

# APLICAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATÉRIAS-PRIMAS NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS MATERIAIS: A CINZA DO BAGAÇO DA CANA E COMPÓSITOS CERÂMICOS

Felipe Pires CHAVES<sup>1</sup>  
Elton Aparecido Prado dos REIS<sup>2</sup>

**RESUMO:** Em diversas áreas da sociedade são necessários processos que demandam a extração de recursos naturais, e provocam a geração de resíduos. A utilização de resíduos para a produção de novos materiais destaca-se como uma solução interessante e viável para esta questão ambiental. O presente artigo elucida a possibilidade de inserção de resíduos na indústria da cerâmica vermelha, abordando brevemente o lodo da estação de tratamento de água, e também o processo de formação da cinza do bagaço da cana, sua caracterização e a estimativa da quantidade do resíduo gerada no país. Discorre também sobre os materiais compósitos, sua importância para a ciência dos materiais e exemplifica suas aplicabilidades por meio do concreto, material largamente utilizado na construção civil.

**Palavras-chave:** Cinza do bagaço da cana. Lodo. Argila. Compósito. Novo material.

## 1 INTRODUÇÃO

A elevada produção industrial e o grande número de processos inerentes à sociedade, são necessários ao desenvolvimento e proporcionam variados benefícios, porém têm provocado notável consumo dos recursos naturais existentes. Estima-se que são extraídas cerca de 15 bilhões de toneladas de matérias-primas em todo o mundo por ano (CALLISTER, RETHWISCH, 2015). De forma simultânea às extrações, têm-se a geração de grandes quantidades de resíduos, que muitas vezes, não são recicláveis ou podem ser dispostos sem tratamento (FERREIRA et al., 2001).

---

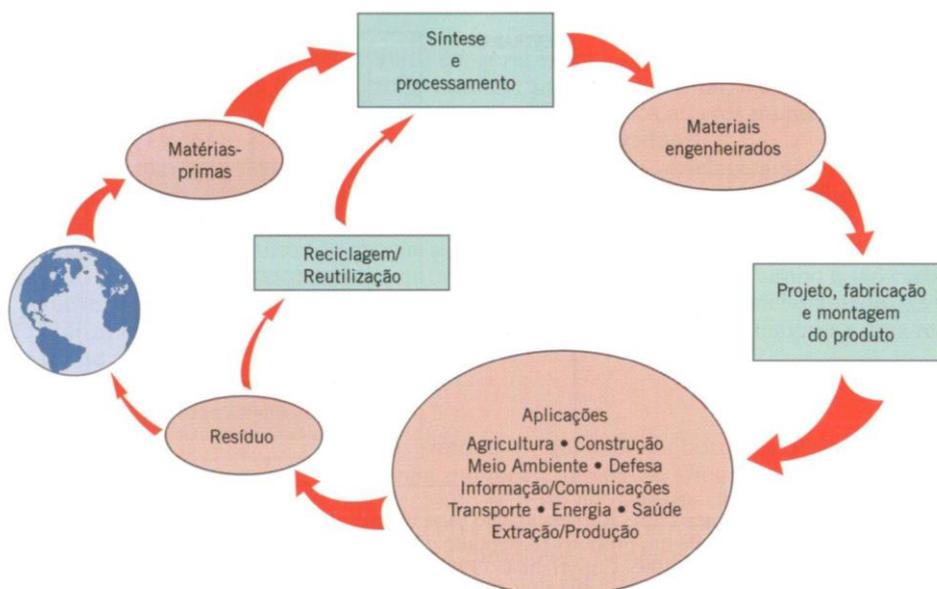
<sup>1</sup> Discente do 3º ano do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antonio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. felipepireschaves@gmail.com Bolsista do Programa de Iniciação Científica Toledo.

<sup>2</sup> Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antonio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. Doutor em Ciência e Tecnologia de Materiais do programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia dos Materiais (POSMAT) da Universidade Estadual Paulista. elton.reis@toledoprudente.edu.br Orientador do trabalho.

Como exemplificação, podem ser citados a extração e o beneficiamento da bauxita para a produção de alumínio. O alumínio é um metal não ferroso com excelentes qualidades físico-químicas. Por isso, seu uso tem sido crescente, sendo um dos metais mais utilizados no mundo, inclusive na construção civil, em esquadrias, painéis e fachadas. Para chegar ao estágio de alumínio metálico, a bauxita deve passar pelos processos de extração e processamento, os quais são divididos em diferentes fases (GARCIA, 2012). No decorrer, são gerados resíduos em elevadas quantidades, dentre eles a lama vermelha e o resíduo gasto de cuba (RCG) (PRADO et al., 2008).

