

Tijolo de solo-cimento com resíduos sólidos: Uma oportunidade para construção de casas populares em Macapá, AP

Luis Ribeiro de Sousa^a, Felipe Fernando da Costa Tavares^{a*}

^aLaboratório de Tecnologia dos Materiais, Núcleo Tecnológico de Engenharia de Produção, Colegiado de Engenharia Química, Universidade do Estado do Amapá, Av Presidente Vargas 650, 68.900-070, Macapá, Amapá

*e-mail: felipe.tavares@ueap.edu.br

Resumo:

Este trabalho investigou a elaboração de composições de tijolos de solo cimento a partir dos resíduos da construção civil (RCC) e do beneficiamento do caulim (RBC) do Amapá. Um solo artificial foi previamente preparado a partir da mistura desses resíduos, produzindo, então, um solo artificial que foi aplicado na formulação de três traços (cimento:solo artificial):1:10, aplicado como controle, e as variações 1:12 e 1:4. As matérias-primas foram caracterizadas via difração de raios X (DRX) e os tijolos foram testados quanto à resistência à compressão (RC) e absorção de água (AA) após cura durante os períodos de 3, 7 e 28 dias. Aos sete dias de cura todos os blocos formulados apresentaram resultados médios promissores conforme as recomendações da NBR-8492 (mínimo 2 MPa para RC e AA inferior a 20%), os menos resistentes com 2,75 MPa e AA de 17,35% para o traço 1:12, e os mais resistentes com 6,67 MPa e AA de 13,76% para o traço 1:4. O aumento do teor de cimento e do tempo de cura melhorou as propriedades avaliadas, indicando que todas as formulações apresentam potencial para a produção de tijolos de solo-cimento.

Palavras-Chave: Solo-cimento; tijolo ecológico; resíduo; caulim.

1. INTRODUÇÃO:

De acordo com os dados da ABELPRE [1], a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil aumentou de 67 milhões em 2010 para 79 milhões em 2019. Como bem conhecida, a geração desses materiais causa problemas ambientais, sociais e econômicos que tendem a aumentar com o crescimento da população e suas atividades de consumo [2]. Dentre os RSU's os resíduos da construção civil (RCC's), também conhecidos como entulho, crescem na mesma medida com o desenvolvimento urbano, paralelo à expansão da construção civil, promovendo problemas ambientais habitualmente conectados à disposição final dos mesmos [3,4].

De tal forma, é imperativo que esses materiais sejam aplicados usando-se métodos sustentáveis que dentre eles pode ser citada a construção de residências populares. Neste contexto, Donato e Barbosa [5] relatam que comunidades carentes passam a se mobilizar e, com a ajuda de Organizações Não Governamentais (ONG's), desenvolvem a construção de moradias sustentáveis a partir de materiais alternativos como o tijolo ecológico de solo-cimento. Por conseguinte, percebe-se que a necessidade por materiais sustentáveis que possam viabilizar a construção de casas populares tornou-se um mecanismo indispensável para a

oportunização de moradias de baixo custo, favorecendo, de tal modo, a reciclagem dos resíduos sólidos habitualmente descartados no meio ambiente.

Assim, investigar o desenvolvimento de novos materiais que empregam resíduos sólidos como fonte de matéria-prima é alvo de pesquisas que buscam solucionar os problemas relacionados com a geração destes pela produção de tijolo de solo-cimento. Podem ser citados: Lima e Santos [6], que avaliaram a aplicação de RCC com solos da região de São Luis, MA, e identificaram um solo viável para a respectiva aplicação; Souza, Segantini e Pereira [7], que aplicaram resíduo do concreto e obtiveram tijolos com boas propriedades mecânicas; Segantini e Wada [8], que declaram o solo-cimento como uma ótima oportunidade do emprego do RCC; Rodrigues e Holanda [9], com a aplicação de lodo proveniente da estação de tratamento de água; Miranda et al. [10], que testaram o resíduo da indústria de polpa 'kraft'; Siqueira et al. [11], que investigaram os resíduos da casca de ovo, e Vilela [12], que testou resíduos vegetais e de mineração.

É oportuno destacar que tecnicamente o tijolo de solo-cimento é um compósito oriundo da mistura de cimento e solo (esse, por sua vez, geralmente é constituído de 70% de areia e 30% de argila) visando produzir alternativas sustentáveis e mais econômicas para a construção civil [13].

