

Estudo sobre o desempenho mecânico e térmico de concretos produzidos com diferentes tipos de agregados leves: uma revisão

Study on the mechanical and thermal performance of concretes produced with different types of lightweight aggregates: a review

DOI:10.34117/bjdv7n3-141

Recebimento dos originais: 08/02/2021

Aceitação para publicação: 01/03/2021

Lidianne do Nascimento Farias

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Estadual de Feira de Santana, Engenharia Civil
E-mail: fariaslidianne@gmail.com

RESUMO

Diferente do concreto convencional, os concretos leves possuem uma maior porosidade devido aos tipos de agregados que são utilizados. Por sua vez, os agregados leves influenciam diretamente nas propriedades dos concretos, devido à sua baixa massa específica, baixa resistência, baixo módulo de elasticidade, alta absorção de água e porosidade. Como consequência, há uma redução na resistência à compressão, resistência à tração e no módulo de elasticidade dos concretos leves. No entanto, as suas vantagens de utilização podem sobressair tais desvantagens, estudos comprovam que os concretos leves possuem uma excelente absorção acústica e isolamento térmico. Portanto, com uma baixa condutividade térmica, o concreto leve possui uma alta absorção de calor, possibilitando tornar o ambiente mais confortável, além de ocasionar um gasto menor de energia. O que proporciona importante destaque, afinal os custos com resfriamento e/ou aquecimento de um edifício ocupam uma grande parcela nos pré-requisitos de uma construção.

Palavras-chave: Concreto leve, Agregados leves, Propriedades mecânicas, Isolamento térmico.

ABSTRACT

Different conventional concrete, lightweight concrete have a higher porosity due to the types of aggregates that are used. In turn, light aggregates directly influence the properties of concrete, due to its low specific mass, low strength, low modulus of elasticity, high water absorption and porosity. As a consequence, there is a reduction in the compressive strength, tensile strength and in the modulus of elasticity of the lightweight concrete. However, its advantages of use can stand out such disadvantages, studies show that lightweight concrete has excellent sound absorption and thermal insulation. Therefore, with a low thermal conductivity, lightweight concrete has a high heat absorption, making it possible to make the environment more comfortable, in addition to causing less energy expenditure. What provides important highlight, after all, the costs of cooling and/or heating a building occupy a large part in the prerequisites of a construction.

Keywords: Lightweight concrete, Lightweight aggregates, Mechanical properties, Thermal insulation.

1 INTRODUÇÃO

O isolamento contra as condições do ambiente tem se tornado cada vez mais um pré-requisito em uma nova construção. O concreto leve é considerado um dos materiais de construção mais importantes em termos de eficiência energética, uma vez que aumenta as propriedades de isolamento térmico e, conseqüentemente, diminui a carga térmica que passa para a edificação (SAYADI et al., 2016; TASDEMIR; SENGUL; TASDEMIR, 2017).

De acordo com UCHÔA et al. (2015), além de ter sua utilização recomendada principalmente em função da melhoria do desempenho térmico e acústico de habitações, devido à baixa massa específica com valores de até 2000 kg/m³, considerando a redução do peso próprio do material, o concreto leve permite a produção de elementos pré-fabricados para sua utilização em vedações de edificações, como painéis. Nesse caso, os agregados utilizados na produção deste tipo de concreto precisam ter uma baixa massa específica, para que possam contribuir eficientemente em uma baixa condutividade térmica e na redução do peso de estruturas.

Portanto, propriedades do concreto leve são geralmente diferentes em comparação às dos concretos normais. A porosidade e a elevada absorção de água dos agregados leves utilizados afetam significativamente a trabalhabilidade, a resistência mecânica, módulo de deformação e zona de transição dos concretos. Contudo, devido à sua maior porosidade, o concreto leve tem sido um material característico para fins de isolamento. Para isolamento térmico, há uma melhoria significativa na sua absorção e transferência de calor em relação aos concretos tradicionais. Em relação ao isolamento acústico dos concretos leves, há uma considerável capacidade desse tipo de material absorver ruídos quando utilizados em vedações nas edificações (ROSSIGNOLO, 2009; ROSSIGNOLO; AGNESINI, 2005; SCHACKOW et al., 2014).

