

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS NA CONSTRUÇÃO DE CANAIS PARA IRRIGAÇÃO

Ana Karoline de Almeida Silva¹; Samantha Ferreira de Mendonça²; Maria Gabriela Lira Rangel³; Sheyla Karolina Justino Marques⁴ & Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves⁵

RESUMO – A crise hídrica que aflige grande parte do nordeste brasileiro é responsável por grandes consequências tais como perda de energia em hidrelétricas, queda na produção agrícola, diminuição da oferta de água para consumo na pecuária, abastecimento de cidades e indústrias. Para minimizar parte dos problemas acarretados pela falta de chuva, a construção de canais com a finalidade de captar e direcionar parte do fluxo de corpos hídricos tem sido amplamente empregada. Com o objetivo de obter um correto dimensionamento da obra hidráulica, deve-se estimar a resistência ao escoamento do fluido através da estrutura. Essa resistência ao escoamento está diretamente ligada à natureza do material empregado na construção das paredes e do fundo do canal, mais precisamente com a rugosidade do material. O projeto apresentado consistiu na elaboração de um dispositivo capaz de medir a resistência ao escoamento de água em um canal de fundo fixo construído com tijolo solo cimento com cinzas do bagaço de cana-de-açúcar. Um experimento foi operado com a finalidade de medir o coeficiente de Manning para determinação da rugosidade do leito do canal, obtendo o valor igual a 0,0152.

ABSTRACT– The water crisis that afflicts a large part of northeastern Brazil is responsible for major consequences such as loss of energy in hydroelectric plants, fall in agricultural production, decrease in the supply of water for consumption in livestock, supply to cities and industries. In order to minimize part of the problems caused by the lack of rainfall, the construction of canals to capture and direct part of the flow of water bodies has been widely used. In order to obtain a correct dimensioning of the hydraulic work, the resistance to fluid flow through the structure must be estimated. This resistance to flow is directly linked to the nature of the material used in the construction of the walls and the bottom of the channel, more precisely with the roughness of the material. The project presented consisted in the elaboration of a device capable of measuring the resistance to water flow in a fixed bottom channel built with cement soil brick with sugarcane bagasse ashes. An experiment was carried out with the purpose of measuring the Manning coefficient to determine the roughness of the channel bed, obtaining a value equal to 0.0152.

Palavras-Chave – Hidráulica. Canais Hidráulicos. Tijolos ecológicos. Coeficiente de rugosidade.

¹ Universidade Federal de Alagoas. Endereço: Av. Lourival Melo Mota - Tabuleiro do Martins, 57072-900. Maceió – AL. Fone: + 55 (82) 9 9936-7096. E-mail: karol.almeida@outlook.com e Instituto Federal de Alagoas. Endereço: Av. Alagoas, s/nº, Palmeira de Fora. CEP. 57608-180. Palmeira dos Índios AL.

² Instituto Federal de Alagoas. Endereço: Av. Alagoas, s/nº, Palmeira de Fora. CEP. 57608-180. Palmeira dos Índios AL. Fone: + 55 (82) 9 9901-4840. E-mail : samanthaifal@gmail.com;

³ Instituto Federal de Alagoas. Endereço: Av. do Ferroviário, 530 - Centro, Maceió - AL, 57020-600. E-mail: maria.lrangell@hotmail.com

⁴ Instituto Federal de Alagoas. Endereço: Av. Alagoas, s/nº, Palmeira de Fora. CEP. 57608-180. Palmeira dos Índios AL.

⁵ Universidade Federal de Alagoas. Endereço: Av. Lourival Melo Mota - Tabuleiro do Martins, 57072-900. Maceió – AL.

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente falta de água dos últimos anos, a busca por alternativas capazes de amenizar os problemas acarretados pela distribuição desigual dos recursos hídricos se faz necessária para a permanência do ser humano no planeta. As maneiras encontradas para conviver com esse fenômeno, que atinge vários setores da sociedade, são repletas de desafios, uma vez que funcionalidade e economia são mecanismos que precisam caminhar juntos. Sendo assim, a implementação de materiais considerados ecologicamente corretos, por exemplo, é uma alternativa eficaz nesse contexto voltado à crise hídrica, principalmente, no que diz respeito, no direcionamento desses insumos na construção de canais capazes de captar e direcionar grande parte do fluxo de corpos hídricos para regiões que sofrem com longos períodos de estiagem.

