REUSO DE ÁGUA EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA REGIÕES SEMIÁRIDAS

Tema: Sustentabilidade, vida útil e meio ambiente.
Grupo: 2

DANIEL G. DIÓGENES[1], JOSÉ MAURÍCIO L. BARRETO[2], LUIS F. CÂNDIDO[3]; LUISA G. A. T. FARIAS[4]; JANAINA L. LEITINHO[5]

[1]Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará/UFC-Crateús, daniel_diogenes25@hotmail.com
[2]Tecnico Me, Universidade Federal do Ceará/UFC-Crateús, mauricio1barreto@yahoo.com.br
[3]Prof° Me, Universidade Federal do Ceará/UFC-Crateús, luisfcandido2015@gmail.com
[4]Profa Dra, Universidade Federal do Ceará/UFC-Crateús, luisa@crateus.ufc.br
[5]Profa Dra, Universidade Federal do Ceará/UFC-Crateús, janaina@crateus.ufc.br

RESUMO
Em razão da limitação crescente na oferta de água e o desenvolvimento de métodos alternativos sustentáveis na construção civil, este estudo pretendeu avaliar o desempenho de argamassas confeccionadas com água cinza (AC), água de poço (AP) e água potável (AR) como uma alternativa para amenizar o uso de água potável na construção civil. Para tal, realizaram-se ensaios mecânicos e físico-químicos, tais como compressão, tração na flexão, Espectroscopia no Infravermelho (IV) e Método de Brunauer-Emmett-Teller (BET), que possibilitaram avaliar a interferência da qualidade das águas no desempenho das argamassas. Assim, verificou-se indícios da viabilidade do uso de água cinza e de poço para a produção de argamassa sem comprometer suas principais características.

Palavras-chave: água cinza, reuso, argamassa de cimento.

WATER REUSE IN COATING MORTAR: A SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR SEMIARID REGIONS

ABSTRACT
In relation to water and the environment of alternative sustainable methods in construction, this study aimed to evaluate the performance of mortars made of grey water (GC), well water (WW) and potable water (PW) as an alternative to reduce the use of drinking water in construction. Mechanical and physical-chemical tests, such as compression, flexural traction, DSC, IV and BET, were used to evaluate the interference of water quality in mortars performance. Thus, there was evidence of gray and well water use for viability of mortar production, without compromising its main characteristics.
Key-words: grey water, reuse, cement mortar.

1. INSTRUÇÕES GERAIS

A demanda sobre os recursos renováveis e não-renováveis tem crescido em maior velocidade do que as ações empreendidas para preservá-los, o que tem levado a um grave desequilíbrio ambiental [1]. Isto tem levado as empresas e a opinião pública a darem mais atenção ao conceito sustentabilidade e, na indústria da construção, ao de construção sustentável [2], promovendo fortes transformações no setor.

Estes avanços têm se dado com grande ênfase nas chamadas construções verdes (*green building*) na medida que são desenvolvidas melhorias para os projetos de construção, adesão as certificações ambientais e melhoria dos materiais e componentes construtivos [3].

Uma das estratégias mais importantes para a melhoria dos materiais e componentes construtivos tem sido a reciclagem de resíduos sólidos, com o uso de técnica para o tratamento de entulho, por exemplo. Além disso, o reuso de resíduos como matérias primas compõe mais uma técnica alternativa [4] .Neste contexto, a água potável é um dos recursos naturais mais demandados, justamente por ser crucial à sobrevivência do ser humano, estando em escassez em várias partes do mundo, dentre elas, a região semiárida do Brasil.

O Ceará, por exemplo, passa pela pior seca prolongada desde 1910 [5]. Para asseverar, na construção de um empreendimento comercial de 18,5 mil m² na cidade de Fortaleza, CE, foi consumido 591172,35m³ de água, quantidade suficiente para abastecer, uma cidade de cerca de 13,5 mil habitantes durante um ano, considerando o padrão de consumo do estado [6].