A substituição de agregados tradicionais por agregados leves, incluem os agregados leves naturais, que são as pedras-pomes e escórias vulcânicas, e os artificiais, como a argila expandida, vermiculita, escória expandida e a perlita (ABDEEN; HODHOD, 2010; LYNDAM AMEL et al., 2017; SENGUL et al., 2011; TCHAMDJOU et al., 2017). Precisa-se conhecer melhor as características dos agregados leves para que possam ser utilizados, principalmente, devido à sua maior porosidade que limita a resistência obtida pelo concreto. Dessa forma, estudos buscaram potencializar a produção e utilização de concretos leves na construção civil.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão de literatura sobre concretos leves e os seus tipos de agregados, além disso, resumir alguns dos estudos anteriores que apresentaram sobre as propriedades mecânicas e térmicas dos concretos leves produzidos com os diferentes tipos de agregados leves.

2 CONCRETOS COM AGREGADOS LEVES

2.1 TIPOS DE AGREGADOS LEVES

A NBR 12655 (ABNT, 2015) classifica como agregado leve aqueles de massa específica ($\leq 2000 \text{ kg/m}^3$). Ainda, segundo a NBR 35 (ABNT, 1995), os agregados leves devem apresentar valores de massa unitária no estado seco e solto abaixo de 1120 kg/m^3 , para agregados miúdos, e de 880 kg/m^3 , para agregados graúdos. Algumas das características e origem dos agregados mais utilizados na produção de concretos leves serão conhecidas a seguir:

Pedra-pomes é um material natural de origem vulcânica produzido pela liberação de gases durante o endurecimento da lava, e tem sido usado como agregado na produção de concreto leve em muitos países ao redor do mundo. Pedra-pomes é rica em sílica alcalina e tem um conteúdo significativo de sulfônio. É um tipo de agregado poroso e leve, possui um valor de massa específica em torno de 900 kg/m^3 (LYNDA AMEL et al., 2017).

A escória vulcânica, às vezes chamada de cinzas ou cinza vulcânica, é um dos tipos de agregados leves naturais de origem vulcânica assim como a pedra-pomes, mas que se diferencia por ser um pouco mais densa (DEMIRDAG; GUNDUZ, 2008). As vantagens da escória vulcânica incluem sua estrutura altamente porosa, grande área superficial e baixa massa específica (em torno de 1100 kg/m^3). Está disponível em diferentes tipos, tamanhos e cores, tipicamente de cor avermelhada e preta, devido ao seu alto teor de ferro. Pela sua leveza ela tem sido utilizada como agregado leve na produção de argamassas e concretos (TCHAMDJOU et al., 2017).

Um dos tipos de agregado leve artificial utilizados para fabricação de concretos leves que contribui bastante para o isolamento térmico é a vermiculita. A inércia química torna a vermiculita satisfatória para aplicações em função do isolamento térmico e acústico. Estudos realizados por Abdeen e Hodhod (2010) e Koksall et al. (2015) mostraram que esses agregados proporcionam uma resistência muito baixa, mas se exibem como excelentes isolantes térmicos, confirmando estas propriedades.

Outro tipo de agregado leve artificial, este muito utilizado nas produções de concreto estrutural leve, é a argila expandida. A argila expandida pode ter diferentes tamanhos (de 0,1 a 25 mm), o que é adequado para agregados finos, agregados graúdos e ambos. A leveza desse agregado pode estar associada aos espaços aéreos que existem dentro e entre os agregados. Ela possui massa específica em torno de 250 a 710 kg/m³, o que depende principalmente da sua dimensão (RASHAD, 2018).

A perlita expandida também pode ser utilizada como agregado leve artificial em argamassas e concretos para reduzir a condutividade térmica desses materiais. A massa específica aparente da mistura e a condutividade térmica são reduzidas com a adição de perlita expandida (WANG et al., 2018; CELIK; FAMIL; MENGUC, 2016).

Além desses agregados comumente utilizados, recentemente, tem havido estudos sobre a utilização de resíduos provenientes de outros materiais, a fim de economizar recursos naturais e promover maior sustentabilidade ambiental. Por conseguinte, a reciclagem de resíduos como agregados para concreto leve pode contribuir na melhoria do gerenciamento de resíduos de construção e na eficiência energética de edifícios.

