2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

AVALIAÇÃO DO ESTADO FRESCO DE ARGAMASSA MISTA DE REVESTIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO DA CAL POR RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA[1]

FONTENELE, Amanda (1); OLIVEIRA, Luis (2); CABRAL; Antônio (3)

(1) Universidade Federal do Ceará, amanda_fontenele@alu.ufc.br
(2) Universidade Federal do Ceará, lmarcelo05@alu.ufc.br
(3) Universidade Federal do Ceará, eduardo.cabral@ufc.br

RESUMO

Influenciado pelo impacto ambiental do descarte inapropriado de resíduos de cerâmica vermelha (RCV) no meio ambiente e pelo alto teor de emissão de CO_2 associado à produção da cal, o objetivo deste trabalho é avaliar o estado fresco de argamassas mistas de revestimento com a substituição da cal por RCV. As substituições foram feitas nos teores de 20%, 40% e 60%, além de um traço referencial. Os ensaios aplicados a cada traço de argamassa foram: índice de consistência, squeeze-flow, retenção de água, densidade de massa, teor de ar incorporado. Os resultados obtidos demonstram melhorias em algumas propriedades, tendo o teor de 40% os resultados mais satisfatórios, apesar de redução da zona plástica das argamassas com a substituição da cal por RCV.

Palavras-chave: *Resíduo de cerâmica vermelha (RCV). Argamassa mista. Estado fresco.*

ABSTRACT

Influenced by the environmental impact of the inappropriate disposal of red ceramic brick waste (RCBW) on the environment and by the high CO_2 emission content associated with the production of lime, the objective of this paper is to evaluate the fresh state of mixed mortars with the replacement of lime by RCBW. The substitutions were made at the level of 20%, 40% and 60%, in addition to a reference trait. The tests applied to each mortar were: consistency index, squeeze-flow, water retention, density, incorporated air level. The results obtained show improvements in some properties, with the level of 40% having the most satisfactory results, despite the reduction of the plastic zone of mortars with the replacement of lime by RCBW.

Keywords: *Red ceramic brick waste (RCBW). Mixed mortar. Fresh state.*

1 INTRODUÇÃO

A produção de materiais da construção civil afeta o meio ambiente desde a extração de matérias-primas até o descarte em aterro, como resíduos de construção (GALÁN-ARBOLEDAS *et al.*, 2017). Dessa forma, segundo Apolinário (2013), técnicas ambientalmente eficientes e seguras de aproveitamento dos rejeitos se tornam um desafio no setor da construção civil, visto que os volumes

[1]FONTENELE, Amanda; OLIVEIRA, Luis; CABRAL, Antônio. Avaliação do estado fresco de argamassa mista de revestimento com substituição da cal por resíduos de cerâmica vermelha. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

provenientes desta atividade acabam gerando diversas dificuldades relacionadas a seu armazenamento, manejo, transporte e destinação final.

Dentro da construção civil, as indústrias produtoras de cerâmicas produzem grande quantidade de resíduos que são descartados no meio ambiente. De acordo com o Ministério de Minas e Energias – MME (2009), a geração de resíduos no pós-queima pode chegar a 20% da produção em cerâmicas com menor uso de tecnologia. Além disso, segundo Souza *et al*. (2017), a atividade produtiva na indústria cerâmica possui relevante potencial extrativista e poluidor, uma estimativa da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM afirma que a produção de blocos cerâmicos produz cerca de 370 kg CO_2/mil peças.

Outro material bastante utilizado na construção civil é a cal, utilizada como aglomerante em argamassas de assentamento e revestimento de paredes, conferindo durabilidade e plasticidade às argamassas. Sua produção produz cerca de 770 kg CO_2/t na decomposição do calcário e mais 241 kg CO_2/t devido o uso de combustível (PEREIRA, 2009).

Apesar de estudos de viés ambientais desenvolvidos no setor da construção civil, Oliveira e Menezes (2015) citam que a substituição das cales, não tem ocorrido de forma acadêmica como a substituição do cimento e sim através de processos empíricos adotados pelo setor da construção civil.

