

Análise da aplicação de cinza de caldeira na fabricação de tijolo ecológico

Analysis of boiler ash application in the ecological brick process

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade técnica da incorporação de resíduo de cinza de caldeira em tijolo solo cimento que atenda as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Na metodologia do trabalho foram utilizadas normas da ABNT referentes a determinação da matéria orgânica, compactação, moldagem de corpos de prova e testes físicos e mecânicos. Corpos de prova foram moldados com diferentes porcentagens de resíduo e cimento. Os corpos de prova da primeira fase (todos com resíduo incorporado), atenderam o limite mínimo de tensão que devem suportar (1 MPa para o solo cimento utilizado em alvenarias sem fins estruturais e 2 MPa para tijolos de solo cimento). Já na segunda fase, onde não tinha resíduo incorporado, apenas 6 dos 15 corpos de prova ficaram acima dos dois limites. Com os resultados obtidos é possível observar que corpos de prova com resíduo incorporado são resistentes, já sem resíduos incorporados ficam abaixo ou no limite de resistência. A partir da análise da influência das variáveis como umidade, teor de cimento e peso específico aparente seco, pode-se elaborar um tijolo ecológico que atende as normas.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo. Solo. Cimento.

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the technical viability of incorporating boiler ash residue into soil cement brick which satisfy the standards of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT). In the work methodology, ABNT standards were used referring to the determination of organic matter, compaction, molding of proof bodies, physical and mechanical tests. Proof bodies were molded with different percentages of residue and cement. The proof bodies of the first phase (all with incorporated waste), satisfy the minimum stress limit that they must support (1 MPa for cement soil used in non-structural masonry and 2 MPa for cement soil bricks). In the second phase, where there was no incorporated residue, only 6 of the 15 proof bodies were above the two limits. With the obtained results it's possible observe that proof bodies with incorporated residue are resistant, while the proof bodies without incorporated residues they are below or at the limit of resistance. From the analysis of the influence of the variables as humidity, cement content and dry apparent specific weight, an ecological brick that satisfy the standards can be elaborated.

KEYWORDS: Residue. Soil. Cement

Luiz Gustavo de Miranda Vieira
luizgustavo@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli
jpietrobelli@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Carlos Emmanuel Ribeiro Lautenschläger
carlos.emmanuel@gmail.com
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Giovanna Gonçalves
giovannagoncalves24@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Marcos Eduardo Soares
marcossoares@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é de grande importância estratégica para a sociedade, no entanto, gera diversos impactos ambientais. Assim, um dos grandes desafios deste setor é equilibrar a atividade produtiva e lucrativa com o desenvolvimento sustentável. A preocupação com a criação e utilização de materiais de construção civil *eco-friendly* tem crescido consideravelmente nos últimos anos, principalmente materiais recicláveis ou resíduos que podem ser reaproveitados (CITADIM, 2017).

Produto obtido da mistura adequada de solo, cimento e água, o tijolo solo cimento deve ter resistência à compressão adequada, pouca retração volumétrica e boa durabilidade. O solo é o componente de maior teor nas misturas para obtê-lo, sendo que a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) recomenda um teor mínimo de cimento de 5%. Para a fabricação do tijolo de solo cimento, a mistura é feita até o ponto ótimo de umidade, é colocada em formas para compactação, também em prensas hidráulicas ou mecânicas, sendo o seu diferencial a não utilização da queima em seu processo produtivo, contribuindo para a questão ambiental, sendo este considerado tijolo ecológico. Essa é uma das de suas vantagens, outra é que o solo presente na mistura pode ser da própria obra, ou de lugares próximos, contribuindo tanto para a economia da construção civil, quanto para o meio ambiente (ABNT, 2009; LIMA, 2010; SEGANTINI, WADA, 2011; VINAI, 2013; SIQUEIRA, HOLANDA, 2015; SOUZA, 2019).