Surgiram como alternativas de agregados leves, o poliestireno expandido (EPS), que já vem sendo bastante utilizado nas construções como enchimento de lajes, forros, isolamento acústico e térmico, painéis, lajes nervuradas, etc. Também se tem o etileno acetato de vinila (EVA), resíduo que é proveniente da indústria calçadista e apresenta características adequadas para utilização como agregados leves em concretos.

Pesquisas indicaram que a resistência à compressão do concreto leve EPS aumenta com a diminuição do tamanho do grânulo de EPS, para a mesma densidade de concreto. Esse fenômeno de escala foi observado com base em uma investigação experimental com o objetivo de formular e otimizar um concreto EPS com massas específicas variando de 600 a 1400 kg/m³ e com resistência estrutural de mais de 20 MPa (LIU; CHEN, 2014).

O etileno acetato de vinila (EVA) é um copolímero formado por dois monômeros diferentes, o etileno e o acetato de vinila, gerado pelo encadeamento de sequências aleatórias desses elementos (IBRAHIM; SEEDAHMED, 2016; ANDRADE, 2017). O EVA expandido fornece propriedades mecânicas e físicas ideais para muitos materiais estruturais. Por sua baixa massa específica, esses resíduos têm uma relação propriedades/peso muito grandes. Porém, pode se tornar uma escolha ideal para várias aplicações, como isolantes térmicos e acústicos, como também, materiais leves para a indústria automotiva e para a construção civil (IBRAHIM; SEEDAHMED, 2016).

A resistência mecânica e o módulo de deformação dos agregados leves dependem da estrutura interna desses materiais. Nesse sentido, agregados com estrutura porosa deverão ser menos resistentes. E dessa forma, a distribuição e tamanho dos poros são as características determinantes para a resistência mecânica dos agregados, além do que, essas características causarão uma alta absorção de água, que pode ocasionar alterações significativas em todas as propriedades do concreto (CHANDRA; BERNTSSON, 2002; ROSSIGNOLO, 2009).

2.2 DESEMPENHO MECÂNICO DOS CONCRETOS LEVES

Em decorrência da diminuição da massa específica nos concretos leves, as propriedades do estado endurecido como, a resistência à compressão, resistência à tração e o módulo de deformação são comprometidas. Essas características são determinadas como os parâmetros principais na caracterização dos concretos leves.

O desempenho mecânico dos concretos leves e sua massa específica estão altamente relacionados. Geralmente é observada uma perda no fator de eficiência com relação aos concretos convencionais, a qualidade da matriz cimentícia dos concretos leves é inferior devido à porosidade dos agregados. Para tanto, um fator de eficiência acima de $25\text{MPa}\cdot\text{dm}^3/\text{Kg}$ é o parâmetro considerado para caracterizar o concreto leve como concreto leve de alto desempenho (BEZERRA, 2014).

Conforme Sengul et al. (2011), a tendência observada é que quanto menor a massa específica dos concretos, menor a sua resistência à compressão, isso foi constatado em estudo elaborado para concretos leves com perlita expandida. A granulometria do agregado também influencia bastante na resistência dos concretos leves. Por sua vez, os agregados leves devem ser utilizados com dimensões menores. Evangelista (1996) relata que quanto menor a granulometria do agregado, maior será a resistência do concreto.

Assim como na resistência à compressão, a resistência à tração dos concretos leves serão inferiores, se comparados com os concretos convencionais, o que se deve à porosidade, teor de umidade dos agregados leves e o tipo de fratura obtida. No concreto leve, o concreto entrará em colapso através das partículas, pois a matriz será consideravelmente mais forte (EUROLIGHTCON, 2000). Nesse caso, um aspecto importante observado entre as diferenças sobre concretos leves e tradicionais é com relação a ruptura no ensaio de resistência à tração. Nos concretos convencionais, a linha de fratura ocorre ao redor dos agregados, ou seja, na zona de transição. Nos concretos leves, atravessa o agregado (ROSSIGNOLO; AGNESINI, 2005).

Um indicativo para melhoria da zona de transição em concretos leves é considerado pela adição de materiais pozolânicos na matriz cimentícia, como a adição de sílica ativa que poderá provocar diminuição do tamanho dos poros, reduzindo assim a permeabilidade e aumentando os valores de resistência mecânica e durabilidade do concreto. Porém, salientando-se que isso dependerá fortemente da absorção de água dos agregados utilizados (KE et al., 2014).