Um relatório divulgado pela Agência Nacional de Águas (ANA) aponta que, até o ano de 2025, mais de 70% das cidades com população acima de 5.000 habitantes do semiárido enfrentarão crise no abastecimento de água para consumo humano. Obras como a construção do Canal do Sertão só foram possíveis graças ao Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), visto que “só no Nordeste estão 28% da população brasileira e apenas 3% da disponibilidade de água do País. O Rio São Francisco detém 70% de toda a oferta de água da região, historicamente submetida a ciclos de seca rigorosa, como a que vivemos atualmente” (MI, 2017).

Diante desse contexto de crise hídrica que assola grande parte das regiões semiáridas do Brasil e do mundo, a construção de canais de irrigação que utilizem materiais, em sua base construtiva, capazes de gerar economia, funcionalidade e sustentabilidade no processo final é uma importante saída para a indústria atender em massa as necessidades daquelas pessoas mais castigadas com a seca. A exemplo desses materiais tem-se os grãos reciclados e aglutinados de polipropileno (GRAP), um dos plásticos mais consumidos pelos brasileiros não estando o seu uso condicionado apenas aos utensílios para o qual foram fabricados. Na construção civil o polipropileno pode ser usado como agregado graúdo no concreto tendo como vantagens o fechamento do pacote granulométrico, o significativo ganho de ductilidade e a redução do peso das estruturas. Em termos econômicos ocorre uma redução do consumo de agregados naturais e conseqüentemente uma possível redução dos custos diretos, dos preços finais de produtos pré-fabricados (ou pré-moldados), bem como do preço final das habitações (COELHO, 2005).

A obtenção de novos materiais a partir do uso de resíduos descartados no meio ambiente de forma incorreta apresenta-se como uma alternativa promissora, visto que o surgimento de sistemas construtivos mais baratos e ecologicamente corretos criam possibilidades de obras hídricas que não

necessitem de mão de obra especializada e de insumos que podem ser facilmente encontrados no local da construção. Esse cenário é propício para as regiões que sofrem com períodos de secas severas, já que a realidade desses locais geralmente é de extrema pobreza.

Diante disso, tem-se como proposta para esse trabalho a construção e a caracterização das propriedades hidráulicas de canais feitos com tijolos de solo-cimento com cinzas do bagaço de cana-de-açúcar. Esses tijolos apresentaram excelentes resultados mecânicos, baixo custo além de serem ecologicamente corretos (MARQUES et al. 2016).

2. TIJOLOS SOLO CIMENTO COM ADIÇÃO DE CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

De acordo com a ABCP (1985) apud PRESA (2011) o emprego de solo-cimento em habitações no Brasil foi iniciada em 1948, com a construção das casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa em Petrópolis, Rio de Janeiro. Segundo TAVEIRA (1987), apud PRESA (2011) desde 1930 eram feitas experiências com solo-cimento no país. No final da década de 50, a mistura de solo e cimento estava totalmente aprovada no Brasil, passando a ser difundida como nova alternativa para baratear construções.

O solo-cimento é o material resultante da mistura homogênea, compactada e curada de solo, cimento e água em proporções adequadas.

O tijolo ecológico ou de solo-cimento é feito de uma mistura de solo e cimento, que depois são prensados; seu processo de fabricação não exige queima em forno à lenha, o que evita desmatamentos e não polui o ar, pois não lança resíduos tóxicos no meio ambiente. Para o assentamento, no lugar de argamassa comum é utilizada uma cola especial (SALA, 2006).

BLUCHER (1951), destaca que os principais fatores que afetam a qualidade do solo-cimento são: o tipo de solo, teor de cimento, o método de mistura e a compactação. O autor ainda ressalta que, desses fatores, o solo exerce maior influência.

O bagaço da cana-de-açúcar serve como uma importante fonte energética das usinas sucroalcooleiras. Após a extração do caldo cerca de 95% de todo bagaço é queimado em caldeiras de forma a garantir uma autossuficiência energética dessas usinas, no entanto, desse processo surgem as cinzas residuais que por não possuir um local apropriado para serem depositadas, estas são dispostas no meio ambiente de forma incorreta, causando sérios problemas ambientais. Constituída basicamente de sílica (SiO_2), a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) apresenta potencial para ser utilizada como adição mineral, substituindo parte do cimento em argamassas e concretos

(CORDEIRO et al., 2008, apud PAULA et al., 2008).

