

SUBMETIDO 31/01/2022

APROVADO 25/04/2022

PUBLICADO ON-LINE 17/05/2022

PUBLICADO 10/10/2023

EDITOR ASSOCIADO
Andre Luis Christoforo

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6632>

ARTIGO ORIGINAL

Influência da inserção do resíduo de retífica cerâmica em argamassas de rejuntamento

 Louise Carvalho dos Santos ^[1]

 Augusto Wanderlind ^[2]

 Jorge Henrique Piva ^{[3]*}

 Elaine Guglielmi
Pavei Antunes ^[4]

[1] loouise.cds@hotmail.com

[2] acw@unesc.net

[3] jhpiva@gmail.com

[4] elainegpa@unesc.net

Departamento de Engenharia Civil,
Universidade do Extremo
Sul Catarinense (UNESC), Brasil

RESUMO: Os materiais cerâmicos para revestimento são amplamente usados na construção civil, e placas cerâmicas retificadas, com retificação das arestas, são cada vez mais requeridas no mercado. O processo de retificação gera um resíduo proveniente do desbaste das peças (resíduo de retificação cerâmica – RRC). O objetivo deste estudo é analisar a influência da substituição fracionária do agregado miúdo por RRC nas características físicas e nas propriedades mecânicas de argamassas de rejuntamento (AR). Foram pesquisadas formulações de AR com substituição parcial do agregado pelo RRC, nas proporções de 2%, 4% e 6% (F2, F4 e F6). As distintas formulações foram caracterizadas pelos seguintes ensaios, determinando: retenção de água, variação dimensional, resistência à compressão, resistência à tração na flexão, absorção de água por capilaridade e determinação de permeabilidade, todos conforme as diretrizes da NBR 14992:2003. Além desses, executou-se também o ensaio de módulo de elasticidade, este último conforme a NBR 8522:2021. Com base nos resultados obtidos, constata-se que as características das argamassas com substituição do agregado miúdo por RRC, independente do percentual de substituição, apresentaram resultados positivos nos ensaios de retenção de água, variação dimensional, permeabilidade e resistência à compressão. Em relação aos ensaios de absorção de água por capilaridade, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade, obteve-se resultados melhores com quantidades menores de RRC.

Palavras-chave: argamassa de rejunte; resíduos de retificação de cerâmica; sistema de revestimento cerâmico.

Influence of inserting ceramic grinding residue in grouting mortars

ABSTRACT: Ceramic tile materials are widely used in construction and rectified ceramic tiles, with edge grinding, are increasingly in demand in the market. The rectification process generates a residue from the rectification of the pieces (ceramic rectification residue – CRR). The objective of this study was to analyze the influence of the fractional replacement of fine aggregate by CRR on the

*Autor para correspondência.

physical characteristics and mechanical properties of grouting mortars (GM). The formulations of GM, with partial replacement of aggregate by CRR, in the proportions of 2%, 4% and 6% (F2, F4 and F6) were investigated. The different formulations were characterized by the following tests, determining: water retention, dimensional variation, compressive strength, flexural tensile strength, water absorption by capillarity and determination of permeability, all according to the guidelines of NBR 14992:2003. Besides these, the modulus of elasticity test was also performed, the latter in accordance with NBR 8522:2021. Based on the results obtained, it can be seen that the characteristics of the mortars with replacement of fine aggregate by CRR, regardless of the percentage of replacement, showed positive results in water retention, dimensional variation, permeability and compressive strength tests. Regarding the water absorption test by capillarity, flexural tensile strength and modulus of elasticity, better results were obtained with smaller amounts of CRR.

Keywords: *ceramic rectification waste; ceramic tiling system; grouting mortar.*

1 Introdução

A indústria de revestimentos cerâmicos faz parte do conjunto de cadeias produtivas que compõem o ramo da construção civil. A cerâmica, como produto tecnológico, nasceu no período mesolítico, sendo que, nessa época, o homem primitivo usava as suas mãos para misturar, conformar e decorar artigos desenvolvidos a partir de matérias-primas argilosas (OLIVEIRA; HOTZA, 2015). A cada dia, o setor cerâmico ocupa um novo espaço nas edificações habitacionais e nas áreas comerciais e industriais. Conforme dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento (ANFACER), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de revestimentos cerâmicos e ocupa a segunda posição de mercado consumidor. Em 2020, as vendas no mercado interno atingiram 826 milhões de metros quadrados e 94 milhões foram destinados ao mercado externo (ANFACER, 2021).

Segundo Antunes (2019), as placas cerâmicas podem ser elencadas como a preferência nacional quando se trata dos materiais de construção empregados como acabamento para revestimento. O mesmo autor complementa que essa preferência se dá, principalmente, devido a sua durabilidade, facilidade de limpeza, beleza e diversidade de produtos (cores, texturas e tamanhos) e, também, por seu uso ser indicado para diferentes aplicações e ambientes.

As placas cerâmicas tradicionais são produzidas a partir de três componentes básicos – argila, sílica e feldspato –, que, após sinterização (queima), formam uma matriz vítrea (BRITO, 2009; SANCHEZ *et al.*, 2001). Durante o processo de queima, as placas cerâmicas podem sofrer alterações das suas características dimensionais e geométricas e, com o intuito de padronizá-las, é realizado o processo de retificação. A retificação consiste no corte das arestas das placas, de modo a garantir lados retos, maior estabilidade dimensional e cantos ortogonais, e, por conseguinte, possibilita total alinhamento durante o assentamento (BRITO, 2009; SARTOR *et al.*, 2021).