Dessa forma, observando-se o grande volume de resíduo de cerâmica vermelha (RCV) destinado a aterros sanitários (incapazes de atender à demanda) e o alto teor de CO_2 gerado na produção da cal, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da substituição da cal por resíduos de cerâmica vermelha em argamassas mistas, avaliando suas propriedades no estado fresco. Buscando a possibilidade de agregar valor ao RCV através da obtenção de um teor ótimo de substituição da cal por este em argamassas.

2 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

Cardoso (2009) entende que as argamassas de revestimento recobrem paredes, pisos e tetos, com funções niveladora, estética, colaborando para o conforto termoacústico e para a estanqueidade.

A ABNT NBR 13529 (2013) classifica a argamassa de revestimento em função do tipo de aglomerantes: as argamassas de cimento são denominadas argamassas hidráulicas, enquanto as de cal são chamadas argamassas aéreas e a composição com cimento e cal caracteriza uma argamassa mista.

Segundo Thomaz (2001), a escolha do aglomerante e o traço da argamassa deverão ser estabelecidos em função de cada aplicação, referentes às características no estado fresco e endurecido. Araújo (2017) traz como propriedades mais importantes no estado fresco: trabalhabilidade, consistência, retenção de água e o teor de ar incorporado.

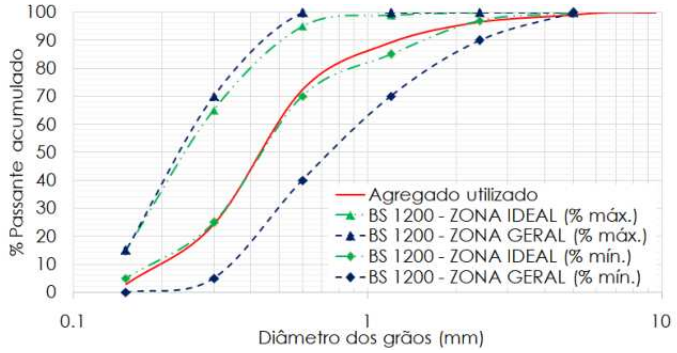
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 Materiais

A partir do ensaio de granulometria os resultados mostram que a areia é um material bem graduado e sua distribuição granulométrica está dentro da zona ideal estabelecida pela Norma Britânica BS 1200 (1976) que especifica as faixas que as

areias devem obedecer para serem utilizadas em argamassas, Figura 1. As demais características do agregado estão apresentadas na Tabela 1.

Figura 1 – Curva granulométrica do agregado



Fonte: Adaptação Amâncio (2019)

Tabela 1 – Características físicas dos agregados

ENSAIO	UNIDADE	RESULTADOS
DMC	mm	2,36
Módulo de finura	-	2,52
Massa unitária	g/cm³	1,41
Absorção de água	%	0,9
Massa específica	g/cm³	2,59
Teor de material pulverulento	%	1,0
Inchamento	-	1,44

Fonte: Adaptação Amâncio, 2019.

O cimento utilizado na pesquisa foi o cimento Portland CP II Z – 32 RS, escolhido em função da utilização mais recorrente na região para argamassas de revestimento. A cal hidratada utilizada na argamassa mista foi a CH–I com massa específica, obtida segundo a ABNT NBR 16605 (2017), de 2,36 g/cm³. Realizou-se a determinação da distribuição dos grãos por meio da granulometria a laser[2] executada com o equipamento Mastersizer 2000-E[7]. Como resultado obteve-se área superficial de 5,01 m²/g e diâmetro médio de 2,319 μm.

O resíduo cerâmico utilizado foi proveniente de uma indústria de blocos cerâmicos localizada no município de Sobral, interior do Ceará. Após moagem e secagem, o material foi passado na peneira de abertura igual a 0,075 mm. A massa específica do material foi de 2,68 g/cm³. Realizou-se a determinação da distribuição dos grãos por meio da granulometria a laser obtendo-se área superficial de 1,31 m²/g e diâmetro médio de 24,699 μm.

