ENARC
FOZ DO IGUAÇU-2023

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA ESPESSURA DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO FABRICADAS COM RESÍDUOS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL

Analysis of Variation of Thickness of Rendering Mortars Manufactured with Residues in the Thermal Performance of Buildings in Brazil

Vítor Freitas Mendes
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, MG | vitor.mendes@aluno.ufop.edu.br

Aldo Ribeiro de Carvalho
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, MG | aldo.carvalho@aluno.ufop.edu.br

Júlia Assumpção de Castro
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, MG | julia.assumpcao@aluno.ufop.edu.br

Júlia Castro Mendes
Universidade Federal de Juiz de Fora | Juiz de Fora, MG | juliacastro.mendes@ufjf.br

Resumo

Neste trabalho, resíduos industriais, como escória de aciaria, quartzito friável e rejeito de barragem de minério de ferro, são estudados como substitutos para a areia de rio. Esses resíduos têm apresentado bom desempenho mecânico e físico, tornando-se opções viáveis para edificações e reduzindo os impactos ambientais da extração de areia de rio. Além disso, a eficiência energética é fundamental para a redução do consumo de energia na construção civil. Assim, este estudo investigou o impacto da variação da espessura do revestimento com argamassas sustentáveis no desempenho térmico de uma edificação. As simulações energéticas realizadas demonstraram que ajustar a espessura pode aprimorar o desempenho térmico, resultando em economia de energia. Além dos benefícios energéticos, a utilização desses resíduos contribui para a redução dos impactos socioambientais. Em conclusão, a adoção adequada de argamassas sustentáveis pode promover um melhor desempenho térmico das edificações brasileiras, alinhando-se com os objetivos de sustentabilidade da construção civil.

Palavras-chave: Argamassas de Resíduos; Desempenho Térmico; Eficiência Energética; Espessura.

ABSTRACT

In this work, industrial waste such as steel slag, friable quartzite, and iron ore tailings are being investigated as substitutes for river sand. These waste materials have shown promising mechanical and physical performance, making them viable options for building construction while reducing the environmental impact of sand extraction. Additionally, energy efficiency plays a crucial role in reducing energy consumption in the construction sector. Therefore, this study examined the impact of varying the thickness of sustainable mortar coatings on the thermal performance of a building. The conducted energy simulations demonstrated that adjusting the thickness can enhance thermal performance, resulting in energy savings. Beyond the energy benefits, the utilization of these waste materials also contributes to reducing socio-environmental impacts. In conclusion, the proper adoption of sustainable mortars can enhance the thermal performance of buildings in Brazil, aligning with the sustainability goals of the construction industry.

Keywords: Waste Mortars; Thermal Performance; Energy Efficiency; Thickness.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, há um interesse crescente em explorar alternativas sustentáveis para a construção civil, incluindo no que diz respeito às argamassas de revestimento (LOPES, MENDES, *et al.*, 2023). Diferentes resíduos industriais, como a Escória de Aciaria (EA), Quartzito Friável (QTZ) e Rejeito de Barragem de Minério de Ferro (RBMF) são estudados como potenciais substitutos (parcial ou total) para o agregado natural das argamassas convencionais (areia de rio) (SANTOS, 2015; MARTINS, CARVALHO, et al., 2021; MENDES, BARRETO, *et al.*, 2019). As indústrias mineradora e siderúrgica enfrentam desafios relacionados à geração de resíduos (COLLARES, JR., *et al.*, 2012; REIS, COLLARES, *et al.*, 2017). Esses setores produzem grandes volumes de resíduos que são, em geral, inadequadamente descartados, acarretando sérias consequências econômicas, ambientais e sociais. Essas argamassas produzidas com resíduos têm mostrado um desempenho mecânico e físico promissor (MARTINS, PEIXOTO e MENDES, 2023; COSTA, NOGUEIRA, *et al.*, 2022), tornando viável o uso em edificações, além de reduzir a extração da areia de rio que tem graves impactos ambientais (NOGUEIRA, 2016).

