

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR RESÍDUOS DE PLACAS CERÂMICAS DESCONFORMES NA ARGAMASSA.

Micheli W. Formigoni (1); Elaine G. Pavei (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) micheli_wf@hotmail.com (2) elainegpa@unesc.net

RESUMO

Com a crescente escassez dos recursos naturais não renováveis, e a indústria da construção civil, sendo o setor de atividades que mais consome esses recursos, se faz necessário, a busca e o estudo de novos materiais não convencionais. Este trabalho visa avaliar a utilização de resíduos de placas cerâmicas desconformes, como substituição parcial do cimento Portland em argamassas. Estes resíduos foram analisados física e quimicamente, e substituídos nas argamassas com proporções de 0%, 5%, 12% e 20%. Os ensaios realizados foram: absorção de água, índice de vazios, massa específica, resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial, absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade. Da análise dos resultados, pode-se observar que os traços com 5% e 12% de substituição, apresentaram melhoras nos seus resultados, quando comparados com o traço referência, para os ensaios de absorção de água, índice de vazios, massa específica, resistência à tração na flexão e absorção de água por capilaridade. O ensaio da resistência à compressão axial, não demonstrou melhoras nos seus resultados, mas, uma pequena queda da resistência quando comparado com o traço referência. De acordo com os resultados percebem-se algumas vantagens relativas à utilização do resíduo de placa cerâmica em argamassas, uma delas, é a sua contribuição para um melhor aproveitamento dos resíduos e, conseqüentemente, para o alcance de uma produção mais sustentável.

Palavras-Chave: Resíduo cerâmico, Argamassa, Absorção.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, uma das grandes preocupações da sociedade é a crescente escassez dos recursos naturais não renováveis e sua necessidade para a sobrevivência da sociedade moderna. O Conselho Internacional da Construção (CIB) aponta a indústria da construção civil, como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando assim diversos impactos ambientais (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2016).

Segundo a Agenda 21 Brasileira (2000), o modo pelo qual se dá o uso de recursos naturais é determinante para o processo de desenvolvimento sustentável, e é importante para a sociedade incorporar uma visão de que os recursos naturais só estarão disponíveis para a atual, e as futuras gerações, se utilizados de modo racional.

De acordo com o Relatório de Brundtland apud Mariotti, (2013), o desenvolvimento sustentável pode ser definido como, a criação de meios para satisfazer as necessidades do presente sem prejudicar a capacidade das futuras gerações satisfazerem suas necessidades.

O consumo elevado de cimento Portland conseqüentemente gera uma demanda de produção maior, conforme Melo (2012), essa elevação do consumo de cimento Portland provoca problemas ambientais, por sua produção possuir um alto consumo de energia e matéria-prima, e ser responsável por cerca de 5% das emissões mundiais de dióxido de carbono, estando assim, diretamente ligado ao efeito estufa e contribuindo para o aquecimento global.

Além do impacto ambiental, o consumo elevado de cimento Portland gera resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Estudos apontam que cerca de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto de atividades humanas são provenientes da construção civil (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2016).

Os resíduos da construção civil no Brasil são compostos basicamente por concreto e argamassa, rochas naturais e material cerâmico, segundo um estudo realizado por (Ângelo, 2005).

A Resolução do CONAMA, caracteriza os resíduos da construção civil, e descreve a reutilização e a reciclagem:

I - Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha; (...) VI - Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo; VII - Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação; (...) (Resolução CONAMA N° 307/2002, Art. 2°, p.1-2).

Dentro das possíveis alternativas de reciclagem de resíduos da construção civil, estão os resíduos cerâmicos denominados “chamotes”, que nada mais é do que o

produto cerâmico argiloso após sofrer queima e com falhas, sendo desclassificados para a venda e utilização. Existem diversos tipos de materiais cerâmicos e com as mais variadas aplicações. Dentro desses diversos tipos, destacam-se os materiais de revestimento, por exemplo, as placas cerâmicas, os porcelanatos e os azulejos, sendo as placas cerâmicas e os porcelanatos, materiais que apresentam excelentes características técnicas, como alta resistência mecânica e baixa absorção de água (PAIXÃO; CAETANO; COLIANTE; SILVA FILHO; BERGMANN, 2011).

As placas cerâmicas são formadas basicamente por três camadas, o suporte ou o biscoito que dá formato as placas, o engobe que tem uma função impermeabilizante e garante o suporte da terceira camada e o esmalte que é uma camada vítrea que também impermeabiliza e tem função decorativa (ANFACER, 2016).

O corpo cerâmico compõe-se de matérias-primas naturais, argilosas e não argilosas. Os materiais argilosos são formados de uma mistura de diversos tipos e características de argilas para dar a composição desejada e são à base do biscoito. Os materiais não argilosos, quartzo, feldspato e caulim, servem para sustentar o corpo cerâmico ou promover a fusão da massa e os materiais sintéticos são utilizados para a produção de engobes e esmaltes e, servem para fazer a decoração dos revestimentos. (ANFACER, 2016).

Segundo pesquisa realizada pelo SINDICERAM – SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE CERÂMICA – CRICIÚMA - SC, em dezembro de 2015, o volume produzido é de aproximadamente 6.600.000 m² de pisos e 2.000.000 m² de azulejos. O município de Criciúma, localizado no sul de SC, está classificado como o maior produtor nacional e o segundo maior produtor mundial de pisos e azulejos (NASPOLINI FILHO, 2016).

