

Efeito da Goma Xantana como estabilizador da espuma em concretos celulares de diferentes densidades

Effect of Xanthan Gum as a stabilizer for foamed concrete with different densities

Miriã Pereira dos Santos Grenzel¹ , Lucas Yagor dos Santos Grenzel², Bruna Santos Tamiosso¹,
Fernanda Bianchi Pereira da Costa¹, Ederli Marangon²

¹Universidade Federal do Pampa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Grupo de Pesquisa em Tecnologia da Construção. 97546-550-810, Alegrete, RS, Brasil.

²Universidade Federal do Pampa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Materiais Aplicados a Engenharia Civil. 97546-550-810, Alegrete, RS, Brasil.

e-mail: miria_pereiras@outlook.com, lucas.grenzel@outlook.com, brunatamiosso.aluno@unipampa.edu.br, fernandadacosta@unipampa.edu.br, ederlimarangon@unipampa.edu.br.

RESUMO

O concreto celular é um material cimentício de estrutura porosa e com baixa densidade, resultante do endurecimento de uma mistura constituída por aglomerantes, agregados miúdos e poros de ar. Uma das formas de inserção dos poros de ar é através de uma espuma pré-formada, composta por bolhas de ar, as quais influenciam o comportamento do concreto celular no estado fresco e endurecido. Trabalhos recentes propuseram a utilização de pequenas quantidades Goma Xantana (XG) como agente espessante da espuma, e verificaram que XG aumentou a estabilidade da mesma e proporcionou melhor desempenho ao concreto celular no estado endurecido. No entanto, o funcionamento da XG em diferentes teores ainda não está esclarecido. Assim, este artigo apresenta um estudo da influência de XG na qualidade da espuma pré-formada, como também nas propriedades físicas e mecânicas do concreto celular. Foram avaliadas amostras com duas densidades diferentes, 800 Kg/m³ e 1200 Kg/m³. A composição que proporcionou melhor qualidade da espuma foi 2% de XG. No concreto celular, a adição de XG mostrou-se mais eficiente para as amostras com densidade alvo de 800 Kg/m³, pois proporcionou uma diminuição do índice de vazios e da interconectividade entre poros, além de maior resistência à compressão.

Palavras-chave: Concreto Celular; Espuma pré-formada; Goma Xantana.

ABSTRACT

Cellular concrete has a porous structure and low density, resulting from a mixture of binders, fine aggregates and air pores. One way of inserting the air pores is through a preformed foam. The foam is composed of air bubbles, which influence the behaviour of cellular concrete both in the fresh and hardened state. Recent studies have proposed the use of xanthan gum (XG) as a foam thickening agent, which increases the foam stability and improves the performance of cellular concrete in the hardened state. However, the functioning of XG and the use of different contents is still unclear. Thus, this work presents a study of the influence of xanthan gum on the quality of preformed foam, as well as on the physical and mechanical properties of cellular concrete. Samples with two different densities (800 Kg/m³ and 1200 Kg/m³) were evaluated. The content that provided better foam quality was 2% of XG. In cellular concrete, the addition of XG proved to be more efficient for foamed concrete with a target density of 800 Kg/m³, since decreases the void ratio, as well as the interconnectivity between pores. Likewise, xanthan gum promoted an increase in compressive strength.

Keywords: Cellular concrete; Preformed foam; Xanthan Gum.

1. INTRODUÇÃO

O concreto celular é um tipo de concreto leve, composto por cimento, água, bolhas de ar, podendo ou não possuir agregados miúdos [1]. De acordo com HOU *et al.* [2] os poros de ar ocupam de 10% a 90% em volume do concreto celular endurecido, o que proporciona muitas vantagens de aplicação, como leveza, aumento de produtividade, diminuição do peso estrutural, destacando-se também como resistente ao fogo e bom isolante térmico e acústico [3-6]. Apesar de ser um material adequado para ser aplicado na construção civil, em decorrência da qualidade das espumas no estado fresco a mistura é instável, o que contribui com a baixa resistência mecânica no estado endurecido do concreto celular [7]. Dessa forma a bolha da espuma é um constituinte chave para o concreto celular, cuja qualidade, escala e distribuição na matriz cimentícia influenciam significativamente nas propriedades resultantes [8, 9].

As espumas formam um sistema instável que envelhecem e mudam suas características com o tempo. São suscetíveis a alguns efeitos que comprometem sua estabilidade como a drenagem do filme líquido, a qual ocorre devido ao efeito da gravidade. Em fluidos mais viscosos ocorre mais lentamente, contribuindo com a estabilidade da espuma [10]. Com o intuito melhorar a qualidade das espumas e assim aumentar a sua viscosidade, alguns autores propuseram a utilização de Goma Xantana (XG). A XG é um exopolissacarídeo fabricado comercialmente através de uma bactéria gram-negativa da espécie *Xanthomas campestris*. Apresenta alta solubilidade em água quente ou fria e alta viscosidade mesmo em baixas concentrações, sendo comumente utilizada nas indústrias alimentícia, farmacêutica, petrolífera, entre outras [11-13].

HAJIMOHAMMADI *et al.* [14] utilizaram 0,45% de XG em relação à massa do aditivo espumante do tipo sintético e obtiveram como resultado uma espuma que permaneceu sem drenar durante os 80 min de realização do ensaio. ZHU *et al.* [13] constataram que ao adicionar 0,5% de XG em relação a massa do agente espumante sintético, a espuma permaneceu sem drenar até os primeiros 15 min de ensaio e aos 30 min drenou 13,4%, o que atende ao requisito de menor que 20% para aplicações em engenharia, assim estabilizando e aumentando a qualidade da espuma através do aumento de viscosidade do filme líquido [13]. Os autores mencionados acima também destacam alguns benefícios da XG na estrutura dos poros no estado endurecido do concreto celular espumoso para densidades alvo de 700 Kg/m³ e 600 Kg/m³, respectivamente, tais como menor conectividade, tamanho e faixa de distribuição de poros. Devido a melhor estrutura de poros proporcionada pela XG, ZHU *et al.* [13] verificaram um aumento da resistência à compressão em aproximadamente 50%, como também diminuiu a densidade, absorção de água, absorção de umidade [13] e a condutividade térmica [14].