Ademais, no setor da construção civil, a eficiência energética desempenha um papel fundamental na redução do consumo de energia, sendo fruto de um desempenho térmico aprimorado nas edificações (MENDES, FARDIN, *et al.*, 2022). Dentre os elementos que podem influenciar o desempenho térmico, destaca-se o sistema construtivo dos fechamentos (PASSOS, CARASECK e AMARAL, 2016). Esses fechamentos atuam significativamente na independência climática do ambiente interno, em relação ao externo, e as propriedades termofísicas dos seus materiais de construção desempenham um papel crucial nesse contexto (MENDES, FARDIN, *et al.*, 2022).

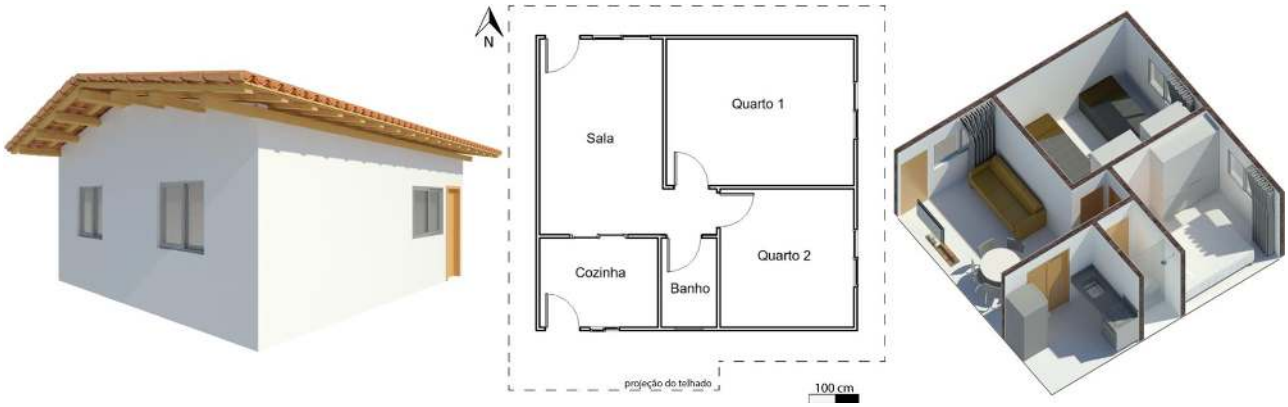
Já existem estudos que mostram a viabilidade da implementação das argamassas de revestimento produzidas com resíduos para a melhoria do desempenho térmico de edificações (MENDES, BARRETO, *et al.*, 2019; MARTINS, MENDES, *et al.*, 2023). No entanto, para investigar o total potencial dessas argamassas sustentáveis, é essencial entender o efeito que variações na quantidade de argamassas de revestimento (i.e., a espessura do reboco) podem ter no desempenho térmico da edificação. Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar o impacto do ajuste da espessura do reboco utilizando argamassas sustentáveis na melhoria do desempenho térmico da edificação, visando aumentar sua eficiência energética.

2 METODOLOGIA

Neste trabalho, fez-se simulações energéticas, para investigar o desempenho térmico de uma edificação de pequeno porte, tendo suas paredes revestidas por 3 tipos de argamassa de resíduos. A edificação foi estudada simulando uma série de espessuras para essas argamassas (0,01m – 0,03m). As simulações foram realizadas no programa EnergyPlus (v9.6) considerando um ano de referência por inteiro. No experimento, foram consideradas 3 cidades, cada uma representativa de climas frio, ameno e quente no Brasil. A cidade de São Joaquim/SC é sabidamente uma das cidades mais frias do país. Por sua vez, Corumbá/MS apresenta um clima muito quente, comparado às outras cidades do Brasil. Além disso, São Paulo/SP apresenta um clima relativamente ameno.