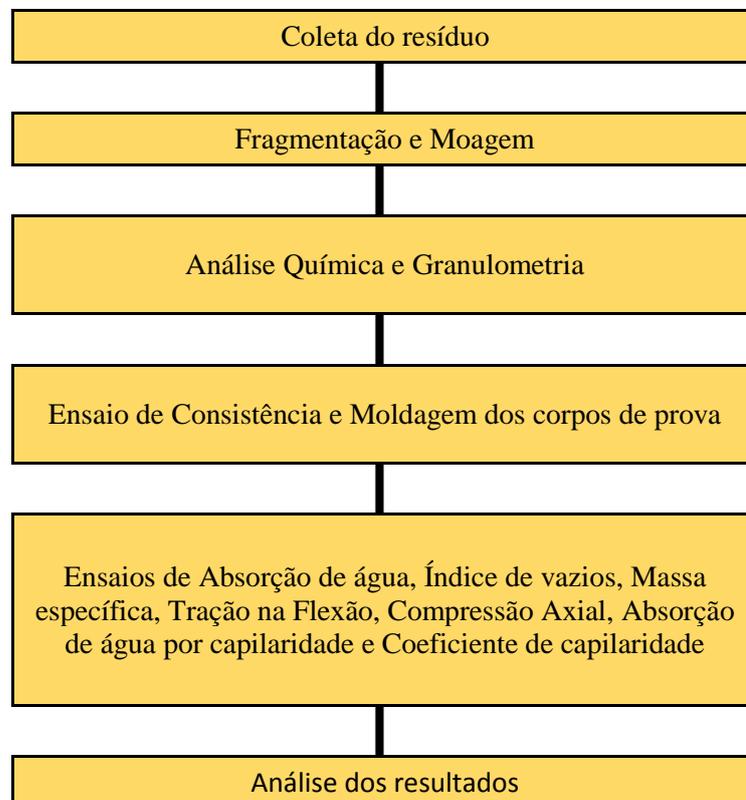
Diante desse cenário o presente trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade da utilização do pó de placas cerâmica, queimada, oriundas do descarte de placas em desconformidade e consideradas impróprias para venda, como substituição parcial do cimento Portland em argamassas. Para tal, analisa-se as características de absorção de água, índice de vazios, massa específica, resistência à tração na flexão, à compressão axial, absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento desse trabalho foi realizado em seis etapas, sendo que a primeira consistiu na visita a empresa, para se obter um melhor entendimento do processo de fabricação da cerâmica, e também, para ser efetuada a coleta dos resíduos. A segunda, consistiu na fragmentação e moagem do resíduo, para a obtenção de um material fino. A terceira etapa, trata-se da análise química e granulométrica do resíduo, para a sua caracterização. A quarta etapa refere-se ao ensaio de consistência para a obtenção da relação água/aglomerante e moldagem dos corpos de prova. Na quinta etapa realizou-se os ensaios de absorção de água, índice de vazios, massa específica, resistência à tração na flexão, compressão axial, absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade. Na sexta e última etapa foi realizada a análise dos resultados.

A Figura 01 representa o fluxograma das etapas desta pesquisa.

Figura 01: Fluxograma: Etapas do trabalho.



Fonte: Da autora.

O estudo teve por finalidade avaliar a absorção de água, índice de vazios, massa específica, resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial, absorção de água por capilaridade, e o coeficiente de capilaridade para argamassas, com substituição parcial do cimento Portland por pó de placa cerâmica, no teor de 0%, 5%, 12% e 20%. O traço de referência para esse estudo, baseou-se nos traços mais frequentemente usados na construção civil, para argamassas, sendo este 1:0,25:5,5.

Foram utilizados para a dosagem da mistura cimento CPIV-32, areia média, com finura de 2,05 e cal hidratada.

Tabela 01: Nomenclatura e volume dos traços utilizados.

% de substituição	Nomenclatura	Volume (cim:cal:areia:resíduo)
0%	AZ0	1:0,25:5,5:0
5%	AZ5	0,95:0,25:5,5:0,05
12%	AZ12	0,88:0,25:5,5:0,12
20%	AZ20	0,80:0,25:5,5:0,20

Fonte: Da autora.

