agregados reciclados

Cláudio Nelson Mateus Lucas
Maximiliano dos Anjos Azambuja

Como citar: LUCAS, Cláudio Nelson Mateus; AZAMBUJA, Maximiliano dos Anjos. Avaliação das propriedades físico-mecânicas e térmica em concretos leves produzidos com agregados reciclados *In:* VALENTIM, Marta Lígia Pomim; CASTRO, Rosane Michelli de; DANIEL, Niembo Maria; MANUEL, Damião de Almeida (org.). **Construindo ciência em cooperação internacional acadêmico-científica:** Brasil e Angola. Marília: Oficina Universitária; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2025. p.231-250. DOI: <https://doi.org/10.36311/2025.978-65-5954-570-4.p231-250>



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin derivados 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E TÉRMICA EM CONCRETOS LEVES PRODUZIDOS COM AGREGADOS RECICLADOS

Cláudio Nelson Mateus Lucas

Maximiliano dos Anjos Azambuja

1 INTRODUÇÃO

O concreto teve seu surgimento no final do século XIX, e desde então tem sido um dos materiais mais usados pelo homem e tem revolucionado a forma de construir. Até finais dos anos 1970, o concreto era apenas a mistura de cimento, água e agregados simples, entretanto com os avanços tecnológicos e as exigências no sector construtivo aos poucos foi sendo modificado a partir da incorporação de novos materiais como agregado (Helene; Andrade, 2007; Rossignolo, 2009).

O uso de novos agregados tem proporcionado o surgimento de concretos especiais, entre eles podemos citar os concretos leves, que apresentam massa específica reduzida e apresentam melhor desempenho térmico e acústico em relação aos concretos convencionais (Helmy, 2016; Rossignolo, 2009; Wanderley, 2018). Segundo o 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 e 2.000 kg/m³.

Vários são os estudos que têm utilizado uma vasta diversidade de agregados leves para elaboração de concretos, dentre eles podemos destacar a cinza volante, resíduo de construção civil (RCC), vidro triturado, casca de dendê triturada, poliestireno expandido (EPS), fibra de polipropileno, argila expandida (Ahmad; Chen, 2019; Borhan, 2015; Chung *et al.*, 2017; Habsya *et al.*, 2018; Sacht *et al.*, 2010; Serri *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2019).

Não obstante aos grandes avanços no sector da construção, ainda assim o consumo de matérias-primas da natureza usadas para produção dos principais elementos construtivos, como no concreto, gera enormes problemas na natureza. Mediante este cenário, a indústria da construção vem procurando alternativas para colmatar este problema. Uma dessas alternativas é o uso de areia produzida a partir das rochas basálticas trituradas, chamada areia de britagem substituindo a areia natural (Viero, 2010).

Estudos realizados evidenciam que os concretos leves apresentam propriedades físicas e mecânicas satisfatórias como demonstrado nos estudos feitos por diversos autores. Sampaio *et al.* (2017) determinaram as propriedades de concretos leves produzidos com argila expandida, resíduo de borracha de pneu, resíduo de polimento de porcelanato e resíduo de calcário, cujos resultados alcançados foram de resistência a compressão de 23 MPa e massa específica de 1.580 kg/m³.

Shafigh *et al.* (2018) avaliaram as propriedades de concretos leves produzidos com argila expandida e casca de dendê triturada (OPS), com valor de resistência a compressão de 22 MPa e massa específica de 1.640 kg/m³. Estudos realizados por Wang *et al.* (2020) em concretos leves com adição de argila expandida e cinza volante, demonstraram valor de resistência a compressão de 25,1 MPa e massa específica de 1.785 kg/m³.

No que toca a condutividade térmica, é crucial destacar alguns autores cujos resultados são relevantes para esta pesquisa como, por exemplo, Xu *et al.* (2016) que estudaram as propriedades térmicas de concretos leves

elaborados com poliestireno expandido (EPS), através do método do Hot Disk, no qual o valor de condutividade térmica foi de 0,40 W/(m.k) e massa específica 1.200 kg/m³, 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 de condutividade térmica e massa específica até 0,92 W/(m.k) e 1.578 kg/m³, respectivamente. Para Tajra *et al.* (2019) que avaliaram as propriedades térmicas de concretos leves com argila expandida, a partir do método de Hot Disk, os resultados de condutividade térmica e massa específica foram de 0,66 W/(m.k) e 1.540 kg/m³, respectivamente.

