



Influência da Substituição do Agregado Miúdo Natural por Resíduo Cerâmico na Produção de Argamassas

Gabriela Becker Furtado¹; Géssica Katalyne Bilcat²; Marcela Maier Farias Czap²; Rafaella Salvador Paulino³

✉ gabibeckerfurtado@gmail.com

1. *Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Pato Branco-PR.*
2. *Docente do curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR-GP, Guarapuava-PR*
3. *Doutoranda no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba-PR*

Histórico do Artigo: O autor detém os direitos autorais deste artigo.

Recebido em: 14 de fevereiro de 2022 Aceito em: 14 de agosto de 2022 Publicado em: 31 de agosto de 2022

Resumo: Com o propósito de mitigar impactos ambientais gerados tanto pela indústria cerâmica, como pela construção civil, o presente trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade técnica da utilização dos resíduos de materiais cerâmicos como material alternativo para a produção de argamassas de revestimento. Dessa forma, a metodologia deste trabalho foi desenvolvida a partir da produção das argamassas de revestimento com substituição do agregado miúdo natural pelo resíduo de cerâmica vermelha (RCV) nas proporções de 0%, 20%, 50% e 100%, avaliando o desempenho no estado fresco e endurecido das argamassas. No estado fresco, as substituições reduziram o espalhamento e a densidade de massa das argamassas. Já no estado endurecido as substituições de 50% e 100%, influenciaram positivamente, tanto na resistência à compressão, quanto na resistência à tração na flexão, aumentando significativamente, em comparação com as argamassas de referência.

Palavras-chave: Construção civil, Cerâmica vermelha, Revestimento, Reciclagem.

Influence of the Replacement of Natural Small Aggregate by Ceramic Residue in Mortar Production

Abstract: In order to mitigate environmental impacts generated by both the ceramic industry and civil construction, this paper aims to analyze the technical feasibility of using ceramic material waste as an alternative material for the production of lining mortars. Thus, the methodology of this work was developed from the production of coating mortars with replacement of the natural fine aggregate by red ceramic waste in the proportions of 0%, 20%, 50% and 100% of fine aggregate, evaluating the performance in the fresh and hardened state of the mortars. In the fresh state, the substitutions reduced the spread and the mass density of the mortars. In the hardened state, the substitutions of 50% and 100% positively influenced both the compressive strength and flexural tensile strength, increasing significantly compared to the reference mortars.

Keywords: Civil construction, Red ceramic, Coating, Recycling,

Influencia de la Sustitución del Pequeño Árido Natural por el Residuo Cerámico en la Producción de Mortero

Resumen: Con el fin de mitigar los impactos ambientales generados tanto por la industria cerámica como por la construcción civil, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la viabilidad técnica de utilizar materiales cerámicos de desecho como material alternativo para la producción de morteros de revestimiento. Así, la metodología de este trabajo se desarrolló a partir de la producción de morteros de revestimiento con sustitución de árido fino natural por residuo cerámico rojo en las proporciones de 0%, 20%, 50% y 100% de árido fino, evaluando el desempeño en fresco, y estado endurecido de los morteros. En estado fresco, los reemplazos redujeron la dispersión y la densidad de masa de los morteros. En estado endurecido, las sustituciones del 50% y 100% influyeron positivamente tanto en la resistencia a la compresión como en la resistencia a la tracción por flexión, aumentando significativamente respecto a los morteros de referencia.

Palabras clave: Construcción civil, Cerámica roja, Revestimiento, Reciclaje.

INTRODUÇÃO

As argamassas para revestimento desempenham um papel importante na conservação dos edifícios, uma vez que ajudam a protegê-los contra ações climáticas, choques mecânicos e afetam seu conforto térmico, acústico e durabilidade (SALOMÃO *et al.*, 2017). No entanto, devido ao grande volume gerado e ao grande consumo de matéria-prima, a indústria da construção é pressionada para mitigar o impacto ambiental gerado pela produção de argamassas (LINTZ *et al.*, 2012). Uma das alternativas para minimizar tais impactos é a utilização de resíduos (CAO *et al.*, 2015).

A indústria da cerâmica vermelha é responsável pela produção de uma grande variedade de materiais, como blocos de vedação e estruturais, telhas, tijolos maciços e revestimentos cerâmicos (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2012), e como consequência de sua atividade, tem-se a geração de resíduos resultantes da quebra das peças, à existência de não conformidades, à queima irregular no momento de fabricação, entre outros (CARVALHO *et al.*, 2020; QUEIROZ NETO *et al.*, 2016). Os resíduos de construção e demolição (RCD) contribuem com cerca de 50% do total anual global de resíduos sólidos gerados em países emergentes como o Brasil (SANTOS; TUBINO, 2021).

A produção de resíduos industriais como os da cerâmica vermelha retrata uma das principais formas de degradação do meio ambiente, pois gera problemas de obstrução e contaminação de leitos de rios, comprometimento do tráfego nas vias públicas, degradação da paisagem das cidades, poluição do ar causada pelos veículos necessários para realizar o seu transporte, entre outros (CARVALHO *et al.*, 2020; ORTH *et al.*, 2014).

Com intuito de minimizar os impactos ambientais gerados pelos resíduos de cerâmica vermelha, têm-se buscado empregar em materiais cimentícios (BREKAILO *et al.*, 2022; HOPPE *et*

al., 2021; CARVALHO *et al.*, 2020) priorizando produtos de construção sustentável e a eficiência dos recursos (SANTOS; TUBINO, 2021). No Brasil, desde 2002, a fim de minimizar esses impactos ambientais gerados pela indústria da cerâmica vermelha, foi publicada a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2020), que estabelece que os resíduos de cerâmica vermelha devem ser reutilizados na forma de agregados ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.