Várias indústrias precisam de estudos para tratamento e/ou reutilização de seus resíduos como, resíduos cerâmicos, casca de arroz e outros grãos, resíduo de garrafa PET, ou, como no presente trabalho, a cinza de caldeira. A cinza de caldeira tem uma composição química e mineralógica diversificada, proveniente da queima de biomassa, e geralmente a disposição final do resíduo são aterros sanitários e a compostagem. O descarte e a disposição final de forma inadequada causam impactos ambientais, econômicos e de saúde pública. O tijolo ecológico tem apresentado um enorme potencial para incorporação de resíduos de diversas indústrias. (GONÇALVES, 2010; JACOBI, BESEN, 2011; GEUS, GARCIAS, 2014; SPRINGWISE, 2015; DA COSTA, 2019; MILOVANOVIĆ, 2019; SILVA, 2019)

Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade técnica da incorporação de resíduo de cinza de caldeira em tijolo solo cimento baseada nas propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova produzidos atendem ao especificado nas normas da ABNT.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos utilizados durante o desenvolvimento desse trabalho foram baseados nas normas ABNT (NBR 049 NM 49, ABNT NBR 7182, ABNT NBR 12025, NBR 13553, NBR 8491). Para a elaboração dos corpos de prova com cinza de caldeira utilizou-se de solo, cimento Portland e a cinza de caldeira que foi fornecida por uma indústria multinacional localizada em Ponta Grossa/PR.

Para a utilização do solo e das cinzas foi feita a determinação da matéria orgânica de ambos, conforme a NBR 049 NM 49 (Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas) (ABNT, 2001). Para a execução do ensaio, foram feitas a coleta da amostra e a redução da amostra.

Outro método para a determinação da matéria orgânica do solo e cinza de caldeira é o método MAB (adição de peróxido de hidrogênio) cuja fórmula para cálculos de teor de matéria orgânica descrita na Equação 1 (SOUZA, 2019).

$$MOSH_2O_2 = \frac{([M_{\text{inicial}} - MH_2O_2] \times 100)}{M_{\text{inicial}}} \quad (1)$$

A compactação do solo e resíduo de caldeira baseou-se na ABNT NBR 7182 (ABNT, 2016). Esse ensaio foi realizado primeiramente sem resíduo, depois foram realizados 3 ensaios com, 10%, 20% e 30% de resíduo de caldeira respectivamente. O ensaio foi repetido até obter-se pelo menos cinco pontos para elaboração da curva de compactação.

A moldagem e cura dos corpos de prova basearam-se na ABNT NBR 12024 (ABNT, 2012). Assim que moldados, os corpos de prova foram colocados em um isopor para a manutenção da umidade de moldagem, todos separados e identificados, assim eles passaram 14 dias para obter a cura

O teste de resistência a compressão de corpos de prova cilíndricos baseou-se na ABNT NBR 12025 (ABNT, 2012). Após a cura, os corpos de prova foram imersos em água por 24 horas para completa saturação. Imediatamente antes do ensaio, os corpos de prova foram retirados do tanque e superficialmente secos. Os corpos de prova foram submetidos ao teste de resistência à compressão simples, com taxa de deformação de 2mm/min e escala de visualização até 500 kgf. A tensão máxima obtida é a relação entre a força máxima sobre a área da seção transversal do corpo de prova.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após realizar o ensaio para a determinação de matéria orgânica tomando como base a ABNT NBR 049 NM 49 (ABNT, 2001), avaliou-se a quantidade de matéria orgânica, comparando a cor da solução obtida da reação. Foi constatado que a coloração do filtrado de solo e da cinza foi mais escura que a solução padrão, indicando a presença de matéria orgânica.

Para uma melhor compreensão foi realizado outro teste para a constatação de matéria orgânica na cinza e no solo, o método MAB. Com o ensaio realizado elaborou-se o Quadro 1 com o teor de matéria orgânica presente no solo (M Solo H₂O₂) e no resíduo utilizado (M RC H₂O₂). Este teor é calculado a partir da Equação 1.