Em decorrência de poucos trabalhos utilizando a Goma Xantana em concreto celular, bem como do baixo percentual utilizado por outros pesquisadores, a presente pesquisa buscou avaliar a qualidade da espuma pré-formada através da inserção de maiores percentuais de XG (0, 1,5%, 1,0% e 2,0%). Para tanto, as espumas foram analisadas quanto a capacidade de drenagem ao longo do tempo, densidade, estabilidade e resistência. A partir do resultado de melhor desempenho da espuma, o concreto celular foi confeccionado em duas densidades alvo (800 Kg/m³ e 1200 Kg/m³), comparando-se a mistura contendo XG com uma de referência. Os concretos foram avaliados quanto a densidade, absorção de água por imersão, resistência à compressão e condutividade térmica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para produção dos concretos celulares, foram utilizados cimento Portland CP V ARI-RS, agente espumante do tipo sintético e agregado miúdo. O cimento Portland CPV- ARI RS possui massa específica igual a 2,98 g/cm³. A escolha do cimento deve-se ao fato de apresentar um menor percentual de adições como também um ganho de resistência inicial a curto prazo, diminuindo assim as tensões que a pasta fresca gera na espuma [15], além disso possibilita que a desmoldagem ocorra de maneira mais rápida. O agregado possui características de uma areia fina, de massa específica 2,5 g/cm³, diâmetro máximo de 0,6 mm e módulo de finura 1,25. A areia natural disponível para a utilização nesta pesquisa é proveniente de rio e comumente comercializada na região de Alegrete/RS. A Figura 1 apresenta a curva granulométrica do agregado miúdo. A produção das espumas foi realizada com o uso de aditivo espumante sintético Celublock, da empresa Liga Química, e Goma Xantana (XG) como agente estabilizador da espuma, a qual pode ser visualizada na Figura 2. A Goma Xantana é um exopolissacarídeo de coloração branca, produzida a partir do processo de fermentação de açúcares pelas bactérias pertencentes ao gênero *Xanthomonas*, a qual apresenta alta viscosidade, características pseudoplásticas como também fácil solubilidade em água [12]. O aditivo foi escolhido em razão da disponibilidade do mesmo na região de realização da pesquisa.

2.1. Caracterização das espumas

Para avaliação da estabilidade das espumas, o percentual de XG variou entre 0 (REF), 0,5% (XG-0,5), 1% (XG-1) e 2% (XG-2) em relação a massa do aditivo espumante. Os diferentes teores de XG foram diluídos com o

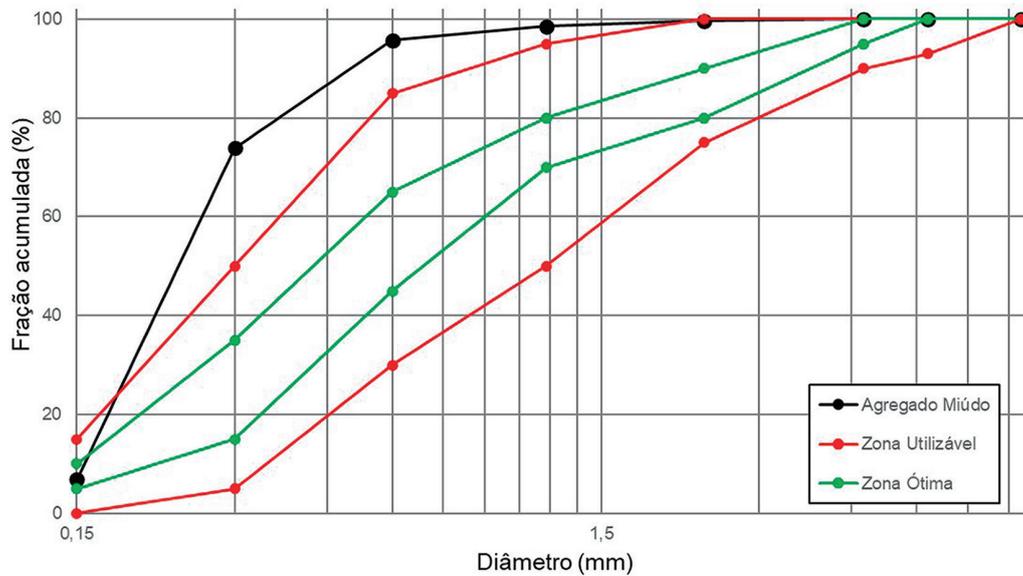


Figura 1: Curva granulométrica do agregado miúdo.

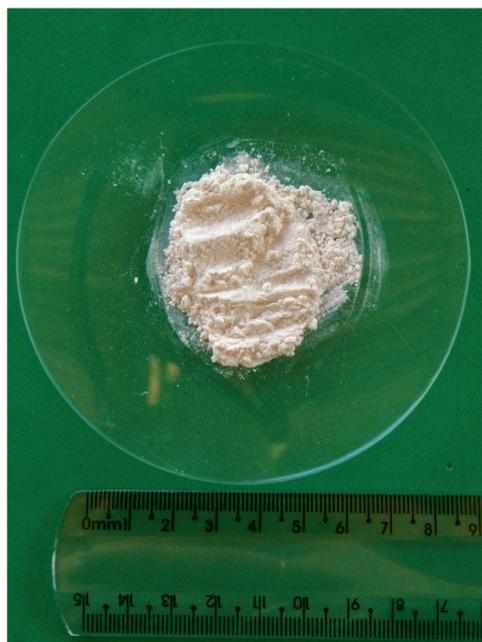


Figura 2: Goma Xantana.

auxílio de um agitador magnético na água de preparo da solução do aditivo espumante. O aditivo espumante foi preparado conforme orientação do fabricante na proporção 1:30, em volume, sendo 1 de aditivo espumante e 30 de água. A espuma foi produzida com um equipamento incorporador de ar ECOFOAMER-100 W- 10BP, o qual é formado por uma bomba hidráulica de recalque e um compressor de ar.

A qualidade da espuma foi aferida através da densidade e ensaios de estabilidade e resistência das espumas. O ensaio de estabilidade foi adaptado da metodologia proposta por SUN *et al.* [16] e ZHU *et al.* [13], onde três béqueres de 5 litros foram preenchidos com a espuma recém formada e registrado a quantidade de líquido drenado no fundo do béquer, a cada 5 min, durante 30 min. O ensaio de resistência foi adaptado da metodologia proposta por SUN *et al.* [16], na qual uma bola plástica com 3 cm de diâmetro e 2,53 g de massa foi colocada suavemente sob a superfície da espuma recém formada e medido seu deslocamento ao longo do tempo, durante 30 min. Para obter maior precisão dos valores aferidos, o ensaio de estabilidade e resistência das espumas foi fotografado com uma câmera de resolução de 48 MP e as medidas foram realizadas através do *software* ImageJ.

Tabela 1: Consumo de material para a produção de um m³ de concreto celular.

DENSIDADE ALVO (KG/M ³)	CIMENTO (KG)	AREIA (KG)	ESPUMA (L)	ÁGUA (L)	FATOR A/C
800	350	275	597,6	127,2	0,5
1200	350	675,5	437,5	161	0,5

Tabela 2: Programa experimental.