A utilização de resíduos cerâmicos em produtos cimentícios, como argamassas e concretos, pode proporcionar uma melhoria nas propriedades físicas e mecânicas, assim como, propor sustentabilidade do setor da construção (TORRES *et al.*, 2014). Estudos experimentais mostram que os resíduos de cerâmica (especialmente telhas cerâmicas e tijolos) apresentam boas características mecânicas e podem ser empregados como material alternativo em argamassas (BAYER ÖZTÜRK; ATABEY, 2022).

Nesse sentido, essa pesquisa visa verificar a viabilidade para o reaproveitamento dos resíduos da cerâmica vermelha na confecção de argamassas para revestimento, e desta forma, promover a transformação do cenário brasileiro para a geração de materiais de qualidade a partir de processos produtivos mais sustentáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no laboratório de materiais de construção civil da Universidade Tecnológico Federal do Paraná, localizada em Guarapuava-PR. Para o seu desenvolvimento, foi utilizado o cimento CP II F-32. A escolha do tipo do cimento foi justificada por ser um cimento largamente empregado na produção de argamassas.

A cal utilizada foi a CH-III, normatizada pela NBR 7175 (ABNT, 2003). A escolha desse tipo de cal foi justificada por, além de ser uma das mais utilizadas, ser a de menor custo, contribuindo para a questão econômica da argamassa.

Os resíduos de cerâmica vermelha (figura 1) foram moídos no equipamento abrasão Los Angeles, em seguida o material obtido foi peneirado de modo a obter uma granulometria passante pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm.



Figura 1. Resíduo cerâmico utilizado na produção das argamassas

Fonte: Autores, 2022.

O agregado miúdo utilizado foi a areia natural, padronizada conforme a ABNT NBR 7214 (2015).

As caracterizações dos aglomerantes foram baseadas na descrição dos fabricantes (tabela 1) e a dos agregados foram obtidas através dos ensaios normatizados.

Tabela 1. Propriedades físicas dos materiais empregados na pesquisa

Material	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária (g/cm ³)
Cimento	3,00	0,96
Cal	2,20	0,45

Fonte: Dados fornecidos pelos fabricantes, 2022.

Caracterização dos agregados

Os agregados miúdos (areia e resíduo de cerâmica vermelha) foram caracterizados de acordo com normas específicas da ABNT (Quadro 1).

Quadro 1. Ensaios de caracterização dos agregados

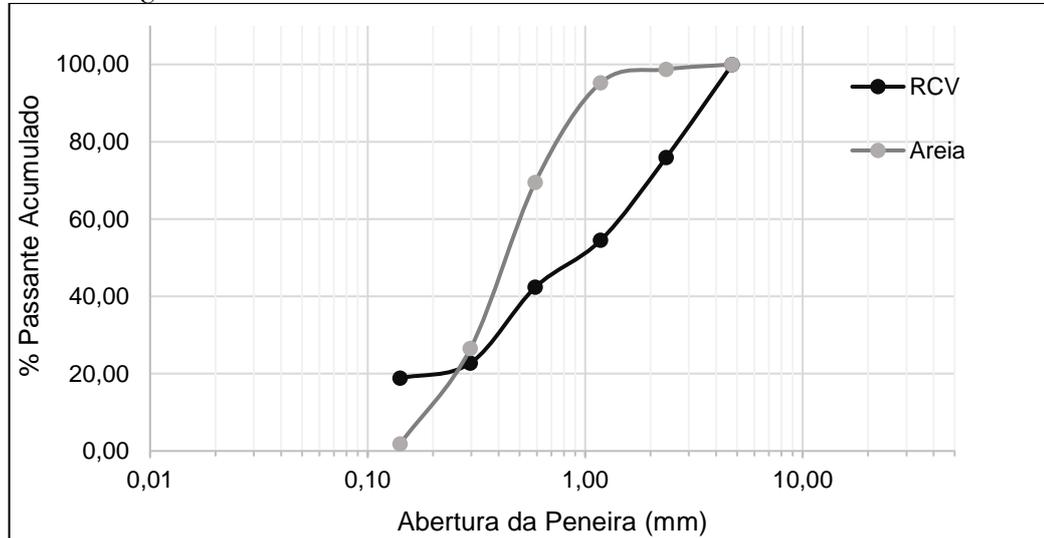
Material	Ensaios	Norma Técnica
Resíduo cerâmico e Areia	Determinação da composição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
	Determinação da massa unitária	NBR 16972 (ABNT, 2021)
	Determinação da massa específica	NBR 9776 (ABNT, 1987)
	Determinação da absorção de água	NBR NM 30 (ABNT, 2000)
	Inchamento do agregado miúdo	NBR 6467 (ABNT, 2009)

Fonte: Autores, 2022.

Influência da Substituição do Agregado Miúdo Natural por Resíduo Cerâmico na Produção de Argamassas

As curvas granulométricas da areia e do resíduo de cerâmica vermelha estão apresentadas no gráfico 1.

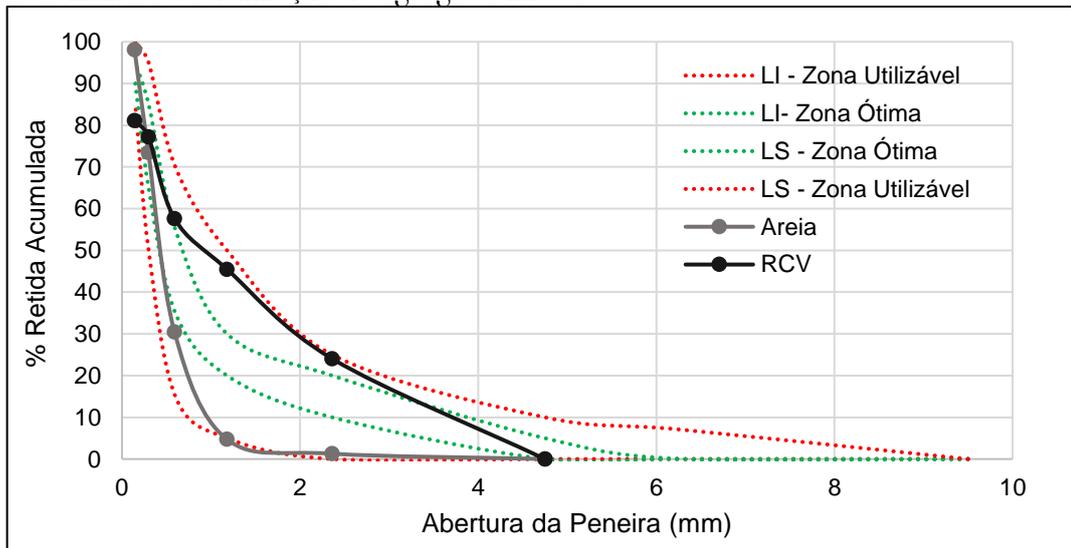
Gráfico 1. Curvas granulométricas da areia e do resíduo de cerâmica vermelha