O processo de retificação ocorre no final da linha de produção dos revestimentos cerâmicos, no qual, na presença de rebolos diamantados de alta capacidade de remoção, trabalha-se sobre as laterais das peças, removendo eventuais rebarbas e promovendo o seu perfeito esquadrejamento. No entanto, no processo de retificação das placas cerâmicas, tem-se a geração de resíduos, denominados como resíduos de retificação

cerâmica (RRC). O RRC consiste em um resíduo pulverulento, seco, com grande presença de sílica (quartzo) devido à própria composição da massa cerâmica. Segundo Sartor *et al.* (2021), estima-se que a geração de RRC seja de 1,00 kg/m² – aproximadamente 650 toneladas/mês de pó residual de retífica.

A construção civil exerce grande degradação no meio ambiente, desde a extração até a destinação final dos resíduos produzidos (BATISTA *et al.*, 2021; MACEDO *et al.*, 2021; RAMOS FILHO *et al.*, 2021;). Com a limitação cada vez maior dos recursos naturais, é de extrema importância buscar a reutilização dos resíduos provenientes de processos industriais, a fim de obter benefícios técnicos, econômicos e ambientais (TÜFEKÇI; ÇAKIR, 2017).

Entre as possíveis alternativas de reciclagem do RRC pela construção civil, alguns estudos já foram realizados, tais como: na produção de concreto para pavimento intertravado (CARVALHO, 2013); no uso para solos argilosos estabilizados com RRC (LINO, 2018; VASCONCELLOS, 2019); como material cimentício suplementar através da atividade pozolânica (FONSÊCA *et al.*, 2021); e em argamassas colantes industrializadas (SARTOR *et al.*, 2021).

Além dessas possibilidades, outra possível alternativa para reutilizar o RRC é em argamassas de rejuntamento (AR). O estudo da inserção do RRC em AR torna-se bastante relevante quando se leva em consideração algumas características físicas similares que o RRC tem com o agregado miúdo convencionalmente utilizado na produção da AR.

A composição tradicional da AR é o cimento Portland, juntamente com agregado miúdo de granulometria controlada, pigmentos e aditivos (CARASEK, 1996; MONTEIRO, 2018; PONCIANO, 2011; VIRTUOSO, 2019), sendo que alguns fabricantes de AR empregam como agregado miúdo a dolomita (PONCIANO, 2011; VIRTUOSO, 2019). A dolomita pode ser utilizada como coadjuvante em misturas com polímeros e a sua principal característica é oferecer uma maior compactação na fabricação de placas cerâmicas para sistemas de revestimentos e de mármores sintéticos (PONCIANO, 2011). Uma característica que favorece sua aplicação está na sua cor basicamente branca, que possibilita uma maior diversidade de cores nas argamassas de rejuntamento quando empregadas juntamente com pigmentos.

O RRC, quando oriundo de retificação de placas cerâmicas de massa branca, apresenta coloração esbranquiçada, assim como a dolomita, e tem composição granulométrica que se adéqua facilmente à produção de AR. Considerando essas características, aliadas à necessidade de estudos que implementem maior sustentabilidade na construção civil, motivou-se esta pesquisa.

De acordo com a NBR 14992:2003 (ABNT, 2003), a AR é um componente com finalidade de aplicação nas juntas de assentamento de placas cerâmicas e, conforme Barros e Sabbatini (2001), Chew (1999), Junginger (2003), Motta *et al.* (2019) e Ribeiro e Barros (2010), tem grande importância no desempenho do sistema de revestimento cerâmico, visto que a sua falha pode gerar diversas manifestações patológicas.

Segundo Junginger (2003), a AR auxilia no desempenho estético do revestimento e na regularidade superficial, facilita o assentamento das placas, compensa a variação das dimensões, veda o revestimento cerâmico, permite a difusão de vapor de água, proporciona alívio de tensões e aperfeiçoa a aderência das placas. De acordo com Ponciano (2011), os requisitos e propriedades preponderantes para a AR são trabalhabilidade (consistência, plasticidade e adesão inicial), baixa retração, aderência e capacidade de absorver deformações (flexibilidade), principalmente quando será aplicada em fachadas.

A partir disso, esta pesquisa tem como objetivo estudar a possibilidade da substituição fracionária do agregado miúdo por resíduo de retificação cerâmica (RRC) na produção de argamassa de rejunte. A verificação de viabilidade dá-se através da análise de três formulações de traço com incorporação de resíduo em substituição ao agregado miúdo – neste caso, a dolomita.

A fim de analisar a aplicabilidade do RRC na AR, o artigo apresenta a caracterização físico-química do RRC empregado e a análise dos resultados dos seguintes ensaios: determinação de retenção de água, determinação da variação dimensional, resistência à compressão, resistência à tração na flexão, absorção de água por capilaridade e determinação de permeabilidade, conforme as diretrizes da NBR 14992 (ABNT, 2003), além do ensaio de módulo de elasticidade, conforme a NBR 8522 (ABNT, 2021).

Na seção 2 é apresentado o método da pesquisa, em que se descreve a definição dos traços e os ensaios aplicados; na seção 3, os resultados da pesquisa são apresentados e é comparada a influência do RRC nas propriedades das misturas. Por fim, na seção 4 são apresentadas as conclusões.

2 Método da pesquisa

O estudo dividiu-se em três etapas. Na primeira etapa, realizou-se a coleta do resíduo na fábrica de revestimentos cerâmicos e a caracterização do RRC e do agregado miúdo (dolomita). O RRC adquirido foi proveniente de placas de porcelanato esmaltado, tipo BIa.