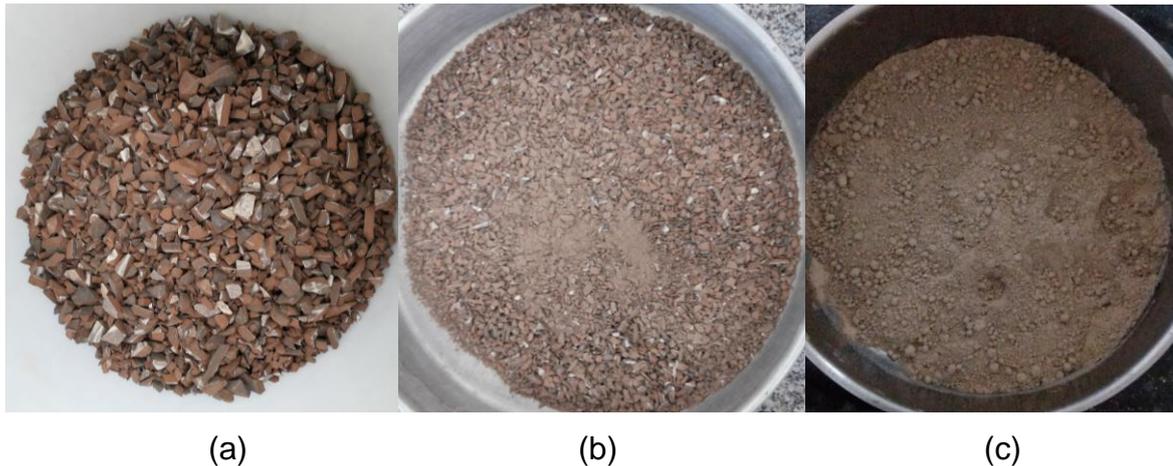
2.2 PLACA CERÂMICA

O resíduo utilizado no presente trabalho, consistiu de placas cerâmicas, esmaltadas de corpo vermelho, produzida na cidade de Criciúma-SC. A fabricação dos pisos, é realizada com uma quantidade mínima de água na massa, com aproximadamente 8%, garantindo apenas, que ela tenha umidade suficiente para a compactação e formação do suporte ou biscoito, devido à tal, esse processo de fabricação é denominado, por via seca. O processo de queima das placas dura em média 20 min, e chega a uma temperatura de 1.130°C, sendo que essa temperatura é elevada e diminuída aos poucos.

Para a fragmentação das placas cerâmicas, foi inicialmente utilizado um britador de mandíbulas, o material obtido foi separado por peneiramento, sendo constituído de 20% de material passante na peneira USS/ASTM nº 5 (4,00 mm) e 80% de material

retido, conforme figura 02. O material passante na peneira, posteriormente foi moído por mais 45 min no moinho periquito e 7 h no moinho gira-jarro, obtendo-se um material fino.

Figura 02: (a) Material retido na peneira nº 5, (b) Material passante na peneira nº 5 e (c) Material fino.



Fonte: Da autora.

Após a moagem do resíduo, foi realizada a análise química e granulométrica, para a sua caracterização.

A ABNT NBR 12653:2015 classifica materiais pozzolânicos como:

Materiais silicosos ou silicoaluminosos que, sozinhos, possuem pouca ou nenhuma propriedade ligante mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades ligantes (ABNT NBR 12653:2015, p. 2).

As características químicas e físicas do resíduo, devem estar em conformidade com os requisitos estabelecidos pela norma citada acima. A Tabela 02 apresenta as características químicas do resíduo de pó de placa cerâmica. A análise física do material foi realizada através do ensaio de distribuição granulométrica e o ensaio de DRX. O Gráfico 01 demonstra a distribuição granulométrica.

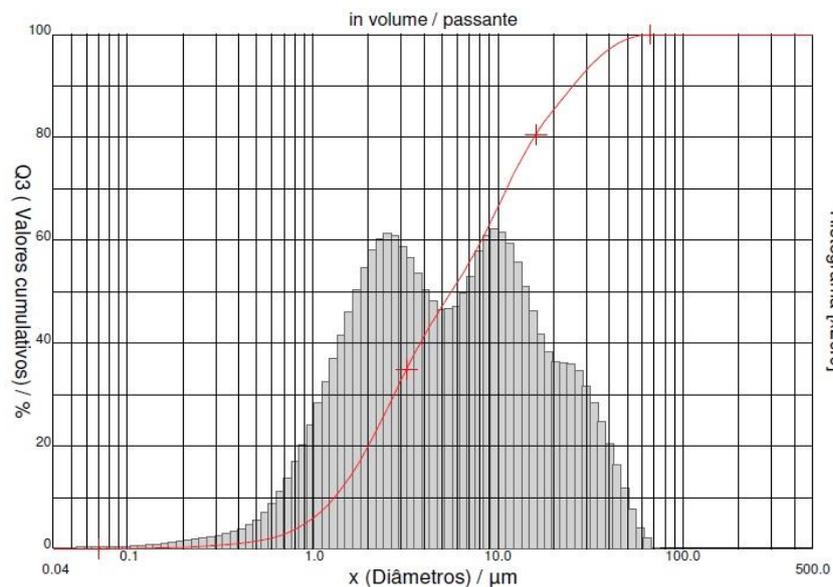
Tabela 02: Determinação da análise química por espectrometria de fluorescência de raios x e espectrometria de absorção atômica.

Nº	Elementos	Teor (%)	Nº	Elementos	Teor (%)
1	Al ₂ O ₃	15,4	11	B ₂ O ₃	
2	CaO	0,97	12	Li ₂ O	
3	Fe ₂ O ₃	4,24	13	BaO	0,27
4	K ₂ O	4,72	14	Co ₂ O ₃	< 0,1
5	MgO	2,28	15	Cr ₂ O ₃	< 0,1
6	MnO	0,07	16	PbO	< 0,1
7	Na ₂ O	1,59	17	SrO	< 0,1
8	P ₂ O ₅	0,13	18	ZnO	< 0,1
9	SiO ₂	69,09	19	ZrO ₂ +HfO ₂	< 0,1
10	TiO ₂	0,57	20	Perda Fogo	0,57

Fonte: LDCM - Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais FIESC/SENAI.

Na análise química pode-se observar que a soma das porcentagens de alumina (Al₂O₃), sílica (SiO₂) e hematita (Fe₂O₃) ultrapassam 70%, estando assim, dentro dos requisitos estabelecidos pela tabela 01 da NBR 12653.

Gráfico 01: Distribuição granulométrica por difração de raio x.



Fonte: Lab. Caracterização – IPARQ/UNESC.

Na análise granulométrica por difração de raio x, observou-se que a faixa granulométrica do resíduo encontra-se de 66µm à 0,04µm. O diâmetro de 10% é 1,31µm, de 50% é 5,60µm e 90 % é 25,52µm, sendo o diâmetro médio do resíduo de aproximadamente 9,88µm.