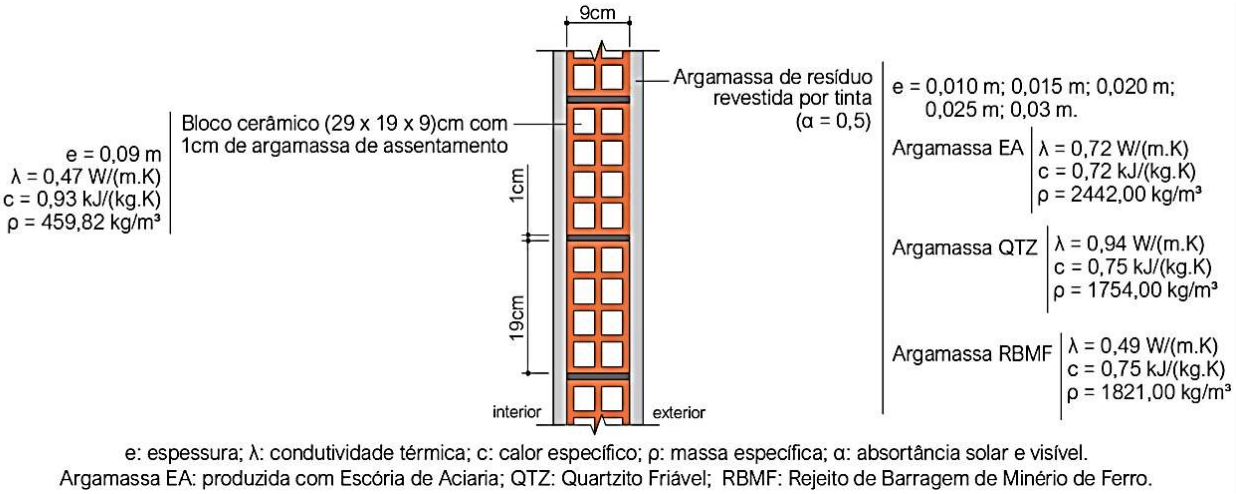
A edificação em questão compreende uma área construída de aproximadamente 40m². Trata-se de uma residência unifamiliar contendo sala, cozinha, banheiro social e 2 quartos (Figura 1). O sistema construtivo do fechamento vertical da residência (suas paredes) é composto por tijolo cerâmico furado assentado com argamassa convencional, revestido, nos 2 lados, com a argamassa de resíduo pintada com tinta comum, conforme verifica-se na Figura 2. Para a modelagem da edificação no EnergyPlus, foram adotadas as propriedades termofísicas das argamassas, apresentadas na Figura 2. As propriedades termofísicas das argamassas de resíduos são frutos de um estudo anterior (MENDES, BARRETO, et al., 2019). A transmitância térmica e capacidade térmica dos sistemas construtivos das paredes analisadas variaram entre 2,07W/(m²·K) - 2,61W/(m²·K) e 64,73kJ/(m²·K) - 143,98kJ/(m²·K), respectivamente (Tabela 1). Foram consideradas as espessuras ente 0,010m - 0,030m, pois a norma NBR 13749 (ABNT, 2013) determina que, para paredes internas, ela deve variar entre 0,005m - 0,020m, e, para as externas, 0,020m-0,030m. Contudo, na prática, a maioria das argamassas de revestimento, geralmente, variam entre 0,010m - 0,030m. Para os demais materiais construtivos (ex. madeiras e vidros), foram utilizadas as propriedades padrões do programa. O padrão de ocupação, de iluminação e limites de temperatura operativa da edificação foram configurados conforme a norma NBR 15575 (ABNT, 2021).

Figura 1: Residência simulada. Esquerda: maquete gráfica do exterior. Meio: esquema da planta de pavimento. Direita: maquete humanizada do interior.



Fonte: os autores.

Figura 2: Detalhamento e informações termofísicas do sistema construtivo das paredes da edificação.



e: espessura; λ: condutividade térmica; c: calor específico; ρ: massa específica; α: absortância solar e visível.
Argamassa EA: produzida com Escória de Aciaria; QTZ: Quartzito Friável; RBMF: Rejeito de Barragem de Minério de Ferro.

Fonte: os autores.

Tabela 1: Transmitância Térmica (U) e Capacidade Térmica (CT) das paredes segundo a espessura e o tipo usado de argamassa.