Desse modo, baseando-se no que foi exposto, esta pesquisa traz uma avaliação da aplicação de dois resíduos do estado do Amapá, considerando suas gerações potencialmente significativas para a produção de tijolos de solo-cimento que possam ser usados para a construção de casas populares: o RCC e o resíduo do beneficiamento do caulim (RBC). Conforme Flores e Neves [14] e Maia et al [15] o RBC é um produto indesejado por mineradoras da Amazônia por apresentar tamanho de partícula inadequado para a indústria de papel. Contudo, ainda possui qualidades potenciais para ser aplicado na produção de outros materiais.

Assim, este trabalho avaliou a formulação de traços de tijolo de solo-cimento a partir da mistura de RCC e RBC utilizando ensaios de absorção de água e resistência à compressão, visando a disponibilização de um novo material que possa ser aplicado na construção civil, principalmente na edificação de casas populares.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

2.1. Materiais:

Foi utilizado um RCC coletado em um canteiro de obra localizado no bairro Central de Macapá, AP, constituído basicamente por frações de blocos cerâmicos e argamassa. Aplicou-se também o RBC fornecido pela empresa Caulim da Amazônia, CADAM, localizada em Munguba, PA. Por fim, o cimento utilizado foi o da marca Portland da Nassau (CP-IV 32), adquirido no mercado local de Macapá, AP, em quantidade comercial de 50 kg.

2.2. Métodos:

2.2.1. Moagem e classificação granulométrica

Inicialmente, os dois resíduos foram dispostos em uma estufa da marca Solotest a 100 °C por 72 h. Após a secagem, os resíduos foram cominuídos em um moinho de martelo da marca Solab (300 W e 1750 rpm, rotor em aço inox com nove martelos móveis, dimensões de cada martelo: 48×10×10 mm) e posteriormente peneiradas de acordo com a sua aplicação, ou seja, o RCC foi classificado como areia (obtendo-se o retido entre as peneiras com abertura 4,75 mm e 1,18 mm) e o RBC como argila (usando-se o passante da malha 475 µm).

2.2.2. Dos traços e blocos de solo cimento preparados

Fundamentando-se na literatura pesquisada [16], um solo artificial foi formulado com fração mássica de 70% de RCC (aplicado como areia) e 30% do RBC (aplicado como argila), obtendo-se, então, uma mistura codificada neste trabalho como "solo artificial".

O preparo dos traços, a quantidade de água e a conformação dos blocos foram realizados usando-se recomendações técnicas [16, 17]. Deste modo, para avaliar as variações das propriedades avaliadas (absorção de água e resistência à compressão) em função dos tempos de cura (3, 7 e 28 dias) e composições, foram adotados três traços (cimento:solo artificial): (1:10), aplicado como controle, e as variações (1:12) e (1:4).

As misturas de cada traço foram realizadas em uma betoneira com capacidade de 145 L da marca CSM, com rotação do tambor de 34 rpm. Para a mistura, inicialmente as amostras secas foram adicionadas e homogeneizadas na betoneira por ± 5 min. Na sequência, segundo a ABCP (2020) [17], os passos realizados foram: 1º adição de água até a consistência regulamentada e 2º para uma melhor homogeneização, a mistura foi passada três vezes em uma peneira de abertura 4,5 mm. Em seguida, os corpos de prova (CP's), quatro por traço, foram conformados empregando uma prensa manual da marca Tecnal (capacidade máxima de 16 t) e um conjunto para conformação (deixando as dimensões finais dos CP's aproximadas a 200×95×50 mm para comprimento × largura × altura) estabelecidas pela literatura consultada [16]. A conformação de cada CP ocorreu com carga de 4 t por 30 s.

2.2.3. Cura dos corpos-de-prova

Seguindo as recomendações do Boletim Técnico da ABCP [17], o qual determina que os CPs sejam regados após o intervalo de 6 h da moldagem, construiu-se uma mesa com pranchas inclinadas (esquema apresentado na Fig.1a e imagem dela em operação na Fig.1b, construída pela equipe técnica do Laboratório de Tecnologia dos Materiais LAMAT/UEAP). A irrigação foi realizada por 7 dias seguindo o intervalo supracitado, molhando os CPs por 2 min, conforme a seguinte operação. A bomba acionada por um temporizador distribuía a água do tanque pela rede de distribuição aérea que dispersava o fluido por tubulações contendo furos que pulverizavam água sobre os CPs (semelhante à apresentada na Fig.1b). A água o restante seguia pelas tubulações que circundavam a mesa pela rede de distribuição lateral, irrigando os blocos pelas laterais. A água coletada no centro da mesa era reciclada em direção ao tanque.