2.3 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

Através do ensaio de índice de consistência, foi estabelecido a relação água/aglomerante dos traços estudados, para posterior moldagem dos corpos de prova, sendo realizado conforme recomenda a norma ABNT NBR 13276:2005, respeitando para cada traço de substituição uma quantidade de água, para um índice de consistência de (260 ± 5) mm. Os traços foram classificados como AZ0, AZ5, AZ12 e AZ20 com respectivamente 0%, 5%, 12% e 20% de substituição do cimento Portland por pó de placa cerâmica.

Figura 03: Mesa de queda e Índice de consistência.



Fonte: Da autora.

Tabela 03: Relação água/aglomerante.

Nomenclatura	Traço (Cim:Cal:Areia:Placa cerâmica)	Relação água/aglomerante
AZ0	1:0,25:5,5:0	0,88
AZ5	0,95:0,25:5,5:0,05	0,88
AZ12	0,88:0,25:5,5:0,12	0,88
AZ20	0,80:0,25:5,5:0,20	0,88

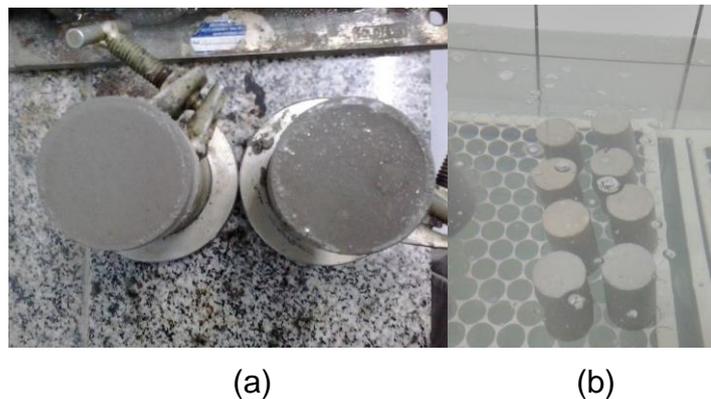
Fonte: Da autora.

Foram moldados 8 corpos de prova para cada traço de substituição, sendo 6 corpos prismáticos com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm, como recomenda a ABNT NBR 13279:2005, e 2 corpos cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, conforme especifica a ABNT NBR 7215:1995.

2.4 ENSAIO DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DA ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

Para esse ensaio foram moldados 2 corpos de prova cilíndricos para cada traço, com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, de acordo com a ABNT NBR 7215:1996. No processo de cura dos corpos de prova, foi realizada uma cura inicial ao ar durante 24 h, e após esse processo os corpos foram imersos em tanque com água saturada de cal, onde permaneceram até o momento do ensaio, dando um total de 20 dias de cura.

Figura 04: (a) Moldagem do corpo de prova cilíndrico e cura inicial ao ar e (b) Cura final imerso em tanque com água saturada de cal.



Fonte: Da autora.

2.4.1 Absorção de água

O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 9778:2005, que define a absorção de água por imersão, um processo pelo qual a água é conduzida e tende a preencher os poros permeáveis de um corpo sólido poroso, havendo um aumento de massa, em relação a sua massa no estado seco.

Para se obter a massa no estado seco (m_s), a amostra foi mantida em estufa com temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ por 72 h, após esse processo, ela foi imersa em água com temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e também foi mantida por um período de 72 h, para a obtenção da massa na condição saturada (m_{sat}). A equação para o cálculo da absorção de água (A), em porcentagem, é descrito pela equação 1.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

2.4.2 Índice de vazios

Na determinação do índice de vazios, além das etapas efetuadas acima, foi realizada também uma terceira etapa, onde após completa à saturação em água com temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, o corpo de prova foi colocado em um recipiente contendo água, que foi progressivamente levada à ebulição. Este processo foi mantido por um período de 5 h, com volume aproximadamente constante. Após a fervura, foi deixada a água esfriar naturalmente até a temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$. A equação (2) define o índice de vazios (I_v), em porcentagem.

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

onde: m_i é a massa da amostra saturada em água após fervura.

2.4.3 Massa específica seca, saturada e real

A massa específica seca é definida pela equação (3), a massa específica saturada pela equação (4) e a massa específica real pela equação (5).

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad \text{Equação (3)}$$

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \quad \text{Equação (4)}$$

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} \quad \text{Equação (5)}$$

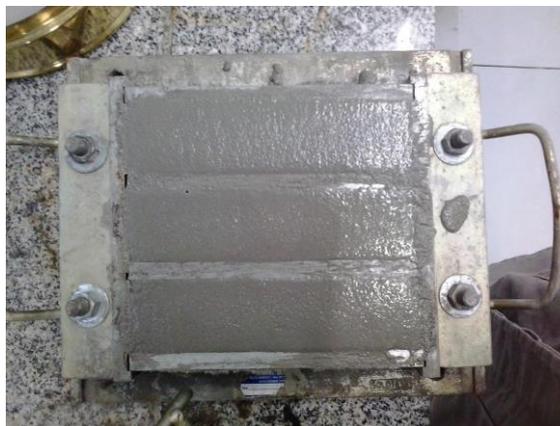
2.5 ENSAIO DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

O ensaio da resistência à tração na flexão foi realizado de acordo com a ABNT NBR 13279:2005, que recomenda a moldagem de 3 corpos de prova prismáticos, com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm, como mostra a figura 04, e curados com temperatura do ar de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $(60 \pm 5)\%$ durante um período de 28 dias. Para o ensaio foi aplicada uma carga de (50 ± 10) N/s até a ruptura do corpo de prova, conforme demonstra a Figura 05 (a). O cálculo da resistência à tração (R_f) em megapascals é definido pela equação (6).