Percebe-se, então, que é premente esforços para aumentar a conscientização sobre os recursos hídricos e sua gestão, e para desenvolver tecnologias que tirem melhor proveito do ciclo de vida da água. Neste específico, alternativas como o reuso de água cinza tem ganhado grande destaque [7].

Proveniente de lavatórios, chuveiros, máquinas de lavar e pias, a água cinza compõe a maior parte de água residual produzida em uma edificação [7] e tem como características a presença de sabões, sólidos suspensos e matérias orgânica [8], itens que podem interferir no desempenho de materiais e componentes construtivos.

Assim, este estudo pretendeu avaliar as propriedades de argamassas confeccionadas com água cinza (AC), água de poço (AP) e água potável (AR) como uma alternativa para amenizar o uso de água potável na construção civil, por meio da investigação da influência da água cinza e de poço nas propriedades mecânicas e físico-químicas das argamassas.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

O cimento utilizado para produção das argamassas foi do tipo Portland CP II E - 32 com massa específica absoluta de 3,10 g/cm³ e massa específica aparente 1,2 g/ cm³ a 20° C. Verificou-

se, também, que o cimento utilizado atende a ABNT NBR 16697, segundo os dados de caracterização fornecidos pelo fabricante. Como agregado miúdo, utilizou-se areia normal brasileira fornecida pelo IPT tipo grossa, média grossa, média fina e fina, conforme a ABNT NBR 7214 [10].

Utilizou-se para a mistura três tipos de amostra como apresentado a seguir:

- A primeira (AR) utilizada como referência "é potável" e foi fornecida pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE);

- A segunda (AP) é oriunda de poços é constituída de uma água salobra bastante utilizada na construção civil da região de Crateús, cidade do sertão do Ceará;

- A terceira (AC) é água cinza, coletada de residências, de chuveiros e pias de cozinha.

As amostras de água foram analisadas de acordo com a norma brasileira NBR 15900-1 [11], cujos resultados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização das águas de referência, de poço e cinza

Parâmetro	**Referência normativa**	**Equipamentos**	**Limites normativos**	**Resultados**		
				AR	**AP**	**AC**
Óleos e gorduras	ABNT NBR 15900-3	Colorimétrico	Não mais do que traços visíveis	Ausente	Ausente	Ausente
Detergentes	ABNT NBR 15900-3	Colorimétrico	Qualquer espuma deve desaparecer em 2min.	Ausente	Ausente	Ausente
Material sólido	ABNT NBR 15900-3	Análise visual	< 50000 mg/L	892	3802	1516
pH	ABNT NBR 15900-3	pHmetro	entre 6 e 9	5,41	5,85	5,28
Cloretos	ABNT NBR 15900-6	IC	CP[1] (< 500 mg/ L); CA[2] (< 1000 mg/L); CS[3] (< 4500 mg/L)	101,93	1523,71	132,33
Sulfatos	ABNT NBR 15900-7	IC	< 2000 mg/L	15,24	5,18	26,50
Álcalis	ABNT NBR 15900-9	Absorção atômica	< 1500 mg/L	320	863	565

Legenda: [1] Concreto Protendido; [2] Concreto Armado; [3] Concreto Simples.

Observa-se que os valores obtidos para óleos e gorduras, detergentes, ausentes nas amostras, material sólido, pH, sulfatos e álcalis da água usada na produção da argamassa estão dentro dos padrões estabelecidos pela norma ABNT NBR 15900. No entanto, os valores obtidos para cloretos indicam que a água de poço é inviável para uso em concreto protendido e armado, além de valores de materiais sólidos ser superior a água de referência nas demais amostras, podendo ser prejudicial a qualidade da argamassa.

2.2. Dosagem e produção das argamassas

Para o estudo foram produzidos três tipos de argamassa com o mesmo traço variando apenas o tipo de água (AR, AP e AC). O traço em massa utilizado foi 1:3 com relação água/cimento de 0,48.