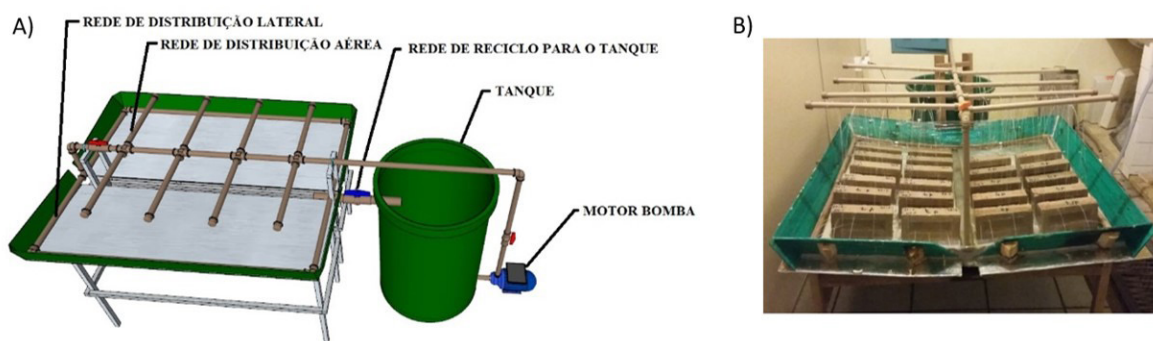


Figura 1. Mesa de hidratação utilizada para irrigação intermitente dos CPs: (a) esquema da instalação; e (b) mesa em operação com jatos d'água

2.3. Caracterização das matérias-primas

As matérias-primas foram caracterizadas por difração de raios X (DRX) em um difratômetro da marca Bruker, modelo D2 Phaser, usado um filtro de Ni e radiação $\text{Cu}_{K\alpha}$ ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$) a 30 kV com varredura 2θ de 10 a 70 ° (utilizou-se o passo angular de 0,02° e o banco de dados Crystallography Open Database COD disponibilizado pelo Diffrac EVA da Bruker). Para a análise, foram usadas as amostras classificadas como passantes em malha de abertura igual a 200 μm .

A avaliação da absorção de água (AA) foi realizada logo após os tempos de cura usando-se 3 CPs (de cada traço e tempo de cura), os quais foram conformados apenas para o respectivo teste. Este, consistiu na evaporação da água contida nos corpos de prova usando-se uma estufa da marca Solotest a 110 °C por 24 h, obtendo-se uma massa seca (codificada como M1). Posteriormente, os

CPs foram submersos em água por 24 h, obtendo-se assim a massa saturada (M2). Assim a absorção foi calculada com a equação 1:

AA(%) = ((M2 - M1)/(M2)) x 100 (1)

Seguindo o Boletim Técnico da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), os ensaios de resistência à compressão (RC) foram conduzidos conforme a NBR 8492 [18]. De tal modo, foram rompidos 4 CPs por traço e tempo de cura usando uma máquina universal de ensaios mecânicos da EMIC, modelo DL 30000, usando o incremento de força 500 N/s.

3. RESULTADOS:

3.1. Difração de raios X das matérias-primas:

Os difratogramas de raios X das matérias-primas RCC, RBC e cimento estão apresentados na Fig.2, enquanto na Tab.1 são apresentados os códigos das cartas cristalográficas das fases identificadas.