ENSAIO	DIMENSÃO DO CP	QUANTIDADE DE CP	IDADE DO ENSAIO	NORMA/TRABALHO
Índices Físicos	10 × 20 cm	3	28 dias	NBR 9.778/2009
Resistência à compressão	10 × 20 cm	4	7 e 28 dias	NBR 5.739/2018
Condutividade térmica	5 × 15 × 15 cm	3	28 dias	NBR 15.220/2005

2.2. Especificação dos traços e procedimento de mistura

O concreto celular seguiu a metodologia de dosagem proposta por TEIXEIRA FILHO e TEZUKA [17]. Foram estudadas duas massas específicas alvo de 800 kg/m³ e 1200 Kg/m³, ideais para utilização como blocos de vedação. Fixou-se um consumo de cimento de 350 kg/m³ e relação água/cimento de 0,5. A quantidade de agregado miúdo, espuma pré-formada e água foram calculadas conforme os parâmetros propostos por TEIXEIRA FILHO e TEZUKA [17]. A Tabela 1 apresenta o consumo de material para a produção de um m³ para os traços base de concreto celular espumoso estudados.

A mistura do concreto celular foi realizada em um misturador de eixo vertical, no qual, primeiramente, foi produzido a argamassa e após obter a homogeneização da mesma, foi adicionado a espuma e misturado por três minutos. Na sequência, o concreto celular foi lançado nas fôrmas em duas camadas e adensado por 5 segundos em mesa vibratória. A fim de evitar a perda de água para o ambiente, as superfícies dos corpos de prova foram recobertas com plástico filme. As amostras de concreto celular permaneceram em cura ambiente por 24 h, e após foram retiradas das fôrmas e mantidas na câmara úmida até as idades pré-estabelecidas dos ensaios. A câmara úmida possui temperatura de 23°C e umidade relativa de 95%.

2.3. Programa experimental

Anteriormente à confecção dos concretos, as espumas pré-formadas foram testadas quanto a sua estabilidade e resistência variando o teor de Goma Xantana (XG) em diferentes percentuais (1,5%, 1,0% e 2,0%) e comparadas à espuma referência (sem XG). Na sequência, o estudo contou com a análise dos concretos com e sem XG para cada densidade estudada (800 e 1200 kg/m³). O teor de XG utilizado para a confecção do concreto espumoso foi de 2%, pois apresentou melhor desempenho nos testes de caracterização. As misturas sem XG foram nomeadas como 800-REF e 1200-REF, e as misturas contendo Goma Xantana foram nomeadas 800-XG e 1200-XG. Os índices físicos e resistência à compressão foram determinados utilizando corpos de prova cilíndricos de dimensões 10 x 20 cm. Para determinar a condutividade térmica foi utilizado o equipamento LaserComp, o qual faz uso do método fluxiométrico para realizar o ensaio. Para tanto, foram moldados corpos de prova cúbicos de 15x15 cm em que, após 28 dias de cura, foram fatiados com o auxílio de uma serra circular de bancada em três amostras prismáticas de 15x15x5 cm. As amostras foram posicionadas entre os pratos do equipamento, os quais são configurados para que possuam uma diferença de temperatura de 25°C (ΔT). A faixa de temperatura adotada foi entre 10 °C e 35 °C, com precisão de $\pm 0,01^\circ\text{C}$. Para determinar a condutividade térmica, o equipamento leva em consideração a espessura da amostra, a variação de temperatura entre os pratos e o fluxo térmico sobre a amostra. A Tabela 2 resume o programa experimental, com os ensaios realizados, dimensão e quantidade de corpos de prova para cada traço, como também as idades de realização dos ensaios e as referências técnicas utilizadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Estabilidade das espumas pré-formadas

As Figuras 3a e 3b mostram os efeitos da Goma Xantana no processo de drenagem das espumas. Para ter uma maior representatividade estatística dos dados, o ensaio de drenagem foi repetido três vezes e ao final aferido

um valor médio para cada tempo. A espuma sem XG é denominada REF e as demais XG-0,5, XG-1 e XG-2 denominadas para cada teor estudado de 0,5%, 1,0% e 2,0%, respectivamente. Nota-se que é inevitável o processo contínuo de drenagem das espumas a partir do momento em que foram geradas, estando de acordo com o encontrado por SUN *et al.* [16].

Conforme observa-se na Figura 3a, as amostras com XG não drenam durante os primeiros 5 minutos, e à medida que aumenta a concentração de XG, menor é a drenagem final da espuma. Nota-se também que a amostra XG-2 apresenta um valor de drenagem inferior nos primeiros 10 minutos de ensaio se comparado aos demais traços, constatando-se que a XG proporcionou um retardo na drenagem. Na Figura 3b, também é possível visualizar que após 25 minutos de ensaio a drenagem da amostra XG-2 estabiliza.

Decorrido o período de ensaio, o traço XG-2 apresentou menor volume total drenado em comparação aos traços XG-0,5 e XG-1, porém maior que o valor aferido para a amostra referência. De acordo com HAJIMOHAMMADI *et al.* [14] a estabilidade das espumas pode influenciar na qualidade do concreto celular no estado fresco, mantendo uma maior quantidade de bolhas de pequeno tamanho nos poros até que a matriz endureça e assuma o controle do tamanho e da forma permanente dos poros. O tempo de retardo da drenagem também é importante para garantir a qualidade e homogeneidade do preparo e moldagem das amostras, desta forma quanto menor o volume de água drenado mais estável e adequada é a espuma para produção do concreto celular. Salienta-se que a drenagem de todos os traços ficou abaixo de 4%, satisfazendo assim os requisitos de menor que 20% para uso em engenharia conforme ZHU *et al.* [13].

A Figura 4 apresenta a densidade das espumas. É possível visualizar que com o aumento do teor de Goma Xantana, para o aditivo do tipo sintético em uso, a densidade da espuma é aumentada. Além disso, apenas o traço XG-2 apresenta densidade igual a 30 Kg/m³, estando dentro da faixa ideal abordada por ZHU *et al.* [13], entre 30 Kg/m³ e 50 Kg/m³.

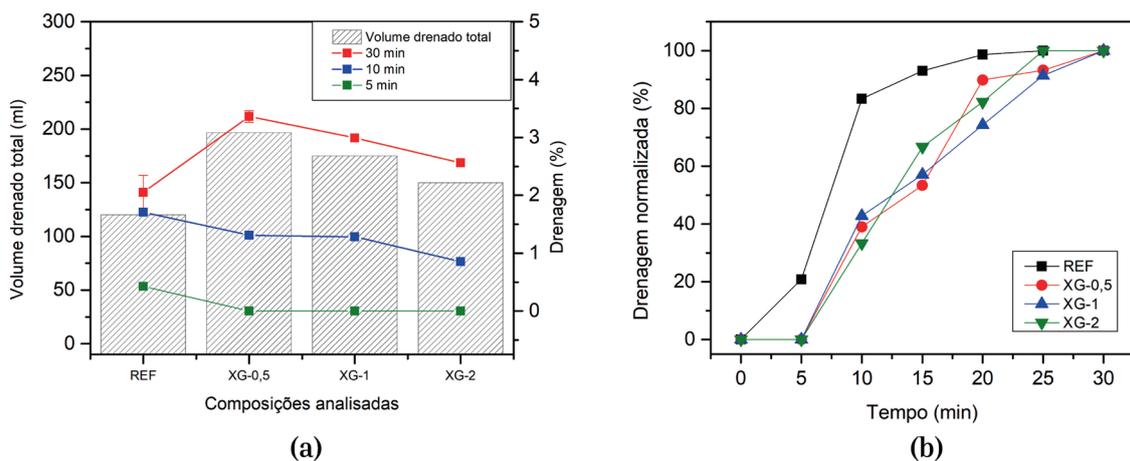


Figura 3: Drenagem média das espumas. (a) Volume médio drenado total (b) Drenagem média normalizada.