Fonte: Autores, 2022.

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), a distribuição granulométrica deve atender aos limites estabelecidos por norma, conforme apresentado no gráfico 2.

Gráfico 2. Limites de utilização do agregado miúdo



Fonte: Autores, 2022.

De acordo com o gráfico 2, ambos os agregados se encontram na zona aceitável de utilização, sendo que a areia está mais próxima da zona inferior de utilização e o resíduo cerâmico mais próximo da zona ótima de utilização.

Na tabela 2 são mostrados os ensaios que foram realizados nos agregados miúdos com a finalidade de caracterizar e comparar os dois tipos de agregados empregados na pesquisa.

Tabela 2. Propriedades físicas dos agregados

Propriedades	Areia	RCV
Dimensão Máxima Característica DMF (mm)	1,18	4,75
Módulo de Finura - MF	2,08	2,86
Coefficiente de Uniformidade - C_u	2,78	-
Absorção de Água (%)	3,17	15,97
Massa Específica (g/cm^3)	2,87	2,79
Massa Unitária (kg/m^3)	1600	1340

Fonte: Autores, 2022.

Como pode ser observado na tabela 2, a dimensão máxima do RCV é maior que a da areia, o que confirma a análise anterior de que a cerâmica possui maior quantidade de grãos com diâmetro maiores. É possível confirmar também, através do módulo de finura, que a areia se encontra na zona utilizável inferior ($1,55 < MF < 2,20$) e que o RCV se encontra na zona ótima ($2,20 < MF < 2,90$). Além disso, os agregados reciclados tendem a uma composição granulométrica um pouco mais grossa que os agregados naturais, resultando em um módulo de finura maior.

A partir do coeficiente de uniformidade (C_u), parâmetro oriundo da mecânica dos solos, foi possível classificar a areia como muito uniforme ($C_u < 5$), de uniformidade média ($5 < C_u < 15$), e pouco uniforme ($C_u > 15$) (PINTO, 2006). Desse modo, conforme tabela 2, a areia pode ser considerada muito uniforme, ou seja, mal graduada, visto que a granulometria uniforme significa pouca variabilidade nas dimensões dos grãos. Essa má graduação da areia interfere diretamente nas propriedades da argamassa devido aos vazios que surgem pela granulometria uniforme, portanto aumentando o índice de vazios e reduzindo a resistência mecânica.

A absorção de água é uma propriedade importante a ser analisada, pois, segundo Leite (2001), os agregados convencionais quase não exercem influência na absorção das argamassas, pois apresentam pouca porosidade. Porém, agregados reciclados tendem a ser muito porosos, aumentando significativamente a absorção de água. Assim, os resultados obtidos vão em conformidade com a literatura (PINZ; PALIGA; TORRES, 2020; MOTTA; FANTIN; HENTGES, 2020) visto que o RCV obteve uma absorção de água no valor de 15,97%, já a areia apresentou um valor

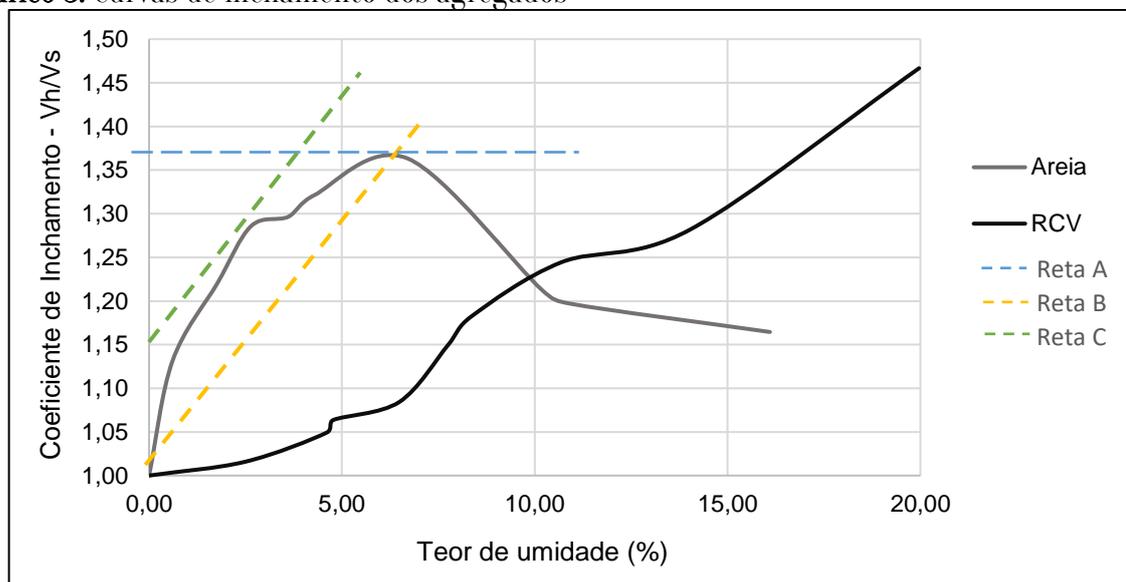
Influência da Substituição do Agregado Miúdo Natural por Resíduo Cerâmico na Produção de Argamassas

inferior de absorção de água no valor de 3,17%. Com isso, o RCV pode aumentar o consumo de água na mistura fresca de argamassas e assim diminuir o desempenho mecânico das argamassas endurecidas.

