



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

## AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE PISOS DE CONCRETO PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Flávio, ARAÚJO<sup>1</sup>; Oswaldo, CASCUDO<sup>2</sup>; Júlio, LIMA<sup>3</sup>; António, ALBUQUERQUE<sup>4</sup>; Paulo, SCALIZE<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Arquiteto e Urbanista, Mestre em Construção Civil, Supervisor de Projetos na Saneamento de Goiás, Professor auxiliar na PUC-GO – End.: Av. Fued José Sebba, N° 1245, Jardim Goiás, Goiânia/GO, Brasil, Email: fcaraujo40@gmail.com

<sup>2</sup>Engenheiro Civil, Doutor, Professor Titular na Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO - Brasil, Email: ocascudo@gmail.com

<sup>3</sup>Engenheiro, Especialista, Superintendente na Saneamento de Goiás – End.: Av. Fued José Sebba, N° 1245, Jardim Goiás, Goiânia/GO, Brasil, Email: juliocesar@saneago.com.br

<sup>4</sup>Engenheiro, Doutor, Professor Adjunto na UBI – End.: Edifício 2 das Engenharias, 6201-001 Covilhã, Portugal, Email: antonio.albuquerquei@ubi.pt

<sup>5</sup>Engenheiro Civil, Doutor em Saneamento, Professor Associado na Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO - Brasil. Telefone: 5562-3209-6257, Email: pscalize.ufg@gmail.com

### Resumo

O presente artigo propõe uma avaliação técnica da durabilidade de pisos produzidos com resíduos de ETA, gerados na Estação de Tratamento de Água Eng°. Rodolfo José Costa e Silva, que utiliza o sulfato de alumínio no tratamento e está localizada em Goiânia-Goiás. A pesquisa analisou a incorporação de resíduos, sob o ponto de vista da ciência dos materiais, por meio da caracterização física, química e mineralógica, bem como, com uma investigação referente à possibilidade de atividade pozolânica do material. Dessa maneira, os parâmetros encontrados nos ensaios, foram comparados às bases da literatura específica e normas vigentes, levantadas na revisão bibliográfica, e posteriormente o estudo avaliou a similaridade das características do resíduo com as matérias primas tradicionais utilizadas para produção de materiais cimentícios, como: areia, argila e pedra calcária, dentre outras; nesse sentido, foi elaborado um experimento com aplicação de resíduos de ETA em componente utilizado na construção civil: o piso de concreto Paver. Os resultados dos ensaios mecânicos foram analisados estatisticamente para perceber-se o grau de influência do teor de resíduo, idade e interação entre essas variáveis nos resultados. Constatou-se que a proporção de 5% de resíduo melhora significativamente a resistência mecânica dos Paviers (33,5%) aos 28 dias, em relação a amostra de controle, porém a absorção de água aumentou (68,8%).



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

Assim, encontrou-se uma alternativa sustentável de inserção do resíduo na cadeia produtiva da construção, produzindo um elemento cimentício, e ao mesmo tempo contribuindo para reduzir o impacto ambiental causado pelo lançamento dos resíduos nos mananciais. Objetivando a redução do passivo ambiental da indústria da água, bem como a diminuição da extração de matéria prima para produção dos elementos cimentícios.

**Palavras-chave:** concreto; cimento; ETA; resíduo; RETA; sustentabilidade.

**Tema:** Serviços de abastecimento, drenagem e tratamento de águas



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

## **1. INTRODUÇÃO**

Em um cenário em que são observados problemas ambientais, relacionados pelo descarte inapropriado de resíduos, tanto domésticos quanto industriais, as instituições fiscalizadoras e os órgãos ambientais vem fechando o cerco paulatinamente com a criação e implantação de Leis e normas mais rigorosas e punitivas, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, BRASIL (2010). A ampliação do rigor legal são medidas que tem o propósito de atribuir à fonte geradora a responsabilidade de buscar soluções para a disposição de seus dejetos, de maneira que não prejudiquem o meio ambiente.

## **2. OBJETIVO DA PESQUISA**

Quando o foco é a indústria da água, observa-se a dificuldade quanto à disposição dos resíduos produzidos nas Estações de Tratamento de Água (RETA) para uma saída que não seja o lançamento em mananciais ou aplicação em aterros sanitários. Experimentos como de HOPPEN et al. (2005) que aplicaram o RETA em matriz de concreto ou OLIVEIRA et al. (2004) que utilizaram o resíduo em cerâmica vermelha, demonstram a potencialidade da utilização em materiais de construção. Diante da busca por alternativas sustentáveis para emprego dos resíduos, o presente artigo tem por objetivo avaliar a durabilidade de pisos de concreto produzidos com RETA.