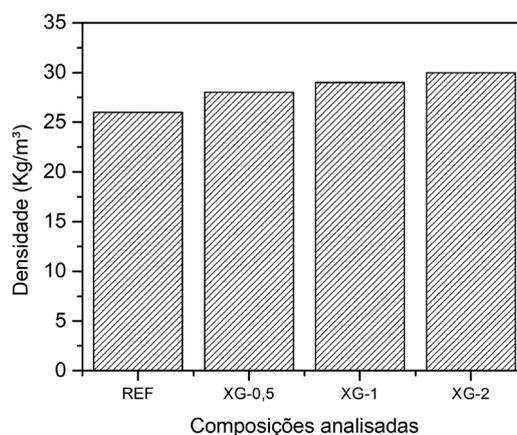


Figura 4: Densidade das espumas produzidas.

A Figura 5a apresenta o ensaio de resistência da espuma, no qual é possível visualizar a drenagem da espuma no fundo do béquer. A Figura 5b apresenta de forma gráfica os respectivos resultados de resistência da espuma. O ensaio de resistência da espuma não teve repetibilidade uma vez que a bola plástica deve ser posicionada no momento exato de produção da espuma. Conforme ilustrado na Figura 5a, quando a bola plástica entra em contato com a espuma, a espuma XG-2 apresentou menor velocidade de afundamento se comparado às demais, sendo assim é a que apresenta maior resistência. A goma xantana proporciona um aumento da viscosidade do filme líquido, o que pode aumentar sua resistência superficial, diminuir a taxa de drenagem e a coalescência entre as bolhas circundantes e, conseqüentemente, aumentar a estabilidade da espuma. Portanto, com base nos resultados expostos o teor de XG escolhido para a referida pesquisa foi de 2% em relação a massa do aditivo espumante.

Notou-se que à medida que se aumentava o percentual de Goma Xantana, o tempo de visualização das espumas no microscópio óptico era também aumentado, isto é, havia uma maior estabilidade e, conseqüentemente, um maior retardo no envelhecimento da espuma. A Figura 6 apresenta as imagens obtidas em microscópio óptico para as amostras REF e XG-2, na qual é possível observar que em (a), sem XG, há uma instabilidade na imagem, dificultando a visualização das bolhas. Além disso, verifica-se que há presença de bolhas maiores, ocasionadas pela junção de pequenas bolhas devido à movimentação fluidica. Na Figura 6b, com XG, é possível identificar as bolhas de ar com maior precisão, evidenciando a estabilização da espuma em decorrência da adição de 2% de XG, além da maior quantidade de bolhas menores.

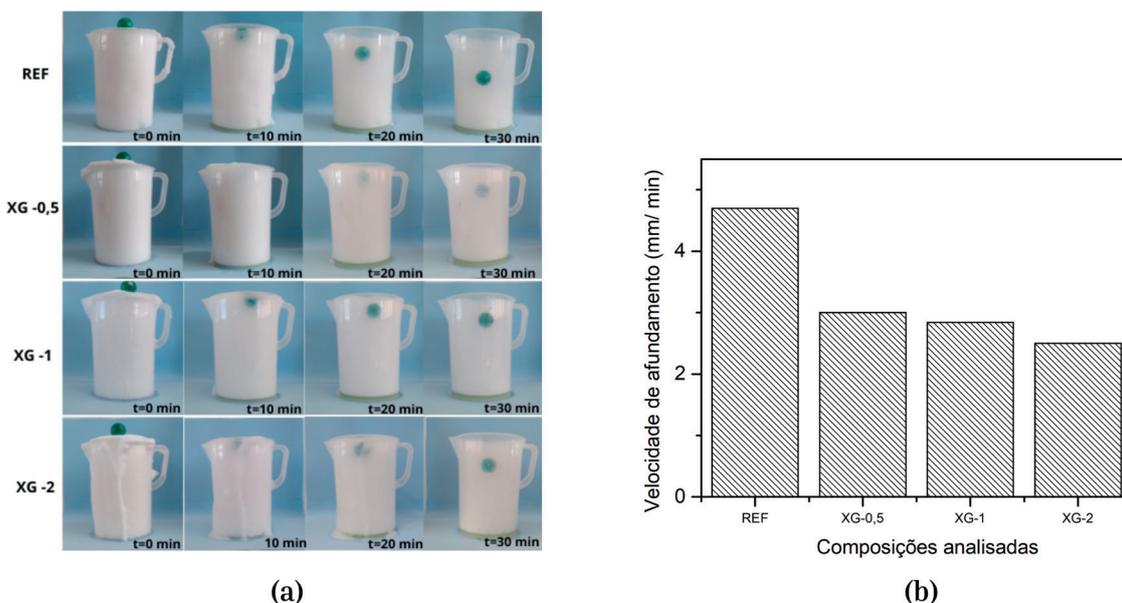


Figura 5: Resistência das espumas. (a) Ilustração do afundamento pelo tempo (b) Velocidade de afundamento.

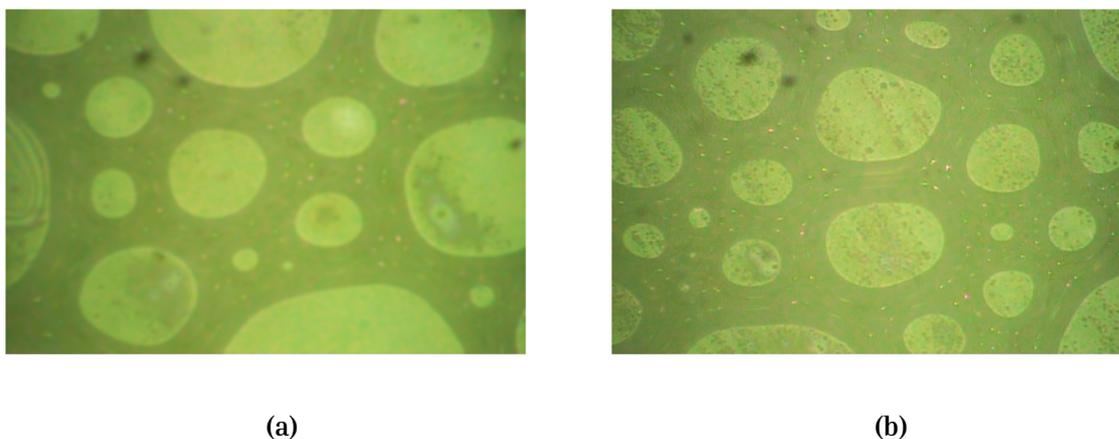


Figura 6: Imagem em microscópio óptico: (a) REF e (b) XG-2.