3.2 Dosagem e produção das argamassas

Sabe-se que a finalidade principal da pesquisa foi efetuar uma avaliação sobre a influência da substituição da cal por resíduo de cerâmica vermelha em argamassas mistas para revestimento. Para isso, partiu-se da proporção 1:1:6 por ser utilizada nas construtoras da região. O traço utilizado é apresentado em massa combinado com volume, constituído de 1 saco de cimento (50 kg de cimento), 1 de cal (20 kg de cal) e 6 padiolas de 40L de areia. A substituição da cal pelo resíduo ocorreu em

[2] Ensaio realizado pela Companhia Industrial de Cimento Apodi S/A.

volume nos teores de 20%, 40% e 60%. Fixou-se o índice de consistência em 260±5mm, valor citado na ABNT NBR 16541 (2016). A partir deste índice, determinou-se para cada traço a quantidade de água para alcançá-la. Com os traços definidos e os materiais separados, a confecção das argamassas para os ensaios no estado fresco, seguiu a ANBT NBR 16541 (2016). A Tabela 2 apresenta o consumo e as proporções dos traços produzidos.

Tabela 2- Proporção dos traços ensaiados

TRAÇO	IDENT.	CONSUMO DE MATERIAL (kg/m³)					TRAÇO UNITÁRIO EM MASSA				
		CIM.	CAL	RCV	AREIA	ÁGUA	CIM.	CAL	RCV	AREIA	ÁGUA
1:1:6	REF.	296,9	118,8	-	1395,6	363,4	1	0,4	-	4,70	1,22
	RCV 20	296,9	95,0	27,0	1395,6	328,5	1	0,32	0,09	4,70	1,11
	RCV 40	296,9	71,3	54,0	1395,6	316,9	1	0,24	0,18	4,70	1,07
	RCV 60	296,9	47,5	80,9	1395,6	333,3	1	0,16	0,27	4,70	1,12

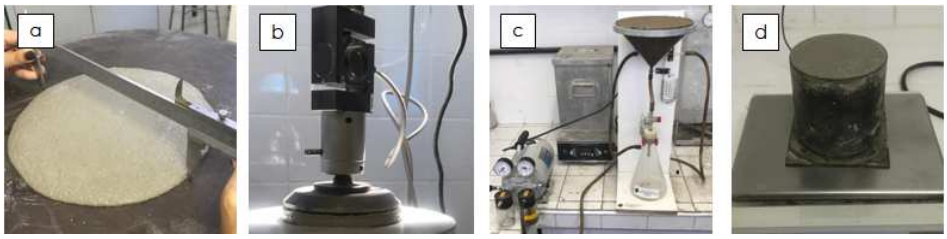
Fonte: Os autores.

3.3 Ensaios no estado fresco

Para a determinação do índice de consistência (*flowtable*), foi realizado o procedimento descrito na ABNT NBR 13276 (2016). A partir deste ensaio foi possível determinar a quantidade de água necessária para se obter o espalhamento na mesa de consistência em 260 ± 5 mm (Figura 2a). Para investigar o comportamento reológico das argamassas, foi realizado o *squeeze-flow*, estabelecido pela ANBT NBR 15839 (2010), para o qual foi utilizada uma célula de carga de 2kN, do tipo S (Figura 2b).

Para determinação da retenção de água foram seguidos os procedimentos previstos na ABNT NBR 13277 (2005), com base na massa do conjunto funil/papel-filtro (Figura 2c). O procedimento experimental para aferir a densidade de massa e teor de ar incorporado está descrito na ABNT NBR 13278 (2005). Foi utilizado o método gravimétrico, que faz uso de um recipiente cilíndrico (Figura 2d).

Figura 2 – Ensaios no estado fresco. (a) Índice de consistência; (b) *Squeeze-flow; (c) Retenção de água; (d) Densidade e teor de ar incorporado*

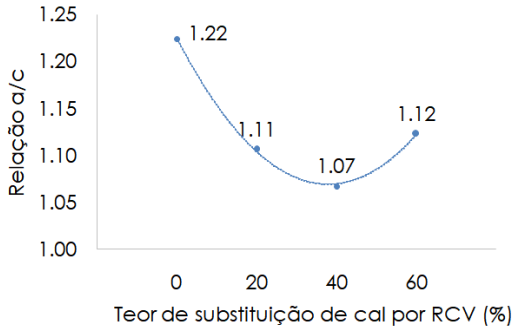


Fonte: Os autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do ensaio de índice de consistência (*flowtable*), para uma consistência fixa de 260±5 mm, foi possível obter a relação a/c das argamassas. A Figura 3 apresenta a relação a/c para cada teor de substituição estudado. Constatou-se que as argamassas com a substituição da cal por RCV necessitam de uma menor relação a/c. Este fato pode ser explicado pela área superficial destes materiais, uma vez que a cal apresenta maior área superficial e consquentemente necessita de mais líquido para atingir a consistência esperada.