## **3. METODOLOGIA UTILIZADA**

### **Coleta e processamento do RETA:**

O resíduo utilizado foi coletado, em forma de torrões, na lagoa de secagem da ETA Engº. Rodolfo José da Costa e Silva, que utiliza o sulfato de alumínio como coagulante no tratamento da água do rio meia ponte e se localiza em Goiânia, Goiás. Em seguida o material foi destorroado, triturado e ensaiado para classificação da granulometria por peneiramento, conforme a NM 248 (2003). Assim, fora utilizado o material definido como agregado fino, segundo a NBR 7211 (2009) e NM 52 (ABNT, 2009) para a produção das peças. Fora utilizado o equipamento JEOL JSM-6610 para análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS).

### **Corpo de prova – piso de concreto:**

O piso produzido (Figura 1) possui dimensões de 10,0 X 20,0 X 6,0 cm, e atende as definições da NBR 9781 (ABNT, 2013) e fora confeccionado em prensa hidráulica, em uma fábrica de artefatos de concreto em Aparecida de Goiânia, Goiás.

Os blocos foram produzidos substituindo-se parcialmente o solo por RETA nas proporções de 0, 5, 10, 15, 20 e 25%.



**Figura 1.** Produção do piso de concreto. (a) Prensagem das formas carregadas; (b) Peças do piso prensados.

Foram realizados os ensaios de resistência à compressão e absorção de água, aos 7, 14, 28, 56, para avaliação da alteração da taxa de absorção no período em que ocorre a maioria das reações de cura do concreto, previsto na NBR 9781 (ABNT, 2013) e o acréscimo de tensão de ruptura.

A repetição dos ensaios aos 920 dias de idade permitirá perceber se ocorreram reações deletérias ao concreto ao longo de um período maior de tempo, posterior ao período em que ocorrem mais reações químicas de cura do concreto. Posteriormente fora executado o ensaio de molhagem e secagem acelerado aos 945 dias, que consiste na verificação de surgimento de neo-formados (eflorescências), bem como a alterações nas taxas de absorção e tensão de ruptura à partir da imersão das peças, por 24 horas, seguido pelo aquecimento em temperatura de 60° por 24 horas em 12 ciclos, para avaliação da durabilidade das peças.

#### **4. RESULTADOS OBTIDOS**

##### **Resistência à compressão**

A análise da Tabela 1, permite observar que em todas as composições dos pisos houve ganho de resistência de compressão na medida que ocorria a cura do concreto. Porém na medida que foi ampliada a quantidade de resíduos ocorreu a redução da resistência. A melhor composição é a possui 5% de RETA, obtendo melhor resistência em todas as idades, em comparação com as outras composições, inclusive a amostra sem resíduos.

O ganho de resistência continuou até o último ensaio aos 920 dias de idade, mantendo a composição com 5% com o melhor resultado de tensão de ruptura (22,33 Mpa). Em contraposição a composição com mais resíduos, (25%) obteve o menor ganho de resistência em todas as idades.

**Tabela 1.** Ensaio de Tensão de Ruptura (MPa).

| RETA (%) | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 56 DIAS | 920 DIAS |
|----------|--------|---------|---------|---------|----------|
| 0        | 12,03  | 13,20   | 15,57   | 16,70   | 17,56    |
| 5        | 13,87  | 19,45   | 20,79   | 21,90   | 22,33    |
| 10       | 9,88   | 11,94   | 13,51   | 13,90   | 14,40    |
| 15       | 7,76   | 11,05   | 11,48   | 11,90   | 12,71    |
| 20       | 5,22   | 8,90    | 9,74    | 11,10   | 12,12    |
| 25       | 3,18   | 8,98    | 9,29    | 9,40    | 9,76     |

### Taxa de absorção de água

Na Tabela 2 observa-se o percentual de absorção de água para cada composição nas idades de 7, 14, 28, 56 e 920 dias de idade. A amostra sem resíduos é a que possui a menor taxa de absorção em todas as idades. Das composições com RETA a de 5% é a que obteve a menor taxa de absorção. A medida que aumenta o percentual de resíduo a taxa de absorção amplia, de forma que a composição com 25% de RETA possui a maior taxa final de absorção.

De acordo com MEHTA e MONTEIRO (2006) a taxa de absorção de água tem influência direta resistência do concreto o que explica a interconexão dos poros e promove a entrada de líquidos e gases que podem vir a ser prejudiciais à durabilidade do concreto.

**Tabela 2.** Ensaio de Absorção de água (%)

| RETA (%) | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 56 DIAS | 920 DIAS |
|----------|--------|---------|---------|---------|----------|
| 0        | 10,2   | 7,90    | 4,50    | 4,30    | 3,98     |
| 5        | 13,4   | 8,00    | 7,60    | 7,10    | 4,95     |
| 10       | 13,8   | 10,30   | 10,03   | 9,40    | 5,07     |
| 15       | 14,5   | 12,10   | 10,14   | 7,30    | 6,24     |
| 20       | 15,3   | 12,70   | 11,80   | 10,20   | 7,18     |
| 25       | 16,4   | 13,80   | 13,60   | 13,40   | 8,15     |