3.2. Índices físicos

A Figura 7 apresenta os resultados obtidos para a densidade média, índice de vazios e absorção de água por imersão, aos 28 dias. Na Figura 7a encontram-se os valores obtidos para as amostras com densidade alvo de 800 Kg/m³ e na Figura 7b os valores obtidos para as amostras com densidade alvo de 1200 Kg/m³.

Observa-se que, para as amostras com densidade alvo de 800 Kg/m³, a adição de 2% de XG proporcionou um aumento da densidade, como também diminuiu o índice de vazios e a absorção de água por imersão. Para comprovar a influência da XG, realizou-se o teste de Tukey, com nível de significância de 95%, comprovando que há diferença significativa entre as amostras 800-REF e 800-XG, conforme apresenta a Tabela 3. Para ZHU *et al.* [13] a maior densidade conferida à amostra contendo XG ocorre devido ao aumento da estabilidade da espuma, o que mantém a conformação da bolha após a mistura com a pasta de cimento, garantindo assim a densidade do concreto espumado. Os autores também observaram que para amostras com baixas densidades, ou seja, menor que 1000 Kg/m³, a Goma Xantana proporcionou uma menor absorção de água, se comparado a amostra referência. De acordo com os mesmos, a Goma Xantana melhora a viscosidade superficial e a elasticidade da espuma. Após misturar a espuma estabilizada com a pasta de cimento, a XG pode efetivamente resistir à força da pasta sobre as bolhas e impedir que as mesmas se difundam para bolhas circundantes. Por fim, após a solidificação do concreto celular espumoso, um número significativo de minúsculos poros fechados é gerado, os quais consequentemente absorvem pouca água, o que pode proporcionar a redução da absorção de água do concreto celular espumado.

Para as amostras com densidade alvo de 1200 Kg/m³, a inserção de XG proporcionou uma redução na densidade. No entanto, o índice de vazios e a absorção de água por imersão não apresentaram resultados significativos. O teste de Tukey, com nível de confiança de 95%, comprova que para as amostras com densidade alvo de 1200 Kg/m³, há influência da Goma Xantana na densidade, porém não há influência para as propriedades de índice de vazios e absorção de água por imersão, conforme pode ser visualizado na Tabela 3.

Em suma, para a densidade alvo de 800 Kg/m³, a XG proporcionou uma menor interconectividade entre os poros, pois ocorreu uma diminuição significativa na absorção de água por imersão, com menor impacto no conteúdo de vazios. Por outro lado, para um concreto de densidade mais elevada, como o de 1200 Kg/m³, em que seu volume é composto por 44% de espuma, a Goma Xantana não se mostrou relevante nos resultados para

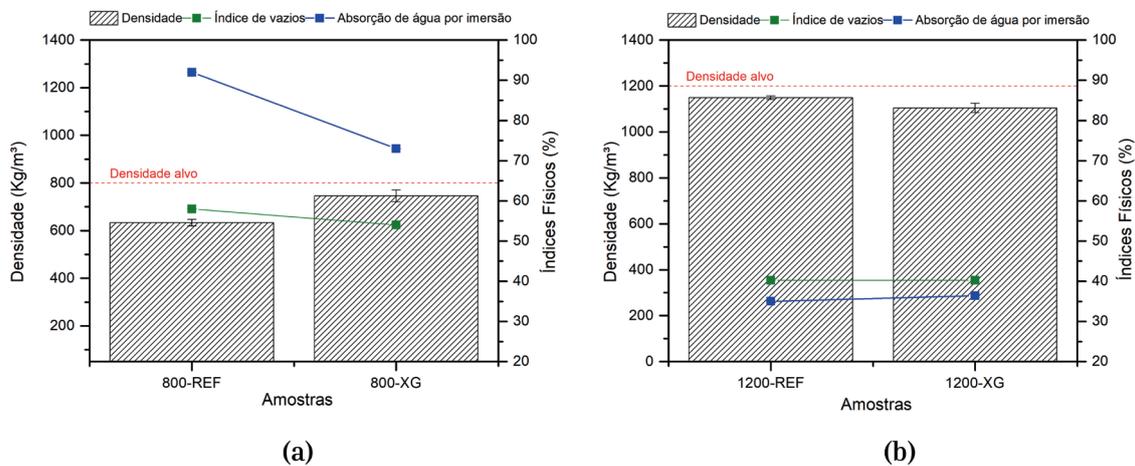


Figura 7: Densidade média, índice de vazios e absorção de água por imersão. (a) 800 Kg/m³ (b) 1200 Kg/m³.

Tabela 3: Programa experimental.

VARIÁVEL	COMBINAÇÕES	PROBABILIDADE	SIGNIFICÂNCIA
Densidade	800-REF X 800-XG	6,69457E-5	Sim
	1200-REF X 1200-XG	0,0238	Sim
Índice de vazios	800-REF X 800-XG	0,00384	Sim
	1200-REF X 1200-XG	0,84642	Não
Absorção de água por imersão	800-REF X 800-XG	1,67355E-4	Sim
	1200-REF X 1200-XG	0,99999	Não

a dosagem estudada. Já para o concreto com 800 kg/m³, composto por 60% de espuma, a quantidade de XG já se mostra mais eficiente na estabilização da espuma e proteção das bolhas de ar. De acordo com HASHIM e TANTRAY [18], concretos celulares com densidades alvo menores são mais instáveis em comparação a concretos celulares com maiores densidades, uma vez que a espuma se torna muito instável e suscetível a coalescência. Já em maiores densidades, devido a maior estabilidade da mistura referência, os poros são menores e mais uniformes [19, 20], portanto, o conteúdo de XG não é suficiente para obter diferença significativa nos resultados.

3.3. Resistência à compressão

A Figura 8 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial média aos 7 e 28 dias de cura. Observa-se que todos os traços tiveram um significativo aumento na resistência à compressão média dos 7 para os 28 dias, conforme pode ser visualizado na Tabela 4. Com a evolução da idade de cura, os traços 800-REF e 800-XG apresentaram um aumento de 82% e 58%, respectivamente. Por outro lado, os traços 1200-REF e 1200-XG exibiram um aumento médio de 27% e 18%, respectivamente.