Para a caracterização do RRC, foram obtidos os resultados de distribuição de tamanho de partículas (através de sedimentometria de raios X em analisador de partículas Sedigraph III Plus), análise química (através de fluorescência de raios X) e, por último, análise de fases (difração de raios X por meio do método do pó e refinamento RIR-Rietveld). Cabe mencionar que tais resultados foram repassados pela empresa cerâmica e que esses ensaios foram realizados por laboratório externo certificado.

Para a caracterização da dolomita, realizou-se a análise granulométrica através do método de difração a laser, por meio de um granulômetro modelo CILAS 1064L de tecnologia multi-laser, com agente dispersante Poliacrilato de Sódio.

Posteriormente, na segunda etapa, definiu-se o traço de referência da AR e os traços com percentuais de substituição da dolomita por RRC. Ainda na segunda etapa, realizou-se a execução dos traços e dos ensaios referentes às análises das características físicas e das propriedades mecânicas, todos de acordo com a NBR 14992:2003 (ABNT, 2003).

Na terceira e última etapa, realizou-se a análise dos resultados. A Tabela 1 apresenta a distribuição granulométrica da dolomita e do RRC.

Tabela 1 ►
Distribuição granulométrica do RRC.
Fonte: dados da pesquisa

Fração passante	Ø (µm) RRC*	Ø (µm) dolomita
D_{90}	34,25	34,53
D_{50}	18,54	18,33
D_{20}	11,13	7,62
D_{10}	3,26	2,95

*base de dados da empresa (2020)

A composição química do RRC pode ser visualizada na Tabela 2.

Tabela 2 ▶

Análise química dos resíduos de retificação cerâmica.

Fonte: dados da pesquisa

Óxidos	RRC* (%)
SiO ₂	70,00
Al ₂ O ₃	19,80
Fe ₂ O ₃	3,21
TiO ₂	0,56
CaO	0,82
MgO	1,02
Na ₂ O	1,49
K ₂ O	3,05
MnO	0,02
P ₂ O ₅	0,03

*base de dados da empresa (2020)

A Tabela 3 apresenta as fases verificadas e o percentual de cada uma delas na composição do RRC, enquanto na Figura 1 se visualiza o resíduo de retífica cerâmica obtido para realização do estudo.

Tabela 3 ▶

Análise de fases por DRX.

Fonte: dados da pesquisa

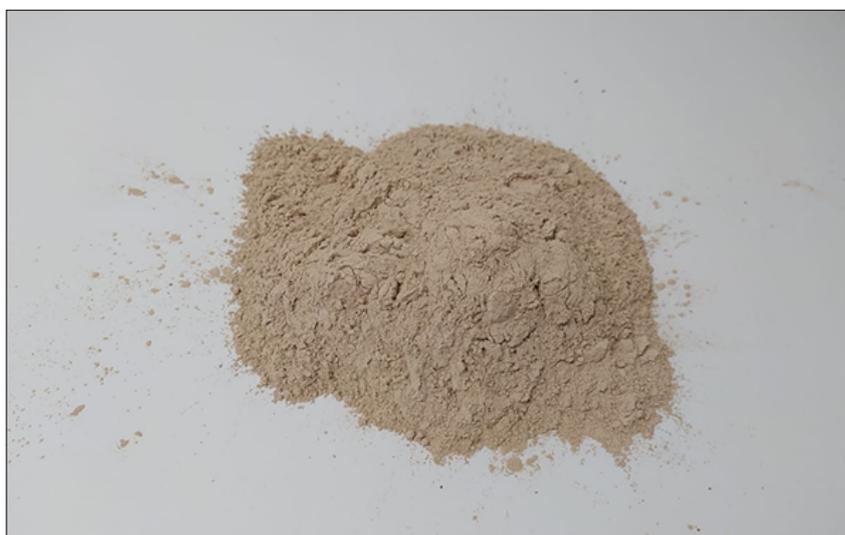
Teor de fase encontrado	RRC* (%)
Não cristalina	60
Quartzo	25
Mulita	9
Feldspatos	6
Anortita	-

*base de dados da empresa (2018)

Figura 1 ▶

Resíduo de retífica cerâmica (RRC) utilizado nas misturas.

Fonte: arquivo dos autores



Para o traço, utilizou-se aglomerante, agregado miúdo, polímero e aditivos. Como aglomerante foi empregado o cimento Portland branco, como agregado miúdo foi utilizada a dolomita, e o Copolímero Acetato de Vinila Etileno foi empregado como polímero. Já para os aditivos, foram inseridos o celulósico, como fluidificante, e o estearato de zinco como hidrorrepelente. O traço unitário de referência (*F0*) utilizado foi: 1:2,20:1,06 (cimento:agregado miúdo:água), além de 0,05% de polímero por grama de cimento, 0,80% de aditivo hidrorrepelente por grama de cimento e 0,65% de aditivo fluidificante por grama de cimento.

O traço de referência e os percentuais de substituição foram definidos com base em estudos já realizados por Magalhães (2008), Ponciano (2011) e, principalmente, no desenvolvido por Virtuoso (2019). A proporção dos componentes pode ser visualizada na Tabela 4. As formulações foram codificadas de acordo com os percentuais de substituição em *F0*, *F2*, *F4* e *F6*, sendo 0, 2, 4 e 6 o percentual de substituição do agregado miúdo pelo RRC.