2.1. Hidráulica Do escoamento Em Canais

O escoamento em canais está sujeito a determinadas condições gerais, princípios e leis da dinâmica dos fluidos, e pode ter por parâmetros de variabilidade o espaço e o tempo, isto é, as características hidráulicas como altura d'água, área molhada e raio hidráulico, podem variar no espaço, de seção para seção, e ao longo do tempo. Na classificação hidráulica, o escoamento recebe diversas conceituações em função de suas características, tais como: unidimensional, bidimensional, permanente, gradualmente variável, uniforme, bruscamente variado, livre, forçado, fluvial e torrencial (ANDRADE, 2006).

Conforme NETTO (1998) os condutos livres estão sujeitos à pressão atmosférica, pelo menos em um ponto da sua seção de escoamento. Eles são denominados canais e normalmente apresentam uma superfície livre de água em contato com a atmosfera. Os cursos d'água naturais constituem o melhor exemplo de condutos livre. O escoamento em condutos livres pode se realizar de várias maneiras. Se ao longo do tempo o vetor velocidade não se alterar em grandeza e direção, em qualquer ponto determinado de um líquido em movimento o escoamento é qualificado como permanente. Nesse caso as características hidráulicas em cada seção independem do tempo (essas características podem, no entanto, variar de uma seção para outra, ao longo do canal: se elas não variarem de seção para seção ao longo do canal o movimento será uniforme).

2.1.1. Equação De Chézy Com Coeficiente De Manning

Conforme Porto (1999), o escoamento uniforme se estabelece com a constância dos parâmetros hidráulicos. Neste escoamento há o equilíbrio da componente do peso da direção do movimento com a força de resistência.

Este tipo de escoamento é o utilizado em projetos de canais, de modo que o surgimento de fórmulas para o cálculo foi bastante útil. Segundo Porto (1999), a fórmula de Manning, proposta em 1889, é a mais empregada atualmente, válida para os escoamentos permanentes, uniformes, turbulentos e rugosos, com grande número de Reynolds. Ela está expressa na equação 1, utilizada com a equação da continuidade (equação 2).

$$V = \frac{R_H^{2/3} \cdot \sqrt{I}}{n} \quad (1)$$

$$Q = AV \quad (2)$$

onde n é o coeficiente de rugosidade de Ganguillet e Kutter, conhecido também como coeficiente de rugosidade de Manning, Q é a vazão (m/s), I é a declividade do fundo do canal (m/m), A é a área molhada do canal (m²) e R_H é o raio hidráulico (m).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa de caráter experimental foi dividida em três etapas: fabricação dos tijolos de solo-cimento, montagem do aparato experimental e determinação dos valores de coeficiente de rugosidade. As atividades foram desenvolvidas no Laboratório de Materiais do IFAL Campus Palmeira dos Índios.

3.1. Matéria prima, fabricação e uso dos tijolos no aparato experimental

Segundo Marques et al. (2014) a melhor formulação para a confecção dos tijolos é a feita com percentuais de 86% de solo, 10% de cimento e 4% de cinzas. O solo utilizado nesta pesquisa foi proveniente de movimentações de terras realizadas nas imediações do IFAL Campus Palmeira dos Índios e foi previamente peneirado de modo a eliminar os sólidos de grandes dimensões. As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar utilizadas na fabricação dos tijolos ecológicos, já caracterizadas pela pesquisa de Marques et al. (2014) é oriunda da Usina Santa Clotilde da cidade de Rio Largo/AL. Para a confecção dos corpos-de-prova, foi usado o cimento Portland CP II-Z 32 RS, que foi peneirado para a eliminação de pequenos torrões presentes nesse material. A água utilizada em todo processo de moldagem dos tijolos era potável.