A Tabela 1 apresenta uma síntese dos resultados das principais propriedades dos concretos leves encontrados na bibliografia.

Tabela 1: Síntese dos principais resultados

Propriedades	Resultados	Autores
Massa Específica (kg/m ³)	1.580	SAMPAIO <i>et al.</i> , 2017
	1.640	SHAFIGH <i>et al.</i> , 2018
	1.442	OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2011
	1.578	AHMAD e CHEN, 2019
Resistência a compressão axial (MPa)	23	SAMPAIO <i>et al.</i> , 2017
	22	SHAFIGH <i>et al.</i> , 2018
	25,1	WANG <i>et al.</i> , 2020
	22,4	OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2011
Resistência a tração por compressão diametral (MPa)	1,6	AHMAD <i>et al.</i> , 2019
	1,9	BORHAN, 2015
	2,3	RAJAMANICKAM e VAIYAPURI, 2016
	2,89	BHOGAYATA <i>et al.</i> , 2020
Condutividade Térmica W/(m.k)	0,40	XU <i>et al.</i> , 2016
	0,92	AHMAD e CHEN, 2019
	0,30	CHUNG <i>et al.</i> , 2018
	0,61	AWANG <i>et al.</i> , 2012

Fonte: Elaboração própria (2022).

A partir do exposto, a presente pesquisa avaliou as propriedades físicas, mecânicas e térmica de concretos leves produzidos com argila expandida (agregado graúdo) com substituição parcial da areia natural por areia de britagem. Foram feitos ensaios de resistência à tração por compressão diametral e de resistência à compressão axial, assim como análise da condutividade térmica por meio do método da placa quente protegida, cumprindo com o estabelecido pela ABNT NBR 15220:2005.

2 OBJETIVOS

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar as propriedades físicas, mecânicas e térmica de concretos leves produzidos com argila expandida (agregado graúdo), com substituição de 20%, 30% e 40% da areia natural pela areia de britagem e com adição de superplastificante.

3 METODOLOGIA

O método utilizado na produção dos concretos leves estruturais nesta pesquisa foi de acordo com as prescrições da norma ACI 211.2-98, a qual é específica para dosagem de concretos leves estruturais. 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 técnicas da ANBT.

O processo de mistura dos materiais ocorreu com colocação dos materiais na betoneira, de capacidade de 350 litros, de forma sequencial, antes se fez a imprimação. Primeiro foi colocada a argila expandida, depois água e com o aditivo superplastificante, com a betoneira em movimento, e por fim o cimento e a areia. Em seguida ocorreu a mistura dos materiais na betoneira por aproximadamente 5 minutos. Após o processo de amassamento do concreto em betoneira a mistura apresentou-se homogênea. Realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone de acordo a ABNT

NBR 16889: 2020, na qual se verificou a consistência e plasticidade do concreto. O processo de adensamento mediante mesa de vibração para evitar formação de vazios. Após 24 horas de cura do concreto, foram desmoldados os corpos-de-prova e em seguida colocados na câmara úmida para processo de cura úmida. Os corpos-de-prova permaneceram na câmara úmida por 7 dias e 28 dias, depois foram ensaiados.

A determinação dos valores de resistência à tração por compressão diametral seguiu as prescrições da ABNT NBR 7222:2011 e os valores de resistência à compressão dos concretos foram determinados de acordo com a ABNT NBR 5739:2007. Foram utilizados corpos de prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura para cada traço estudado, nas idades de 7 e 28 dias. Para os traços T1 (AN100%) e T2 (AB20%) foram utilizados seis corpos de prova para cada idade de acordo com os estudos feitos por Pereira (2008) e para os traços T3 (AB30%) e T4 (AB40%) foram utilizados doze corpos de prova para cada idade, de acordo com os estudos de Verzegnassi (2015).

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 estudados.