Callister e Rethwisch (2015) descrevem o “ciclo dos materiais”, desde a extração das matérias-primas até a reciclagem dos resíduos gerados ou sua disposição como rejeitos. Os autores destacam que os materiais apresentam interações com o meio ambiente em todas as etapas deste ciclo, e apontam para a importância da reciclagem dos mesmos, citando a redução da extração de matérias-primas, a economia de energia e a eliminação da necessidade de descarte como algumas das vantagens desta prática.

**FIGURA 1** – Ciclo dos materiais, representando os processos pelos quais os materiais percorrem.



Fonte: Callister, Rethwisch, 2015, p. 747.

Por isso, a inserção de resíduos como matérias-primas de novos materiais torna-se uma alternativa interessante e sustentável, pois engloba características econômicas, ambientais e sociais, integrando os três eixos do desenvolvimento sustentável (MORINI et al., 2016).

Neste cenário destaca-se a indústria da cerâmica vermelha. Muitas vezes as cerâmicas produzidas por estas indústrias apresentam uma composição variada. Isto deve-se à heterogeneidade natural de suas matérias-primas, as argilas. Assim, os materiais cerâmicos tornam-se uma possibilidade de aplicação de resíduos, permitindo a conservação de recursos naturais e constituindo uma destinação para estas substâncias (DONDI, MARSIGLI, FABRI, 1997).

Como exemplos de processos que geram resíduos, podem ser citados o tratamento de água e a queima do bagaço de cana para cogeração de energia, sendo o lodo de estação de tratamento de água (ETA) e a cinza do bagaço da cana (CBC) os respectivos resíduos gerados.

O lodo é originado durante o tratamento de água nas ETAs, na etapa de decantação. Este resíduo é classificado pela NBR 10004:2004, como resíduo sólido, classe IIA, não inerte, e por isso, para que se evitem danos ambientais como modificações na composição química do corpo receptor, assoreamento e contaminações do lençol freático, recomenda-se o seu tratamento antes de sua disposição (REIS et al., 2007). São geradas cerca de 90 toneladas de lodo por mês, apenas na cidade de Presidente Prudente. Presume-se a geração de 30 mil toneladas do resíduo por ano, no Estado de São Paulo (TEIXEIRA et al., 2006).

Caracterizações realizadas por Teixeira (2006), Vitorino, Monteiro e Vieira (2009) e Pinheiro, Estevão e Souza (2014), identificaram nos lodos de ETA, propriedades semelhantes à de argilas utilizadas para a fabricação de artefatos cerâmicos, com a presença do argilomineral caulinita. Este fato evidencia a possibilidade de adição do resíduo às massas argilosas para a produção de compósitos cerâmicos.

Trabalhos presentes na literatura têm indicado a possibilidade de utilização de lodo como constituinte de materiais cerâmicos. Porém, como descrito por Chaves et al. (2017), o resíduo tende a diminuir a resistência mecânica do material final. Dessa forma, a inserção de outro material com o objetivo de melhorar as propriedades apresentadas pela mistura de lodo e argila se torna interesse de estudo, como a cinza do bagaço da cana.

Propõe-se neste artigo uma explanação sobre o histórico da cana-de-açúcar, o processo de formação e caracterização da cinza do bagaço da cana, a estimativa de geração deste resíduo e também uma elucidação a respeito de materiais compósitos aplicados ao mercado, tratando mais especificamente do concreto.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Cinza do bagaço da cana (CBC)**

A cinza do bagaço da cana é um subproduto da queima do bagaço de cana-de-açúcar. A cana-de-açúcar é uma planta proveniente do sudeste do continente asiático, que foi trazida para o Brasil por Martin Afonso de Souza no ano de 1532 (BRASIL, 2007).