Quanto aos resultados de massa específica e massa unitária dos grãos, apresentados na tabela 2, tanto a areia quanto o resíduo cerâmico apresentaram valores semelhantes.

Outra propriedade importante a ser considerada, principalmente para o cálculo do traço em massa, é o coeficiente de inchamento do agregado miúdo. Para tanto, foram feitas as curvas de inchamento dos agregados em função do teor de umidade (gráfico 3).

Gráfico 3. Curvas de inchamento dos agregados



Fonte: Autores, 2022.

Analisando o gráfico 3, percebeu-se um comportamento diferenciado entre a areia e o resíduo cerâmico. No caso do RCV não foi identificado o desenvolvimento do fenômeno de inchamento. Provavelmente, devido a sua alta porosidade e conseqüentemente, maior absorção de água, além da tensão superficial água-RCV ser insuficiente para afastar as partículas do agregado. Desta maneira, não há diferença entre os volumes de agregado miúdo de RCV para diferentes umidades, há apenas o aumento de volume devido ao aumento de água ocupando os vazios. Já a areia apresentou uma curva de inchamento muito semelhante às encontradas na literatura (MACEDO *et al.*, 2019), tendo um coeficiente de inchamento médio de 1,34, fator indispensável para correção do traço.

Produção das argamassas de revestimento

A dosagem da argamassa foi determinada com base em formulações adotadas na indústria da construção civil para argamassas de revestimento. Desta forma, adotou-se o traço, em volume, de 1:2:8 (cimento, cal e agregado), justificado por ser um dos traços mais utilizados na produção de argamassas de revestimento.

Assim como indicado na tabela 3, foram formuladas argamassas para os teores de 20%, 50% e 100% de substituição da areia por resíduo de cerâmica vermelha, tendo como parâmetro comparativo, a argamassa referência, com 0% de substituição. Além disso, foi determinada a relação água/materiais secos para o traço referência ($a/ms=1,53$), a qual foi mantida constante para todos os outros traços.

Tabela 3. Traços das argamassas

Nomenclatura	Teor de substituição	Traço em volume c:c:arcv*	Traço em massa c:c:arcv
REF	0%	1 : 2 : 8 : 0	1 : 0,9 : 9,9 : 0
A20	20%	1 : 2 : 6,4 : 1,6	1 : 0,9 : 7,9 : 2,2
A50	50%	1 : 2 : 4 : 4	1 : 0,9 : 5 : 5,6
A100	100%	1 : 2 : 0 : 8	1 : 0,9 : 0 : 11,1

*c:c:arcv - cimento: cal: areia: resíduo da cerâmica vermelha

**REF - argamassa referência (0% de substituição); AX - argamassa com X% de substituição.

Fonte: Autores, 2022.

A preparação e mistura da argamassa foi realizada conforme a NBR 16541: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura para a realização de ensaios (ABNT, 2016).

Primeiramente os materiais secos foram misturados manualmente até a homogeneização, em seguida a mistura foi colocada em uma argamassadeira, na velocidade baixa por cerca de 4 minutos, enquanto a água foi adicionada aos poucos. Na etapa final foi feita a raspagem da cuba com auxílio de uma espátula e por fim foi realizado mais 40 segundos de mistura na velocidade lenta.

Ensaio realizados nas argamassas de revestimento

Para a determinação das propriedades das argamassas de revestimento com a influência dos resíduos de cerâmica vermelha, procedeu-se os ensaios no estado fresco e endurecido, conforme mostrado no quadro 2.

Quadro 2. Ensaio realizados nas argamassas de revestimento

Estado	Ensaio	Norma
Fresco	Índice de consistência	NBR 13276 (ABNT, 2016)

	Densidade de massa	NBR 13278 (ABNT, 2005)
Endurecido	Resistência à compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005)
	Resistência à tração na flexão	NBR 13279 (ABNT, 2005)

Fonte: Autores, 2022.

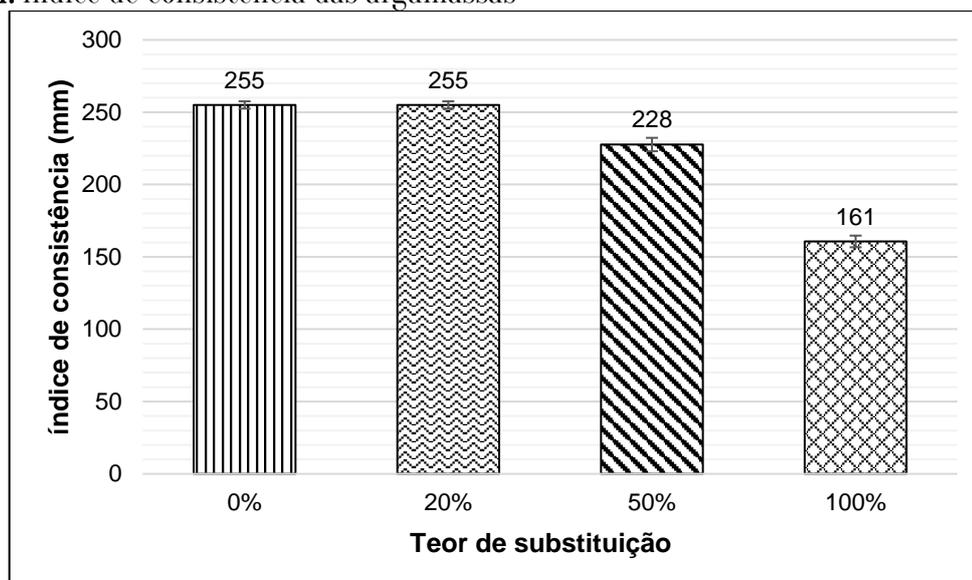
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização das argamassas no estado fresco

Índice de consistência

Conforme observado no gráfico 4, à medida que se aumenta o teor de substituição da areia por resíduo cerâmico na mistura, a trabalhabilidade e a consistência da argamassa são modificadas.