A argamassa foi preparada por meio de um misturador mecânico e compactada manualmente em um molde de acordo com a NBR 7215 [16]. Os corpos de prova foram conservados por um dia em atmosfera úmida para cura inicial; em seguida foram desmoldados e submetidos a cura apenas com água fornecida pela CAGECE até a idade de 28 dias. Vale enfatizar, que para cada tipo de água, o misturador foi lavado para evitar contaminação das misturas.

Foram produzidos nove corpos de prova prismáticos de 4 cm x 4cm x 16 cm (três para cada tipo de água), de acordo com a NBR 13279 [17]. Do mesmo modo, de acordo com a NBR 7215 [16], foram feitos seis corpos de prova cilíndricos, com dois para cada tipo de água ensaiada, aplicando as mesmas condições que os corpos de prova cilíndricos.

2.3. Ensaios mecânicos

Para a determinação da resistência mecânica dos corpos de prova (CP) cilíndricos foram aplicados os procedimentos da NBR 7215 [16]. A resistência à compressão foi determinada submetendo os CPs a uma carga de compressão axial, conforme determina a referida norma, até a ruptura dos mesmos. Já os CPs prismáticos foram submetidos aos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, conforme os procedimentos da norma NBR 13279 [17].

2.4. Análises químicas

Foram realizadas duas análises químicas: (1) Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho que fornece os grupamentos químicos do material, e (2) Área superficial específica - Método Brunauer-Emmett-Teller (BET), realizado pelo laboratório de química da Universidade Federal do Ceará, que se obteve a porosidade das argamassas analisadas. Estes são detalhados a seguir.

2.4.1. Análises química Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho

Os espectros de absorção na região do Infravermelho das amostras de argamassa produzidas com água da CAGECE, água de poço e água cinza foram obtidos em equipamento SHIMADZU FTIR-8500 em pastilhas de KBr.

2.4.2. Área superficial específica - Método Brunauer-Emmett-Teller (BET)

Para as três variantes de argamassa, submeteu-se a amostra do material ao gás nitrogênio, com a temperatura do aparelho a 0° C e temperatura de adsorção de 77 K.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os resumos dos resultados para a compressão para corpos de prova de argamassa.

Tabela 1. Resistência a compressão para corpos de prova cilíndricos

Descrição		Resistência a Compressão CP cilíndrico (Mpa)	Resistência a Compressão CP prismático (Mpa)	Resistência à flexão (Mpa)
Média	**AR**	51,15	31,17	10,04
	AP	47,06	34,98	13,10
	AC	33,955	22,64	8,87
Desvio padrão	**AR**	1,59	6,96	1,58
	AP	2,30	2,17	3,03
	AC	1,07	2,90	1,47
Coeficiente de variação (%)	**AR**	3,12	22,34	15,72
	AP	4,90	6,20	23,11
	AC	3,14	12,82	16,57

Verifica-se que a resistência a compressão da média das amostras cilíndricas é superior a 32 MPa, valor de resistência mínima especificada para o cimento CP II E-32 após a cura por 28 dias. Entretanto, observa-se uma tendência de diminuição deste valor para a argamassa produzida com água de poço e cinza, indicando que a qualidade da água afetou a resistência da argamassa.

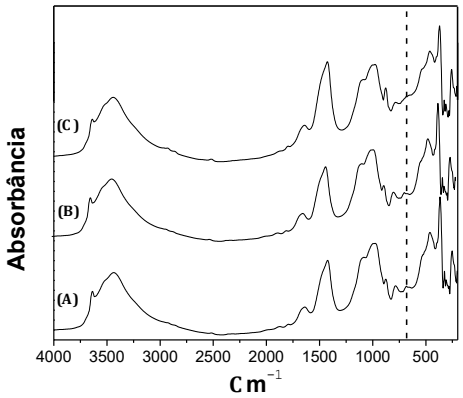
Os valores da resistência média a compressão dos corpos prismáticos de argamassa compostas com água da CAGECE, poço e cinza são respectivamente 31,17 Mpa, 34,98 Mpa, 22,64 Mpa. Observa-se que os valores obtidos para as amostras de argamassa feitas com água cinza apresentaram valores menores do que os observados para as amostras de argamassa com água da CAGECE e de poço.