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times L}{40^3} \quad \text{Equação (6)}$$

onde: F_f é a carga vertical no centro do prisma, em newtons;
 L é a distancia entre os suportes, em milímetros.

Figura 04: moldagem dos corpos de prova prismáticos.



Fonte: Da autora.

2.6 ENSAIO DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

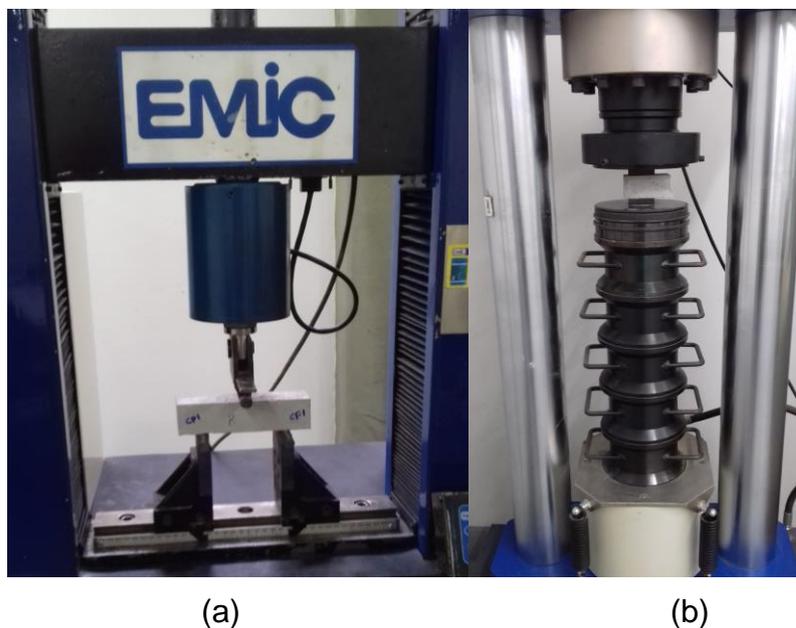
O ensaio da resistência à compressão axial foi realizado de acordo com a ABNT NBR 13279:2005, onde foram utilizadas as metades dos três corpos de prova do ensaio de resistência à tração na flexão, o posicionamento do mesmo foi feito de modo em que a face rasada não fique em contato com o dispositivo de apoio nem com o dispositivo de carga. Foi aplicada uma carga de (500 ± 50) N/s até a ruptura

do corpo de prova. A resistência à compressão axial (R_c), em megapascals é calculada segundo a equação (7). A figura 05 (b) demonstra o ensaio da resistência à compressão axial.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad \text{Equação (7)}$$

onde: F_c é a carga máxima aplicada, em newtons,
1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga 40 mm x 40 mm x 16 mm, em milímetros quadrados.

Figura 05: (a) Ensaio da resistência à tração na flexão e (b) Ensaio da resistência à compressão axial.



Fonte: Da autora.

2.7 ENSAIO DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE E COEFICIENTE DE CAPILARIDADE

2.7.1 Ensaio da absorção de água por capilaridade

O ensaio da absorção de água por capilaridade foi realizado de acordo com a ABNT NBR 15259:2005. Para esse ensaio foram usados 3 corpos de prova prismáticos moldados conforme a NBR 13279, com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm. A cura foi realizada segundo a NBR 15259 que recomenda à temperatura do ar de $(23 \pm$

2)°C e umidade relativa do ar de (60 ± 5)%, os corpos de prova devem ser ensaiados aos 28 dias.

Após o período completo de cura, as amostras foram pesadas para determinar a sua massa inicial (m_0) em gramas, em seguida foram posicionadas com a face quadrada sobre o suporte no recipiente de ensaio. O nível de água permaneceu constante a (5 ± 1) mm acima da face em contato com a água, determinando-se a massa da amostra aos 10 min (m_{10}) e aos 90 min (m_{90}).

A absorção de água por capilaridade calculada para cada tempo deve ser expressa em gramas por centímetro quadrado, a fórmula para esse cálculo é a razão da variação de massa pela área da seção transversal do corpo em contato com a água.

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde: A_t é a absorção de água por capilaridade, para cada tempo, aproximada ao centésimo mais próximo, em gramas;

m_t é a massa do corpo de prova em cada tempo, aproximada ao centésimo mais próximo, em gramas;

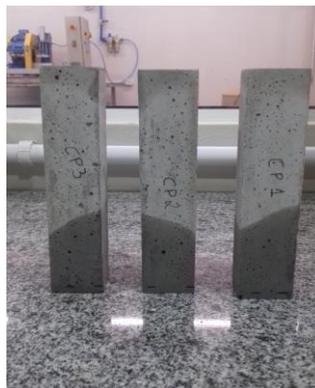
m_0 é a massa inicial do corpo de prova, em gramas;

t corresponde os tempos de 10 min e 90 min, em segundos;

16 é a área do corpo de prova, em centímetros quadrados.

A Figura 06 demonstra o ensaio da absorção de água por capilaridade realizado para o traço referência, após 90 min de exposição a lamina de água.

Figura 06: Ensaio da absorção de água por capilaridade.



Fonte: Da autora.

2.7.2 Coeficiente de capilaridade

Segundo a ABNT NBR 15259:2005,

“por definição, o coeficiente de capilaridade (C) é igual ao coeficiente angular da reta que passa pelos pontos representativos da determinações realizadas aos 10 min e aos 90 min, considerando-se como:

- abscissa: a raiz do tempo, em minutos,
- ordenada: absorção de água por capilaridade, em gramas por centímetro quadrado”.