Gráfico 4. Índice de consistência das argamassas



Fonte: Autores, 2022.

A partir da análise dos resultados é possível concluir que, a partir de 20%, quanto maior o teor de substituição da areia pelo resíduo cerâmico, menor o espalhamento. Isso, possivelmente, deve-se à influência da elevada taxa de absorção de água do RCV em relação a da areia, que, segundo Guindani (2018), tende a diminuir a quantidade de água livre nas misturas, contribuindo para a redução do espalhamento.

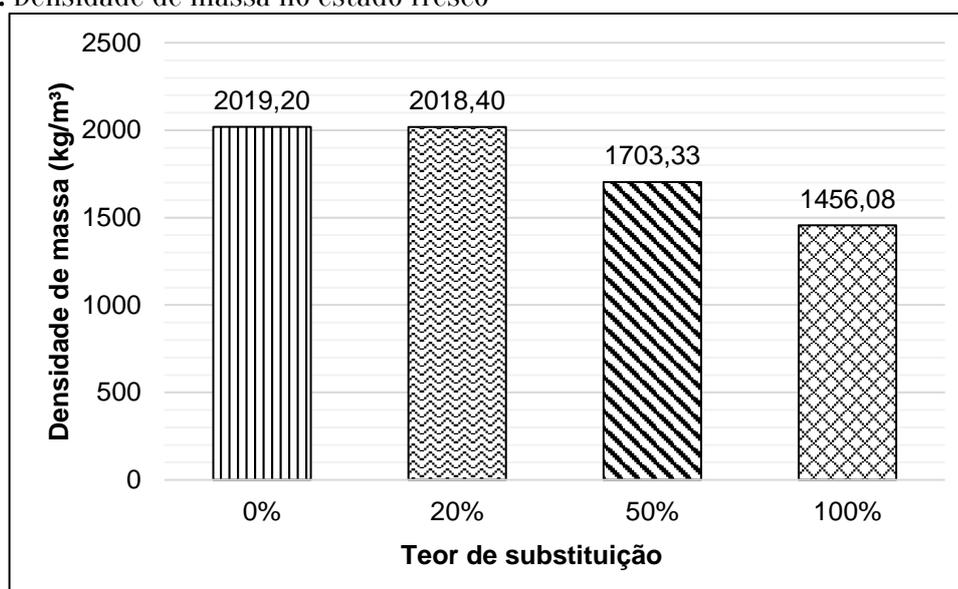
As argamassas com 50% e 100% de substituição apresentaram uma mistura menos fluida, desta forma, o espalhamento delas na mesa de consistência foram menores que as demais formulações. Já a argamassa com 20% de substituição foi a mais próxima da referência.

Esta diminuição no índice de consistência das argamassas condiciona a perda de trabalhabilidade do material, propriedade muito importante no período em que a argamassa se encontra no estado fresco. Logo, percebe-se que, independentemente da justificativa, há um consenso entre as pesquisas (LANDOLFO *et al.*, 2014; PASSOS *et al.*, 2019) quanto ao aumento de consumo de água nas argamassas contendo cerâmica vermelha acima de 20% de substituição, já que para que se possa atingir uma boa trabalhabilidade, é imprescindível que o teor de água aumente.

Densidade de massa

Os resultados de densidade de massa no estado fresco estão apresentados no gráfico 5.

Gráfico 5. Densidade de massa no estado fresco



Fonte: Autores, 2022.

Devido a menor massa específica do RCV, houve redução da densidade de massa da argamassa com o acréscimo do RCV, o agregado mais leve, na mistura. A redução chega a quase 28% quando se compara o traço de referência com a composição de 100% de substituição, e de apenas 1,13% quando comparado a composição de 20%.

De acordo com Carasek (2010), uma argamassa normal é aquela cuja densidade de massa fica entre 1400 kg/m³ e 2300 kg/m³, podendo estas serem utilizadas em revestimentos. Desta forma, todas as argamassas desta pesquisa são consideradas normais. Além disso, a NBR 13281

Influência da Substituição do Agregado Miúdo Natural por Resíduo Cerâmico na Produção de Argamassas

(ABNT, 2005) classifica as argamassas conforme a densidade no estado fresco, conforme a tabela 4.

Tabela 4. Classificação das argamassas quanto a densidade de massa

Classe	Densidade de massa no estado fresco (kg/m ³)	Método de ensaio
D1	< 1400	NBR 13278 (ABNT, 2005)
D2	1200 a 1600	
D3	1400 a 1800	
D4	1600 a 2000	
D5	1800 a 2200	
D6	> 2000	

Fonte: ABNT NBR 13281, 2005.

Desta forma, realizou-se a classificação das argamassas estudadas (tabela 5). Percebe-se que quanto maior o teor de substituição, menor a classe de densidade de massa no estado fresco da argamassa.