	Parede com argamassa de Escória de Aciaria (EA)					Parede com argamassa de Quartzito Friável (QTZ)					Parede com argamassa de Rejeito de Barragem de Minério de Ferro (RBMF)				
Espessura(m)	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030
U (W/(m²·K))	2,57	2,48	2,40	2,32	2,25	2,61	2,54	2,47	2,41	2,35	2,49	2,37	2,26	2,16	2,07
CT (kJ/(m²·K))	73,65	91,23	108,82	126,40	143,98	64,73	77,85	90,97	104,09	117,21	65,91	79,62	93,34	107,05	120,76

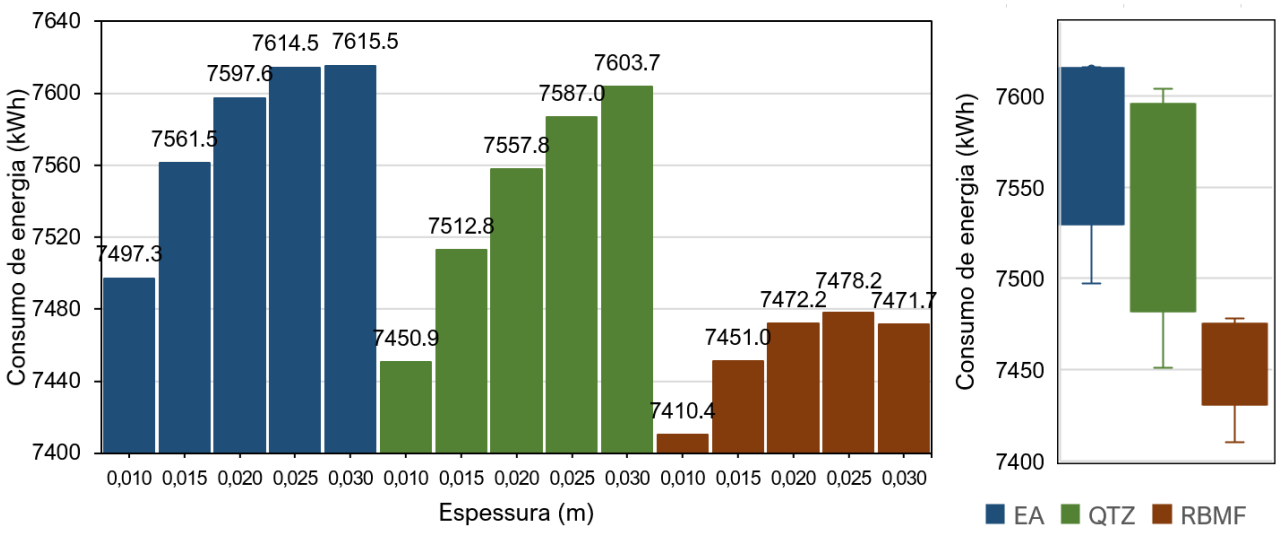
Fonte: os autores.

A análise do desempenho térmico da edificação baseou-se na comparação de demandas de energia para acondicionar os ambientes de longa permanência (sala e quartos) de cada variação do modelo simulado da edificação (ABNT, 2021). Assim, considerando as 3 cidades, os 3 tipos de argamassa de revestimento e as 5 variações de espessura, foram criados 45 modelos para simulação energética. Nesse sentido, aquele modelo que garante uma menor demanda de energia para aclimatar a edificação é o mesmo que se demonstra com o melhor desempenho térmico.