Foram elaborados quatro traços diferentes, o primeiro de referência com 100% de areia natural (T1 AN100%), o segundo com substituição de 20% da areia natural pela areia de britagem (T2 AB20%), o terceiro com substituição de 30% da areia natural pela areia de britagem (T3 AB30%) e o quarto com substituição de 40% da areia natural pela areia de britagem (T4 AB40%). A Tabela 2 apresenta os traços dos concretos leves produzidos na dosagem.

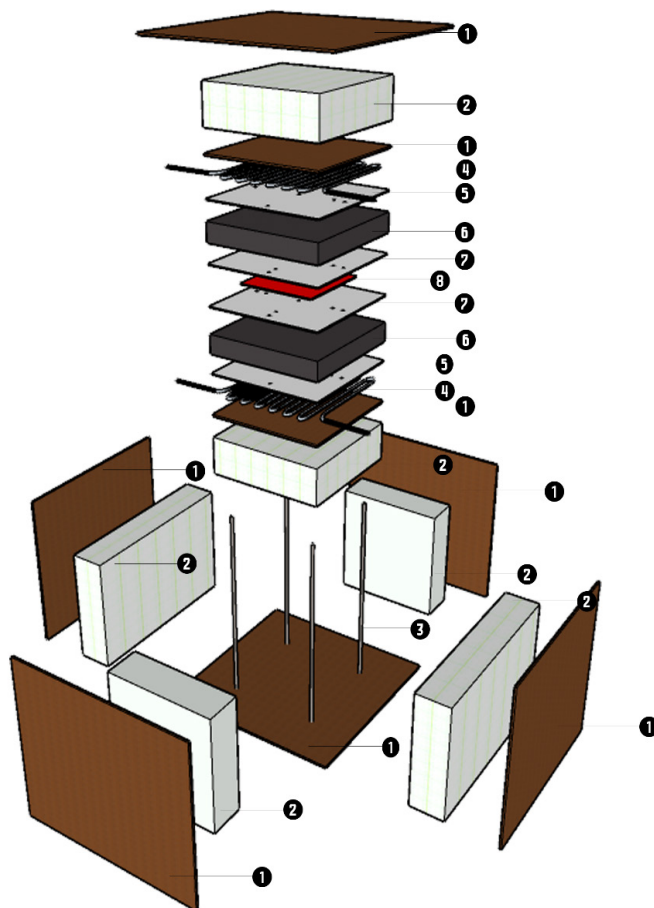
Tabela 2: Dosagens dos concretos leves

Traços	Cimento (Kg/m ³)	Areia Natural (Kg/m ³)	Areia de Britagem (Kg/m ³)	Argila Expandida (Kg/m ³)	Água (Kg/m ³)	Aditivo (%)	Relação A/C
T ₁ AN _{100%}	400	840	-	320	155,74	1,50	0,38
T ₂ AB _{20%}	400	672	168	320	183,80	1,50	0,45
T ₃ AB _{30%}	400	588	252	320	156	1,50	0,39
T ₄ AB _{40%}	400	504	336	320	168	1,50	0,42

Fonte: Elaboração própria (2022).

Para a medida da condutividade térmica foi construído um dispositivo simétrico utilizando uma placa aquecedora central e dois dissipadores nas outras extremidades. A partir dos dados mencionados no texto normativo elaborou-se um estudo de viabilidade técnica de construção de um protótipo de baixo custo para medição da condutividade térmica em laboratório. Na Figura 1 apresenta-se um esquema de montagem do protótipo e suas partes.

Figura 1: Esquema do conjunto para medição da condutividade térmica



Legenda:

Placas de compensado plastificado
 Poliestireno Expandido (base isolante)
 Força de aprisionamento (barras roscadas)
 Serpentinas de alumínio
 Placas de compensado plastificado
 Poliestireno Expandido (base isolante)

Placas de compensado plastificado
 Poliestireno Expandido (base isolante)
 Força de aprisionamento (barras roscadas)
 Serpentinas de alumínio
 Placa de alumínio (disposição do sensor na placa fria)
 Corpos de prova (concreto)
 Placa de alumínio (disposição do sensor na placa quente)
 Placa aquecedora (MK2B PCB)

Fonte: Elaboração própria (2022).

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)].