Tabela 5. Classificação das argamassas estudadas (densidade de massa)

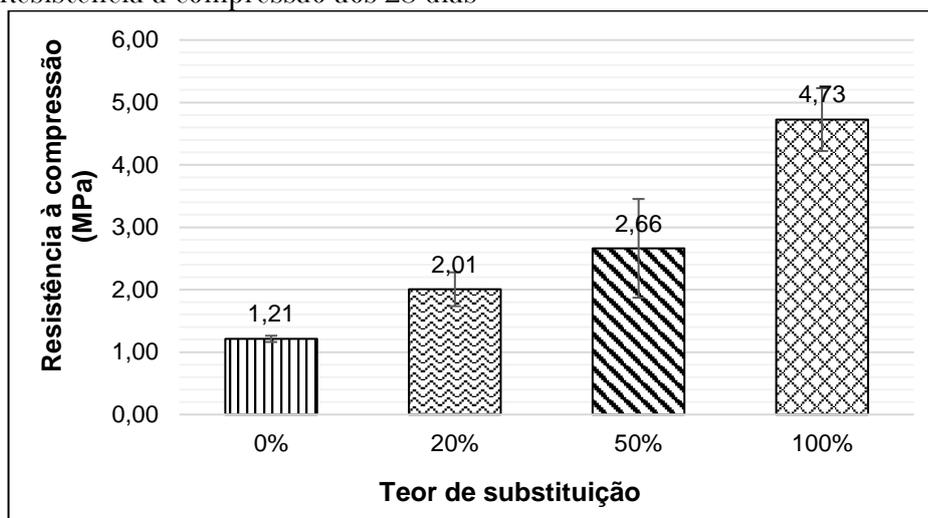
Nomenclatura	Teor de substituição (%)	Densidade de massa (kg/m ³)	Classe
REF	0	2019,20	D6
A20	20	2018,40	D6
A50	50	1703,30	D4
A100	100	1456,10	D2

Fonte: Autores, 2022.

Caracterização das argamassas no estado endurecido

Resistência à compressão

O gráfico 6 mostra os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias.

Gráfico 6. Resistência à compressão aos 28 dias

Fonte: Autores, 2022.

O aumento da resistência com o aumento do teor de substituição está em conformidade com a literatura, Landolfo *et al.* (2014) obteve um aumento da resistência em argamassas com cerâmica branca. Além disso, Passos *et al.* (2019) obteve aumento na resistência de argamassas, sem cal, com resíduo de cerâmica vermelha.

A NBR 13281 (ABNT, 2005) não recomenda uma resistência à compressão mínima, apenas classifica as argamassas conforme a resistência (tabelas 6 e 7), deixando a escolha a cargo do projetista.

Tabela 6. Classificação quanto a resistência à compressão

Classe	Resistência compressão (MPa)	Método de ensaio
P1	< 2,0	NBR 13279 (ABNT, 2005)
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

Fonte: ABNT NBR 13281, 2005.

Desta forma, realizou-se a classificação das argamassas estudadas (tabela 6). Percebe-se que quanto maior o teor de substituição, maior a classe de resistência da argamassa.

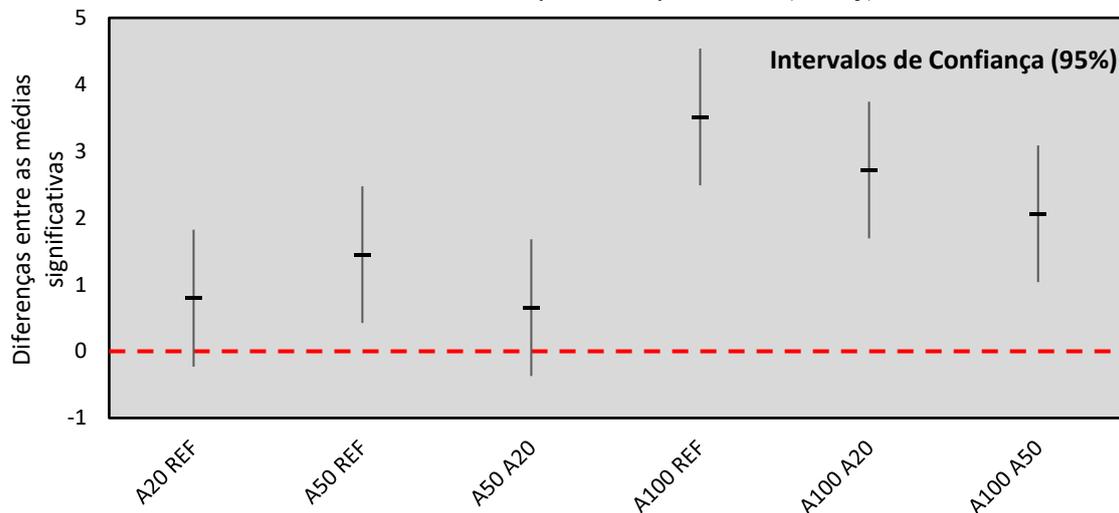
Tabela 7. Classificação das argamassas estudadas (Compressão)

Nomenclatura	Teor de substituição (%)	Resistência à compressão (MPa)	Classe
REF	0	1,21	P1
A20	20	2,01	P2
A50	50	2,66	P3
A100	100	4,73	P4

Fonte: Autores, 2022.

No gráfico 7 são mostradas as diferenças entre as médias significativas, através da análise de variância (ANOVA) e teste Tukey.

Gráfico 7. Análise estatística entre médias para compressão – (Tukey)



Fonte: Autores, 2022.

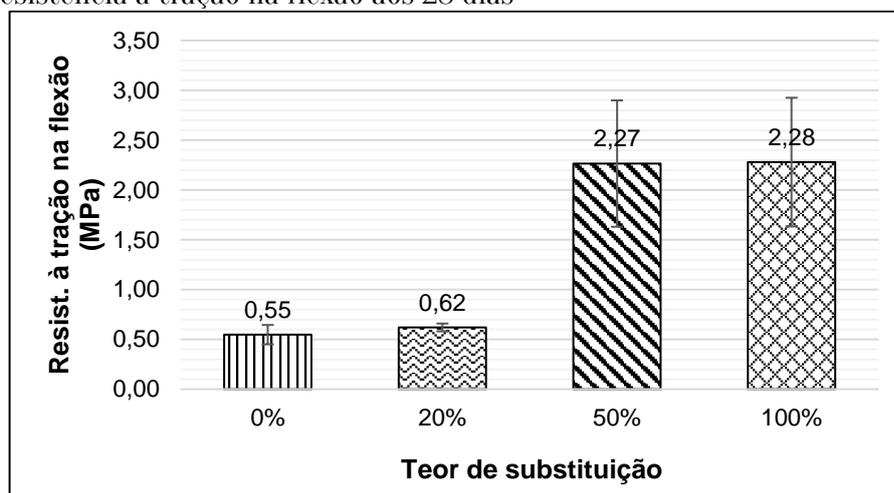
Pela análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey, os valores médios de resistência à compressão das argamassas com 20% de substituição foram considerados estatisticamente iguais as argamassas de referência.