O coeficiente de capilaridade é definido conforme equação abaixo.

$$C = m_{90} - m_{10} \quad \text{Equação (9)}$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os resultados dos ensaios realizados, serão analisados com o traço referência AZ0, por este não apresentar substituição parcial do cimento Portland por pó de placa cerâmica.

3.1 ENSAIO DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

Para esse ensaio foram realizados três procedimentos, o primeiro foi a secagem completa dos corpos de prova em forno determinando-se a sua massa seca (m_s), o segundo foi a saturação da amostra em água para a determinação a massa saturada (m_{sat}) e o terceiro procedimento foi a obtenção da massa da amostra saturada imersa em água após fervura (m_i). A Tabela 04 mostra as massas dos corpos de prova após cada ensaio.

Após a obtenção das massas das amostras foi realizado o cálculo para a determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, conforme recomenda a ABNT NBR 9778:2005. A Tabela 05 apresenta o resultado desses cálculos.

Tabela 04: Massa das amostras nas condições seca, saturada e saturada em água após fervura.

Traço	m_s	m_{sat}	m_i
AZ0	387,43	428,62	234,80
	388,25	429,10	235,52
AZ5	385,80	427,09	232,88
	387,67	428,00	234,40
AZ12	386,60	427,94	234,26
	389,35	430,01	235,46
AZ20	382,43	423,87	230,02
	379,14	420,19	227,97

Fonte: Da autora.

Tabela 05: Resultados da absorção de água, índice de vazios e massa específica seca, saturada e real.

Traço	A	I_v	ρ_s	ρ_{sat}	ρ_r
AZ0	10,63	21,25	2,00	2,21	2,54
	10,52	21,10	2,01	2,22	2,54
Média	10,58	21,18	2,00	2,21	2,54
Desvio Padrão	0,003	0,006	0,000	0,000	0,000
AZ5	10,70	21,26	1,99	2,20	2,52
	10,40	20,83	2,00	2,21	2,53
Média	10,55	21,05	1,99	2,20	2,53
Desvio Padrão	0,016	0,050	0,000	0,000	0,000
AZ12	10,69	21,34	2,00	2,21	2,54
	10,44	20,90	2,00	2,21	2,53
Média	10,57	21,12	2,00	2,21	2,53
Desvio Padrão	0,016	0,050	0,000	0,000	0,000
AZ20	10,84	21,38	1,97	2,19	2,51
	10,83	21,36	1,97	2,19	2,51
Média	10,83	21,37	1,97	2,19	2,51
Desvio Padrão	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: Da autora.

A Tabela 05, mostra a média e o desvio padrão, dos valores calculados para cada porcentagem de substituição. Pode-se observar que o traço AZ5, com 5% de substituição do cimento Portland por pó de placa cerâmica, obteve 10,55% de absorção de água, 21,05% de índice de vazios e 1,99 g/cm³ de massa específica seca, 2,20 g/cm³ de massa específica saturada e 2,53 g/cm³ de massa específica

saturada após fervura. Sendo esse o traço que apresenta maior diminuição da absorção de água, quando comparado com os demais traços. O traço AZ12, com 12% de substituição, apresentou redução na absorção de água e no índice de vazios, enquanto que a massa específica permaneceu constante ao traço referência. O traço AZ20, com 20% de substituição do cimento por pó de placa cerâmica, foi o que apresentou resultados mais insatisfatórios, com 10,83% de absorção de água e 21,37% de índice de vazios. Tendo um pequeno aumento na absorção de água e no índice de vazios quando comparado com o traço referência AZ0. Diante dessa análise os traços que apresentaram melhores resultados, foram os traços AZ5 e AZ12.

3.2 ENSAIO DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Para a determinação da resistência à tração na flexão os corpos de prova foram moldados, curados e ensaiados segundo a ABNT NBR 13279:2005. Sendo ensaiado para cada traço de substituição, 3 corpos de prova. A Tabela 06 mostra os resultados do ensaio.

Tabela 06: Resultado do ensaio da resistência à tração na flexão.

Traço	Tração na flexão (Mpa)	Média (Mpa)	Desvio Padrão
AZ0	3,15	3,02	0,027
	2,83		
	3,02		
AZ5	3,29	3,29	0,020
	3,16		
	3,44		
AZ12	3,39	3,44	0,098
	3,16		
	3,78		
AZ20	3,06	3,00	0,028
	3,13		
	2,81		

Fonte: Da autora.

Os traços AZ5 e AZ12, conforme a Tabela 06, apresentaram um aumento da resistência à tração na flexão, em relação ao traço referência AZ0, com 3,29 Mpa e 3,44 Mpa, respectivamente. O traço AZ5 com substituição de 5%, apresentou um

aumento de 9% na resistência à tração na flexão, e o traço AZ12 com substituição de 12%, foi o que obteve melhor resultado com um aumento da resistência de 14%, sendo esse o traço que apresenta maior chance de diminuir uma possível fissuração da argamassa.

O traço AZ20 com substituição de 20%, não obteve aumento na sua resistência e nem uma queda significativa, apresentando aproximadamente a mesma resistência do traço referência.

3.3 ENSAIO DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Nesse ensaio foram utilizadas as metades dos corpos de prova decorrente do ensaio de tração na flexão, sendo ensaiados 6 corpos de prova, para cada traço. A norma utilizada foi a NBR 13279:2005, os resultados do ensaio são mostrados na Tabela 07.

Tabela 07: Resultados do ensaio da resistência à compressão axial.