Tabela 4 ►

Quantidade dos materiais em gramas para cada kg de argamassa de rejuntamento.
Fonte: dados da pesquisa

Material	<i>F0</i> (g)	<i>F2</i> (g)	<i>F4</i> (g)	<i>F6</i> (g)
Cimento Portland branco	310,00	310,00	310,00	310,00
Agregado miúdo	684,00	664,00	644,00	624,00
Pó de retificação	0,00	20,00	40,00	60,00
Polímero	1,50	1,50	1,50	1,50
Aditivo hidrorrepelente	2,50	2,50	2,50	2,50
Aditivo fluidificante	2,00	2,00	2,00	2,00
Quantidade de água	330,00	330,00	330,00	330,00

Para caracterização das ARs, realizaram-se os ensaios de determinação de retenção de água, determinação da variação dimensional, resistência à compressão, resistência à tração na flexão, absorção de água por capilaridade e determinação de permeabilidade, todos conforme as diretrizes da NBR 14992:2003 (ABNT, 2003). Além desses, executou-se também o ensaio de módulo de elasticidade, conforme a NBR 8522:2021 (ABNT, 2021), com adaptação das dimensões dos corpos de prova, ou seja, foram utilizados três corpos de prova cilíndricos ($\text{Ø}50 \times 100$) mm para cada formulação.

O ensaio de retenção de água no estado fresco deu-se pela medição do diâmetro formado pelo espalhamento da água absorvida em papel-filtro. O diâmetro, em milímetros, é a média aritmética das medidas de quatro diâmetros ortogonais, igualmente.

Foram moldados seis corpos de prova prismáticos de $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ para cada formulação de AR, sendo três para o ensaio de variação dimensional e três para o ensaio de resistência à tração na flexão.

Para o ensaio de resistência à compressão e absorção de água por capilaridade foram moldados sete corpos de prova cilíndricos de ($\text{Ø}50 \times 100$) mm para cada formulação, sendo quatro para resistência à compressão e três para absorção de água por capilaridade. Todos esses ensaios foram realizados conforme as prescrições da NBR 14992:2003.

O ensaio de permeabilidade seguiu as diretrizes do Anexo G da NBR 14992:2003. No entanto, foram moldados três corpos de prova prismáticos com 40 mm de arestas

Figura 2 ▼

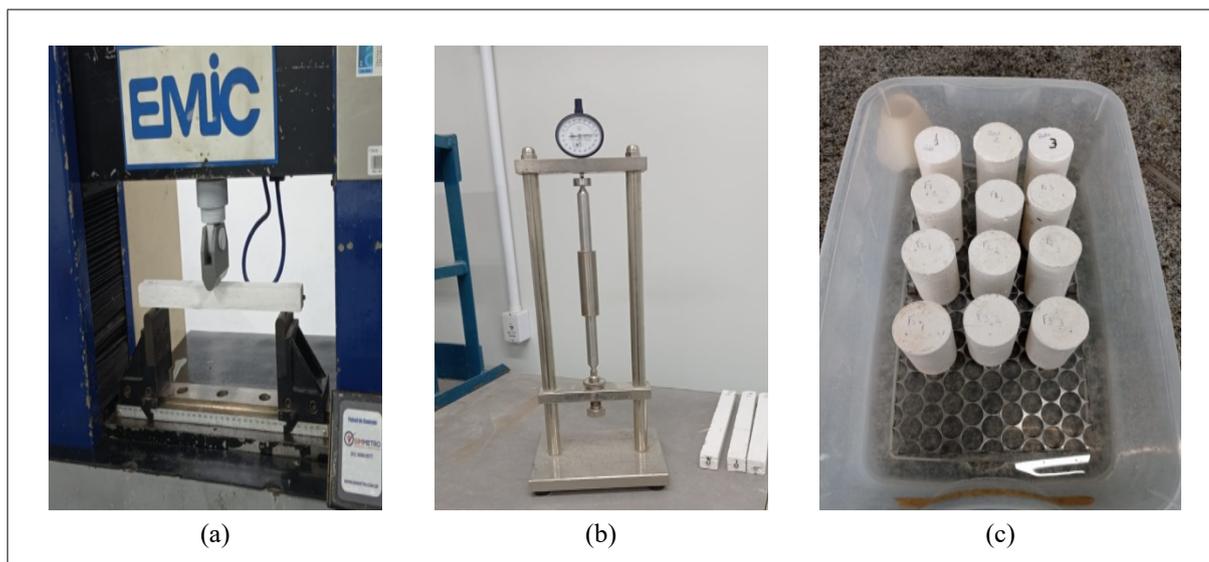
Ensaios para AR.

(a) Resistência à tração na flexão. (b) Variação dimensional. (c) Absorção de água por capilaridade com 300 minutos.

Fonte: arquivo dos autores

para cada formulação, ao invés de 50 mm de arestas como prescreve a NBR 14992:2003. A fim de analisar os resultados, adotou-se a Análise de Variância (ANOVA) e o teste Tukey com 95% de significância.

A Figura 2 apresenta imagens da execução do ensaio de resistência à tração na flexão, do ensaio de variação dimensional e do ensaio de absorção por capilaridade, sequencialmente.



3 Resultados da pesquisa

Os primeiros resultados, apresentados na Tabela 5, referem-se ao ensaio de retenção de água para cada mistura realizada. Com o ensaio de retenção de água, realizado no estado fresco, determinou-se a quantidade de água que a AR consegue manter na mistura quando em contato com materiais ou ambientes que tendem a succionar essa água. Para que uma AR atenda aos requisitos de retenção de água, conforme a NBR 14992:2003, ela deve apresentar uma mancha menor que 75 mm para argamassa de rejunte Tipo I e menor que 65 mm para Tipo II.

Tabela 5 ▼

Retenção de água em mm.

