http://journal.unoeste.br/index.php/ce/index
DOI: 10.5747/ce.2021.v13.n1.e348
ISSN on-line 2178-8332

Colloquium Exactarum

Submetido: 18/02/2021 Revisado: 15/04/2021 Aceito: 22/04/2021

SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DE BIOCARVÃO PRODUZIDO A PARTIR DE RESÍDUO RUMINAL BOVINO DE FRIGORÍFICO PARA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO EM CONCRETO

Synthesis, Description and Evaluation of Biochar Produced By Bovine Ruminal Residue From Slaughterhouse For Partial Replacement Of Concrete Cement

Alexandre Teixeira de Souza, Maria Luiza Garcia Lopes Molina, Thaise Monique Iurrino

Centro Universitário de Adamantina – Unifai, Adamantina, SP.
E-mail: maluglmolina99@gmail.com, thaisemiurrino@gmail.com

RESUMO – Atualmente, a indústria do cimento enfrenta vários desafios, tais como: esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, escassez de matérias-primas, crescente demanda por materiais de construção, bem como as crescentes preocupações ambientais, como poluição do ar e mudanças climáticas. A produção de cimento está diretamente relacionada com a emissão de CO_2, um dos principais gases causadores do efeito estufa. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi demonstrar o potencial do biocarvão como aditivo para substituição de cimento em concreto, melhorando a hidratação devido aos seus efeitos internos de cura e nucleação. O biocarvão foi preparado por pirólise de resíduo ruminal bovino e utilizado para substituir o cimento a 1 e 2%, em condições pré-embebidas. Realizou-se também análises imediatas para obtenção de informações sobre a composição do biocarvão produzido. Observou-se nos ensaios de resistência à compressão um aumento considerável da resistência do concreto com substituição parcial de biocarvão. Durante a pirólise, o carbono da matéria-prima de biomassa é sequestrado na estrutura química do biocarvão produzido, que seria liberado na atmosfera através de decomposição ou degradação da biomassa. Utilizar materiais produzidos a partir de resíduos para substituir parcialmente o cimento é uma estratégia econômica e sustentável para alcançar misturas de concreto verdes.
Palavras-chave: Biocarvão. Pirólise. Concreto verde. Resíduo ruminal bovino. Sustentabilidade.

ABSTRACT – Nowadays, the cement industry faces several challenges, such as: fossil fuels reservation exhaustion, raw material scarcity, growing demand for building materials, as well as crescent environmental concerns, like air pollution and climate changes. The cement production is directly related to CO_2 emission, one of the main greenhouse gases. Therefore, this search's objective is to demonstrate the biochar as a potential additive to replace cement in concrete, improving hydration due to its internal healing and nucleation effects. The biochar was prepared by bovine ruminal residue pyrolysis for 1 and 2% replacement of concrete cement. Immediate analyzes were also carried out to get information about biochar's composition. It was

observed in the compressive strength tests, a considerable increase in concrete strength with biochar's partial replacement. During pyrolysis, the carbon from biomass raw material is sequestered in the chemical structure of the biochar produced that would be released into the atmosphere through decomposition or degradation of biomass. Using material produced by waste to partially substitute cement is an economic and sustainable strategy to achieve green concrete mixtures.
Keywords: Biochar. Pyrolysis. Green Concrete. Bovine Ruminal Residue. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Durante a Primeira Revolução Industrial, que ocorreu na Inglaterra no século XVIII, houve um grande avanço tecnológico. A incorporação da máquina no processo produtivo, o aumento da urbanização e da população foram fatores importantes para o progresso da poluição e, consequentemente, das mudanças climáticas. Devido ao crescimento populacional e ao derivado aumento do consumo, as indústrias foram progredindo cada vez mais em número e em diversidade de produtos (LEAL *et al.*, 2008). Os países de primeiro mundo iniciaram um processo de conscientização sobre o controle da industrialização após notarem a degradação da maior parte de seus recursos naturais. Já no Brasil, houve uma rápida industrialização e urbanização no período pós-guerra e, dessa maneira, diversas regras de preservação ambiental foram menosprezadas (LEAL *et al.*, 2008).