Figura 3 – Correlação entre a relação a/c e teor de substituição de cal por RCV.



Fonte: Os autores.

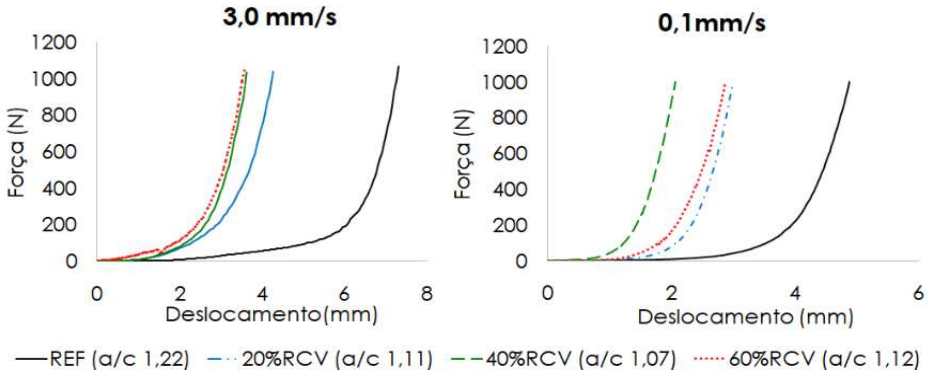
É observado também que o resíduo de cerâmica vermelha, em quantidade superior a 40% de substituição à cal, passa a aumentar a relação a/c, fato que pode ser atribuído a uma possível rugosidade dos grãos de RCV que aumenta o atrito entre as partículas acima desse teor de substituição, de maneira que a cal existente não apresenta eficiência suficiente para mitigar as tensões superficiais geradas para a quantidade de partículas de RCV presentes na pasta, sendo assim necessária uma maior quantidade de água para garantir a consistência estabelecida, através da lubrificação das partículas. Conclui-se então que a substituição de cal por RCV em 40% é a que necessita de menor quantidade de água para atender a consistência esperada.

Os resultados do ensaio *squeeze-flow*, o qual mostra as curvas de deslocamento x força, são apresentados para cada um dos quatro traços, nas velocidades de 3,0mm/s e 0,1mm/s na Figura 4. As curvas obtidas apresentam dois dos três estágios de deformação. As argamassas analisadas estão inicialmente no estágio II, ou estágio plástico, no qual o material flui por deformação plástica ou viscosa, deformando-se consideravelmente sem grandes incrementos na força aplicada. Posteriormente, a argamassa passa para o estágio III, chamado enrijecimento por deformação (*strain hardning*), no qual para maiores deformações, há aumento considerável da carga necessária para manter o material fluindo. O primeiro estágio, no qual o material se comporta como sólido, está ausente nas misturas analisadas. Neste estágio, haveria uma deformação elástica linear no material.

Para os dois casos, a adição de RCV em substituição à cal resultou em redução do patamar plástico das misturas, ou seja, as misturas com substituição pelo RCV enrijeceram por deformação mais rapidamente do que a mistura de referência. Uma das explicações para este comportamento pode estar relacionada ao fato de que no estágio três, há um aumento da interação entre as partículas e as forças de atrito são predominantes nesta região. Considerando-se a hipótese de que o RCV é mais rugoso do que a cal, o incremento de RCV na mistura faz com que o estágio III seja alcançado mais rapidamente do que a mistura de referência.