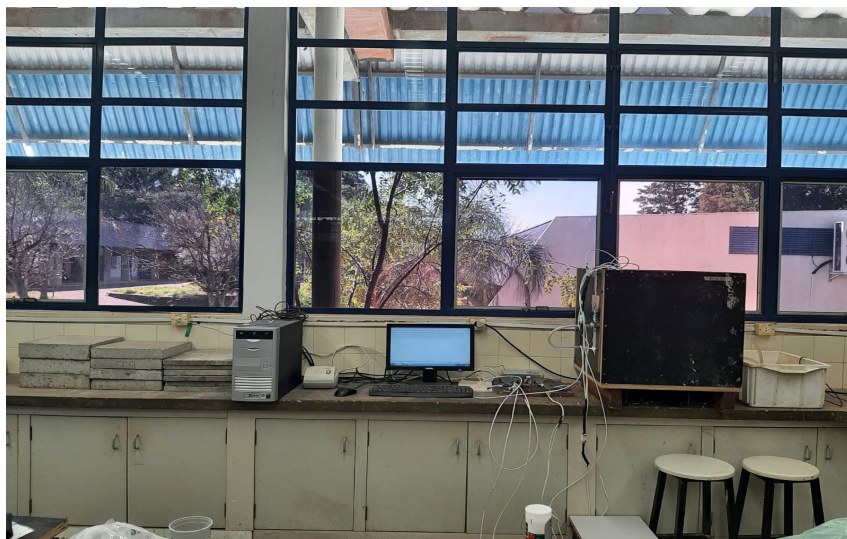
A avaliação da condutividade térmica foi realizada em dois corpos de prova de concreto idênticos, polidos com esmerilhadora elétrica com lixa rebolo (gramatura 120), aos 28 dias de idade, para os traços estudados. A Figura 2 ilustra os corpos de prova colocados no protótipo prontos para a leitura e a figura 3 ilustra o protótipo fazendo a leitura da temperatura.

Figura 2: Preparação do protótipo para leitura



Fonte Imagem: Elaboração própria (2022).

Figura 3: Protótipo para medição da condutividade térmica

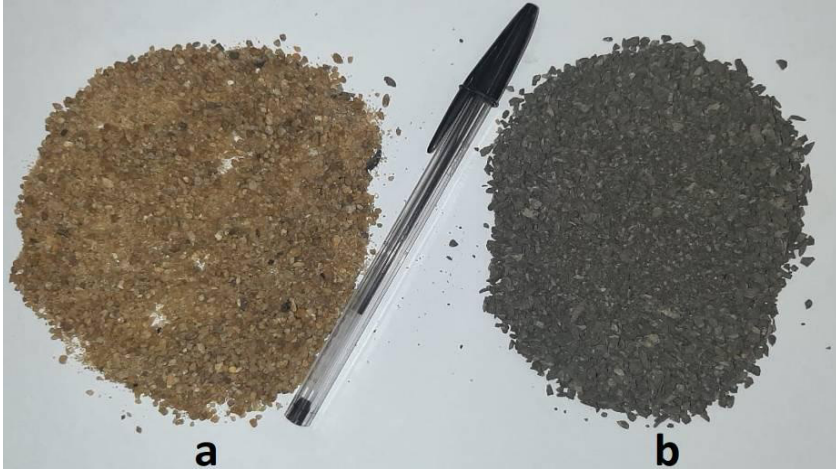


Fonte Imagem: Elaboração própria (2022).

3.1 MATERIAIS

Os concretos leves foram produzidos com cimento Portland CII-F-32 fabricado pela empresa Votoran. Foram utilizados dois agregados miúdos: o primeiro, um agregado miúdo natural de areia quartzosa (Figura 4) de graduação média, isenta de materiais orgânicos, proveniente do rio Tietê, no município de Pederneiras, Estado de São Paulo. O segundo, um agregado miúdo britado (Figura 4) de “bica corrida”, de origem basáltica proveniente do município de Pederneiras/SP. O agregado graúdo utilizado foi a Argila Expandida, ilustrada na Figura 5, produzida pela empresa brasileira Cinexpan. Para produção dos concretos foi utilizada água potável proveniente da rede de abastecimento de Bauru/SP. Utilizou-se o aditivo plastificante lignosulfonatos de acordo com as prescrições da ABNT NBR 11768:2011.