Quadro 1 – Porcentagem de matéria orgânica

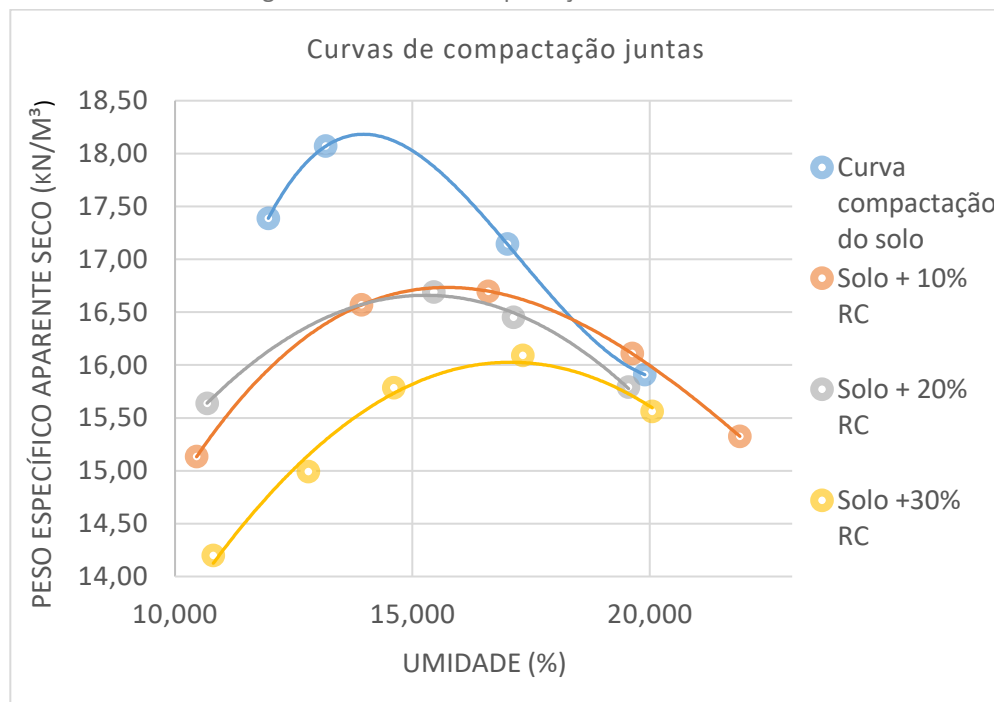
Massa de solo que reagiu com H ₂ O ₂	%	Massa de resíduo de caldeira que reagiu com H ₂ O ₂	%
M Solo H ₂ O ₂ 1 (%)	3,1959	M RC H ₂ O ₂ 1 (%)	2,2947
M Solo H ₂ O ₂ 2 (%)	2,5197	M RC H ₂ O ₂ 2 (%)	1,7451
M Solo H ₂ O ₂ (Média) (%)	2,8578	M RC H ₂ O ₂ (Média) (%)	2,0199

Fonte: Autoria própria (2020).

A porcentagem aceita de teor de matéria orgânica no solo e do resíduo a ser incorporado gira em torno de 2 a 5%, o que foi possível verificar em 3 das 4 amostras testadas, de modo que a presença de matéria orgânica não comprometeu a hidratação do cimento. (SOUZA, 2019).

Com os resultados do ensaio de compactação que tomou como base a ABNT NBR 7182 (ABNT, 2016) construiu-se a Figura 1. Dois pontos que divergiam muito dos demais foram excluídos.

Figura 1 – Curva de compactação das amostras



Fonte: Autoria própria (2020).

Pela Figura 1 pode-se observar que foram realizados 4 ensaios de compactação. Um deles com apenas solo e água, e os outros três com solo, água e adição de resíduo de cinza de caldeira (10%, 20% e 30%). A curva azul corresponde ao ensaio de compactação do solo apenas e apresenta um peso específico aparente seco de aproximadamente 18,5 kN/m³. A amarela (solo mais 30% de resíduo) tem seu pico com 16 kN/m³ de peso específico aparente seco. A curva vermelha (solo mais 10% de resíduo) e a cinza (solo mais 20% de resíduo) se assemelham, tendo seu pico entre 16 – 17 kN/m³. Com isso prosseguiram-se os ensaios admitindo um peso específico aparente seco de 17 kN/m³, para a primeira fase de moldagem preliminar dos corpos de prova com o objetivo de encontrar a umidade ideal de moldagem das misturas.