As argamassas com 100% de substituição de resíduo de cerâmica vermelha apresentaram um aumento significativo na resistência à compressão em comparação as argamassas de referência, com 20% e 50% de substituição de RCV. Esse aumento pode ser justificado pela maior quantidade de finos apresentada pelo agregado cerâmico que contribui para o fechamento dos vazios. Além disso, como o agregado cerâmico possui maior coeficiente de absorção que a areia, pode haver maior aderência entre a pasta e o agregado. As argamassas com 50% de substituição apresentaram um ganho de resistência à compressão quando comparadas a referência.

Resistência à tração na flexão

O gráfico 8 mostra os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão aos 28 dias.

Gráfico 8. Resistência à tração na flexão aos 28 dias



Fonte: Autores, 2022.

A partir dos resultados, observa-se que a resistência à tração na flexão aumentou conforme o teor de substituição aumentou, indo de acordo com os estudos de Oliveira *et al.* (2020).

A NBR 13281 (ABNT, 2005) não recomenda uma resistência a tração mínima, apenas classifica as argamassas conforme a resistência (tabela 8).

Tabela 8. Classificação quanto a resistência à tração na flexão

Classe	Resistência à tração na flexão (MPa)	Método de ensaio
R1	< 1,5	NBR 13279 (ABNT, 2005)
R2	1,0 a 2,0	
R3	1,5 a 2,7	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	> 3,5	

Fonte: ABNT NBR 13281, 2005.

Influência da Substituição do Agregado Miúdo Natural por Resíduo Cerâmico na Produção de Argamassas

Desta forma, realizou-se a classificação das argamassas estudadas (tabela 9). Percebe-se que quanto maior o teor de substituição, maior a classe de resistência da argamassa.

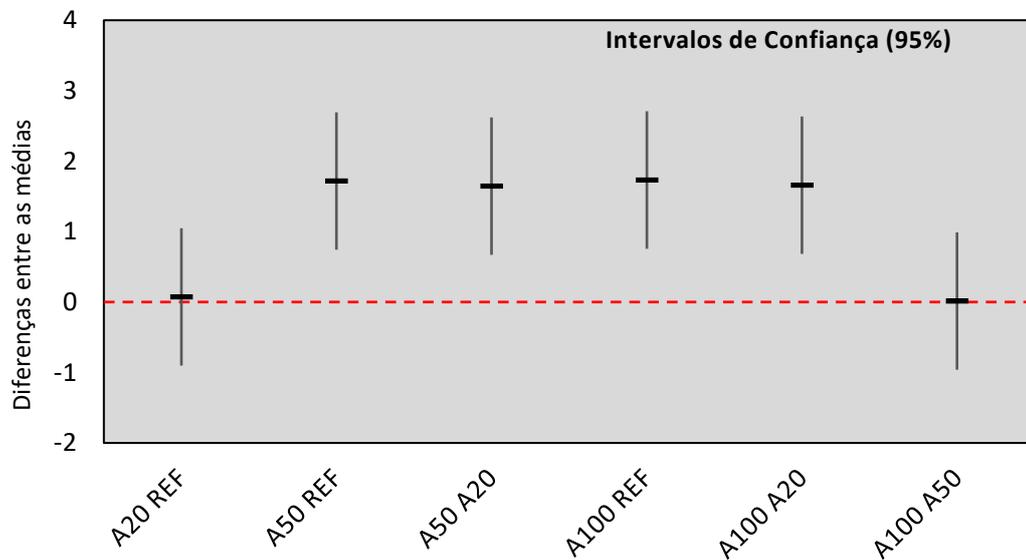
Tabela 9. Classificação das argamassas estudadas (Tração)

Nomenclatura	Teor de substituição (%)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Classe
REF	0	0,55	R1
A20	20	0,62	R1
A50	50	2,26	R4
A100	100	2,28	R4

Fonte: Autores, 2022.

No gráfico 9 são mostradas as diferenças entre as médias significativas, através da análise de variância (ANOVA) e teste Tukey.

Gráfico 9. Análise estatística entre médias para tração (Tukey)



Fonte: Autores, 2022.

Pela análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey, as argamassas com 50% e 100% apresentaram um aumento de resistência à tração na flexão significativo em relação as argamassas com 20% de substituição e a referência. Os valores médios da resistência à tração na flexão das argamassas de referência e com 20% de substituição foram considerados estatisticamente iguais.

CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados experimentais apresentados para as propriedades frescas e endurecidas das argamassas de revestimento com resíduos de cerâmica vermelha, foi possível concluir:

- No estado fresco à medida que aumenta o teor de substituição de resíduos de cerâmica vermelha reduz o espalhamento e conseqüentemente, diminui a trabalhabilidade das argamassas de revestimento.
- Ainda no estado fresco, a densidade das argamassas diminuiu conforme o teor de substituição aumentou.
- No estado endurecido, quanto maior o teor de substituição, maior a absorção de água.
- Para os ensaios de resistência à compressão, as argamassas com 100% de substituição de RCV apresentaram um aumento significativo em comparação com as demais argamassas.
- Na resistência à tração na flexão os teores de substituição de 50% e 100% potencializaram o desempenho, aumentando significativamente em relação as argamassas de referência e com 20% de substituição.
- Futuros estudos devem ser conduzidos para avaliar o impacto dos resíduos de cerâmica vermelha no comportamento reológico das argamassas de revestimento, sobretudo em concentrações maiores; como também a verificação das argamassas-RCV em exposição ao choque térmico.
- De forma geral, os resíduos cerâmicos contribuíram para as propriedades relacionadas às argamassas para revestimento, principalmente no estado endurecido, uma vez que potencializaram o desempenho mecânico, mostrando-se como uma alternativa sustentável.