Fonte: dados da pesquisa

Mistura	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Média	Desvio padrão
F0	48,13	50,88	46,89	47,21	48,28	1,8130
F2	44,65	45,92	46,15	47,37	46,02	1,1167
F4	44,57	43,02	43,82	42,77	43,54	0,8130
F6	46,51	42,62	44,76	43,12	44,25	1,7595

Observou-se que todas as misturas atendem ao quesito de retenção de água, conforme a NBR 14992:2003, tanto para a AR Tipo I quanto para a Tipo II. Para verificar se existe diferença entre as formulações, realizou-se a ANOVA e, portanto, pode-se afirmar, com 95% de confiança, que a inserção do RRC influenciou nos resultados de retenção de água das formulações. Com base no teste Tukey, pode-se afirmar que as misturas F4 e F6 apresentaram diferença em relação a F0, pois elas apresentaram um

decréscimo da retenção de água de 10% e 8%, respectivamente. Avaliando os resultados, nota-se uma tendência ao aumento de retenção de água quando se empregou o RRC. Conforme Ponciano (2011), o aumento da retenção de água proporciona à mistura uma melhor hidratação, podendo evitar a retração, principalmente nas primeiras idades.

Os resultados da variação dimensional podem ser visualizados na Tabela 6. De acordo com a NBR 14992:2003, a variação dimensional não deve ultrapassar 2 mm/m em módulo, tanto no Tipo I quanto no Tipo II; sendo assim, todas as amostras se enquadraram nesse parâmetro. Foi realizada a ANOVA e verificou-se que não houve diferença significativa entre as formulações. Ainda, como pode ser visualizado na Tabela 6, obteve-se valores positivos e negativos de variação dimensional. Os valores positivos representam expansão, enquanto os valores negativos significam retração da AR. Conforme Ponciano (2011), as principais causas que contribuem para que ocorra a variação dimensional são: absorção de água pela base e/ou pelo agregado e a perda rápida de água por evaporação. Como não houve diferença estatística entre as formulações, pode-se afirmar que a substituição de dolomita por RRC não afetou os resultados de variação dimensional das ARs, independente do percentual de substituição.

Tabela 6 ►

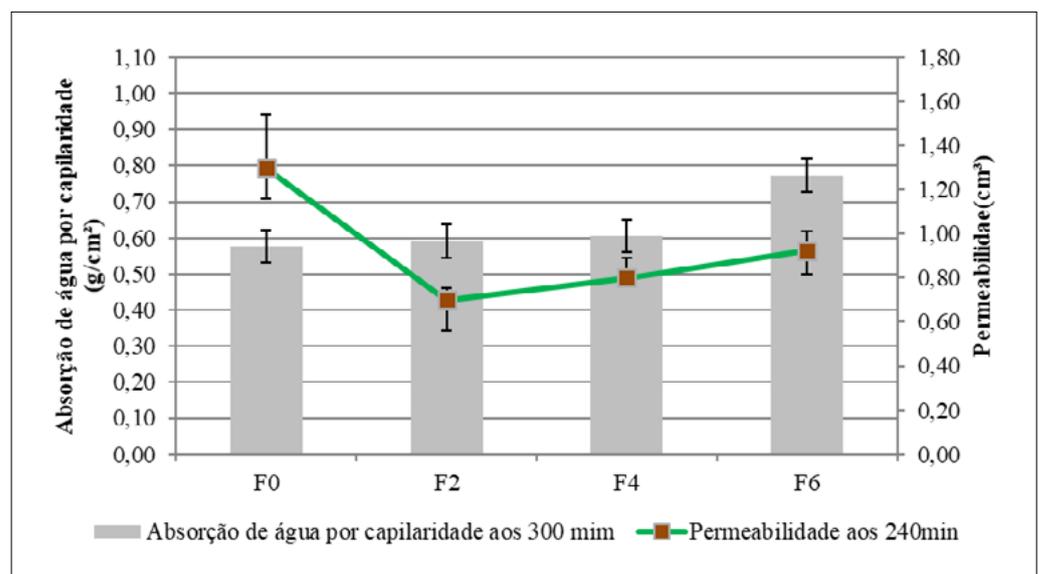
Determinação da variação dimensional medida em mm/m.
Fonte: dados da pesquisa

Mistura	Cp1	Cp2	Cp3	Média	Desvio padrão
F0	0,54	-1,20	0,54	-0,04	1,0046
F2	0,77	0,48	-0,95	0,10	0,9221
F4	-0,93	0,14	-0,76	-0,52	0,5789
F6	0,40	0,80	-0,31	0,30	0,5611

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de capilaridade aos 300 minutos e permeabilidade aos 240 min em cm³.

Figura 3 ►

Comparação dos resultados de capilaridade aos 300 minutos e permeabilidade aos 240 minutos entre as misturas.
Fonte: dados da pesquisa



Para permeabilidade, todas as misturas atenderam ao mínimo exigido para rejunte Tipo I ($\leq 2,0 \text{ cm}^3$) e para o Tipo II ($\leq 1,0 \text{ cm}^3$); somente a F0 não atendeu, apesar de não haver sido verificada diferença estatística entre as formulações, conforme ANOVA. Nesse

caso, o uso de RRC, mesmo sem diferença estatística, demonstrou-se interessante, tendo em vista que diminuiu a permeabilidade das ARs, principalmente nas formulações *F2* e *F4*.