Desde esse período, a cana-de-açúcar passou a ter forte ligação com a economia do país, apontado como o maior produtor no mundo, com uma colheita de aproximadamente 657 milhões de toneladas na safra de 2016/2017 (CONAB, s/d)<sup>3</sup>. As principais utilizações deste produto estão relacionadas à produção de açúcar e álcool, também de suma importância para a economia brasileira (MACEDO, 2009). Para esta produção, a cana-de-açúcar passa por processos de moagem e extração de caldo, gerando os bagaços de cana, com elevado potencial energético (FERNANDES et al., 2015). Em vista deste potencial, as usinas promovem a queima do bagaço nas caldeiras, produzindo energia elétrica para minimizar sua demanda ou até mesmo atendê-la, no sistema denominado cogeração de energia (MACEDO, 2009).

Após a queima, outro resíduo é gerado, a cinza do bagaço da cana. As características da cinza dependem das condições existentes durante a queima do bagaço. Contudo, de forma geral, a cinza apresenta concentrações acima de 60% em massa de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>), também nomeado sílica, devido à absorção

---

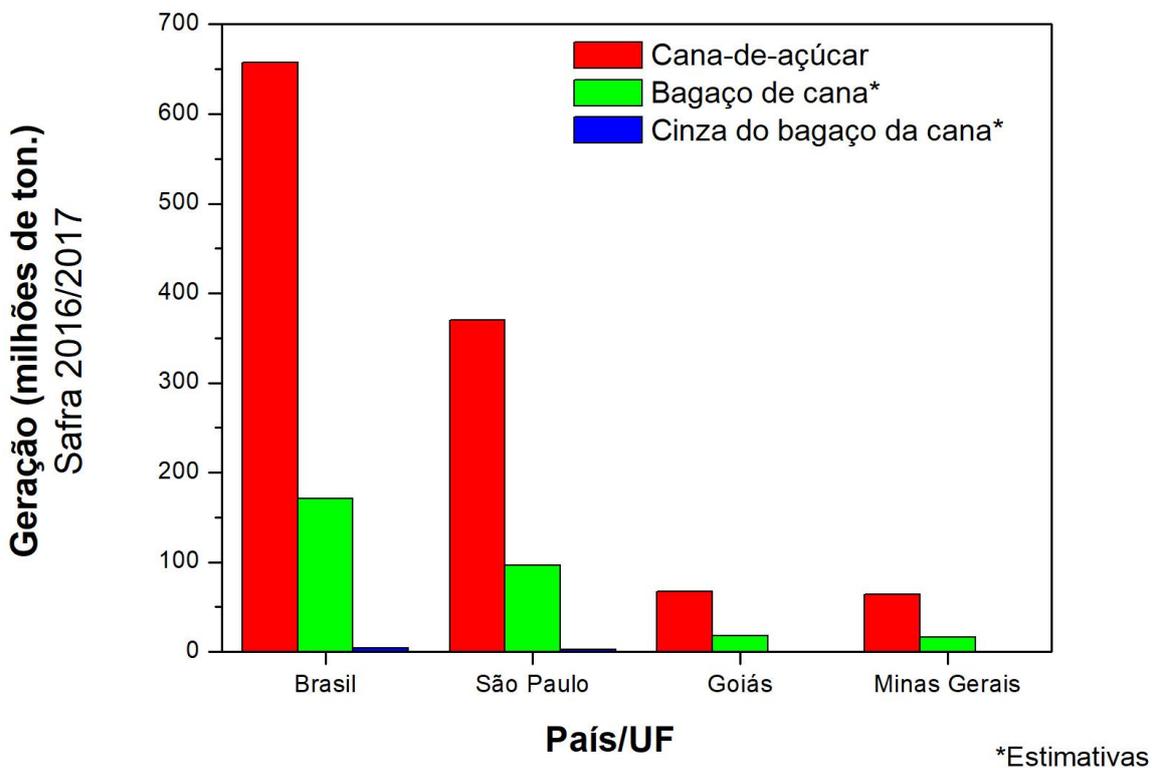
<sup>3</sup>Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>

de ácidos monossílicos pelas raízes da cana ou devido à não retirada das areias das lavouras (MACEDO, 2009). A sílica é composta por átomos de oxigênio e silício, sendo amplamente utilizada para a fabricação de isolantes térmicos e refratários, além de ser aplicada em fibras para reforço de materiais cerâmicos (ASKELAND, WRIGHT, 2015). Devido às aplicações de sílica destacadas, aponta-se a possibilidade de inserção da cinza nos compósitos de argila e lodo desenvolvidos. Se descartadas de forma incorreta, as cinzas podem provocar contaminações de águas subterrâneas e de solos próximos, provocando problemas ambientais e sociais graves (FRÍAS, VILLAR, SAVASTANO, 2011).