Figura 4: Agregados miúdos (areia natural e areia de britagem)



Legenda: a) Areia natural (AN100%); b) Areia de Britagem (AB100%).
Fonte Imagem: Elaboração própria (2022).

Figura 5: Agregado graúdo (argila expandida)



Fonte Imagem: Elaboração própria (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados resistência à tração por compressão diametral, resistência à compressão axial e de condutividade térmica dos concretos leves produzidos.

4.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL E RESISTÊNCIA POR COMPRESSÃO AXIAL

Os resultados de resistência à tração por compressão diametral e resistência à compressão axial foram determinados nas idades de 7 dias e 28 dias, utilizando-se seis corpos de prova para os traços T1 (AN100%) e T2 (AB20%) e doze corpos de prova para os traços T3 (AB30%) e T4 (AB40%). Na tabela 3 encontram-se os valores médios dos corpos de prova ensaiados.

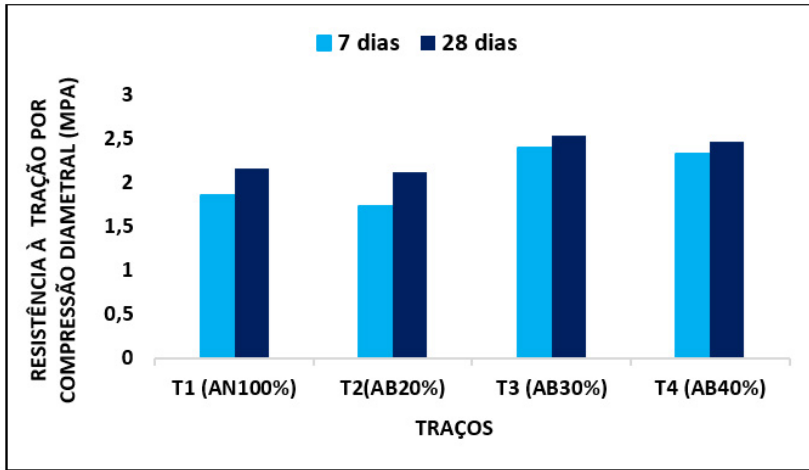
Tabela 3: Determinação das resistências

Traços	Diametral		Axial	
	7 dias $f_{c0,7d}$ (MPa)	28 dias $f_{c0,28d}$ (MPa)	7 dias $f_{c0,7d}$ (MPa)	28 dias $f_{c0,28d}$ (MPa)
T ₁ AN _{100%}	1,86	2,16	23,1	25,5
T ₂ AB _{20%}	1,71	2,13	22,5	24,3
T ₃ AB _{30%}	2,40	2,54	21,72	26,03
T ₄ AB _{40%}	2,34	2,47	23,75	24,27

Fonte: Elaboração própria (2022).

O Gráfico 1 apresenta os valores médios de resistência à tração por compressão diametral dos traços estudados nas idades de 7 dias e 28 dias.

Gráfico 1: Resultados da resistência a tração por compressão diametral



Fonte: Elaboração própria (2022).

A partir dos resultados apresentados no Gráfico 1 é possível perceber que entre o traço T2 (AB20%) em relação ao traço de referência T1 (AN100%) não houve variação significativa nos valores de resistência à tração por compressão diametral, enquanto os traços T3 (AB30%) e T4 (AB40%) apresentaram um acréscimo de aproximadamente 22% aos 7 dias e 14% aos 28 dias em relação ao traço T1 (AN100%). A variação dos valores está em função da incorporação da areia de britagem na mistura, entretanto os valores obtidos em todos os traços e em todas as idades estão em conformidade com valores alcançados por outros pesquisadores, como Sajedi e Shafigh (2012) que obtiveram valor de 2,5 MPa, Ahmad *et al.* (2019) com 1,6 MPa, Borhan (2015) com 1,9 MPa e Rajamanickam e Vaiyapuri (2016) com valor de 2,3 MPa. Cabe ainda destacar que em todos os traços estudados, os valores alcançados aos 28 dias foram maiores que 2 MPa, valor mínimo de resistência à tração estabelecido pela ABNT NBR 7222:2011.