2.3 DESEMPENHO DE ISOLAMENTO DOS CONCRETOS LEVES

As vantagens de utilização dos concretos leves que se sobressaem aos concretos tradicionais, além da redução do seu peso específico para manutenibilidade de estruturas, são suas propriedades isolantes (térmicas e acústicas). Propriedades que também estão diretamente ligadas à massa específica do material.

Nesse sentido, os concretos leves podem ser muito utilizados como função de melhoria do isolamento térmico das edificações, pois a medida que a massa específica do concreto diminui, obtém-se uma baixa condutividade térmica, ou seja, um alto isolamento. Devido à estrutura porosa dos agregados leves, a absorção e transferência de calor nesses concretos é minorada. Dessa forma, concretos leves têm sido muito utilizados em edificações, principalmente em aplicações como fachadas e coberturas, como um resultado da sua característica de redução de absorção e transferência de calor para o ambiente interno devido às incidências solares (TASDEMIR; SENGUL; TASDEMIR, 2017; EUROLIGHTCON, 2000).

Os menores resultados de condutividade térmica, difusão térmica e expansão térmica dos concretos leves também pressupõem uma melhoria na propriedade de resistência ao fogo desses concretos. A condutividade elétrica dos concretos leves associadas ao desempenho de resistência ao fogo desses concretos são melhores do que em concretos tradicionais. Estudos mostram que com a elevação da temperatura, nos concretos leves, há uma menor perda da sua resistência inicial, o que pode proporcionar uma menor tendência à fragmentação (NEVILLE, 1997).

Além de proporcionar satisfatório desempenho térmico, os concretos leves são conhecidos por desempenhar bom isolamento acústico para as edificações. Logo, essas propriedades são consideradas específicas para estes tipos de concretos. Neville (1997) mostra que quanto ao desempenho acústico desses concretos, os pequenos vazios presentes nos agregados têm um importante papel. Dessa forma, a energia sonora que se propaga no ar converte-se em calor através dos mesmos, impulsionando satisfatoriamente

os resultados de absorção acústica desses concretos em até duas vezes maior que em concretos convencionais. Estudos são realizados quanto ao uso de concretos leves para melhoria de ruído nas edificações.

ZHAO et al. (2014) produziram concretos com perlita expandida, argila expandida e escória em substituição ao agregado graúdo para análise de desempenho acústico. Os autores relataram que o concreto com perlita expandida exibiu coeficiente de redução de ruído de 13,79% e 20% maior do que aqueles com agregados de argila e escória, respectivamente. Devido a maior porosidade exibida em concretos com perlita expandida, um melhor desempenho em relação a absorção acústica foi obtido. Dessa forma, identifica-se que os concretos leves são propensos a adquirirem boas características de isolamento devido à porosidade dos agregados utilizados.

3 EFEITO DOS AGREGADOS LEVES NAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS

3.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS CONCRETOS LEVES

O Quadro 1 sintetiza resultados alcançados em estudos sobre as propriedades mecânicas de concretos com utilização de agregados leves. Foram considerados resultados alcançados aos 28 dias.

Quadro 1 – Influência de alguns tipos de agregados leves nas propriedades mecânicas dos concretos

Tipo de agregado	Teor agregado (%)	Traço	Relação a/c	Massa esp. (kg/m ³)	Res. compressão (MPa)	Res. tração* (MPa)	E* (GPa)	Estudo
Pedra-pomes	35	1:2,2:1,95:0,43	0,43	1973	18,7	-	19,5	[1] Tasdemir; Sengul; Tasdemir, 2017.
	50	1:2,48:0,97:0,43		1720	14,1	-	13,9	
	70	1:2,77:0,43		1500	11,4	-	11,6	
Argila expandida	50	1:2:1,1:0,78:0,43	0,43	1650	20,80	1,98 _{td}	-	[2] Pereira, 2008.
	60	1:2:1,32:0,62:0,43		1670	22,77	2,24 _{td}	-	
	70	1:1,93:1,54:0,57:0,43		1740	22,16	2,23 _{td}	-	
Agregado reciclado (concreto com argila expandida)	20	1:0,74:1,61:0,55	0,55	1672	40,4	2,88	20,7	[3] Bogas; Brito; Figueiredo, 2015.
	50			1739	43,1	3,52	23,4	
	100			1852	43,7	3,92	25,4	
Perlita Expandida	0	1:4,0:0,55	0,55	1937	28,8	-	19,5	[4] Sengul et al., 2011.
	20			1775	17,3	-	12,8	
	40			1402	10,9	-	9,4	