De acordo com levantamento realizado pela FIESP/CIESP (2001), estima-se que para cada tonelada de cana-de-açúcar produzida, são gerados 260 kg de bagaço de cana e 6,2 kg de cinza. Estes valores consideram a queima de 95% do bagaço produzido. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), na safra de 2016/2017, o estado de São Paulo apresentou 52,75% da área cultivada nacional de cana-de-açúcar, com uma safra de 369 milhões de toneladas, ocupando o posto de maior estado produtor nacional. Portanto, de acordo com as estimativas da literatura, foram geradas aproximadamente 2,2 milhões de toneladas de cinza do bagaço de cana, apenas no estado de São Paulo, na safra de 2016/2017, totalizando 3,9 milhões de toneladas de cinza em todo o país.

O Gráfico 1, a seguir, ilustra as quantidades de cana-de-açúcar, bagaço e cinza geradas no Brasil, e também nos três estados de maior produção (São Paulo, Goiás e Minas Gerais).

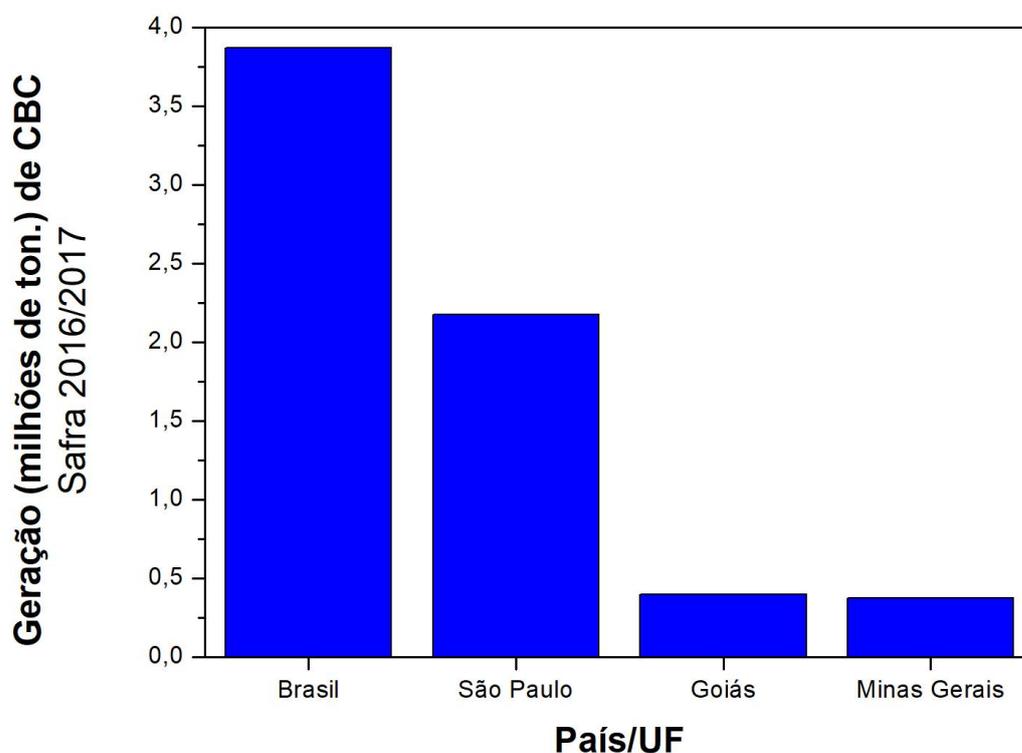
**GRÁFICO 1** – Dados da geração, em milhões de toneladas, de cana-de-açúcar, bagaço de cana e cinza do bagaço da cana, no Brasil e nos estados de São Paulo, Goiás e Minas Gerais, na safra de 2016/2017.



Fonte: Elaborado a partir dos dados de CONAB (s/d). Estimativas a partir dos dados de FIESP/CIESP (2001).

No Gráfico 2, pode ser melhor visualizada a estimada geração de cinza do bagaço da cana, no Brasil, e também nos três estados de maior produção. Para efeito de comparação, considerando os valores apresentados, a geração de cinza no Brasil ultrapassa a produção da cana-de-açúcar em toda a região Norte do país.

**GRÁFICO 2** – Estimativa de geração, em milhões de toneladas, de cinza do bagaço da cana na safra de 2016/2017, nos estados de São Paulo, Goiás e Minas Gerais e no Brasil.