A primeira fase de moldagem (com resíduo incorporado) e cura dos corpos de prova foi baseada na norma ABNT NBR 12024 (ABNT, 2012), foram tiradas amostras de cada corpo de prova para verificar a umidade e, depois de moldados, os corpos de prova foram submetidos ao processo de cura por 14 dias.

Depois de realizada a moldagem e esperado o tempo de cura dos corpos de prova os mesmos foram submetidos ao ensaio de resistência a compressão.

Para a avaliação do efeito do teor de umidade, foram moldados 19 corpos de prova, cada porcentagem em triplicata: 14%, 15%, 16%, 17% e 18% de umidade e todos com peso específico de 17 kN/m³. No Quadro 2 estão expostos os valores máximos de tensão, indicando a resistência a compressão simples das amostras e na Figura 2 temos uma linha de tendência entre os teores de umidade e seus

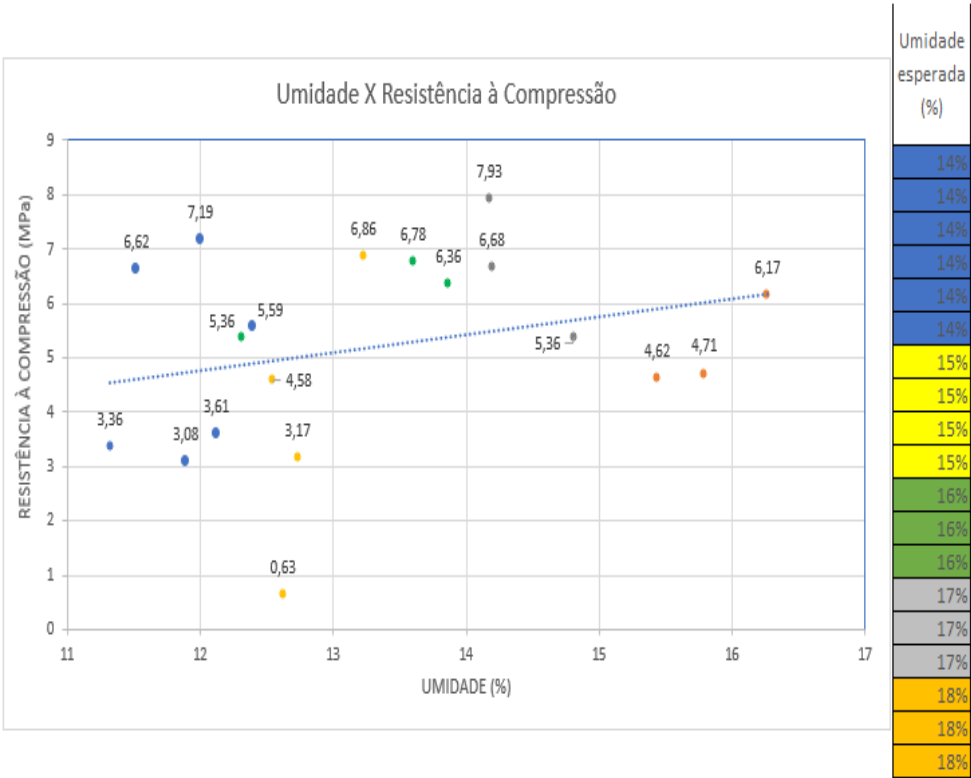
respectivos pontos de ruptura de cada corpo de prova (SCRC = solo cimento resíduo caldeira e porcentagem de umidade) Exemplo: SCRC 14%. O primeiro corpo de prova com umidade 15% foi descartado por estar muito fora do comportamento esperado, foram feitos mais corpos de prova de umidade 14% pois houve dificuldade com o molde utilizado:

Quadro 2 – Ponto máximo resistência à compressão simples (MPa) para cada corpo de prova SCRC

Solo, cimento, resíduo caldeira e porcentagem de umidade	MPa	Solo, cimento, resíduo caldeira e porcentagem de umidade	MPa	Solo, cimento, resíduo caldeira e porcentagem de umidade	MPa
SCRC 14%	3,08	SCRC 14%	3,61	SCRC 14%	3,36
SCRC 14%	6,62	SCRC 14%	7,19	SCRC 14%	5,59
SCRC 15%	6,86	SCRC 15%	4,58	SCRC 15%	3,17
SCRC 16%	5,36	SCRC 16%	6,36	SCRC 16%	6,36
SCRC 17%	6,68	SCRC 17%	7,93	SCRC 17%	5,36
SCRC 18%	4,71	SCRC 18%	4,62	SCRC 18%	6,17

Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 2 – Curva de compactação das amostras



Fonte: Autoria própria (2020).