A metodologia adotada para a fabricação dos 35 tijolos de solo-cimento seguiu o trabalho desenvolvido por Marques et al. (2014), uma vez que foi comprovado a viabilidade desses tijolos ao serem submetidos aos ensaios prescritos pelas normas técnicas. A fabricação dos tijolos ecológicos segue as recomendações da NBR 10833 (ABNT, 2013) e da cartilha da FUNTAC- Fundação de Tecnologia do Estado do Acre - Departamento Técnico e de Produção. O processo de cura úmida dos tijolos durou um período entre 7 e 14 dias. Os tijolos de solo-cimento foram fabricados e assentados numa placa de madeira e cortados, quando necessário, para fazer as amarrações. A mistura dos componentes da argamassa (cimento, areia e água) utilizadas para rejuntar os tijolos foram feitas numa padiola com a ajuda de uma pá de pedreiro. Com o auxílio de uma trena foi possível centralizar os tijolos de forma que eles conseguissem percorrer toda a extensão (comprimento) da placa.

3.2. Montagem e descrição do experimento

As Figuras a seguir mostram o croqui e algumas fotos do experimento.

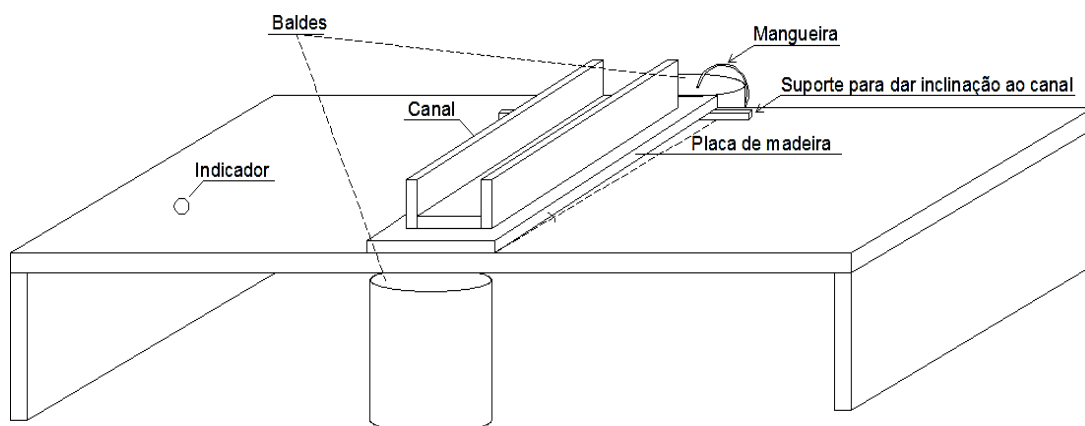


Figura1 - Croqui do aparato experimental



Figura 2 - Construção – sequência A, B e C



Figura 3 – Experimento montado

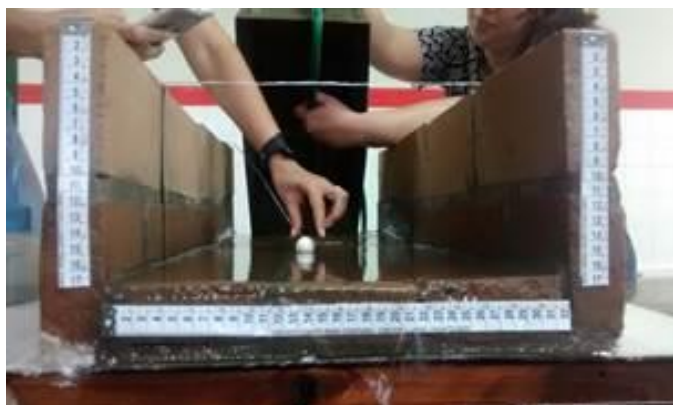


Figura 4 – Execução – medição de velocidade com indicador

Antes da medição do coeficiente de Manning, o canal de seção geométrica retangular prismática, dimensões de 42 x 100 x 22 cm foi demarcado com uma fita métrica ao longo do seu comprimento e altura. Especificamente nas medidas de 20 e 80 cm uma marcação foi feita a partir dos lados que compreendem a largura do canal. Esse procedimento foi necessário para coletar informações referentes ao deslocamento do indicador ao longo do tempo, determinando, assim, a velocidade de escoamento do fluido. Além disso, o nível que a lâmina d'água atinge é necessário para calcular o perímetro molhado do canal.