Fonte: Estimativas a partir dos dados de FIESP/CIESP (2001).

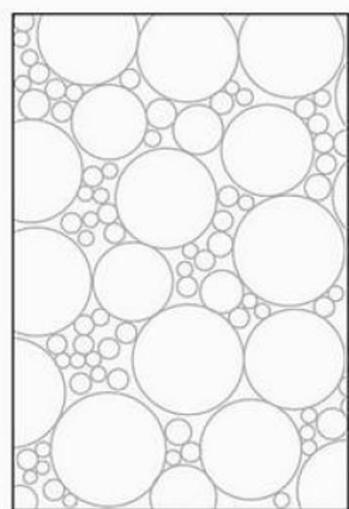
## 2.2 Materiais compósitos aplicados ao mercado: o concreto

Um material produzido a partir da junção ou combinação de dois ou mais materiais é denominado pela literatura de compósito. Os compósitos permitem combinações de propriedades que não seriam possíveis de se alcançar nos materiais individuais. No desenvolvimento destes materiais, procura-se utilizar as melhores características de cada um de seus constituintes, visando, por exemplo, a melhoria de propriedades mecânicas, resistência à corrosão e temperaturas elevadas (CALLISTER, RETHWISCH, 2015).

O concreto é um exemplo de material compósito largamente empregado na construção civil. O peso de concreto utilizado anualmente ultrapassa o peso de todos os metais juntos (SHACKELFORD, 2008). É constituído de cimento, água, agregados graúdos e miúdos, sendo que cada um de seus constituintes apresenta importância única para o material final.

Os agregados miúdos e graúdos, geralmente areia e brita respectivamente, ocupam cerca de 70 a 80% do volume total do concreto, reduzem o custo do produto final e influenciam propriedades como a porosidade e estabilidade do concreto (ISAIA, 2011). A diferenciação entre graúdos e miúdos ocorre pelo tamanho das partículas, e a combinação de ambos é de extrema importância. Para fins de exemplificação, é apresentada, na Figura 2, uma ilustração da interação entre agregados miúdos e graúdos, promovendo adequado contato interfacial (SHACKELFORD, 2008).

**FIGURA 2** – Partículas dos agregados miúdos preenchem os espaços entre as partículas dos agregados graúdos.



Fonte: Shackelford, 2008, p. 322.

O cimento mais comumente utilizado é o *portland*. Este apresenta a função de ligar os constituintes dos agregados, formando um sólido rígido. As partículas do cimento são pequenas até mesmo se comparadas aos agregados finos. A adição de água promove as reações de hidratação do material, com

consequente endurecimento do cimento, produzindo as ligações químicas entre a matriz e as partículas agregadas (SHACKELFORD, 2008).

Dessa forma, para que o concreto apresente as propriedades e resistência ótima, a junção de seus materiais constituintes deve ser feita de forma a garantir a completa mistura nas proporções ideais entre eles (CALLISTER, RETHWISCH, 2015).

### **3 CONCLUSÃO**

Diante da crescente demanda das técnicas e processamentos da sociedade, estima-se a extração de aproximadamente 15 bilhões de toneladas de matérias-primas por ano no mundo. Assim, a utilização de resíduos gerados na extração de recursos ou durante processos industriais, se faz interessante do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Uma das possíveis destinações para esses resíduos é a sua aplicação como matérias-primas de novos materiais. Neste artigo, foi abordada a possibilidade de inserção dos resíduos lodo de estação de tratamento de água e cinza do bagaço da cana, em matriz cerâmica, para a produção de materiais.

O Brasil apresenta a maior produção de cana-de-açúcar no mundo, com cerca de 657 milhões de toneladas produzidas na safra de 2016/2017. Dessa forma, presume-se uma geração de cerca de 3,9 milhões de toneladas de cinza do bagaço da cana, apenas nesta safra destacada. Diante deste elevado número, e dos altos índices de sílica presentes no resíduo, a CBC se torna um possível reforço para os compósitos cerâmicos desenvolvidos, comportamento este que deve ser estudado nos próximos trabalhos.

Os materiais compósitos são formados pela mistura de dois ou mais materiais. O concreto é um exemplo evidente da aplicabilidade destes materiais no mercado, estando presente rotineiramente na construção civil, em diversos elementos estruturais.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2015. 648 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balço nacional de cana-de-açúcar e agroenergia**/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia – Brasília: MAPA/SPA, 2007. 139 p.