Quando analisada a influência da Goma Xantana na resistência à compressão média do concreto celular, observa-se que para os traços com densidade alvo de 800 kg/m³, a utilização de XG representou um aumento médio de 92% na resistência à compressão média, aos 28 dias. Já para os traços com densidade alvo de 1200 kg/m³, a resistência média de 1200-XG, aos 28 dias, foi 34% superior a 1200-REF, porém os resultados não são significativos devido ao elevado desvio-padrão para a amostra 1200-XG. O fato se deve porque dois corpos de prova apresentaram ruptura de topo, em decorrência de uma aplicação de carga de forma irregular ou porque os corpos de prova apresentaram defeito de retificação. Embora tenha ocorrido este problema, a resistência à compressão destes corpos de prova foi mais elevada comparada às demais amostras, com um aumento de 34% em comparação a REF. Além disso, para a densidade de 1200 Kg/m³, é evidente que o teor de 2% de XG

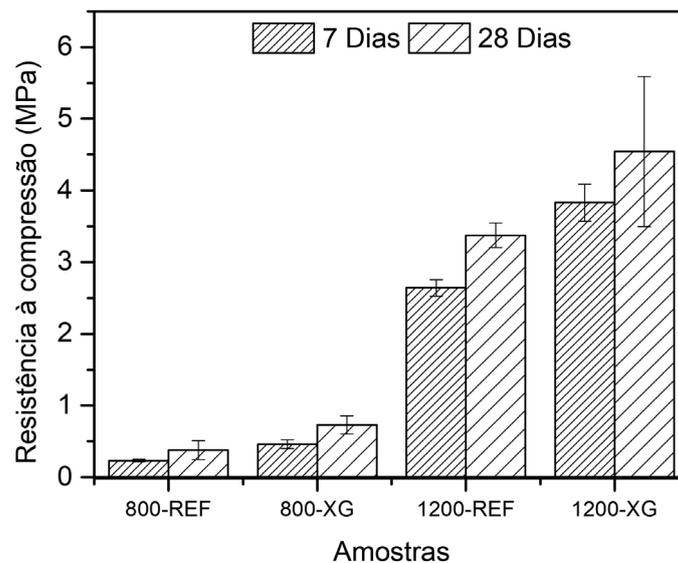


Figura 8: Resistência à compressão axial média.

Tabela 4: Resistência à compressão média.

VARIÁVEL	COMBINAÇÕES	PROBABILIDADE	SIGNIFICÂNCIA
Comparando entre 7 e 28 dias para mesmas misturas	800-REF X 800-REF	0,02352	Sim
	800-XG X 800-XG	0,01988	Sim
	1200-REF X 1200-REF	3,70256E-4	Sim
	1200-XG X 1200-XG	0,23509	Sim
Comparando aos 7 dias entre misturas	800-REF X 800-XG	8,30868E-4	Sim
	1200-REF X 1200-XG	1,50925E-4	Sim
Comparando aos 28 dias entre misturas	800-REF X 800-XG	0,00843	Sim
	1200-REF X 1200-XG	0,07031	Não

pode não ter sido suficiente para obter uma amostra estável, pois as bolhas tendem a coalescer devido ao peso da matriz, assim não gerando efeitos positivos na estrutura de poros e conseqüentemente afetando a resistência à compressão. Embora tenha ocorrido este problema, a resistência à compressão destes corpos de prova foi mais elevada comparada às demais amostras. O teste de Tukey, com nível de confiança de 95%, comprova que, para os traços com densidade alvo de 800 Kg/m³ a Goma Xantana influencia na resistência à compressão média, já para os traços com densidade alvo de 1200 Kg/m³ a Goma Xantana influenciou somente na resistência à compressão média aos 7 dias, conforme apresentado na Tabela 4.

Para HASHIM e TANTRAY [18] a resistência à compressão do concreto celular espumoso depende principalmente de dois fatores, a fase de endurecimento da matriz de ligação e a qualidade e tamanho dos poros de ar. Pode-se observar que a XG contribuiu para a estabilização da espuma, como também no estado endurecido proporcionou poros menores e menos interconectados, conseqüentemente viabilizou o aumento da resistência à compressão média. Os resultados estão de acordo com os resultados encontrados por HAJIMOHAMMADI *et al.* [14] e ZHU *et al.* [13], os quais obtiveram o aumento da capacidade de resistência à compressão através da utilização de goma xantana. Para ZHU *et al.* [13] ao estabilizar a espuma com XG, a espessura da parede do poro aumenta, e por conseguinte aumenta a resistência à compressão do concreto celular espumoso. Salienta-se que, aos 28 dias, para concretos celulares espumosos com densidades menores que 1000 Kg/m³, a resistência à compressão é proveniente da estrutura da parede de poros, a qual está relacionada com a distribuição de tamanho [21], homogeneidade e espessura da parede dos poros [13]. Já para concretos celulares espumosos com densidades acima de 1000 Kg/m³, a pasta de cimento é quem determina a resistência à compressão [21].

A influência da densidade na resistência à compressão média também pode ser analisada de forma que as amostras com 800-REF apresentaram cerca de 12,46% da resistência alcançada pelo traço 1200-REF aos 28 dias. Já as amostras do traço 800-XG apresentaram 16,08% da resistência atingida pelo traço 1200-XG também aos 28 dias de cura. Assim, com o aumento da densidade ocorreu um incremento na resistência à compressão média. Pode-se observar que a inserção de XG contribuiu para a estabilização da espuma, e conseqüentemente aumentou a resistência à compressão média, estando de acordo com os resultados encontrados por HAJIMOHAMMADI *et al.* [14] e ZHU *et al.* [13].

Os traços 1200-REF e 1200-XG atingiram resistência à compressão média superior a resistência mínima de 1,50 MPa, estipulada pela NBR 15.270 [22], podendo assim serem utilizados como materiais de vedação. Já os traços 800-REF e 800-XG não atingiram a resistência mínima à compressão, pois o concreto celular apresenta baixas resistências em função dos vazios presente em sua estrutura [23–25].

3.4. Condutividade térmica

A Figura 9 mostra os valores médios obtidos para a condutividade térmica. Tais resultados foram obtidos a partir da média de três amostras. Devido os valores de condutividade térmica divergirem após a segunda casa decimal, foi utilizada uma precisão de quatro casas decimais.