	60			980	4.6	-	3.3	
	80			673	1.1	-	-	
	100			392	0.1	-	-	
Vermiculita Expandida	0	1:1,4:2,8:0,50	0,5	2410	26.8	2,55 _{td}	19,2	[5] Abdeen; Hodhod, 2010.
	50			1740	7,1	1,49 _{td}	3,4	
	70			1460	12,2	1,70 _{td}	5,41	
	100			1360	13,0	1,81 _{td}	3,24	
Poliestireno Expandido (EPS)	0	1:8,0:0,34	0,34	2084	37.9	9.55 _{tf}	-	[6] Liu; Chen, 2014.
	20			1652	21.5	6.87 _{tf}	-	
	31			1444	20.7	5,79 _{tf}	-	
	38			1300	11.9	3.99 _{tf}	-	
	46			1124	6.1	3.39 _{tf}	-	
Etileno Acetato de Vinila (EVA)	0	1:3,2:1,8:0,50	0,5	2540	27	-	-	[7] Ibrahim; Seedahmed, 2016.
	10			2490	20,5	-	-	
	25			2410	10,3	-	-	
	40			2120	5,84	-	-	
	55			2090	5,02	-	-	
	70			1940	2,68	-	-	
Etileno Acetato de Vinila (EVA)	60	1:2:3:0,63	0,63	1300	2	0,7 _{tf}	1	[8] Garlet, 1998.
	70	1:1,5:3,5:0,52	0,52	1150	1,8	0,8 _{tf}	7	
	80	1:1:4:0,42	0,42	980	1,2	0,5 _{tf}	0,5	
	100	1:0:5:0,23	0,23	710	0,5	0,3 _{tf}	0	

*Resistência à tração por compressão diametral ou tração na flexão; td = compressão diametral; tf = tração na flexão.

* E = módulo de elasticidade.

Conforme resultados apresentados no Quadro 1, comprova-se que devido à redução da massa específica em concretos leves, há acentuada perda de resistência mecânica e módulo de elasticidade nesses concretos.

Com a utilização da pedra-pomes em substituição parcial a areia em concretos leves, os autores Tasdemir; Sengul; Tasdemir (2017) confirmaram reduções na resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade, a medida que o teor de agregado leve foi elevado em substituição à areia. Assim como houveram reduções na massa específica do material que atingiu até 31%, proporção entre os três tipos de misturas exibidas no Quadro 1, entre 35% a 70% nos teores de pedra-pomes utilizados.

O estudo de Pereira (2008) mostra que os concretos com argila expandida se diferenciam dos demais, sendo os agregados mais indicados na produção de concretos estruturais leves. Nesse trabalho, por exemplo, os resultados de massa específica e resistência à compressão não obtiveram decrementos com o aumento do teor de incorporação dos agregados.

Bogas; Brito e Figueiredo (2015) produziram concretos a partir de agregados reciclados obtidos da britagem de concreto leve estrutural e não estrutural com argila expandida. Os resultados mostraram que todas as propriedades estudadas são melhoradas com a introdução do agregado leve reciclado. Concluindo-se que a introdução de agregados leves produzidos a partir do aproveitamento de concretos leves estruturais podem ser uma ótima alternativa para produção de concretos leves mais resistentes.

Já Sengul *et al.* (2011) relataram 8,36%, 27,62%, 49,41%, 65,26% e 79,76% de redução na massa específica dos concretos substituindo parcialmente a areia natural, em volume, por 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de perlita expandida (tamanho 0,25 a 4 mm), respectivamente. Já para resultados de resistência à compressão a redução foi de 39,93%, 62,15%, 84%, 96,18% e 99,65%. E reduções no módulo de elasticidade de 34,36%, 51,79% e 83,08% com inclusão de 20%, 40% e 60% de perlita, respectivamente.

Abdeen e Hodhod (2010) produziram concretos substituindo parcialmente a areia natural pela vermiculita expandida. Os autores também constataram decrementos nas propriedades mecânicas, com reduções de 27,8%, 39,42% e 43,57 na massa específica dos concretos, 73,51%, 54,47% e 51,49% na resistência à compressão, 41,57%, 33,3% e 29% na resistência à tração por compressão diametral e 82,29%, 71,82%, 83,13% nos resultados de módulo de elasticidade, com a inclusão de 50%, 70% e 100% de vermiculita, respectivamente.