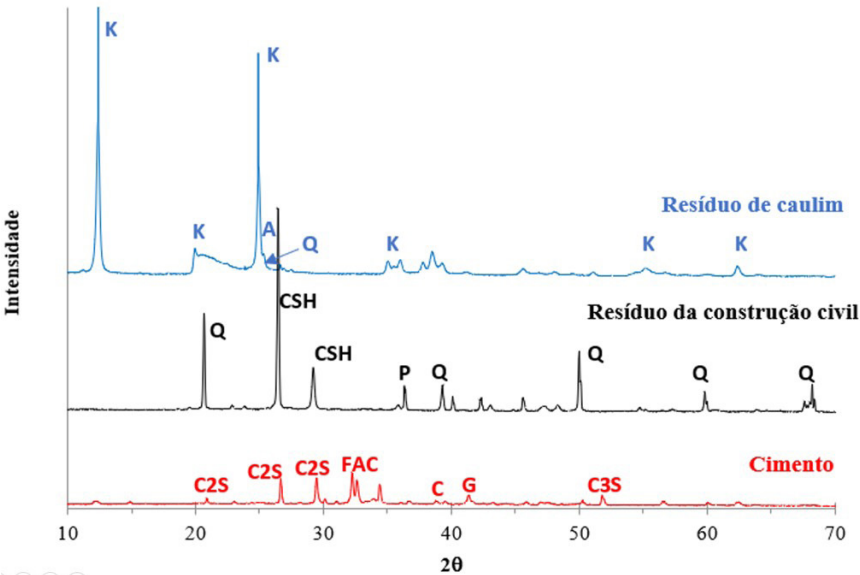


Figura 2. Difração de raios X para as matérias-primas identificando os minerais: K – caulinita; A – anatásio; Q – quartzo; CSH – silicato de cálcio hidratado; C2S – silicato dicálcico; C3S – silicato tricálcico; FAC – ferro aluminato tetracálcico; P – portlandita; C – calcário; G – gipsita

Tabela 1. Códigos das cartas cristalográficas das fases identificadas

Material	Código COD	Símbolo	Mineral identificado
Resíduo de caulim	9009230	K	Caulinita
	9008213	A	Anatásio
	9000775	Q	Quartzo
Cimento	9012791	C2S	Silicato dicálcico
	1011159	Q	Quartzo
	9008366	C3S	Silicato tricálcico
	9000965	C	Calcário
	1200008	C4AF	Ferro aluminato tetracálcico
	2105041	G	Gipsita
	9009666	Q	Quartzo
Resíduo da construção civil	9005447	CSH	Silicato de cálcio hidratado
	9012072	P	Portlandita

Conforme a referências consultadas, as análises exibiram os minerais característicos presentes em cada amostra. O RBC apresentou predominantemente picos da caulinita em $2\theta = 12,4^\circ; 20^\circ; 25^\circ; 35^\circ; 36^\circ; 55^\circ$ e 62° [15]. Já o RCC exibiu os picos característicos do mineral quartzo em $2\theta = 20,7^\circ; 39,3^\circ; 50^\circ$ e 68° [19, 20, 21, 22], bem como de silicato de cálcio hidratado em $2\theta = 26,4^\circ$ e $29,2^\circ$, e portlandita em $2\theta = 36,3^\circ$ [20] e da hematita em $2\theta = 68^\circ$ [21, 22]. Por fim, o cimento apresentou os picos característicos do silicato dicálcico em $2\theta = 20,9^\circ; 26,6^\circ$ e $29,4^\circ$ [20, 23], do ferro aluminato tetracálcico em $2\theta = 32^\circ$; do calcário em $2\theta = 39,5^\circ$ [20, 24], gipsita em $2\theta = 43,3^\circ$ e do aluminato tricálcico em $2\theta = 56,6^\circ$ [20, 24].

3.2. Absorção de água:

Os valores médios obtidos da absorção de água estão mostrados na Fig.3. Estatisticamente, os resultados mostraram que a adsorção de água diminui proporcionalmente com o avanço do tempo de cura e principalmente com o aumento do teor de cimento. Tal resultado é uma consequência da cura do cimento, cujo processo forma compostos como a etringita, que crescem fechando os vazios, proporcionando, assim, uma menor absorção de água [25, 26].

Por fim, todos os traços atenderam de forma satisfatória o exigido pela norma [17], a qual estabelece que os valores médios para a absorção de água não ultrapassem 20%.