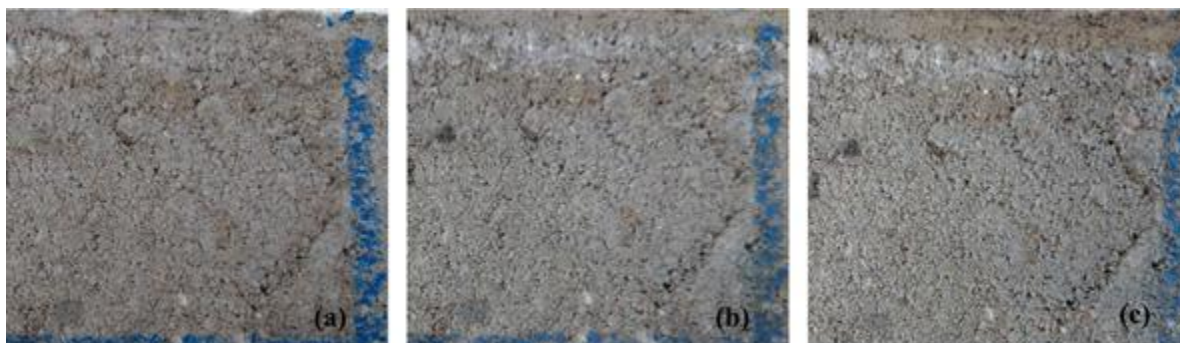
### Ciclos de molhagem e secagem

Após os 12 ciclos de molhagem e secagem não foram observadas alterações como fissuras, manchas de eflorescências nas superfícies das peças, o que indica que não ocorreram reações químicas prejudiciais ao concreto (Figura 2). Ao final do último ciclo as peças foram submetidas ao ensaio de compressão e conforme a Tabela 3, a resistência à compressão diminuiu em comparação às peças que não passaram pelo ciclo.

Nos ensaios de absorção observou-se que ocorreram aumento nas taxas. Porém a composição com 5% de RETA obteve menor absorção que a amostra de controle e demais composições (Tabela 3).

**Tabela 3.** Ensaio de Tensão de ruptura após os ciclos de molhagem e secagem

| QUANTIDADE DE RETA (%) | TENSÃO APÓS OS CICLOS DE MOLHAGEM E SECAGEM AOS 945 DIAS (Mpa) | ABSORÇÃO APÓS OS CICLOS DE MOLHAGEM E SECAGEM AOS 945 DIAS (%) |
|------------------------|--|--|
| 0                      | 14,83  | 5,94   |
| 5                      | 19,35  | 5,92   |
| 10                     | 11,23  | 7,32   |
| 15                     | 9,02   | 6,30   |
| 20                     | 8,12   | 7,81   |
| 25                     | 5,95   | 8,59   |



**Figura 2.** Imagem em detalhe de uma peça da composição com 5% de RETA durante os ciclos de molhagem e secagem: a) Início do 1º ciclo; b) Início do 6º ciclo; c) Final do 12º ciclo

## 5. CONCLUSÕES

Ao final dos ensaios realizados conclui-se que a inserção do RETA em proporção de 5% em substituição ao agregado natural dos pisos de concreto, melhora a resistência à compressão em comparação à amostra sem resíduo.





7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

A influência da quantidade maior de finos do RETA, em relação ao agregado natural pode ter proporcionado uma melhor coesão entre os demais agregados o que explica o ganho de desempenho. Porém nas demais composições, com percentuais superiores de resíduo a quantidade de finos pode prejudicar o concreto pela retenção de água dos traços e uma quantidade maior de água aumenta a relação água/ cimento e promove consequentemente o aumento da porosidade do concreto, segundo MEHTA e MONTEIRO (2006). O aumento da taxa de porosidade tem relação com a taxa de absorção de água, na medida que os poros e suas conexões são vias de entrada de água ou outros líquidos e gases, que podem promover reações adversas ao concreto e reduzir sua durabilidade.

Os ensaios de molhagem e secagem (ou ensaio de durabilidade acelerada) permitiram observar que a resistência à compressão diminuiu e aumentou a taxa de absorção em todas as composições, inclusive na amostra de controle. Porém a composição com 5% obteve melhor desempenho que a amostra sem resíduos, indicando que mesmo sem resíduos as ações de umidade e calor reduzem a resistência e aumentam a absorção das peças ao longo do tempo; e observa-se também, que essa composição possui um percentual ideal para emprego do RETA nos pisos de concreto.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Saneago pelo suporte e estímulo à pesquisa, bem como a Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás e Escola de Artes e Arquitetura da PUC-GO.

## **REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5733: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. Lei Federal Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; BARON, O.; FRANCK, R.; SALES, A.; ANDREOLI, C. V.; PAULON, V. A. Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. *Cerâmica*, São Paulo, v. 51, n. 318, June 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132005000200003>.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concrete: microstructure, properties and materials*. 3. ed. United State of America: McGraw-Hill, 2006. 660 p.

OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, São Paulo, v. 50, n. 316, Dec. 2004 . <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132004000400007>.