AGRADECIMENTOS

As pesquisadoras Gabriela Becker Furtado e Géssica Katalyne Bilcati desenvolveram a metodologia experimental do artigo e a discussão dos resultados, assim como o desenvolvimento das análises estatísticas.

A pesquisadora Marcela Maier Farias Czap contribuiu com o planejamento experimental e revisão da bibliografia do artigo.

Influência da Substituição do Agregado Miúdo Natural por Resíduo Cerâmico na Produção de Argamassas

A pesquisadora Rafaella Salvador Paulino desenvolveu o levantamento bibliográfico e a elaboração gráfica do artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 16972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 6467**: Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 9776**: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NM 30**: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

BAYER ÖZTÜRK, Z.; ATABEY, İ. İ. Mechanical and microstructural characteristics of geopolymer mortars at high temperatures produced with ceramic sanitaryware waste. **Ceramics International**, n. September 2021, 2022.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2002) **Resolução CONAMA nº. 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002.

BREKAILO, F. et al. Red ceramic and concrete waste as replacement of portland cement: Microstructure aspect of eco-mortar in external sulfate attack. **Cleaner Materials**, v. 3, n. November 2021, p. 100034, 2022.

CABRAL JUNIOR, M; TANNOA, L. C; SINTONIA, A; MOTTAA, J. F. M.; COELHO, J. M. A Indústria de Cerâmica Vermelha e o Suprimento Mineral no Brasil: Desafios para o Aprimoramento da Competitividade. **Cerâmica Industrial**, Rio de Janeiro, v. 17, n. p. 36-42, fev. 2012.

CAO, Y.; ZAVATERRI, P.; YOUNGBLOOD, J.; MOON, R.; WEISS, J. The influence of cellulose nanocrystal additions on the performance of cement paste. **Cement and Concrete Composites**, v. 56, p. 73-83, 2015.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 893-941.

CARVALHO, C. M.; BARBOSA, N. P. BEZERRA, U. T.; SIMAS, T.B. Red ceramic industry residues: Used to produce Portland cement. **Case studies in Construction Materials**, v. 13, 2020.

GUINDANI, E., N. **Argamassa estabilizada para revestimento: avaliação da influência da adição de finos nas propriedades do estado fresco e endurecido**. 2018. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

HOPPE FILHO, J.; PIRES, C.A.O.; LEITE, O.D.; GARCEZ, M.R.; MEDEIROS, M.H.F. Red ceramic waste as supplementary cementitious material: Microstructure and mechanical properties. **Construction and Building Materials**, v. 296, 2021.

LANDOLFO, R.; DE OLIVEIRA, M. P.; NOGUEIRA, N. A. DE S. Estudo Comparativo da Utilização de Resíduo Cerâmico, como Agregado Graúdo, na Produção de Concreto. **Cerâmica Industrial**, Mossoró, v. 19, n. 5, p. 35-41, out. 2014.

LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Tese de Doutorado), Porto Alegre, 2001.

LINTZ, R. C. C.; JACINTHO, A. E. P. G. A.; PIMENTEL, L. L.; GACHET-BARBOSA, L. A. Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, [s. l], v. 5, n. 2, p. 166-181, abr. 2012.

MACEDO, A. M. DE A.; ZANELATO, E. B.; MANHÃES, A. L. F.; AZEVEDO, A. R. G. DE; MARVILA, M. T.; MONTEIRO, S. N.; ALEXANDRE, J. P.; TERRA, L. J. INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE RCD EM ARGAMASSAS, p. 782-789. In: 74º Congresso Anual da ABM, São Paulo, 2019.

ORTH, C. M.; BALDIN, N.; ZANOTELLI, C. T. A geração de resíduos sólidos em um processo produtivo de uma indústria automobilística: uma contribuição para a redução. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 21, n. 2, p. 447-460, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO).

PASSOS, L.; MORENO JUNIOR, A. L.; GOMES, C. E. M. Durabilidade de concretos produzidos com agregado graúdo proveniente de resíduo de cerâmica vermelha. **Revista Matéria**, São Paulo, v. 25, n. 02, p. 1-13, jul. 2019.

PINTO, C.S. Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. 3ª edição. São Paulo. Oficina de Textos, 2006.

PINZ, F. P.; PALIGA, C. M.; DA SILVA TORRES, A. Estudo da influência do resíduo de cerâmica vermelha, como substituinte parcial ao aglomerante ou ao agregado, em argamassas mistas para revestimento. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e90191110507-e90191110507, 2020.

QUEIROZ NETO, M. L.; MEDEIROS, M. K. S.; FLORÊNCIO, F. D. C.; SOUZA JÚNIOR, P. L. Geração de Resíduo Sólido Proveniente da Fabricação de Cerâmica Vermelha: caso de indústria cerâmica na região de Assú/RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7., 2016, Campina Grande. **ANAIS - CONGRESSOS BRASILEIROS DE GESTÃO AMBIENTAL**. Campina Grande: Ufcp, 2016. p. 1-5. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/II-011.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2021.

SALOMÃO, M. C. F.; BAUER, E.; KAZMIERCZAK, C. S. Drying parameters of rendering mortars. **Ambiente Construído**, v.18, n. 2, p. 7-19, 2018.

SANTOS, R. P.; TUBINO, R. Potential evaluation of the use of construction and demolition waste (CDW) in the recovery of degraded soils by mining in Brazil. **Resources, Conservation & Recycling Advances**, v. 12, p. 200060, 2021.

TORRES, I.; MATIAS, G.; FARIA, P. Natural hydraulic lime mortars - The effect of ceramic residues on physical and mechanical behaviour. **Journal of Building Engineering**, v. 32, n. August, p. 101747, 2014.