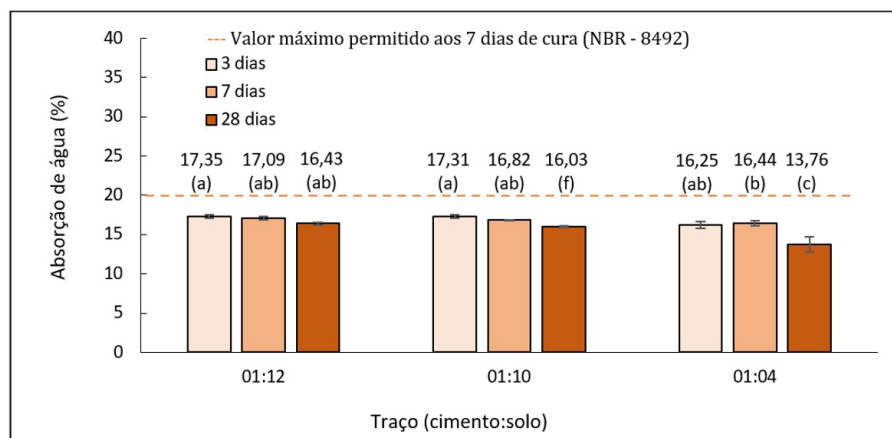


Figura 3. Absorção de água dos traços em função dos tempos de cura

3.3. Resistência à compressão:

Os valores médios para a resistência à compressão são apresentados na Fig.4. Como esperado, as médias aumentaram em função do teor de cimento e tempo de cura, o que é correlacionável com a formação de etringita que colabora no fechamento dos poros. Destaca-se que todos os traços apresentaram valores acima do mínimo exigido pela ABNT [17].

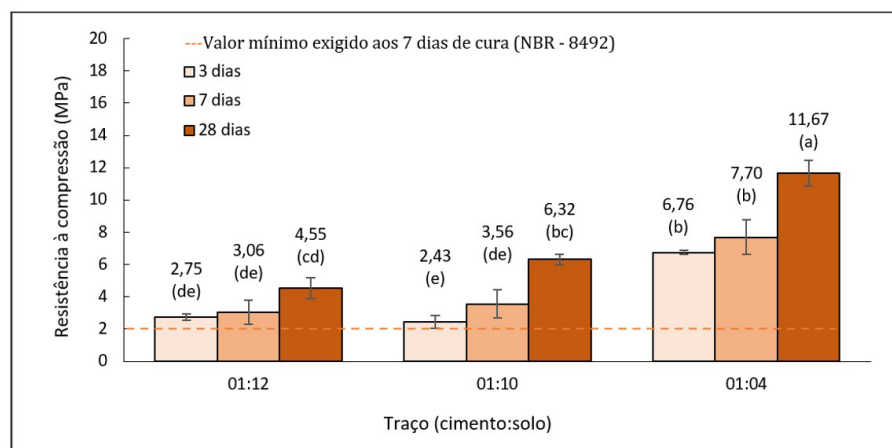


Figura 4. Resistência à compressão dos traços

4. CONCLUSÕES:

O emprego de 30% do RBC como argila e 70% do RCC como areia mostrou-se eficiente na preparação do solo artificial empregado neste trabalho.

Embora o traço 1:4 tenha exibido os melhores valores médios para resistência à compressão e absorção de água, a aplicação do traço 1:12 mostrou-se mais conveniente, já que utiliza uma quantidade inferior de cimento e maior dos resíduos na formulação dos tijolos.

Assim, observa-se que a aplicação dos resíduos estudados neste trabalho representa um grande potencial para o desenvolvimento econômico e social do estado do Amapá, podendo colaborar com a redução de resíduos via a construção de moradias populares.

5. AGRADECIMENTOS:

Os pesquisadores agradecem aos colaboradores da linha de pesquisa Reciclagem de Resíduos para o Processamento de Novos Materiais (RRPM) e a Universidade do Estado do Amapá (UEAP).

REFERÊNCIAS:

- [1] ABRELPE, 2021. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020. São Paulo: ABRELPE. www.abrelpe.org.br
- [2] Gouveia N, 2021. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & Saúde Coletiva* 17, 6, 1503-1510. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-81232012000600014>
- [3] Brasileiro L L, Matos J M E, 2015. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica* 61, 358, 178-189. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>
- [4] Quaglio R S, Arana A R A, 2020. Diagnóstico da gestão de resíduos da construção civil a partir da leitura da paisagem urbana. *Sociedade & Natureza* 32, 457-471. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v32-2020-47547>
- [5] DONATO T M N, BARBOSA R V R, 2022. Aplicação de tijolos ecológicos em habitação de interesse social: considerações sobre a realidade brasileira. Salvador: Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis. <https://www.researchgate.net/publication/366134088>
- [6] LIMA J S, SANTOS D M, 2020. Compósito de solo-cimento e resíduos: perspectivas de materiais sustentáveis. *Mix Sustentável* 6, 3, 117-128. <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.mix2020.v6.n3.117-128>
- [7] Souza M I B, Segantini A A S, Pereira J A, 2008. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 12, 2, 205-212. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000200014>
- [8] Segantini A A S, Wada P H, 2011. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. *Acta Scientiarum. Technology* 33, 2, 170-183. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i2.9377>
- [9] Rodrigues L P, Holanda J N F, 2013. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. *Cerâmica* 59, 352, 551-556. <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132013000400010>
- [10] Miranda L A, Alvarenga R C S S A, Pinto Junior P C M, Paula Júnior E D, Moura E M, Sales J N B, Nascimento N C, Sousa V Z, Silva D D C, Libera Junior V, 2021. Caracterização e uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em tijolos de solo-cimento. *Ambiente Construído* 21, 1, 69-80. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100494>
- [11] Siqueira F B, Amaral M C, Bou-Issa R A, Holanda J N F, 2016. Influence of industrial solid waste addition on properties of soil-cement bricks. *Cerâmica* 62, 363, 237-241. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132016623631969>
- [12] Vilela A P, 2019. Tijolo solo-cimento reforçado com partículas vegetais e resíduo de mineração. Lavras: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, Universidade Federal de Lavras. <http://repositorio.ufla.br/handle/1/39015>
- [13] Campos A, Nascimento Junior J B, Brito L T, 2019. Comportamento estrutural de tijolos de solo-cimento utilizando diferentes fontes de água e métodos de cura. *Interações (Campo Grande)* 283-296. <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v0i0.1565>
- [14] Flores S M P, Neves R F, 2021. Alumina para utilização cerâmica, obtida a partir do rejeito de beneficiamento de caulim. *Cerâmica* 43, 283-284, 173-177. <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/6599>
- [15] Maia A A B, Saldanha E, Angélica R S, Souza C A G, Neves R F, 2007. Utilização de rejeito de caulim da Amazônia na síntese da zeólita A. *Cerâmica* 53, 327, 319-324. <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132007000300017>
- [16] Falcão Bauer L A, 2010. *Materiais de Construção*. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC.
- [17] ABCP, 2000. *Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais*. Associação Brasileira de Cimento Portland. <https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/BT-111.pdf>
- [18] NBR 8492, 2012. Tijolo de solo cimento: Análise dimensional, determinação da resistência à compressão. Método de ensaio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. www.abnt.org.br
- [19] Mariano L S, 2008. Gerenciamento de resíduos da construção civil com reaproveitamento estrutural: estudo de caso de uma obra com 4.000 m². Curitiba: Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná. https://docs.ufrpr.br/~bleninger/dissertacoes/147-Leila_Seleme_Mariano.pdf
- [20] Quarcioni V A, 2008. Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland: estudo em pasta. São Paulo: Engenharia da Construção Civil, Universidade de São Paulo. <http://dx.doi.org/10.11606/T.3.2008.tde-15092008-153909>

- [21] Lasso P R O, Vaz C M P, Bernardi A C C, Oliveira C R, Bacchi O O S, 2013. Avaliação do uso de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivo da acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 37, 6, 1659-1668. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832013000600022>
- [22] Ferreira K C, Gonçalves S G, Cardoso D N P, Souza J A S, Felipe A M P F, 2014. Avaliação de parâmetros físicos e químicos para a produção de argamassas utilizando cinza volante e resíduo da construção civil. São Paulo: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química 13856-13863. <http://dx.doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-1058-21305-174539>
- [23] Dantas M H O, 2013. Avaliação dos efeitos da adição de nanossílicas em pó e coloidal em pastas de cimento Portland. Caruaru: Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco. <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/10509/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20M%c3%a1rcio%20Henrique%20de%20Oliveira%20Dantas.pdf>
- [24] Siqueira F B, Holanda J N F, 2015. Effect of incorporation of grits waste on the densification behavior of soil-cement bricks. *Cerâmica* 61, 360, 414-419. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613601917>
- [25] Silva Filho L C P, 1994. Durabilidade do concreto a ação de sulfatos: análise do efeito da permeação de água e da adição de microssílica. Porto Alegre: Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://hdl.handle.net/10183/134138>
- [26] Melo S K, 2010. Estudo da formação da etringita tardia em concreto por calor de hidratação do cimento. Goiânia: Programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás. <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/4464/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Sandra%20Kurotusch%20de%20Melo%20-%202010%20-%20%281%29.pdf>