No ensaio à velocidade de 3,0 mm/s, vê-se que a curva com maior patamar plástico é o da mistura de referência, o comportamento das misturas com RCV, com redução deste patamar plástico, se apresenta similar independente dos teores de substituição, proveniente da ausência ou baixa conformação das partículas da mistura durante o carregamento rápido. No ensaio de compressão lenta (0,1mm/s), assim como à alta velocidade ,também é observado que a curva com maior patamar plástico é a de referência, entretanto é possível interpretar mudanças no comportamento das misturas com RCV.

Figura 4 – Comportamento reológico dos traços.



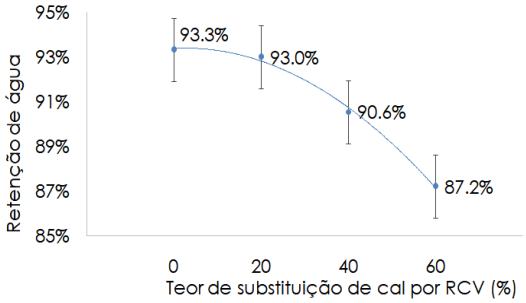
Fonte: Os autores.

Para uma substituição de 20% e mantendo-se a mesma consistência, o patamar plástico é reduzido. Este comportamento também é observado para substituição de 40%, no qual o patamar plástico é reduzido em relação ao de 20% pelo RCV. Para a mistura com 60% de RCV, observa-se que o patamar plástico volta a crescer. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que neste teor de adição, o fator a/c da mistura é superior ao necessário apenas para a hidratação das partículas, servindo também para separar as partículas e reduzir o atrito entre estas. A partir da relação entre o fator a/c da mistura e a redução do patamar plástico pode ser observado que quanto menor o valor a/c, mais rápido a mistura atinge o estágio III, saindo do estado plástico.

De acordo com Cardoso, Pileggi e John (2010), o patamar plástico está associado à produtividade na aplicação de argamassa, enquanto o *strain hardning* representa a dificuldade de se fazer o acabamento. Dessa forma os resultados indicam que o RCV tem influência tanto na redução da produtividade da argamassa como no aumento da dificuldade de executar o acabamento das argamassas. Entretanto, durante a moldagem dos corpos de prova nenhuma diferença prática foi notada pelos autores ou pelo profissional que fez os painéis de argamassa.

O teor de substituição de cal por RCV não influenciou significativamente na retenção de água das argamassas, possivelmente devido à presença da cal e sua alta capacidade de retenção de água. Entretanto, é perceptível que à medida que a cal vai sendo retirada, a capacidade de reter água decresce, de modo que até 40% essa diminuição é mínima, passando a ser mais significativa com o teor de 60% de substituição pelo RCV. De acordo com a norma ABNT NBR 13281 (2005), a qual especifica os requisitos das argamassas de revestimento, todos os traços estão classificados na classe de retenção de água "U4", que varia de 86 a 94%.

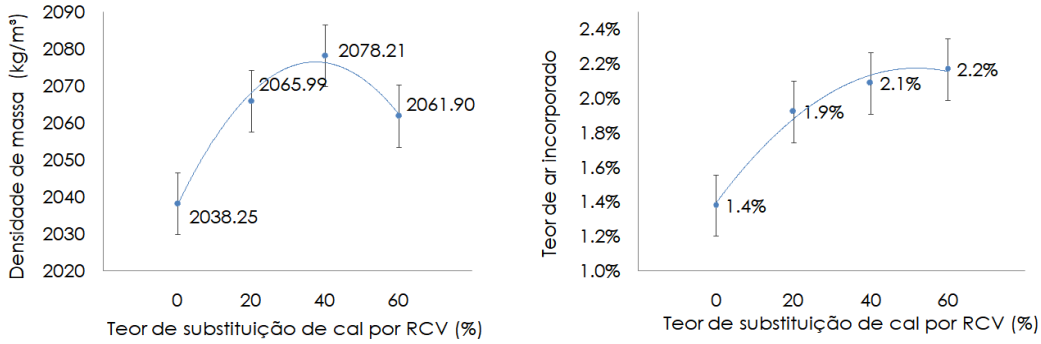
Figura 5 – Retenção de água e teor de substituição de cal por RCV.



Fonte: Os autores.