Analisando a Figura 2, pode-se excluir os pontos amarelos (umidade 15%) e cinzas (umidade 17%), pois não se aproximam da tendência que está sendo esperada. Os pontos verdes (umidade 16%) e laranjas (umidade 18%) se aproximam da tendência, porém a umidade escolhida foi a de 14% (pontos azuis), onde tiveram 4 pontos próximos a tendência.

Na segunda fase de moldagem não foi adicionado resíduo, foram feitos corpos de prova apenas com solo e cimento, afim de determinar qual valor de peso específico aparente seco seria escolhido para prosseguir com a pesquisa. Depois de realizado a moldagem e esperado o tempo de cura dos corpos de prova os mesmos foram submetidos ao ensaio de resistência a compressão.

No Quadro 3 estão expostos os valores máximos de tensão (MPa), pontos onde os corpos de prova romperam. (SC = solo cimento %; peso específico kN/m³) Exemplo: SC 14%; 16,5.

Todos os corpos de prova foram moldados com 14% de umidade (obtidos a partir da primeira fase de moldagem). Os 5 primeiros com peso específico de 17 N/m³ variando a porcentagem de cimento (SC 14%; 17 e SC 7%; 17). Outros 4 corpos de prova com peso específico de 16 kN/m³ variando a porcentagem de cimento (SC 14%; 16 - SC 7%; 16). Os 6 últimos corpos de prova com peso específico de 16,5 kN/m³ e porcentagem de cimento 11% (SC 11%; 16,6).

Quadro 3 – Ponto máximo resistência à compressão simples (MPa) para cada corpo de prova.

Solo cimento %; peso específico kN/m ³	MPa	Solo cimento %; peso específico kN/m ³	MPa	Solo cimento %; peso específico kN/m ³	MPa
SC 14%; 17	3,15	SC 14%; 17	4,61	SC 7%; 17	2,21
SC 7%; 17	2,29	SC 7%; 17	2,90	SC 14%; 16	2,52
SC 14%; 16	0,96	SC 7%; 16	0,86	SC 7%; 16	1,09
SC 11%; 16,5	1,29	SC 11%; 16,5	0,18	SC 11%; 16,5	1,28
SC 11%; 16,5	1,80	SC 11%; 16,5	0,99	SC 11%; 16,5	0,78

Fonte: Autoria própria (2020).

Como podemos analisar os 5 primeiros corpos de prova são os mais promissores, visto que eles atendem o limite mínimo de tensão que devem suportar, sendo 1 MPa para o solo cimento utilizado em alvenarias sem fins estruturais NBR 13553 (ABNT, 2012) e de 2 MPa, estabelecido pela NBR 8491 (ABNT, 2012) para tijolos de solo cimento, enquanto os outros 10 corpos de prova tiveram um ponto máximo de tensão muito baixo, não atendem ao comportamento esperado.

CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados durante o período de trabalho foi possível obter o percentual de matéria orgânica em amostras tanto de solo quanto de cinza de caldeira sendo 2,86% e 2,02% respectivamente. Sendo assim os valores obtidos de percentual de matéria orgânica estão dentro da proporção aceita que é de 2-5%.

No primeiro ensaio de compactação, os corpos de prova que continham resíduo em sua composição tiveram seus pesos específicos aparentes secos máximos entre 16 e 17 kN/m³. Esta foi a faixa escolhida para moldagem, em que as curvas de compactação mais se aproximam do comportamento esperado.

Após a moldagem dos corpos de prova com diferentes teores de umidade e peso específico aparente seco de 17 kN/m³ fixo, foi possível estimar a umidade

ótima de 14% para a mistura utilizada para a elaboração do tijolo solo-cimento com adição de cinza de caldeira.