4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL CARACTERÍSTICA

A resistência à compressão axial característica, apresentada na Tabela 4, foi determinada de acordo com as prescrições da ABNT NBR 12655:2015 pela seguinte expressão:

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

Em que:

f_{ck} é a resistência à compressão característica

f_{cm} é a resistência média à compressão

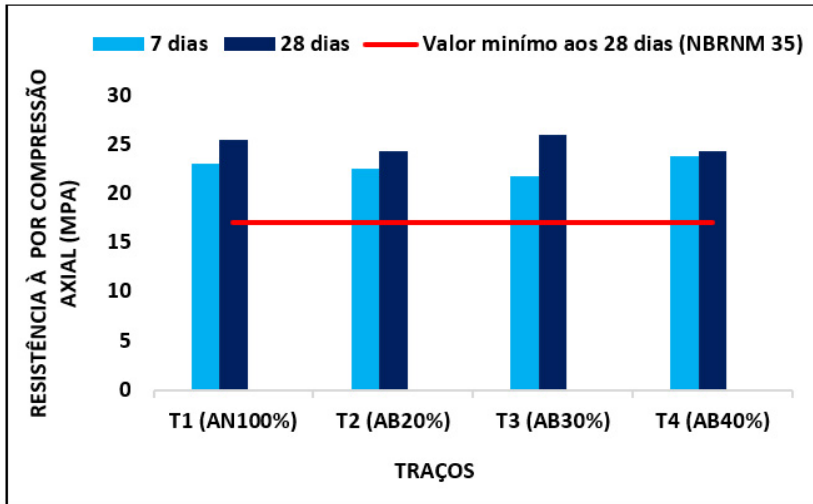
SD é o desvio padrão

Tabela 4: Resultado da resistência à compressão característica e massa específica

Traços	Resistência à compressão característica (MPa)		Massa específica (kg/m ³)
	7 dias	28 dias	
T ₁ (AN _{100%})	17,82	23,00	1.602
T ₂ (AB _{20%})	19,53	21,16	1.490
T ₃ (AB _{30%})	18,35	22,66	1.600
T ₄ (AB _{40%})	22,15	22	1.600

Fonte: Elaboração própria (2022).

Gráfico 2: Resultado da resistência à compressão característica



Fonte: Elaboração própria (2022).

De acordo com ABNT NBR NM 35 (1995), no item 4.3.1.1, a resistência à compressão axial do concreto leve estrutural aos 28 dias de idade deve alcançar um valor mínimo de 17 MPa. Todos os traços obtiveram aos 7 dias de idade resultados superiores ao recomendado pelo texto normativo. Na Tabela 4, observa-se que os valores de resistência à compressão axial dos concretos apresentaram ser similares entre os 7 e 28 dias, demonstrando assim que aos 7 dias os concretos mostraram estabilidade dos valores. De acordo com Rossignolo (2009) e Angelin (2014), a estabilização dos valores de resistência à compressão aos 7 dias é uma particularidade dos concretos com agregados leves, uma vez que aos 7 dias, a resistência à compressão da matriz cimentícia obtém valores acima da resistência à compressão do agregado.

Os concretos estudados apresentaram resultados de resistência à compressão axial aceitáveis, pois aos 28 dias alcançaram valores maiores que o estabelecido pela ABNT NBR NM 35 (1995). É importante ainda destacar que os resultados alcançados nesta pesquisa estão em conformidade com os resultados encontrados por outros autores, tais como Shafiqh

et al. (2018), com resistência de 22 MPa, Moravia, Gumieri e Vasconcelos (2010) na qual obtiveram valores de 17,6 MPa, Oliveira, Garcia e Cordeiro (2011) com resistência de 22,4 MPa, Sampaio *et al.* (2017) atingindo resistência de 23 MPa e Wang *et al.* (2020) alcançaram valores de resistência 25,1 MPa.