Traço	Compressão axial (Mpa)	Média (Mpa)	Desvio Padrão
AZ0	9,45	10,67	1,463
	11,29		
	10,50		
	10,20		
	11,42		
	11,16		
AZ5	10,42	10,57	0,950
	9,98		
	10,24		
	11,47		
	9,97		
	11,07		
AZ12	9,94	10,40	0,320
	10,15		
	10,64		
	10,55		
	10,59		
	10,90		
AZ20	9,37	9,61	0,432
	10,15		
	9,02		
	9,98		
	9,67		
	9,45		

Fonte: Da autora.

Na Tabela 07, pode-se observar, que houve uma pequena queda na resistência a compressão axial em todas as porcentagens de substituições, sendo que os traços AZ5 e AZ20 foram os que apresentaram a menor e a maior queda, com 1% e 10% de diminuição respectivamente.

Considerando o trabalho de NASCIMENTO J. (2011), que aborda o efeito pozolânico em concreto, podemos supor que, esse fato pode ter ocorrido, pois, quando se diminui a quantidade de cimento e se mantém a relação água/aglomerante em 0,88, a relação água/cimento aumenta, acarretando assim, a diminuição da resistência.

3.4 ENSAIO DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE E COEFICIENTE DE CAPILARIDADE

Para a realização desse ensaio foi necessário medir para cada corpo de prova a sua massa inicial (m_0), aos 10 minutos (m_{10}) e aos 90 minutos (m_{90}), a Tabela 08 demonstra os valores obtidos.

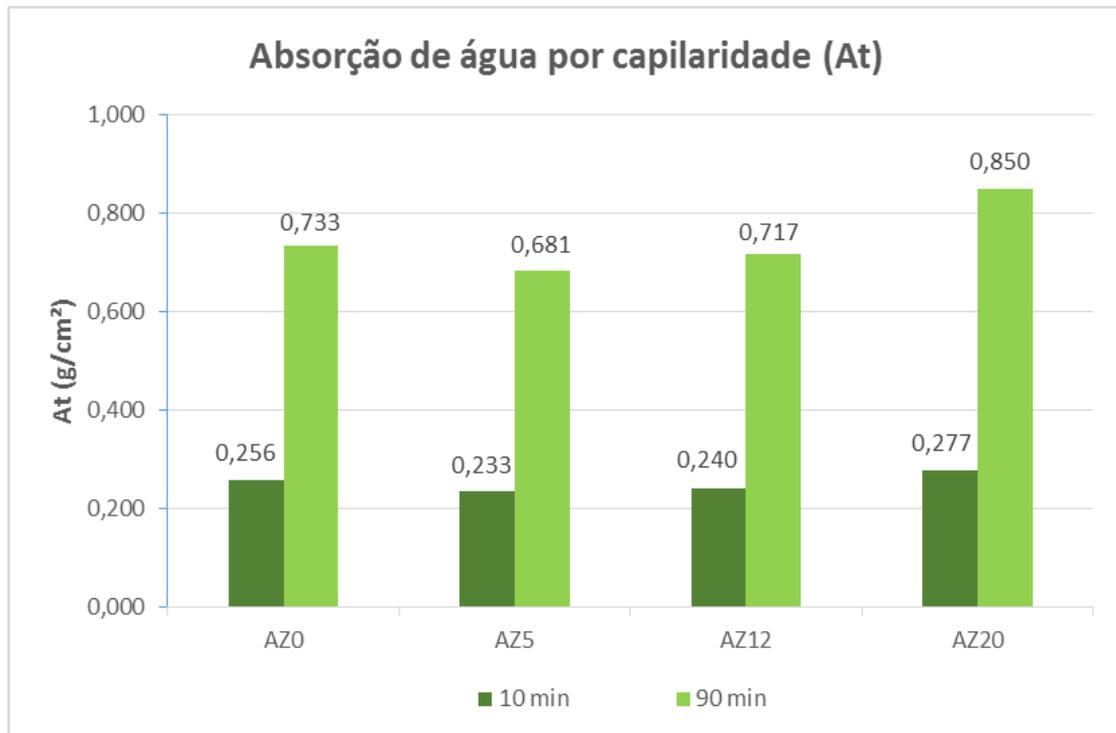
Tabela 08: Massa dos corpos de prova.

Traço	Corpo de prova	Massa (g)		
		0 min	10 min	90 min
AZ0	1	535,60	540,00	548,50
	2	530,00	533,60	540,70
	3	526,00	530,30	537,60
	Média	530,53	534,63	542,27
	Desvio Padrão	23,25	24,32	31,54
AZ5	4	511,10	514,10	521,30
	5	517,40	521,50	529,00
	6	516,00	520,10	526,90
	Média	514,83	518,57	525,73
	Desvio Padrão	10,94	15,45	15,84
AZ12	7	522,50	526,20	534,10
	8	525,70	529,60	537,20
	9	529,10	533,00	540,40
	Média	525,77	529,60	537,23
	Desvio Padrão	10,89	11,56	9,92
AZ20	10	518,60	522,80	530,90
	11	523,10	527,50	537,50
	12	519,50	524,20	533,60
	Média	520,40	524,83	534,00
	Desvio Padrão	5,67	5,82	11,01

Fonte: Da autora.

O resultado do cálculo da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade, são mostrados na Figura 07 e na Tabela 09 respectivamente.

Figura 07: Resultados da absorção de água por capilaridade.



Fonte: Da autora.