CALLISTER, W. D. J.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 817 p.

CENTRO UNIVERSITÁRIO “ANTONIO EUFRÁSIO DE TOLEDO”. **Normalização de apresentação de monografias e trabalhos de conclusão de curso**. 2015 – Presidente Prudente, 2015, 121p.

CHAVES, F. P.; BARGA, L.; TEIXEIRA, S. R.; REIS, E. A. P.; Estudo das propriedades físicas de compósitos obtidos por meio da mistura de argila sedimentar com lodo de eta para fins de aplicação na construção civil. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 61., 2017, Gramado. **Anais...** Gramado, 2017, 2 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas de cana-de-açúcar no Brasil**. s/d. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>. Acesso em: 18 de ago. 2017.

DONDI, M.; MARSIGLI, M.; FABBRI, B. Recycling of Industrial and Urban Wastes in Brick Production – A Review. **Tile Brick Int**, v. 13, n. 3, p. 218-309, 1997.

FERNANDES, S. E.; TASHIMA, M. M.; MORAES, J. C. B. de; ISTUQUE, D. B.; FIORITI, C. F.; MELGES, J. L. P.; AKASAKI, J. L. Cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como adição mineral em concretos para verificação de sua durabilidade. **Revista Matéria**, v. 20, n 4, p. 909-923, 2015.

FERREIRA, J. M. F.; TORRES, P. M. C.; SILVA, M. S.; LABRINCHA, J. A. **Recycling of sludges generated from natural stones cutting processes in ceramic formulations**. 2001. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/239596187\\_Recycling\\_of\\_granite\\_sludge\\_in\\_n\\_brick-type\\_and\\_floor\\_tile-type\\_ceramic\\_formulations](https://www.researchgate.net/publication/239596187_Recycling_of_granite_sludge_in_n_brick-type_and_floor_tile-type_ceramic_formulations). Acesso em: 14 de ago. 2017.

FIESP/CIESP. Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo. **Ampliação da oferta de energia através da biomassa**. Setembro de 2001.

FRÍAS, M.; VILLAR, E.; SAVASTANO, H. Brazilian sugar cane bagasse ashes from the cogeneration industry as active pozzolans for cement manufacture. **Cement & Concrete Composites**, v. 33, p. 490-496, 2011.

GARCIA, M. C. S. **Modificação do resíduo de bauxita gerado no processo Bayer por tratamento térmico**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. USP – Campus de São Paulo, 2012.

ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, SP: IBRACON, 2011, v.1. 1946 p.

MACEDO, P. C. **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço da cana-de-açúcar**. 2009. 116 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista UNESP – Campus de Ilha Solteira, 2009.

MORINI, A. A.; OLIVEIRA, K. A. de.; PEREIRA, F. R.; HOTZA, D. Avaliação da Potencialidade do Uso de Resíduos Industriais Através da Ferramenta de Seleção de Materiais para Projeto de Produtos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 21, n. 2, p. 36-44, 2016.

PINHEIRO, B. C. A.; ESTEVÃO, G. M.; SOUZA, D.P. Lodo proveniente da estação de tratamento de água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha Parte I: caracterização do lodo. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 204-211, 2014.

PRADO, U. S. do; SILVA, L. L.; MARTINELLI, J. R.; BRESSIANI, J. C. Obtenção de Fritas Utilizando Resíduos Industriais: Uso de Resíduo Perigoso da Indústria do Alumínio – “SPL”. **Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 6, p. 33-37, 2008.

REIS, E. L. T. dos; COTRIM, M. E. B.; RODRIGUES, C.; PIRES, M. A. F.; BELTRAME, O. F.; ROCHA, S. M.; CUTOLO, S. A. Identificação da influência do descarte de lodo de estações de tratamento de água. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 865-872, 2007.

SHACKELFORD, J. F. **Introdução à ciência dos materiais para engenheiros**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 556 p.

TEIXEIRA, S. R.; SOUZA, S. A.; SOUZA, N. R.; ALÉSSIO, P.; SANTOS G. T. A. Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural. **Cerâmica**, São Paulo, v. 52, n. 323, p. 215-220, 2006.

VITORINO, J. P. D.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Caracterização e incorporação de resíduos provenientes de Estação de Tratamento de Água em cerâmica argilosa. **Cerâmica**, São Paulo, v. 55, p. 385-392, 2009.