3 RESULTADOS

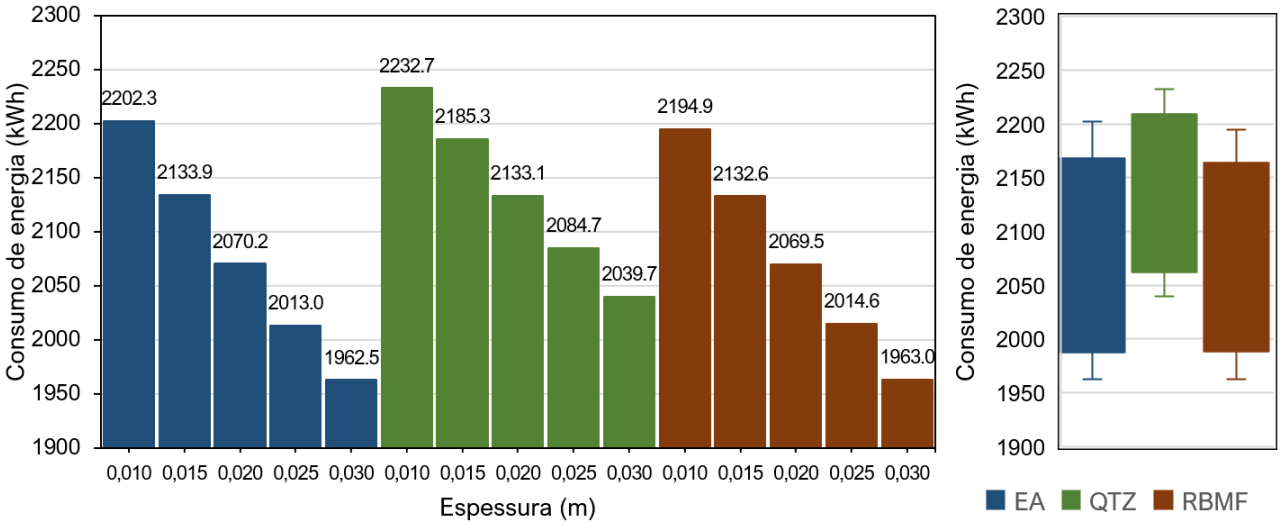
Comparando os resultados obtidos nas cidades de Corumbá (Figura 3), São Paulo/SP (Figura 4) e São Joaquim/SC (Figura 5), verifica-se que São Paulo (clima relativamente mais ameno) é a cidade que propicia uma menor demanda de energia para resfriar/aquecer o ambiente. Isso ocorre, pois o clima ameno tende a propiciar um ambiente mais confortável, em relação aos demais climas (Veloso, Souza, & Koury, 2017). Ainda, nota-se a argamassa RBMF destacando sobre as demais, garantindo os menores resultados de demanda de energia nas cidades de clima extremo e um resultado muito semelhante à argamassa EA em São Paulo/SP, a qual garantiu melhor desempenho à edificação. A argamassa QTZ obteve resultados relativamente altos, na maioria dos casos, i.e., garantiu o menor desempenho térmico à edificação.

Figura 3: Consumo de energia para a residência simulada com as 15 variações de reboco em Corumbá/MS. Esquerda: Gráfico de Barras. Direita: Gráfico de Velas.



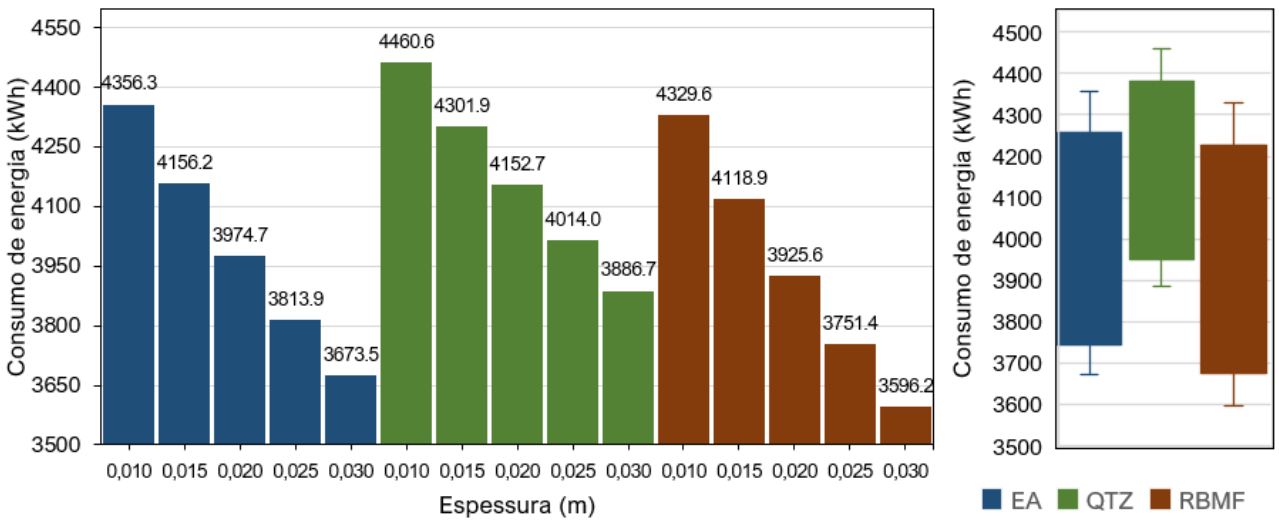
Fonte: os autores.

Figura 4: Consumo de energia para a residência simulada com as 15 variações de reboco em São Paulo/SP. Esquerda: Gráfico de Barras. Direita: Gráfico de Velas.