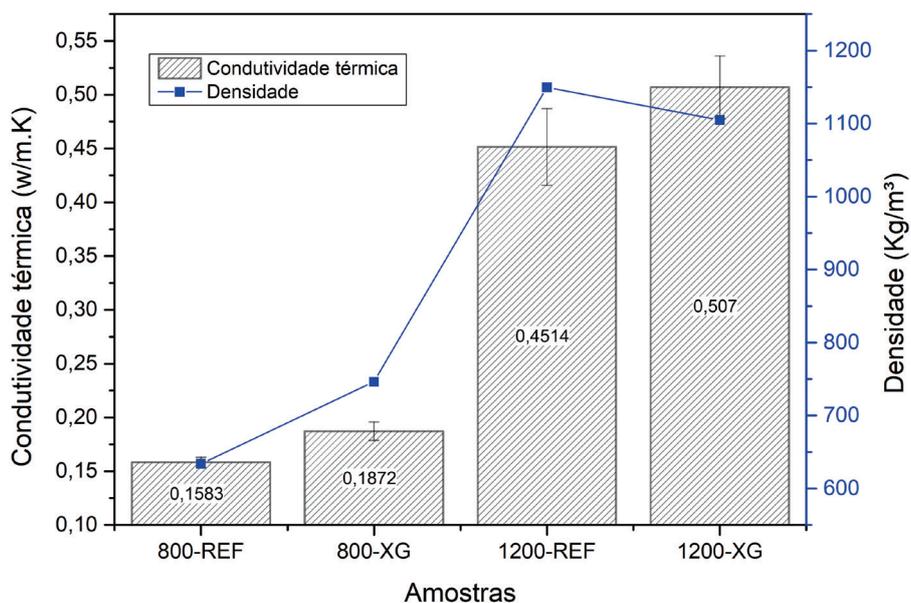


Figura 9: Condutividade térmica.

Tabela 5: Teste de Tukey para a condutividade térmica.

VARIÁVEL	COMBINAÇÕES	PROBABILIDADE	SIGNIFICÂNCIA
Condutividade térmica	800-REF X 800-XG	4,36994E-5	Sim
	1200-REF X 1200-XG	0	Sim

Observa-se que para a densidade alvo de 800 Kg/m³, a utilização de XG proporcionou um aumento evidente na condutividade térmica de cerca de 18,26%. Conforme o teste de Tukey (Tabela 5), com 95% de confiança, os resultados apresentam diferença significativa. As amostras com densidade alvo de 1200 Kg/m³, a adição de XG também apresentou um leve aumento, porém significativo, de cerca de 12,31%, o qual pode ser comprovado pelo teste de Tukey, conforme apresentado na Tabela 5.

A condutividade térmica possui relação com a conectividade, tamanho e quantidade de poros. Além disso, possui também relação direta com a densidade, em consequência do conteúdo de pasta. Conforme pode ser visualizado na Figura 9, em se tratando das misturas de referência, o aumento da densidade proporcionou a diminuição do índice de vazios e, assim, o aumento da condutividade térmica. Tais resultados estão de acordo com o exposto por CORREIA [25], SACHT *et al.* [26], LERTWATTANARUK e SUNTIJITTO [27] e PACHLA *et al.* [28], onde a condutividade térmica é proporcional à densidade.

Em relação as amostras contendo XG, para as duas densidades analisadas, a adição de XG apresentou um aumento dos resultados de condutividade térmica em relação aos traços de referência. Tais resultados não estão de acordo com os obtidos por HAJIMOHAMMADI *et al.* [14], os quais obtiveram, para a densidade alvo de 700 Kg/m³, uma pequena diminuição da condutividade térmica à medida que se aumentava a porcentagem de XG, quando utilizado teores de 0,18%, 0,25% e 0,45% em relação a massa do agente espumante. No entanto, embora houvesse aumento da distribuição de tamanho dos poros e maior frequência de poros menores à medida que o teor de XG era aumentado, os autores não apresentaram valores de porosidade total que justificassem os dados de condutividade térmica obtidos. De acordo com PAPA *et al.* [29], a combinação de alta macroporosidade, arredondamento, dimensão dos poros e redução da espessura interporosa (pelo incremento da porosidade total), permite o atingimento de menores condutividades térmicas.

No presente estudo, a utilização de Goma Xantana na densidade de 800 kg/m³ proporcionou uma sutil diminuição do índice de vazios como também da interconectividade entre poros, evidenciado pela maior diminuição na absorção de água. Tal fato se deve à maior estabilidade proporcionada à espuma, conforme ilustrado na Figura 7. Da mesma forma, a Goma Xantana proporcionou um aumento da densidade, resultando em uma maior resistência média à compressão, e uma maior condutividade térmica. No entanto, para o concreto espumoso com densidade de 1200 kg/m³, embora os resultados de índice de vazios e absorção não tenham sofrido alterações com o uso de XG, há evidência de que a Goma Xantana tenha gerado efeito positivo, mesmo que pequeno, na proteção das bolhas, em virtude do aumento na resistência à compressão e condutividade térmica.

Com base na NBR 15.220-3 [30], os resultados obtidos encontram-se dentro do valor estipulado para a condutividade térmica de blocos cerâmicos, materiais comumente utilizados para alvenaria de vedação, os quais apresentam condutividade térmica igual a 0,65 W/ (m.K). Os valores também se encontram bem abaixo do valor máximo estipulado pela norma de desempenho, a NBR 15.575-1 [31], para paredes externas e internas, de 1,75 W/ (m.K). Sendo assim, no que se refere à condutividade térmica, todas as amostras em estudo, podem ser utilizadas como alvenaria de vedação.

4. CONCLUSÃO

No presente estudo foi avaliado a inserção de Goma Xantana no processo de produção da espuma, com o intuito de melhorar sua estabilidade na produção de concretos celulares. Foram avaliadas as propriedades do concreto celular no estado endurecido, utilizando duas densidades alvo (800 kg/m³ e 1200 kg/m³).

A Goma Xantana melhorou a qualidade da espuma. Entre as composições analisadas, o uso de 2% de Goma Xantana em relação ao agente espumante, proporcionou uma melhor qualidade à espuma pré-formada, diminuindo a taxa de drenagem e aumentando a resistência da espuma.

No concreto celular, o uso de 2% de Goma Xantana para as duas densidades produzidas, apresentou uma maior resistência à compressão aos 7 e 28 dias. Os traços com densidades de 1200 kg/m³ apresentaram valores de resistência significativos de 2,64 MPa para 1200-REF e 3,83 MPa para 1200-XG, sendo superiores ao mínimo exigido para blocos de vedação.

A utilização de Goma Xantana na densidade de 800 kg/m³, proporcionou uma diminuição do índice de vazios, como também da interconectividade entre poros em decorrência da maior estabilidade proporcionada à

espuma. Da mesma forma, a Goma Xantana proporcionou um aumento da densidade, resultando em uma maior resistência média à compressão, e uma maior condutividade térmica. Por outro lado, o impacto da Goma Xantana não fica tão evidente para o concreto celular com densidade de 1200 kg/m³, em que sua estrutura de poros parece não ser afetada de maneira substancial em decorrência da menor quantidade de espuma em sua composição. Apesar de haver variação significativa entre os dados analisados, a diferença entre os valores médios obtidos é sutil.