Já no ensaio de absorção por capilaridade, apenas as misturas *F2* e *F4* atingiram o requisito para rejunte Tipo I ($\leq 0,60 \text{ g/cm}^2$), porém não se enquadraram para mínimo do rejunte Tipo II ($\leq 0,30 \text{ g/cm}^2$). Ao analisar os resultados de absorção de água por capilaridade aos 300 min, verificou-se que as misturas *F2* e *F4* tiveram, respectivamente, um aumento de 3% e 5%, quando comparadas com a mistura padrão *F0* (0% de RRC), apesar de a ANOVA demonstrar que essa diferença não é significativa. Na formulação *F6*, verificou-se um aumento de 33% na absorção de água por capilaridade em relação a *F0*.

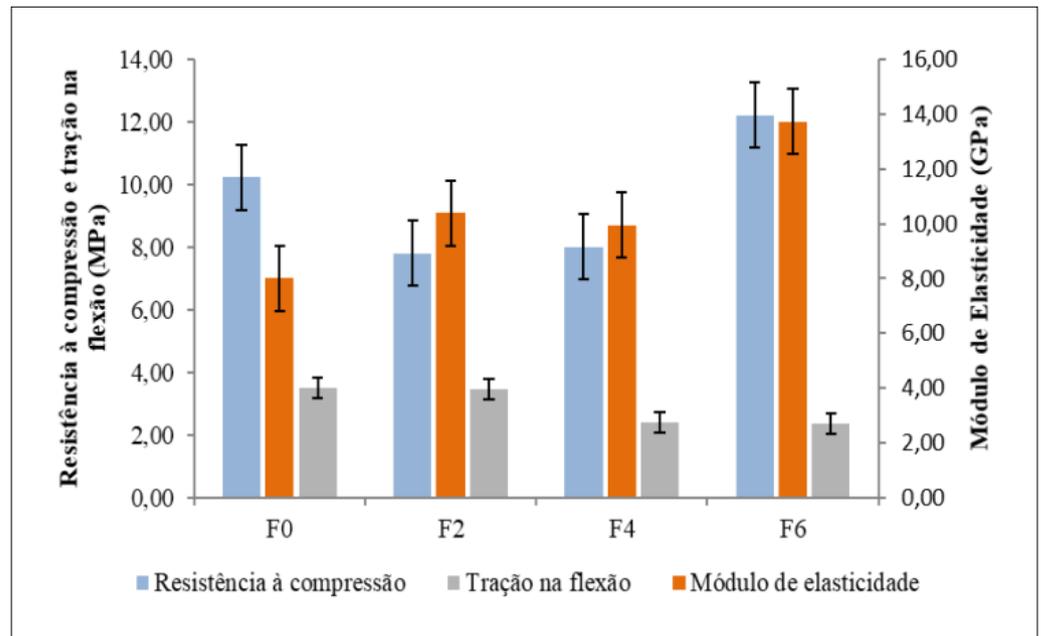
Conforme Ponciano (2011), a dolomita é utilizada em misturas cerâmicas e cimentícias com o intuito de auxiliar na compactação. Com base nos valores de absorção, verificou-se um aumento na absorção de água à medida que se aumentou o percentual de substituição da dolomita por RRC. De acordo com Buyuksagis, Uygunoglu e Tatar (2017), o aumento da absorção de água está ligado ao aumento na porosidade e, conforme Rato (2006) complementa, o coeficiente de absorção de água por capilaridade depende de fatores como a quantidade de poros, a conectividade dessa rede porosa e a dimensão dos poros, sendo que quanto menor for o tamanho dos poros, maiores serão as forças capilares. Essa afirmativa de Rato (2006) pode ser elencada como possível justificativa para os valores de permeabilidade, levando em consideração que as formulações com presença de RRC apresentaram valores de permeabilidade menores que os da *F0*, resultado distinto do de absorção. Portanto, acredita-se que a *F0* apresenta poros maiores que as formulações com RRC, fato que justificaria a sua maior permeabilidade e menor absorção de água perante as outras formulações.

A Figura 4 apresenta as médias, o desvio padrão e o requisito mínimo do rejunte Tipo I e Tipo II, conforme a NBR 14992:2003, para a resistência à compressão e para a resistência à tração na flexão, assim como o ensaio de módulo de elasticidade.

Figura 4 ►

Comparação dos resultados de resistência à compressão e à tração na flexão entre as misturas e módulo de elasticidade entre as amostras de referência e as amostras com substituição de RRC.

Fonte: dados da pesquisa



De acordo com os resultados alcançados através da média dos corpos de prova e pela realização da ANOVA, os ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade não apresentaram diferenças significativas, enquanto para o ensaio de resistência à tração

na flexão verificou-se diferenças entre as formulações. Apesar de não haver diferenças significativas entre as formulações para resistência à compressão e módulo de elasticidade, buscou-se analisar os resultados pontuais de média.

Nota-se que, entre os corpos de prova confeccionados com RRC, somente as misturas *F4* e *F6* atenderam ao requisito mínimo de resistência à compressão para o rejunte Tipo I ($\geq 8,0$ MPa), enquanto para o Tipo II ($\geq 10,0$ MPa) apenas a formulação *F6*. Apesar de a ANOVA demonstrar que essa diferença não é significativa, os resultados apresentaram um aumento da resistência à compressão de 20% da *F6* em relação à mistura de referência *F0* (0% de RRC). Já em *F2* e *F4*, se compararmos com a *F0*, obteve-se uma redução de 24% e 22% na resistência à compressão, respectivamente. Como não houve uma tendência (maior ou menor resistência com os teores de substituição de RRC), para tal, seria interessante um número maior de corpos de prova, microscopia e outras verificações (densidade, por exemplo). Somente com a análise dos resultados desta pesquisa, uma possível justificativa para a menor resistência à compressão do *F0* em relação ao *F6* poderia ser em função de poros com dimensões maiores, como apontaram os resultados do ensaio de absorção de água e capilaridade.