Fonte: os autores.

Figura 4: Consumo de energia para a residência simulada com as 15 variações de reboco em São Joaquim/SC. Esquerda: Gráfico de Barras. Direita: Gráfico de Velas.



Fonte: os autores.

Com relação à variação da espessura das argamassas de resíduos (foco deste trabalho), verifica-se que, em geral, a redução da espessura foi favorável para a melhoria do desempenho térmico da edificação em Corumbá/MT (cidade quente) (Figura 3). As argamassas de revestimento com espessura reduzida têm a transmitância térmica do sistema de fechamento aumentada e a sua capacidade térmica diminuída (Tabela 1). A transmitância térmica se refere à taxa de transferência de calor de um certo elemento, sendo que um fechamento com alta transmitância térmica deixa o ambiente interno mais suscetível ao clima externo (ABNT, 2022). Já a capacidade térmica se diz respeito ao potencial do elemento em variar sua temperatura a partir da energia imposta a ele, sendo que um fechamento com baixa capacidade térmica deixa a amplitude térmica do interior da edificação menos controlada (ABNT, 2022). Ou seja, à primeira vista, a redução da espessura da argamassa parece uma atitude inadequada para a melhoria do desempenho térmico da edificação.

Contudo, o que se constata é que, nas condições analisadas, é interessante permitir toda a troca de calor possível com o ambiente externo da edificação (aumentar a transmitância térmica dos fechamentos). Devido à natureza quente da região, qualquer queda na temperatura externa pode ser notada no interior da edificação, oferece uma oportunidade de economizar energia ao reduzir a necessidade de resfriamento do ambiente. Dessa forma, entende-se que a capacidade térmica do fechamento não foi uma propriedade preponderante para melhorar o desempenho térmico da edificação, pois, realmente, um ambiente interno sem muitas oscilações na temperatura favoreceria o desempenho da edificação. Porém, nessas condições, a redução da espessura é indissociável ao aumento da transmitância térmica e à redução da capacidade térmica da edificação. Em Corumbá/MS, verifica-se que a argamassa QTZ obteve maior variação no consumo de energia com a mudança da espessura, 152,8kWh. Tratando-se da RBMF, com melhor desempenho térmico à edificação, esse valor reduz-se para 67,8kWh. Esse valor se converte em uma economia anual constatada de R$59,70 na conta de energia local (ANEEL, 2023).

Com relação a São Joaquim/SC (cidade fria), nota-se que o aumento da espessura da argamassa garante um melhor desempenho térmico à edificação, por reduzir o consumo de energia com aclimatação do ambiente (Figura 5). Analogamente, uma maior espessura da argamassa resulta em uma menor transmitância térmica e uma maior capacidade térmica aos fechamentos (Tabela 1). Nesse caso, entende-se que, em São Joaquim, é mais interessante reduzir qualquer fluxo de calor entre a edificação e o ambiente externo, impedindo o resfriamento do ambiente interno através dos fechamentos. Além disso, nota-se que a alta capacidade térmica do fechamento contribui com a melhoria do desempenho térmico da edificação, evitando que o ambiente saia bruscamente da temperatura ajustada para o conforto. Em São Joaquim/SC, verifica-se, mais uma vez, que a argamassa RBMF garantiu um melhor desempenho térmico à edificação. Além disso, a argamassa RBMF obteve a maior variação de desempenho térmico ao longo da mudança de sua espessura. Trata-se de uma economia anual constatada de 733,4kWh, reduzindo R$420,23 na conta de energia local (ANEEL, 2023).

Quanto a São Paulo/SP (clima ameno), observa-se comportamentos medianos. A argamassa EA (pior na cidade quente) e RBMF (melhor em ambas as cidades) demonstraram um desempenho térmico quase semelhante, considerando cada espessura analisada. Tratam-se, inclusive, das argamassas que garantiram melhor desempenho térmico à edificação nessa cidade. Em São Paulo, a redução da espessura da argamassa pode economizar até 239,8kWh anuais ou R$157,31 (ANEEL, 2023).