Por fim, a utilização de 2% de Goma Xantana se mostrou mais eficiente para a densidade de 800 Kg/m³, o que dá indícios de ter maior influência em densidades menores de concretos celular, compostos por maiores quantidades de espuma pré-formada. Os resultados indicam que a Goma Xantana tende a proteger as bolhas, formando poros mais isolados, diminuindo a absorção de água, aumentando a resistência mecânica e condutividade térmica.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] FERREIRA, O.A.R., TEZUKA, Y., “*Concretos leves: o concreto celular espumoso*”, Tese de M.Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
- [2] HOU, L., LI, J., LU, Z., *et al.*, “Influence of foaming agent on cement and foam concrete”, *Construction & Building Materials*, v. 280, pp. 122399, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122399>.
- [3] RAMAMURTHY, K., KUNHANANDAN NAMBIAR, E.K., INDU SIVARANJANI, G., “A classification of studies on properties of foam concrete”, *Cement and Concrete Composites*, v. 31, n. 6, pp. 388–396, 2009. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.04.006>.
- [4] MYDIN, M.A.O., WANG, Y.C., “Mechanical properties of foamed concrete exposed to high temperatures”, *Construction & Building Materials*, v. 26, n. 1, pp. 638–654, 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.067>.
- [5] CHICA, L., ALZATE, A., “Cellular concrete review: New trends for application in construction”, *Construction & Building Materials*, v. 200, pp. 637–647, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.136>.
- [6] FALLIANO, D., RESTUCCIA, L., GUGLIANDOLO, E., “A simple optimized foam generator and a study on peculiar aspects concerning foams and foamed concrete”, *Construction & Building Materials*, v. 268, pp. 121101, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121101>.
- [7] JONES, M., OZLUTAS, K., ZHENG, L., “Stability and instability of foamed concrete”, *Magazine of Concrete Research*, v. 68, n. 11, pp. 542–549, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1680/mac.15.00097>.
- [8] SONG, Y., LANGE, D., “Influence of fine inclusions on the morphology and mechanical performance of lightweight foam concrete”, *Cement and Concrete Composites*, v. 124, pp. 104264, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104264>.
- [9] SHANG, X., QU, N., LI, J., “Development and functional characteristics of novel foam concrete”, *Construction & Building Materials*, v. 324, pp. 126666, 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126666>.
- [10] SHE, W., DU, Y., MIAO, C., *et al.*, “Application of organic- and nanoparticle-modified foams in foamed concrete: reinforcement and stabilization mechanisms”, *Cement and Concrete Research*, v. 106, pp. 12–22, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.01.020>.
- [11] SUTHERLAND, I.W., “Microbial biopolymers from agricultural products: production and potential”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 38, n. 3-4, pp. 249–261, 1996. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0964-8305\(96\)00058-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0964-8305(96)00058-3).
- [12] BORGES, C.D., VENDRUSCOLO, C.T., “Goma xantana: características e condições operacionais de produção”, *Semina. Ciências Biológicas e da Saúde*, v. 29, n. 2, pp. 171–188, 2008. doi: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0367.2008v29n2p171>.
- [13] ZHU, H., CHEN, L., XU, J., *et al.*, “Experimental study on performance improvement of anionic surfactant foaming agent by xanthan gum”, *Construction & Building Materials*, v. 230, pp. 116993, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116993>.
- [14] HAJIMOHAMMADI, A., NGO, T., MENDIS, P., “Enhancing the strength of pre-made foams for foam concrete applications.”, *Cement and Concrete Composites*, v. 87, pp. 164–171, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.12.014>.
- [15] SONG, Y., LANGE, D., “Influence of fine inclusions on the morphology and mechanical performance of lightweight foam concrete”, *Cement and Concrete Composites*, v. 124, pp. 104264, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104264>.

- [16] SUN, C., ZHU, Y., GUO, J., *et al.*, “Effects of foaming agent type on the workability, drying shrinkage, frost resistance and pore distribution of foamed concrete”, *Construction & Building Materials*, v. 186, pp. 833–839, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.019>.
- [17] TEIXEIRA FILHO, F.J., TEZUKA, Y., *Considerações sobre algumas propriedades dos concretos celulares espumosos: boletim técnico*, São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, USP, 29 p., 1992.
- [18] HASHIM, M., TANTRAY, M., “Comparative study on the performance of protein and synthetic-based foaming agents used in foamed concrete”, *Case Studies in Construction Materials*, v. 14, pp. e00524, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00524>.
- [19] NAMBIAR, E.K., RAMAMURTHY, K., “Air-void characterization of foam concrete”, *Cement and Concrete Research*, v. 37, n. 2, pp. 221–230, 2007. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.10.009>.
- [20] BATOOL, F., BINDIGANAVILE, V., “Air-void size distribution of cement based foam and its effect on thermal conductivity”, *Construction & Building Materials*, v. 149, pp. 17–28, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.114>.
- [21] KEARSLEY, E., VISAGIE, M., “Properties of foamed concrete as influenced by air-void parameters.”, *Concrete Beton.*, v. 101, pp. 8–14, 2012.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 15.270 – Componentes Cerâmicos – Blocos e Tijolos para Alvenaria, Parte 1: Requisitos*, Rio de Janeiro, ABNT, 2017.
- [23] GENÇEL, O., BENLİ, A., BAYRAKTAR, O.Y., *et al.*, “Effect of waste marble powder and rice husk ash on the microstructural, physico-mechanical and transport properties of foam concretes exposed to high temperatures and freeze–thaw cycles”, *Construction & Building Materials*, v. 291, pp. 123374, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123374>.
- [24] GENÇEL, O., NODEHI, M., YAVUZ BAYRAKTAR, O., *et al.*, “Basalt fiber-reinforced foam concrete containing silica fume: an experimental study”, *Construction & Building Materials*, v. 326, pp. 126861, 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126861>.
- [25] CORREIA, C., “*Conforto termo-acústico de uma habitação de baixo custo*”, Tese de D.Sc., Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- [26] SACHT, H., ROSSIGNOLO, J., SANTOS, W., “Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida”, *Matéria*, v. 15, n. 1, pp. 31–39, 2010. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-70762010000100005>.
- [27] LERTWATTANARUK, P., SUNTIJITTO, A., “Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications”, *Construction & Building Materials*, v. 94, pp. 664–669, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.154>.
- [28] PACHLA, E.C., SILVA, D., JUCÁ, P., *et al.*, “Desempenho térmico-acústico-mecânico de um compósito de matriz cimentícia leve reforçado com casca de arroz”, *Matéria*, v. 24, n. 2, pp. e12354, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0669>.
- [29] PAPA, E., MEDRI, V., KPOGBEMABOU, D., *et al.*, “Porosity and insulating properties of silica-fume based foams”, *Energy and Building*, v. 131, pp. 223–232, Nov. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.031>.
- [30] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 15.220-3 — Desempenho Térmico de Edificações Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social*, Rio de Janeiro, ABNT, 2005.
- [31] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 15.575-1 – Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais*, Rio de Janeiro, ABNT, 2005.