No ensaio de resistência à tração na flexão, todas as misturas atingiram o mínimo exigido pela norma para rejunte Tipo I ($\geq 2,0$ MPa). No entanto, as misturas *F4* e *F6* ficaram abaixo do exigido para Tipo II ($\geq 3,0$ MPa). De acordo com o teste Tukey, as formulações *F4* e *F6* apresentaram diferenças significativas quando comparadas com a mistura de referência *F0*. Com base nos valores obtidos para a resistência à tração na flexão, é possível observar que houve uma redução de 31% e 33%, respectivamente, para as formulações *F4* e *F6* em relação à mistura *F0*. E, em relação à mistura *F2*, não se apresentou diferença significativa. O ensaio de resistência à tração na flexão obteve uma diminuição gradativa em relação à mistura padrão. Segundo Gomes (2008), ao executar revestimentos com argamassas com maior rigidez e com alta resistência à tração, pode-se causar fissuração, já que a diminuição da capacidade de alívio das tensões poderá superar facilmente a resistência à tração.

Verificou-se no ensaio de módulo de elasticidade os resultados de *F0*, *F2*, *F4* e *F6*, respectivamente, de 8,00 GPa; 10,39 GPa; 9,95 GPa e 13,73 GPa. Dessa forma, as formulações dos rejuntas com RRC apresentaram uma tendência de módulos de elasticidade maiores que a *F0*. A pesquisa de Virtuoso (2019) analisou o módulo de elasticidade de quatro rejuntas distintos com a inserção de pó de pneu, chegando a resultados que variaram de 5,93 GPa a 7,72 GPa, e, no estudo de H, que analisou módulos de elasticidade de rejuntas Tipo I comercializados, encontrou valores de 6,31 GPa a 10,00 GPa. Segundo Junginger (2003), o módulo de elasticidade do rejunte tem grande potencial para proporcionar alívio de tensões. O sistema de revestimento cerâmico impõe esforços ao rejunte, que deve suportá-los sem diminuição de desempenho; findos os esforços, o rejunte deve retornar ao estado inicial *H*. Nesse contexto, o resultado da *F0* atende melhor às prerrogativas de desempenho para uma argamassa de rejuntamento.

4 Conclusões

Na análise dos resultados obtidos com a substituição parcial de dolomita por resíduo de retífica cerâmica, pode-se concluir que se provocou alterações nas características das argamassas de rejuntamento.

Em relação à retenção de água no estado fresco na mistura, percebeu-se uma tendência ao aumento de retenção de água conforme se empregou RRC, e todas as formulações atenderam aos valores mínimos exigidos pela NBR 14992:2003. Já os resultados para a

variação dimensional demonstraram, conforme ANOVA, que as formulações não sofreram variações, sendo que todas atenderam ao mínimo repassado pela NBR 14992:2003.

Com a substituição de dolomita por RRC em proporções maiores, houve um aumento da absorção de água por capilaridade; tal fato, acredita-se, pode ser justificado pelo aumento da porosidade, tendo em vista que a dolomita tende a oferecer maior compactação. No entanto, para os resultados de permeabilidade, obteve-se valores distintos dos de absorção: as formulações com RRC apresentaram valores inferiores aos da formulação de referência. Uma possível explicação para esses resultados pode ser atribuída ao tamanho dos poros, que, na formulação *F0*, julga-se ser maior que nas outras formulações, quesito que tende a diminuir as forças de sucção capilar. Tal fato justificaria a sua maior permeabilidade e menor absorção de água perante as outras formulações.

Com os teores de substituição de RRC, os resultados do ensaio de resistência à compressão não mostraram uma tendência; no entanto, com base nos resultados e ensaios realizados nesta pesquisa, a menor resistência à compressão do *F0* em relação a *F6* pode ser outro indicativo de poros com dimensões maiores na *F0*.

Já para o ensaio de resistência à tração na flexão, obteve-se valores menores à medida que se aumentava a incorporação de RRC. Com os resultados obtidos para o ensaio de módulo de elasticidade, verificou-se que as misturas com inserção de RRC apresentaram uma tendência de módulos de elasticidade maiores que a *F0*. Tais resultados com inserção de RRC provocam nas argamassas de rejuntamento um aumento na rigidez, que podem interferir na capacidade de deformação frente a esforços.

Com base nos resultados obtidos, considera-se pertinente dar continuidade aos estudos e, para tal, sugere-se alterar os percentuais de substituição do agregado miúdo por RRC, utilizar novos tipos de RRC (oriundos de placas cerâmicas de distintas classes de absorção, por exemplo), utilizar RRC com outras composições granulométricas, verificar novos traços de AR, analisar outras características físicas da AR (módulo de elasticidade por ultrassom, retração, flexibilidade, por exemplo) e, ainda, uma possível aplicação prática da AR em Sistema de Revestimento Cerâmico.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14992**: A.R. – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ANFACER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA. **Números do setor cerâmico**. 2021. Disponível em: <https://novo.anfacer.org.br/numeros-do-setor>. Acesso em: 8 nov. 2023.

ANTUNES, E. G. P. **Avaliação dos efeitos da expansão por umidade (EPU) das placas cerâmicas na durabilidade dos sistemas de revestimentos cerâmicos internos**. 2019. 261 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/215505>. Acesso em: 18 jun. 2021.

BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria: diretrizes básicas**. São Paulo: USP, 2001. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5075718/mod_resource/content/1/apostila_revestimentos_ceramicos.pdf. Acesso em: 17 maio 2022.