Estabelecendo um comparativo entre os estudos que utilizam materiais que podem ser reaproveitados, tem-se o poliestireno expandido (EPS) e o etileno acetato de vinila (EVA). Liu e Chen (2014) utilizaram poliestireno expandido (EPS) na produção de concretos leves e relataram que a sua inclusão aos teores 20%, 31%, 38% e 46% em substituição aos agregados graúdos, ocasionaram decrementos de massa específica entre 20,73% a 46,1%, redução de 43,27% a 83,9% na resistência à compressão e na propriedade de resistência à tração na flexão, reduções entre 28,06% a 64,50% em relação ao concreto referência.

Os estudos de Ibrahim e Seedahmed (2016) e Garlet (1998) potencializaram o uso do resíduo de EVA em diversificadas proporções. Ibrahim e Seedahmed (2016) utilizou teores de EVA entre 10% a 70% em substituição ao agregado graúdo. Quanto à massa específica, os autores relataram reduções entre 1,97% a 23,62% e quanto a resistência à compressão houveram reduções entre 24,07% a 90,1%. Ressalta-se nesse quadro (Quadro 1), o estudo de Garlet (1998), pioneiro na área de concretos leves com EVA no Brasil, porém, com resultados inferiores aos demais estudos apresentados. Com a inserção de

60%, 70%, 80% e 100% de EVA em substituição aos agregados graúdos, o autor indicou o uso dos concretos leves com EVA apenas para funções não-estruturais, devido às suas propriedades físicas e mecânicas inferiores aos demais concreto com agregados leves. Esse parâmetro de tempo mostra que, ao longo dos anos, as matrizes de concretos leves passaram a ser melhor trabalhadas.

De forma geral, conclui-se que quanto maior a porosidade dos agregados, maior a redução na massa específica que implica na redução da resistência mecânica, de fato constatado em todos estudos apresentados (TASDEMIR; SENGUL; TASDEMIR, 2017; SENGUL *et al.*, 2011; PEREIRA, 2008; ABDEEN; HODHOD, 2010; IBRAHIM; SEEDAHMED, 2016; GARLET, 1998; LIU; CHEN, 2014).

3.2 PROPRIEDADE TÉRMICA DOS CONCRETOS LEVES

O Quadro 2 traz resultados de alguns estudos realizados com base na investigação sobre o efeito dos agregados leves na condutividade térmica dos concretos.

Quadro 2 – Influência de alguns tipos de agregados leves na condutividade térmica dos concretos

Tipo de agregado	Teor agregado (%)	Traço	Relação a/c	Massa esp. (kg/m ³)	Condutividade térmica (W/mK)	Estudo
Pedra-pomes	68	1:2,76:0,43	0,43	1275	0,36	[1] Tasdemir; Sengul; Tasdemir, 2017.
	70	1:2,77:0,43		1133	0,28	
	83	1:2,21:0,43		913	0,23	
Argila expandida	0	1:2,61:3,2:0:0,52	0,52	2364	1,8	[2] Sacht; Rossignolo e Santos, 2010.
	50	1:2,4:1,9:0,49:0,5	0,50	2014	1,39	
	70	1:2,6:0,87:0,87:0,5 5	0,55	1781	1,06	
	100	1:2,6:0:1,25:0,62	0,62	1589	0,94	
	70/100*	1:0,3:0:2,53:0,59	0,59	1216	0,54	
Perlita Expandida	0	1:4:0,55	0,55	2015	0,6	[3] Sengul et al., 2011.
	20			1870	0,57	
	40			1549	0,53	
	60			1196	0,35	
	80			339	0,21	

Vermiculita Expandida	55	1:4:4,67:0,6	0,60	1250	0,50	[4] Schackow et al., 2014.
	65			1130	0,34	
Poliestireno Expandido (EPS)	55	1:4:4,67:1,1	1,10	1140	0,56	
	65			1070	0,50	
Etileno Acetato de Vinila (EVA)	0	1:5:0,5	0,50	2400	1,75	[5] Gomes, 2015
	60			1373	0,66	
	80			1133	0,58	

*Teor de substituição de agregado miúdo e graúdo

Dos estudos citados no Quadro 2, pode-se observar que a inclusão de agregados leves na matriz dos concretos reduz a condutividade térmica obtida. Isto confirma que os agregados leves aumentam o isolamento térmico dos concretos, o que também depende do percentual utilizado.