A Figura 07 mostra que a absorção de água por capilaridade para o traço AZ0 é de 0,256 g/cm² aos 10 min e 0,733 g/cm² aos 90 min. Observa-se que essa absorção de água diminui para o traço AZ5, com 9% de redução aos 10 min e 7% aos 90 min, e para o traço AZ12, com redução de 6% aos 10 min e 2% aos 90 min, sendo que o traço com substituição de 5% do cimento por pó de placa cerâmica, apresentou melhor resultado na redução da absorção de água por capilaridade se mostrando assim mais impermeável. Já o traço AZ20 não apresentou redução, mas um aumento na absorção de água de 8% aos 10 min e 16% aos 90 min, quando comparado com o traço referência, mostrando-se ineficaz a redução da percolação da água por capilaridade na argamassa.

Tabela 09: Resultado do coeficiente de capilaridade.

Traço	Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	Média	Desvio Padrão
AZ0	8,50	7,63	0,573
	7,10		
	7,30		
AZ5	7,20	7,17	0,123
	7,50		
	6,80		
AZ12	7,90	7,63	0,063
	7,60		
	7,40		
AZ20	8,10	9,17	0,943
	10,00		
	9,40		

Fonte: Da autora.

A ABNT NBR 13281:2005, classifica o coeficiente de capilaridade em classes de 1 a 6 para argamassas de assentamento e revestimento, conforme mostra a Figura 08.

Figura 08: Classificação do coeficiente de capilaridade.

Classe	Coeficiente de capilaridade g/dm ² .min ^{1/2}	Método de ensaio
C1	≤ 1,5	ABNT NBR 15259
C2	1,0 a 2,5	
C3	2,0 a 4,0	
C4	3,0 a 7,0	
C5	5,0 a 12,0	
C6	> 10,0	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005.

Pode-se observar que todos os traços encontram-se na classe C5, com coeficiente de capilaridade entre 5 a 12 g/dm².min^{1/2}, sendo que os traços AZ5 e AZ20 foram os que apresentaram menor e maior valor, com 7,17 g/dm².min^{1/2} e 9,17 g/dm².min^{1/2} respectivamente.

4. CONCLUSÕES

Através do trabalho realizado, pode-se observar, que a substituição parcial do cimento Portland por pó de placa cerâmica, na argamassa, apresentou desempenho superior ao traço referência.

Para o ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica, os traços que obtiveram melhores resultados, quando comparados com os demais, foram o AZ5 e o AZ12, com 5% e 12% de substituição do cimento por pó de placa cerâmica.

No ensaio da resistência à tração na flexão, o traço AZ12, foi o que apresentou melhores resultados, com um aumento de 14% na resistência da argamassa, o traço AZ5, também obteve um aumento da resistência, porém com uma porcentagem menor, com 9% de aumento.

Na absorção de água por capilaridade, a amostra com 5% de substituição, foi a que demonstrou melhor desempenho, com reduções de 9% aos 10 min e 7% aos 90 min, quando comparado com os demais traços.

No ensaio da resistência à compressão axial, não foram encontrados resultados satisfatórios, para as porcentagens de substituições, sendo o traço referência AZ0, o que obteve melhor desempenho.

Observou-se também que a substituição parcial do cimento por pó de revestimento cerâmico não apresentou aumento da relação água/aglomerante de 0,88, mantendo-se o índice de consistência exigido por norma de (260 ± 5) mm.

Podemos constatar que a substituição parcial do cimento Portland por pó de placa cerâmica, na argamassa, apresentou resultados satisfatórios nos ensaios citados acima, melhorando assim, suas propriedades físicas e mecânicas, além desses benefícios a utilização deste resíduo contribui para um melhor aproveitamento dos resíduos e, conseqüentemente, para o alcance de uma produção mais sustentável.

É de primordial importância, que outros estudos sejam feitos, para se obter um melhor entendimento de todas as características e influências que o resíduo de placa cerâmica exerce sobre a argamassa, principalmente, por não apresentarem muitos estudos sobre esse assunto. Algumas das sugestões para os futuros trabalhos seria o estudo da adição do pó de placas cerâmicas na argamassa, estudo de outras quantidades de substituições e também o estudo da substituição parcial do cimento por pó de placa cerâmica em concreto.

5. REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES (ANFACER). **História da Cerâmica**. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/>>. Acesso em: 06 jun. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: **Materiais pozolânicos – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2015.

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 axial**. Rio de Janeiro, 2005.

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, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução n. 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Construção sustentável**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismosustentavel/item/8059>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

MELO, Felipe Cesar Andrade Costa de. **Análise de Argamassas com substituição Parcial do Cimento Portland por Cinza Residual de Lenha de Algaroba**. 2012. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Univ. Fed. do Rio Grande do Norte.

MARIOTTI, H. Complexidade e Sustentabilidade – O que se pode e o não se pode fazer. São Paulo: Atlas S. A., 2013, 258 p.

NASCIMENTO J., Agnaldo. **Avaliação da Resistência à Compressão de Concreto Utilizando Adição de Resíduos de Cerâmica Vermelha**. 2011. 65p. Monografia Eng. Civil, Univ. Est. de Feira de Santana, Bahia.

PAIXÃO, Cesar A. CAETANO, Luciane F. COLIANTE, Johanna G. Roos. SILVA F., Luiz C. Pinto. BERGMANN, Carlos P. Estudo da viabilidade de utilização de resíduos cerâmicos para confecção de argamassas, *Cerâmica Industrial* (2011) 33-38.

SINDICATO DAS INDUSTRIAS DE CERÂMICA DE CRICIÚMA (SINDICERAM). Disponível em: <http://www.sindiceram.com.br/conteudo.php?int=canal&codigo_can=1>. Acesso em: 20 abr. 2016.

WASHINGTON, N.; RIBAS, O.; NOVAES, P. C. *Agenda 21 Brasileira – Bases Para Discussão*. Brasília: MMA/PNUD, 2000, 196 p.