A redução observada para as amostras compostas com água de poço e água cinza já eram esperadas devido à presença maior de compostos como sais como cloretos e carbonatados. A redução ainda menor para água cinza pode ser associada a presença de matéria orgânica que pode interferir na reação de hidratação do cimento. O efeito de redução da resistência a compressão pode ser também explicado a partir dos valores de alcalinidade total, os quais podem indicar a presença de sabão. É importante salientar que não foi encontrado presença detectáveis de detergente.

Os valores médios obtidos para resistência a tração na flexão para as amostras de argamassa produzidas com água da CAGECE, poço e cinza são respectivamente 10,04 Mpa, 13,10 Mpa e 8,87 Mpa. A amostra feita com água de poço apresentou maior resultado enquanto que a amostra misturada com água cinza apresentou os menores valores.

Para a espectroscopia de absorção na região do infravermelho realizada por meio do FTIR (Figura 3), verificou-se a presença de bandas particulares de componentes como a alumina e silicatos, produtos principais da reação de hidratação do cimento. Identificou-se, também, estiramentos característicos do cimento Portland, como o carbonato associado em 875 cm^{-1} a 1430 cm^{-1}, e na banda 1100 cm^{-1}, silicatos hidratado, além de bandas de 1645 cm^{-1} e 3200-3700 cm^{-1}, especificas de hidroxila associada pelos estiramentos das ligações O-H e H-O-H, onde representam às moléculas de água presentes no material [21].

Figura 1 – Espectros de infravermelho para as amostras de argamassa preparadas com água da: CAGECE (A), de poço (B) e Cinza (C).



Fonte: os autores.

Nota-se uma queda acentuada das bandas entre, aproximadamente, 800 cm^{-1}, banda correspondente a vibrações de AlO_4, e 600 cm^{-1}, banda relacionada ao estiramento do SiO_2, para o espectro da argamassa formada com água cinza indicando poder haver uma interferência nas reações do cimento provocadas pela qualidade da água.

Os resultados obtidos a partir do método BET são apresentados pela Tabela 5 na Figura 4.

Tabela 2 – R Área superficial específica - Método Brunauer-Emmett-Teller (BET).

Parâmetro	Referência	Poço	Cinza
Vm [cm^3 (STP) g^{-1}]	2,519	1,800	2,309
As, BET (m^2 g^{-1})	10,963	7,836	10,052
Diâmetro médio de poros (nm)	9,742	10,122	10,045
Volume total de poros (cm^3 g^{-1})	0,027	0,020	0,025

Observa-se que a amostra de argamassa feita com água de poço possui valor de área superficial inferior quando comparada as de referência e cinza. Também se verifica que os diâmetros dos poros de todas as amostras classificam-se como mesoporos, caracterizados por possuírem largura interna de 2 nm a 50 nm [22].

Além disso, a partir do resultado do Método BET, os poros de maior diâmetro são os presentes nas argamassas feitas com água de poço e água cinza, indicando uma possível relação entre poros maiores e menores resistência a compressão. Observa-se ainda que entre as três amostras, a argamassa confeccionada com água de poço indicou menor porosidade quando comparada com as demais, essa alteração na porosidade pode ser em decorrência de penetração dos íons cloretos nos poros e sua fixação por adsorção, juntamente com moléculas de água, compondo uma película que reveste o interior do poro.

4. CONCLUSÃO

Este estudo pretendeu avaliar o desempenho de argamassas confeccionadas com água cinza (AC), água de poço (AP) e água potável (AR) como uma alternativa para amenizar o uso de água potável na construção civil. Para tal, realizaram-se ensaios mecânicos e físico-químicos, tais como compressão, tração na flexão, DSC, IV e BET.