Como um resultado da estrutura porosa devido aos agregados utilizados, Tasdemir; Sengul e Tasdemir (2017) verificaram que a pedra-pomes utilizada como agregado leve possibilitou contribuir no melhor desempenho térmico dos concretos produzidos, no entanto, os teores de agregados utilizados tiveram que ser altos para o alcance desejado, o que possivelmente reduz a capacidade mecânica.

Sacht; Rossignolo e Santos (2010) relataram reduções entre 22,8% a 70% da condutividade térmica com aumento nos teores de agregados de argila expandida nos concretos, por consequência da redução da massa específica.

Já Sengul *et al.* (2011), com o estudo da perlita expandida em concretos, relataram redução na condutividade térmica dos concretos de 5,3%, 11,7%, 41,7% e 65% com a inclusão de 20%, 40%, 60% e 80% do agregado. Os autores obtiveram valores que pudessem concluir que a perlita é extremamente eficiente em isolamento térmico de vedações.

Schackow *et al.* (2014) produziram concretos leves com vermiculita, concretos leves com EPS e estabeleceram comparativo entre ambas produções. Concluíram que o concreto com vermiculita apresentou menores valores para condutividade térmica, tanto com a inserção de 55% quanto em 65%. Dessa maneira, os autores indicam a vermiculita expandida como agregado para ambientes que necessitam de melhor isolamento térmico.

Por fim, o estudo de Gomes (2015) trouxe resultados de condutividade térmica para concretos com o resíduo de EVA. Com 60% e 80% de teor de incorporação do

resíduo, houve redução de 62,3% e 66,9% na condutividade térmica do concreto leve em relação ao convencional. Com esse aproveitamento satisfatório, a finalidade da autora foi a elaboração de paredes para verificação do isolamento térmico do concreto com EVA em vedações.

Em vista dos resultados analisados conclui-se que a condutividade térmica dos concretos sofre uma diminuição com o aumento do teor de agregados leves, o que leva a um alcance satisfatório para esta propriedade.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho objetivou trazer uma revisão de literatura sobre concretos leves, reunindo alguns dos estudos que potencializaram o uso desse material na construção civil. As principais conclusões foram as seguintes:

- Materiais leves, como concretos feitos com agregados leves, vêm ganhando espaço de utilização por trazerem vantagens ligadas ao aumento da eficiência econômica, como uma alternativa útil para fins de isolamento e reduções do peso próprio da estrutura;
- O comportamento mecânico dos concretos leves depende fortemente do tipo de agregado leve utilizado, devido à sua massa específica e porosidade. Nesse caso, a melhoria na qualidade da zona de transição (matriz-agregados) depende do tipo de agregado leve e a sua absorção;
- As propriedades dos concretos leves resultam em menor massa específica, menor resistência mecânica e menor módulo de elasticidade, por outro lado, pode desempenhar uma boa função de isolamento térmico, com a redução na condutividade térmica desses concretos;
- É de grande utilidade contar com concretos leves em construções que necessitem de um peso estrutural mais reduzido. A depender da dosagem utilizada na sua produção, os concretos leves também podem ser adequados em funções estruturais, no entanto, há uma ligeira redução no desempenho mecânico assim que um maior percentual de agregados tradicionais é substituído, o que pode tornar tais concretos mais adequados para funções isolantes.

REFERÊNCIAS

ABDEEN, M. A. M.; HODHOD, H. Experimental Investigation and Development of Artificial Neural Network Model for the Properties of Locally Produced Light Weight Aggregate Concrete. **Engineering**, v. 02, n. 06, p. 408–419, 2010

ANDRADE, D. G. **Análise da viabilidade de utilização de brita leve (EVA) em concretos de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2017.

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 NM 35**: Agregados leves para concreto estrutural: especificação. Rio de Janeiro, 1995.

BEZERRA, A. J. V. **Concretos com substituição parcial do agregado natural por resíduos de EVA – influência em propriedades físicas, mecânicas, microestruturais e de durabilidade**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Recife, 2014.