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	Massa específica (kg/m ³)	Condutividade Térmica (W/m.k)		Porcentagem de Diferença (%)
		PQ1/PF1	PQ2/PF2	
T ₁ (AN _{100%})	1.602	0,61	0,73	16
T ₂ (AB _{20%})	1.490	0,41	0,52	21
T ₃ (AB _{30%})	1.600	0,57	0,72	21
T ₄ (AB _{40%})	1.574	0,47	0,71	33

Legenda: *PQ – Placa Quente; PF – Placa Fria.

Fonte: Elaboração própria (2022).

A partir dos resultados apresentados na tabela 5, podemos constatar que os valores de condutividade térmica alcançados em todos os traços estudados foram inferiores que o valor mínimo estabelecido pela norma ABNT NBR 15220-2:2008, sendo assim os concretos produzidos demonstraram valores de condutividade térmica aceitáveis. A NBR 15220-2:2008, no seu item B.3., estabelece para concretos leves com massa específica entre 1.400 e 1.600 kg/m³ a condutividade térmica de 0,85 W/(m.k) e com massa específica entre 1.600 e 1.800 kg/m³ a condutividade de 1,05 W/(m.k). Como se pode observar que o traço de referência T1 (AN100%), foi o que maior valor apresentou em relação aos demais, entretanto apresentou ser menor em aproximadamente 29% para a placa 1 e 15% para a

placa 2 em relao ao estabelecido pela norma, comprovando a qualidade deste concreto leve.

É importante ainda destacar que os resultados alcançados estão em conformidade com os resultados encontrados por outros autores como: Xu *et al.* (2016), na qual os valores de condutividade térmica e massa específica foram de 0,40 W/(m.k) e 1.200 kg/m³ respectivamente, Ahmad e Chen (2019) com valor de condutividade térmica de 0,92 W/(m.k) e massa específica 1.578 kg/m³, Chung *et al.* (2018) com condutividade térmica de 0,30 W/(m.k) e massa específica de 950 kg/m³, Tajra *et al.* (2019) com valor de condutividade térmica de 0,66 W/(m.k) e massa específica 1.540 kg/m³.

5 CONCLUSÃO

Os objetivos inicialmente estabelecidos e o programa experimental utilizado demonstraram ser coerentes para a avaliao das características e propriedades dos concretos leves produzidos. Quanto a resistência  traço por compressão diametral, observou-se valores aos 28 dias de idade acima dos 2 MPa, valor mínimo estabelecido pela ABNT NBR 7222:2011, demonstrando que não ocorreu influência do acréscimo de areia britagem nas misturas.

Os valores de resistência  compressão axial foram entre 21,16 e 23 MPa aos 28 dias. A incorporao de areia de britagem ao concreto provocou a reduo dos valores de resistência a compressão axial, entretanto esta reduo não representa uma enorme diferença, sendo que entre o T2 (AB20%) em comparao ao traço de referência T1 (AN100%) a diferença foi de 8%. Cabe ainda realçar que os concretos apresentaram resultados de resistência  compressão axial aceitáveis, pois aos 28 dias atingiram valores superiores ao estabelecido pela ABNT NBR NM 35 (1995).

Quanto a análise da condutividade térmica, observou-se que os concretos apresentaram valores de condutividade térmica inferiores ao valor máximo estabelecido pela ABNT NBR 15220-2:2008. O T1 (AN100%),

que alcançou o maior valor em relação aos demais traços foi inferior em aproximadamente 41% em relação ao estabelecido pela norma, confirmando desta forma a qualidade deste concreto leve. Os concretos apresentaram valores de condutividade térmica apropriados para dar resposta à questão do seu desempenho térmico, assim como também que cumprem com as prescrições estabelecidas pela ABNT NBR 15220-2:2008.

Diante do exposto, é evidente que o concreto produzido pode ser convenientemente utilizado na indústria da construção civil, por exemplo, na produção de painéis pré-moldados, por apresentarem características e propriedades mecânicas em conformidade com as normas técnicas brasileiras.

6 AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Ministério do Ensino Superior, Ciência, Tecnologia e Inovação (MESCTI), ao Instituto Nacional Angolano de Gestão de Bolsas de Estudos (INAGBE) e a Universidade Estadual Paulista (Unesp), câmpus de Bauru.