Os ensaios demonstram resultados aceitáveis para as três amostras de água, com corpos de prova de argamassa com valores de resistência a compressão, em sua maioria, acima do valor mínimo para o tipo de cimento Portland utilizado.

Além disso, verificou-se mudança na porosidade da argamassa produzida com água de poço, sendo necessário realizar ensaio de difração de raio-x para confirmar a formação de novos compostos devido a elevada presença de cloreto nessa amostra de água.

Os resultados indicam a possibilidade no uso de água cinza para a produção de argamassa, sendo latente ensaios complementares para confirmação de sua viabilidade, mas ainda é necessário a verificação das propriedades da argamassa produzida a longo prazo.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Materiais de Construção do Centro de Tecnologia da UFC. Ao Laboratório de Biologia do Instituto Federal do Ceará. Ao CNPq pela bolsa de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

1. FISCHLER, F. The third industrial revolution. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 6, n. 3, p. 246–256, 2012. Disponível em: <https://goo.gl/TLlz88>.
2. HILL, R. C.; BOWEN, P. A. Sustainable construction: Principles and a framework for attainment. **Construction Management and Economics**, v. 15, n. 3, p. 223–239, 1997.

3. DARKO, A.; CHAN, A. P. C. Critical analysis of green building research trend in construction journals. **Habitat International**, v. 57, p. 53–63, 2016.
4. AGOPYAN, V.; JOHN, M. V. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.
5. FUNCEME. **Ceará passa pela pior seca prolongada desde 1910**. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/comunicacao/noticias/740-ceará-passa-pela-pior-seca-prolongada-desde-1910#site>. Acesso em: 21 nov. 2016.
6. SOUZA, J. L. **Proposta metodológica de cálculo para a pegada hídrica na construção civil imobiliária**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Recursos Hídrico). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, 2014.
7. LI, F.; WICHMANN, K.; OTTERPOHL, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 11, p. 3439–3449, 2009.
8. BLANKY, M. *et al*. Legionella pneumophila: From potable water to treated greywater; quantification and removal during treatment. **Science of the Total Environment**, v. 533, p. 557–565, 2015.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15900:** Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15900:** Água para amassamento do concreto – Parte 3: Avaliação preliminar. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15900:** Água para amassamento do concreto – Parte 6: Análise química - Determinação de cloreto solúvel em água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15900:** Água para amassamento do concreto Parte 7: Análise química - Determinação de sulfato solúvel em água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15900:** Parte 9: Análise química - Determinação de álcalis solúveis em água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

17. 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, 2005.
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 7500-1: Materiais metálicos - Calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial. Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão - Calibração e verificação do sistema de medição da força. Rio de Janeiro, 2016.
19. COSTENARO, R. CUSTODIA, R. COLLINS C. H. COLLINS, K. E. **Uma análise das determinações de área superficial de nitrogênio sobre sílicas e modelagem da interação entre estes compostos**. XVIII Congresso Interno de Iniciação da Unicamp, 2010.
20. QUARCIONI, V. A. et al. **Caracterização da Porosidade de Argamassa Mista Endurecida de Cimento e Cal com Vistas à Durabilidade**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília, DF. Anais... Brasília, DF: PECC; ANTAC, p. 471-484 XAVIER, J. P. et al. **Análise da composição estrutural do concreto geopolimérico modificado com ácido oleico**. Revista Militar de Ciência e tecnologia, v. 33, n. 2, Rio de Janeiro, Brasil, 2016.
21. XAVIER, J. P. et al. **Análise da composição estrutural do concreto geopolimérico modificado com ácido oleico**. Revista Militar de Ciência e tecnologia, v. 33, n. 2, Rio de Janeiro, Brasil, 2016.
22. PENA, E. Q. *et al*. **Caracterização dos parâmetros de porosidade de concentrados de minérios de ferro pelo método de adsorção de nitrogênio**. Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 7. 2006. Ouro Preto, MG.