BOGAS, J. A.; DE BRITO, J.; FIGUEIREDO, J. M. Mechanical characterization of concrete produced with recycled lightweight expanded clay aggregate concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 89, p. 187–195, 2015.

CHANDRA, S; BERNTSSON, L. Lightweight Aggregate Concrete. **Science, Technology and Applications**. Chalmers University of Technology Göteborg. Sweden, 2002.

CELIK, S.; FAMILY, R.; MENGUC, M. P. Analysis of perlite and pumice based building insulation materials. **Journal of Building Engineering**, v. 6, p. 105–111, 2016.

DEMIRDAG, S.; GUNDUZ, L. Strength properties of volcanic slag aggregate lightweight concrete for high performance masonry units. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 3, p. 135–142, 2008.

EUROLIGHTCON - Economic Design and Construction with Lightweight Aggregate Concrete. **Technical and economic mixture optimisation of high strength lightweight aggregate concrete**. Project BE96-3942/R9, Noruega, 64p., 2000b.

EUROLIGHTCON - Economic Design and Construction with Lightweight Aggregate Concrete. **Pumping of lightweight aggregate concrete based on expanded clay in Europe**. Project BE96-3942/R11, Noruega, 07p., 2000c.

EVANGELISTA, A.C.J. **Produção e Propriedades de Concretos Leves de Alta Resistência – Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Rio de Janeiro-COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1996. 141p.

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de EVA (ethylene vinyl acetate) como agregado para concreto leve na construção civil.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 1998, 140p.

GOMES, E. G. S. **Desempenho térmico de alvenarias: uma alternativa com uso de blocos EVA.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2015. 127p.

IBRAHIM, Y. I; SEEDAHMED, A. I. Using EVA foam waste as the constituent of lightweight concrete mixture for construction application. **International Journal of Engineering Sciences & Research Technology**, 2018.

KE, Y. et al. Micro-stress analysis and identification of lightweight aggregate's failure strength by micromechanical modeling. **Mechanics of Materials**, v. 68, p. 176-192, 2014.

KOKSAL, F. et al. Combined effect of steel fibre and expanded vermiculite on properties of lightweight mortar at elevated temperatures. **Materials and Structures/Materiaux et Constructions**, v. 48, n. 7, p. 2083–2092, 2015.

LIU, N.; CHEN, B. Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete. **Construction and Building Materials**, v. 68, p. 227–232, 2014.

LYNDA AMEL, C. et al. Dune sand and pumice impact on mechanical and thermal lightweight concrete properties. **Construction and Building Materials**, v. 133, p. 209–218, 2017.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. 828p

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

RASHAD, A. M. Lightweight expanded clay aggregate as a building material – An overview. **Construction and Building Materials**, v. 170, p. 757–775, 2018.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto Leve Estrutural:** influência da argila expandida na microestrutura da zona de transição pasta/agregado. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 119-127, 2009.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto Leve Estrutural:** produção, propriedades, microestrutura, aplicações – São Paulo: PINI, 2009.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. Concreto estrutural leve. In: **Concreto:** ensino, pesquisa e realizações [S.l: s.n.], 2005.

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

SAYADI, A. A. et al. Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 716–724, 2016.

SCHACKOW, A. et al. Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. **Construction and Building Materials**, v. 57, p. 190–197, 2014.

SENGUL, O. et al. Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 3, p. 671–676, 2011.

TASDEMIR, C.; SENGUL, O.; TASDEMIR, M. A. A comparative study on the thermal conductivities and mechanical properties of lightweight concretes. **Energy and Buildings**, v. 151, p. 469–475, 2017.

TCHAMDJOU, W. H. J. et al. An investigation on the use of coarse volcanic scoria as sand in Portland cement mortar. **Case Studies in Construction Materials**, v. 7, p. 191–206, 2017.

UCHÔA, S. B. B. et al. **Prospecção tecnológica: painéis de vedação utilizando concreto leve e materiais reciclados**, Caderno Prospec. Salvador, 2015.

WANG, L. et al. Strength properties and thermal conductivity of concrete with the addition of expanded perlite filled with aerogel. **Construction and Building Materials**, v. 188, p. 747–757, 2018.

ZHAO, C. et al. Reducing railway noise with porous sound-absorbing concrete slabs. **Advances in Materials Science and Engineering**, 2014.