REFERÊNCIAS

AHMAD, M. R.; CHEN, B. Experimental research on the performance of lightweight concrete containing foam and expanded clay aggregate. *Composites Part B: Engineering*, Oxford, v.171, p.46-60, 2019.

AHMAD, M. R.; CHEN, B.; SHAH, S. F. A. Investigate the influence of expanded clay aggregate and silica fume on the properties of lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, Amsterdam, v.220, p.253-266, 2019.

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

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. *Standard practice for selecting proportions for structural lightweight concrete*. ACI 211.2-98, 2004.

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

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11768*: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12655*: Concreto de cimento Portland- Preparo, controle, recebimento e aceitação- Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
- 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16889*: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 35*: Agregados leves para concreto estrutural. Rio de Janeiro, 1995.
- 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 7222*: Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
- BORHAN, T. M. A. Effect of Using Recycled Lightweight Aggregate on the Properties of Concrete. *Journal of University of Babylon for Engineering Sciences*, Babil, v.23, n.2, 2015.
- 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*, Basel, v.10, 2017.
- CHUNG, S.-Y. *et al.* The Influence of Different Concrete Additions on the Properties of Lightweight Concrete Evaluated Using Experimental and Numerical Approaches. *Construction and Building Material*, Amsterdam, v.189, p.314-322, 2018.
- HABSYA, C. *et al.* Physical, Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Foamed Concrete with Fly Ash. *Materials Science and Engineering*, Amsterdam, v.420, 2018.
- HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (org.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. São Paulo: IBRACON, 2007. v.2. p.905-944.
- HELMY, A. I. I. Intermittent curing of fly ash geopolymer mortar. *Construction and Building Material*, Amsterdam, v.110, p.54-64, 2016.
- 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*, São Paulo, v.3, p.195-204, 2010.

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.

PEREIRA, M. R. *Estudo da adição de argila expandida na formulação de concretos leves*. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

RAJAMANICKAM, G.; VAIYAPURI, R. Self compacting self curing concrete with lightweight aggregates. *GRAĐEVINAR: Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*, Zagreb, v.68, p.279-285, 2016.

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

SACHT, H. M. I.; ROSSIGNOLO, J. A.; SANTOS, W. N. Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v.15, n.1, p.31-39, 2010.

SAJEDI, F.; SHAFIGH, P. High-Strength Lightweight Concrete Using Leca, Silica Fume, and Limestone. *Arabian Journal for Science and Engineering*, Heidelberg, v.37, p.1885-1893, 2012.

SAMPAIO, Z. L. M.; MARTINELLI, A. E.; GOMES, T. S. Formulação e Caracterização de Concreto Leve Estrutural Contendo Resíduos de Polimento de Porcelanato, Borracha de Pneus e Calcário. *Cerâmica*, São Paulo, v.63, p.530-535, 2017.

SERRI, E.; MYDIN, M. A. O.; SULEIMAN, M. Z. Thermal Properties of Oil Palm Shell Lightweight Concrete with Different Mix Designs. *Jurnal Teknologi*, Skudai, v.70, n.1, p.155-159, 2014.

SHAFIGH, P. *et al.* Oil Palm Shell as an Agricultural Solid Waste in Artificial Lightweight Aggregate Concrete. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, Abingdon, v.22, n.2, p.165-180, 2018.

TAJRA, F. *et al.* Properties of Lightweight Concrete Made with Core-Shell Structured Lightweight Aggregate. *Construction and Building Material*, Amsterdam, v.205, p.39-51, 2019.

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

VIERO, E. H. *Aplicação de areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de Cimento Portland*. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul (UCS), 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*. 2018. Dissertação (Mestrado) – Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, 2018.

WANG, J. *et al.* Long-term Performance of Lightweight Aggregate Reinforced Concrete Beams. *Construction and Building Material*, Amsterdam, v.264, 2020.

WANG, J.; HU, B.; SOON, J. H. Physical and Mechanical Properties of a Bulk Lightweight Concrete with Expanded Polystyrene (EPS) Beads and Soft Marine Clay. *Materials*, Basel, v.12, 2019.

XU, Y. *et al.* Experimental Study and Modeling on Effective Thermal Conductivity of EPS Lightweight Concrete. *Journal of Thermal Science and Technology*, v.11, n.2, 2016.