Na segunda moldagem pode-se concluir que os melhores corpos de prova foram os 5 primeiros, com peso específico de 17 kN/m^3 variando a porcentagem de cimento, 14% nos dois primeiros e 7% nos outros 3 corpos de prova.

Os resultados encontrados foram muito promissores, sendo que corpos de prova da primeira fase (todos com resíduo incorporado), atendem o limite mínimo de tensão que devem suportar, sendo 1 MPa para o solo cimento utilizado em alvenarias sem fins estruturais NBR 13553 (ABNT, 2012) e de 2 MPa, estabelecido pela NBR 8491 (ABNT, 2012) para tijolos de solo cimento. Já na segunda fase, onde não tinha resíduo incorporado, apenas 6 dos 15 corpos de prova ficaram acima dos dois limites.

Infelizmente não foi possível fazer mais ensaios e nem a confecção dos tijolos no período previsto para o trabalho, devido a pandemia de COVID-19. A partir de mais ensaios (como a moldagem do tijolo) e consequentemente, mais testes físicos, será possível comprovar que a elaboração do tijolo (solo + cimento + resíduo) é realmente viável e assim minimizar impactos ao meio ambiente e custos da construção civil.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Brasil. Agradeço a UTFPR e UEPG pela estrutura oferecida e aos professores: Dr. Marcos Eduardo Soares (UTFPR) e Dr. Carlos Emmanuel Ribeiro Lautenschläger (UEPG) por ceder seus laboratórios para pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR NM 49: Agregado Miúdo — Determinação de impurezas orgânicas**. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 12024: Solo—cimento — Moldagem e preparação de corpos de prova cilíndricos - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2012

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 12025: Solo-cimento — Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos — Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 13553: Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 8491: Tijolo de solo-cimento — Requisitos (b)**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 7182: Solo — Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Solo-cimento**. 22 dez. 2009. Disponível em: <https://abcp.org.br/basico-sobre-cimento/aplicacoes/solo-cimento/>. Acesso em 23 jul. 2020

CITADIM, DANIARA. **Impactos ambientais causados pela Construção Civil**, 2017. Disponível em: <https://www.sience.com.br/blog/impactos-ambientais-causados-pela-construcao-civil/>. Acesso em 30 jul. 2020

DA COSTA, T. P.; Et al. **Environmental assessment of valorisation alternatives for woody biomass ash in construction materials**. Resources, Conservation and Recycling, v. 148, p. 67-79, 2019

GEUS, L. M. DE.; GARCIAS, CARLOS MELLO. **Gestão de resíduos de construção em edificações de grande porte na cidade de Ponta Grossa**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 6, n. 2, p. 124-139, 2014.

GONÇALVES, M. S.; Et al. **Gerenciamento de resíduos sólidos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Francisco Beltrão**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online), n. 15, p. 79-84, 2010.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos avançados, v. 25, n. 71, 2011. p. 135-158.

LIMA, R. DO C. DE O. L. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2010.

MILOVANOVIĆ, B.; Et al. **Wood biomass ash as a raw material in concrete industry**. Građevinar, v. 71, n. 06, p. 505-514, 2019.

SEGANTINI, A. A. DA S.; WADA, P. H. **Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição**. Acta Scientiarum. Technology, v. 33, n. 2, p. 179-183, 2011.

SILVA, F. C.; Et al. **Use of biomass ash-based materials as soil fertilisers: Critical review of the existing regulatory framework**. Journal of Cleaner Production, v. 214, p. 112-124, 2019.

SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F. **Effect of incorporation of grits waste on the densification behavior of soil-cement bricks**. Cerâmica, v. 61, n. 360, p. 414-419, 2015.

SOUZA, J. M. de. **Tijolos de solo-cimento produzidos com manipueira em substituição à água**. 2019. 65 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2019.

SPRINGWISE. **Tijolos Ecológicos são feitos a partir de resíduos industriais reciclados**. Propriedade e Construção, 2015. Disponível em: <https://www.springwise.com/eco-friendly-brick-recycled-industrial-waste/>. Acesso em 23 jul. 2020.

VINAI, R.; Et al. **Coal combustion residues valorisation: Research and development on compressed brick production**. Construction and Building Materials, v. 40, p. 1088-1096, 2013.