BATISTA, B. C. C.; SILVA, A. B. B. M.; NOÉ, A. F.; LOPES, R. K.; CHRISTOFORO, A. L.; ALMEIDA, D. H. Influência da adição de RCD misto na resistência à compressão e na porosidade de argamassa. **Revista Principia – Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, v. 59, n. 3, p. 934-946, set. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id5005>.

BRITO, J. F. **Produção de grês porcelanato a partir de matérias-primas do estado da Bahia**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Salvador, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15587>. Acesso em: 18 jun. 2021.

BUYUKSAGIS, I. S.; UYGUNOGLU, T.; TATAR, E. Investigation on the usage of waste marble powder in cement-based adhesive mortar. **Construction and Building Materials**, v. 154, p. 734-742, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.014>.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000746845>. Acesso em: 18 jun. 2021.

CARVALHO, E. V. **Utilização do resíduo da retífica de cerâmica de revestimento na produção de concreto para pavimento intertravado**. 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/296871382.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2021.

CHEW, M. Y. L. Factors affecting ceramic tile adhesion for external cladding. **Construction and Materials**, v. 13, n. 5, p. 293-296, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(99\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(99)00023-9).

FONSÊCA, N. J. M.; SOUZA, J. M.; RAMOS FILHO, R. E. B.; SILVA, J. B.; SILVA, V. M.; ACCHAR, W. Avaliação do potencial do resíduo cerâmico (RC) nas propriedades tecnológicas de tijolos de solo-aglomerante (s). **Revista Principia – Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, n. 55, p. 119-129, set. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id4304>.

GOMES, L. V. R. **Estudo de métodos de ensaio e comportamento físico e mecânico de argamassas para rejuntamento**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008. Disponível em: <https://livros01.livrosgratis.com.br/cp084918.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2021.

JUNGINGER, M. **Rejuntamento de revestimentos cerâmicos**: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.3.2003.tde-29072004-142959>.

LINO, G. F. **Caracterização mecânica de um solo argiloso estabilizado com resíduo de retificação cerâmica para utilização em pavimentos**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/6498>. Acesso em: 18 jun. 2021.

MACEDO, J. W. N.; PIPOLO, L. F. G.; RAMOS FILHO, R. E. B.; SOUZA, J. M.; SILVA, V. M.; ACCHAR, W. Argamassas produzidas com resíduos de scheelita e pó de pedra: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Principia – Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, v. 60, n. 1, p. 166-188, out. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6092>.

MAGALHÃES, T. C. M. **Influência da pigmentação e/ou da quantidade de aditivo hidropelente na patologia de desagregação da argamassa de rejuntamento**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/ISMS-7UTNJJN>. Acesso em: 18 jun. 2021.

MONTEIRO, C. V. P. **Avaliação de desempenho de argamassa para rejuntamento branco de fachadas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/188415>. Acesso em: 17 maio 2022.

MOTTA, L. M.; ANTUNES, E. G. P.; ROMAN, H. R.; VITALI, L. L. Análise do módulo de elasticidade e permeabilidade de argamassas de rejuntamento para uso em ambientes internos úmidos. **CIVILTEC – Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil**, v. 2, n. 1, p. 55-59, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18616/civiltec.v2i1.5341>.

OLIVEIRA, A. P. N.; HOTZA, D. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos**. 2. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/187929>. Acesso em: 17 maio 2022.

PONCIANO, P. P. **Estudo do desempenho de rejunte fabricado com agregado de microesferas de vidro**. 2011. 129 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/ISMS-8ZVGYQ>. Acesso em: 17 maio 2022.

RAMOS FILHO, R. E. B.; SOUZA, J. M.; DUARTE, J. B.; SILVA, V. M.; ACCHAR, W. Compósito de resíduos de mineração com cimento e cal para materiais de construção

sustentáveis **Revista Principia – Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, n. 54, p. 193-205, abr. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021v1n54p193-205>.

RATO, V. N. P. M. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/1126>. Acesso em: 17 maio 2022.

RIBEIRO, F. A.; BARROS, M. M. S. **Juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas**. São Paulo: Pini, 2010.

SANCHEZ, E.; ORTS, M. J.; GARCÍA-TEN, J.; CANTAVELLA, V. Efeito da composição das matérias-primas empregadas na fabricação de grês porcelanato sobre as fases formadas durante a queima e as propriedades do produto final. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 5, p. 15-22, 2001. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/5876570e7f8c9d6e028b4654>. Acesso em: 17 maio 2022.

SARTOR, R. P.; SPECK, J. A.; SAVI, A. E.; PIVA, J. H.; ANTUNES, E. G. P. Estudo da influência da aplicação de pó residual do processo de retífica à seco de placas cerâmicas em argamassas colantes industrializadas. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 7, n. 3, p. 29-40, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n3.29-40>.

TÜFEKÇI, M. M.; ÇAKIR, Ö. An investigation on mechanical and physical properties of recycled coarse aggregate (RCA) concrete with GGBFS. **International Journal of Civil Engineering**, v. 15, p. 549-563, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40999-017-0167-x>.

VASCONCELLOS, J. L. **Estudo do comportamento mecânico e físico de um solo argiloso estabilizado com resíduos do processo de retificação e polimento de placas cerâmicas de porcelanato e cimento Portland**. 2019. 15 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2019. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/7135>. Acesso em: 17 maio 2022.

VIRTUOSO, S. **Rejunte argamassado: análise da influência da inserção de borracha de pneu residual**. 2019. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2019. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/7534>. Acesso em: 17 maio 2022.