A operação deu-se, inicialmente, através da medição da vazão do fluxo d'água advindo de um ponto de alimentação. A vazão permaneceu constante durante todo o percurso do canal, para isso a razão do volume pelo tempo foi determinada a cada nova análise de um total de três, a fim de se obter a vazão média do curso d'água. Com a constatação da vazão a velocidade do fluido foi mensurada por meio da distância percorrida de um indicador num certo intervalo de tempo. Em uma das extremidades do canal um reservatório foi utilizado a fim de captar toda a água escoada pelo leito do protótipo. Todo esse procedimento se repetiu cinco vezes para cada inclinação adotada.

O raio hidráulico presente na fórmula de Manning é outra variável determinada por meio da razão da área molhada, da seção retangular do canal, pelo perímetro molhado. Este observado durante a realização do experimento por meio do nível que a lâmina d'água atinge.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a determinação do coeficiente de Manning foi preciso medir a velocidade de escoamento do fluido com diferentes inclinações do canal. A primeira, segunda e terceira medição contaram com vazões, velocidades e inclinações que estão evidenciadas nas tabelas a seguir:

Tabela 1 - 1º Medição no canal para vazões

Vol (m ³)	ΔT (s)	Q (m ³ /s)
0,0034	5,1700	0,0007
0,0036	5,6200	0,0006
0,0041	6,3300	0,0006
0,0036	5,6800	0,0006
0,0042	6,6600	0,0006
Q_{média}		0,0006

Tabela 2 - 1º Medição para velocidades

ΔS (m)	ΔT (s)	V (m/s)
0,1500	3,3000	0,0455
0,1500	2,8900	0,0519
0,1500	3,4200	0,0439
V_{média}		0,0471

As primeiras medições (Tabela 1 e Tabela 2) foram feitas com o canal a uma inclinação de 0,839° e obteve uma vazão média de 0,0006 m³/s e uma velocidade média de 0,0471 m/s.

Tabela 3 - 2º Medição no canal para vazões

Vol (m ³)	ΔT (s)	Q (m ³ /s)
0,0034	3,9000	0,0009
0,0032	3,7500	0,0009
0,0042	4,8500	0,0009
0,0042	5,1500	0,0008
0,0027	3,3300	0,0008
Qmédia		0,0008

Tabela 4 - 2º Medição para as velocidades

ΔS (m)	ΔT (s)	V (m/s)
0,1500	4,8500	0,0309
0,1500	3,3000	0,0455
0,1500	3,0800	0,0487
0,1500	4,0500	0,0370
Vmédia		0,0405

Aplicando uma inclinação de $1,42^\circ$ e mantendo a vazão constante, em média $0,0008 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabela 3) a velocidade média de escoamento do corpo hídrico foi aferida em torno de $0,0405 \text{ m/s}$ (Tabela 4).

Tabela 5 - 3º Medição no canal para vazões

Vol (m ³)	ΔT (s)	Q (m ³ /s)
0,0020	3,3600	0,0006
0,0025	4,4900	0,0006
0,0025	4,1700	0,0006
0,0023	3,9700	0,0006
Qmédia		0,0006

Tabela 6 - 3º Medição no canal para velocidades

ΔS (m)	ΔT (s)	V (m/s)
0,1500	3,7200	0,0403
0,1500	3,1900	0,0470
0,1500	3,1900	0,0470
Vmédia		0,0448

As últimas medições foram realizadas com o canal a uma inclinação de $1,504^\circ$ (Tabela 5 e 6). Realizando-se a aplicação dos valores obtidos das três medições na equação (1) obtém-se o coeficiente de manning (n) para cada medição. Por fim, a tabela 7 resume os resultados obtidos, e apresenta a média do coeficiente de manning.