Assim, é possível notar uma tendência de significativa melhoria no desempenho térmico com a variação da espessura do reboco de argamassas produzidas a partir de resíduos de EA, QTZ e RBMF. Esse efeito é mais notável em cidades com climas naturalmente mais frios. No entanto, é importante destacar que mesmo em cidades quentes do Brasil, ainda é possível obter economia de energia ao utilizar a espessura adequada de argamassas de resíduos, conforme evidenciado por essas análises.

4 CONCLUSÃO

Este estudo avaliou o desempenho térmico de uma edificação de pequeno porte com a variação da espessura das argamassas de resíduos. Conclui-se que a atenção à espessura adotada nas argamassas estudadas pode melhorar ainda mais o desempenho térmico das edificações. Em clima frio, houve economia anual de até 733,4kWh ou R$420,23 (São Joaquim/SC). Em clima mais ameno, a economia anual chegou aos 239,8kWh, que corresponde a R$157,31 (São Paulo/SP). Em clima quente, a economia anual verificada foi menor, 67,8kWh ou R$59,70 (Cuiabá/MT). Ainda, reforça-se que utilizar esses resíduos reduz impactos socioambientais causados pela sua deposição incorreta no meio ambiente. Assim, a espessura adequada das argamassas sustentáveis pode aprimorar, ainda mais, o desempenho térmico das edificações no Brasil.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto (PROPEC), à Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPPI-UFOP) à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pelo apoio e financiamento das bolsas de doutorado de Aldo Ribeiro de Carvalho, Júlia Assumpção de Castro e Vítor Freitas Mendes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 13749** - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgâncias - Especificação. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 15575:** Edifícios Residenciais - Desempenho. Rio de Janeiro. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 15220 -** Desempenho térmico em edficiações. Rio de Janeiro. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - **ANEEL**, Ranking da Tarifa Residencial. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/rankingtarifas>. Acesso em: 16 jun. 2023.

COLLARES, E.G. et al. Evaluation of the aggregate produced from wastes of quartzite mining sites to use in concrete. **International Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 35, n. 3, p. 251-266, 2012.

COSTA, Laís C. B. et al. Mechanical and durability performance of concretes produced with steel slag aggregate and mineral admixtures. **Construction and Building Materials**, v. 318, p. 126152, 2022.

LOPES, Carolina D. M. N. et al. Residues in cement-based composites: Occurrence mapping in Brazil. **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, p. e01763, 2023.

MARTINS, A. C. P.. et al. Steel slags in cement-based composites: An ultimate review on characterization, applications and performance. **Construction and Building Materials**, v. 291, p. 123265, 2021.

MARTINS, Letícia M. et al. Desempenho Térmico de argamassas produzidas com resíduos da mineração e siderurgia. **VII Congresso Latino Americano de Simulação de Edifícios**, p. 24-29, 2023.

MARTINS, Letícia M.; PEIXOTO, Ricardo A. F.; MENDES, Júlia C. Quartzite tailings in civil construction materials: a systematic review. **Clean Technologies and Environmental Policy**, p. 1-18, 2023.

MENDES, Júlia C. et al. Factors affecting the specific heat of conventional and residue-based mortars. **Construction and Building Materials**, Novembro 2019.

MENDES, Vítor F. et al. Sensitivity analysis of coating mortars according to their specific heat, specific gravity,thermal conductivity, and thickness in contribution to the global thermal performance of buildings. **Sustainable Materials and Technologies**, 2022.

NOGUEIRA, G.R.F. A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação. **Universidade Federal de Juiz de Fora**, Juiz de Fora, 2016.

PASSOS, P, M.; CARASECK, H; AMARAL, G, M. Avaliação da capacidade isolante térmica de revestimentos de argamassa. **XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2016. 0282 - 0298.

REIS, M. J. et al. **Technological assessment of tailings from quartzite mining sites in Alpinópolis (Minas Gerais-Brazil) as aggregates in concrete block paving (CBP)**. [S.l.]. 2017.

SANTOS, D.H. **Substituição total do agregado natural por quartzito friável para produção de argamassas mistas de assentamento e revestimento**. Ouro Preto. 2015.

VELOSO, Ana C. D. O.; SOUZA, Roberta V. G. D.; KOURY, Ricardo N. N. Research of Design Features that Influence Energy Consumption in Office Buildings in Belo Horizonte, Brazil. **Energy Procedia**, p. 101-110, 2017.