A partir da análise da Figura 6, constata-se que a densidade de massa aumenta com a substituição de cal por RCV, uma vez que a massa específica do résiduo é superior a da cal. Entretanto, esta relação de aumento não se mantém proporcional para os teores de substituição, já que aos 60% de substituição da cal por RCV a densidade de massa passa a decrescer. Este fato pode estar relacionado com os ajustes da água em cada traço que interferem no volume das misturas: argamassas com os teores de 20% e 40% consumirem menos água que a de 60% fazendo com que o volume das mistura seja reduzido, enquanto, para atingir a consitencia esperada, a argamassa de 60% de RCV passe a ter mais água e consequentemente maior volume. De acordo com a norma ABNT NBR 13281 (2005), que especifica os requisitos de argamassas, tem-se que todos os traços estão classificados na classe de densidade de massa "D6", já que apresentam densidade de massa >2000 kg/m³. O aumento do teor de ar incorporado às misturas à medida que é feita a substituição da cal por RCV. Azevedo *et al.* (2017) afirma que o teor de ar incorporado está correlacionado ao fato de que as partículas de RCV são angulares, causando assim um pior arranjo da mistura.

Figura 6 – Densidade, teor de ar incorporado e substituição de cal por RCV.



Fonte: Os autores.

5 CONCLUSÕES

A partir da análise no estado fresco, obteve-se no teor de 40% de RCV, a maior densidade e menor relação a/c, em relação aos traços de mesma consistência. Em contrapartida, ao ser analisado o comportamento reológico, por meio do *squeeze-flow*, vê-se que o teor de 40% é o de menor zona plástica, o que pode prejudicar a utilização desta argamassa para revestimentos, apesar de não ter sida notada nenhuma diferença na prática da confecção dos corpos de prova.

O estudo realizado, portanto, aponta possibilidades de melhoria do desempenho de argamassas de revestimentos através da substituição da cal por resíduos de cerâmica vermelha. Entretanto, a otimização dos teores de substituição necessita de um estudo mais amplo, com análise de outros teores de substituição e considerando-se a utilização da argamassa.

REFERÊNCIAS

APOLINÁRIO, E. C. A. **Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades de argamassas de revestimento.** Dissertação - Curso de Mestrado de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia - UBHA, Salvador, 2013.

ARAÚJO, R. A. **Influência da utilização de resíduo de cerâmica vermelha nas propriedades de armagassas mistas.** Dissertação - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281:** Argamassa de Assentamento e Revestimento de paredes e Teto-Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005

_____. **NBR 13529**: Revestimento deparedes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação de massa e teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15839**: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze-flow. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 16541:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios**.** Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. **Rio de Janeiro, 2017.**

AZEVEDO, A.R.G. *et al*. Influence of incorporation of glass waste on the rheological properties of adhesive mortar. **Construction and Building Materials**, v.148, 59–368, 2017.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 1200:1976**, Specifications for building sands from natural sources. Londres, 1976.

CARDOSO, F. A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. Tese - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. **Squeze-flow aplicado a argamassas de revestimento:** Manual de utilização. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, v. 11-31, 2010.

GALÁN-ARBOLEDAS, R. J. *et al*. Energy, environmental and technical assessment for the incorporation of EAF stainless steel slag in ceramic building materials. **Journal Of Cleaner Production**, v. 142, p.1778-1788, jan. 2017. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.110.

MATOS, P. R. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

MME-MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Análise-síntese da transformação mineral no Brasil. Brasília: SGM, 2009.

OLIVEIRA, D. R.; MENEZES, L. G. **Avaliação de desempenho de argamassas de revestimento em alvenarias com substituição da cal por materiais plastificantes inertes.** Pós-gradução, Pesquisa e Extensão do Centro Universitário de Patos de Minas - Unipam, 2015

PEREIRA, L. S. A indústria da cal no Brasil. XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/500/1/27Luana%20dos%20Santos%20Pereira.pdf> Acesso em: 11/06/19.

SOUZA, W. M. *et al.* Diagnóstico da geração de resíduos de cerâmica vermelha na região metropolitana do cariri. In: **Seminário de iniciação científica.** Juzeiro do Norte, 2017.

THOMAZ, E. Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção. São Paulo: Editora Pini, 2001.