Tabela 7 - Valores para os experimentos e coeficiente de Manning médio

	I (m/m)	Rh (m)	V (m/s)	n
1º medição	0,0146	0,0003	0,0471	0,0134
2º medição	0,0247	0,0003	0,0405	0,0181
3º medição	0,0262	0,0002	0,0448	0,0143
Média				0,0152

Fazendo uma avaliação visual, era possível perceber que o tijolo solo cimento apresentava maior rugosidade (resistência ao escoamento do fluido) que o concreto liso. Com a média dos coeficientes de Manning chegou-se a um valor de 0,0152. Em comparação com a natureza das paredes de canais com revestimento de concreto que varia de 0,012 a 0,018 para diferentes condições, o coeficiente encontrado ficou entre esses valores, mas usualmente o coeficiente de Manning adotado para o concreto é de 0,013.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados experimentais constata-se que a aplicabilidade dos tijolos de solo-cimento com cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em leitos de canais é uma alternativa de material sustentável e economicamente viável, em comparação com o concreto e os tijolos convencionais. Os tijolos ecológicos apresentaram resultados tecnológicos satisfatórios em estudos realizados anteriormente por Marques et al, (2014), tornando-se um produto com uma vasta aplicação na construção civil.

Ao determinar o coeficiente de Manning as características hidráulicas dos tijolos de solo-cimento puderam ser conhecidas de forma a tornar-se viável a aplicação desse material na construção de canais. Com um coeficiente de 0,0152 os tijolos em substituição a materiais como o concreto, com um coeficiente de Manning em torno de 0,018 em condições consideradas más ficou em um regime considerado bom e regular 0,014 e 0,016, respectivamente. Porém, apesar de usualmente o coeficiente de Manning do concreto ser de 0,013 (NETTO, 1998), o valor encontrado para os tijolos ecológicos de 0,0152 é aceitável, que o material é mais rugoso do que o concreto. Esse coeficiente encontrado experimentalmente teve influência de fatores externos que possivelmente interferiram nesse valor, a exemplo, do processo construtivo do canal que gerou irregularidades e vazamentos em toda extensão do conduto livre. Também é preciso pontuar que os tijolos apresentaram considerável absorção de água durante os experimentos realizados, para que seja considerada que parte da água transportada poderá ser perdida por saturação do meio poroso do tijolo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por todas as oportunidades concedidas. Agradecemos a Usina Santa Clotilde (AL) por conceder as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, ao Instituto Federal de Alagoas por viabilizar essa pesquisa e à Universidade Federal de Alagoas por possibilitar a publicação desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, C. F.; SOUZA, R. O. Estudo de planícies de inundação através da análise dos Parâmetros hidráulicos do canal principal e sua influência na Avaliação do risco *fuzzy* de enchentes. Tese de doutorado. Universidade Federal do Ceará, 2006.
- ACCHAR, W., MARQUES, S. K. J. “*Ecological soil cement bricks from waste materials*”. I ed. Berlim: SpringBriefs in Applied Sciences and Technology.
- AZEVEDO NETTO, MARTINIANO, J. et al. *Manual de hidráulica*. São Paulo: Edgard Blücher, 2016.
- BLUCHER, E. (1951). *Mecânica dos solos para engenheiros rodoviários* – volume I. São Paulo, Blucher.
- COELHO, R. T.; DUCATTI, V. A. *Contribuição ao estudo da aplicação de materiais alternativos nos compósitos à base de cimento portland: Uso de grãos de polipropileno reciclado em substituição aos agregados do concreto*. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2005.
- Ministério da Integração Nacional, MI. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/web/projeto-sao-francisco/entenda-os-detalhes>>. Acessado 30 de julho de 2017.
- NETTO, J. M. A.; FERNANDES, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. *Manual de hidráulica*. 8 ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 1998.
- PAULA, M. O.; TINÔCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N.; SOUZA, C. F. *Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland*.
- PIZA, F. *Apostila de hidráulica: Conduitos livre*. 2013.
- PORTO, Rodrigo de Melo. *Hidráulica Básica*. 2.ed. São Carlos: EESC/USP/Projeto REENGE, 1999. 540p. ISBN: 858520530X.
- PRESA, M. B.; *Resistência à compressão e absorção de água em tijolos de solo-cimento*. Monografia de Graduação. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, Brasília, 2011. p. 1.
- TENÓRIO, T. M.; MENDONÇA, S. F.; MARQUES, S. K. J. *Fabricação de tijolo solo-cimento com cinzas do bagaço de cana-de-açúcar*. MILSET BRASIL - Movimento Internacional para o Desenvolvimento Científico e Técnico no Brasil, 2014.
- UFLA. *Coeficientes de rugosidade de Manning*. Disponível em:<http://www.deg.ufla.br/professores/jacinto_carvalho/eng191/tabelas.pdf>. Acesso em: 19. Junho 2017.