Estas mudanças climáticas têm sido pautas decorrentes desde as conferências de RIO-92 e Kyoto, em 1997, e revelaram a importante necessidade de redução da emissão de dióxido de carbono (CO_2). A produção de cimento está diretamente relacionada com a emissão de CO_2, visto que a fórmula do produto tem como base o clínquer, uma mistura altamente poluente (PALES *et al.*, 2019).

De 2014 a 2017, a intensidade direta de CO_2 da produção de cimento aumentou 0,3% ao ano. Para acompanhar o Cenário de Desenvolvimento Sustentável, é necessário um declínio anual de 0,7% até 2030. Como opções de contenção da emissão do dióxido de carbono, há a possibilidade de reduzir a proporção de clínquer/cimento, implementar tecnologias inovadoras e fazer a utilização de combustíveis alternativos (PALES *et al.*, 2019).

Atualmente, a indústria do cimento enfrenta vários desafios, tais como: esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, escassez de matérias-primas, crescente demanda por materiais de construção, tais quais as crescentes preocupações ambientais, como poluição do ar e mudanças climáticas (IMBABI, 2012). Estima-se que a mesma seja responsável por cerca de 1,8 Gt das emissões totais de CO_2 do mundo e aproximadamente 5–7% de todo o CO_2 antropogênico gerado (GAO *et al.* , 2015).

Este grande nível de produção representa um grande impacto ambiental e alternativas mais ecológicas podem ser encontradas. Um método comumente utilizado para reduzir os impactos ambientais de produtos à base de cimento é a incorporação de materiais reciclados e resíduos industriais em misturas de concreto, como cinzas volantes e escórias de alto forno (LI, 2011). Outra possibilidade é utilizar o biocarvão como aditivo para concreto, devido à sua capacidade de sequestrar CO_2 atmosférico (GUPTA; KUA, 2017).

O biocarvão é um dos subprodutos da pirólise, que é a decomposição térmica de matéria orgânica na presença de pouco ou nenhum oxigênio, normalmente entre 400 e 600°C (BRIDGWATER, 2003). É um material a base de carbono relativamente poroso, incorporando a maior parte do conteúdo mineral da matéria-prima original (LEHMANN; JOSEPH, 2009). Enquanto o biocarvão pode ter uma ampla variedade de propriedades, é tipicamente caracterizado por altos níveis fixos de carbono, altas áreas de superfície específicas e volumes de poros, e boa capacidade adsortiva (KLOSS *et al.,* 2011).

Também possui várias propriedades importantes que foram identificadas para

melhorar várias características de desempenho do concreto ao qual foi adicionado. A baixa densidade aparente do biocarvão, a baixa condutividade térmica e a natureza porosa do material são diferentes vantagens para os materiais de construção (GUPTA KUA, 2017).

A baixa densidade permite um concreto produzido mais leve, pois pode ser usado para deslocar a maior fração de volume absorvida por materiais mais densos, como o cimento e agregados. A baixa condutividade térmica do biocarvão, juntamente com os poros presentes no material, servem para aumentar o seu isolamento térmico, quebrando as pontes térmicas, semelhante ao que fazem os poros de materiais isolantes comuns (BERARDI; NALDI, 2017; ZHAO et al., 2014).

Concreto verde é definido como um concreto que utiliza resíduos, tais como subprodutos industriais, incluindo cinzas de fundo (MINANE, 2017), escórias (BISKRI *et al.,* 2017) e cinzas volantes (WANG *et al*., 2017; YU *et al*., 2017). Numerosos estudos enfatizaram a possibilidade de usar resíduos agrícolas, semelhante à casca de arroz no concreto como cimento parcial e substituição agregada (MO et al., 2016).

O presente trabalho tem como objetivo a otimização do concreto através da substituição parcial do cimento Portland por biocarvão produzido a partir de resíduo ruminal bovino. O biocarvão possui na sua composição substâncias químicas presentes no cimento, indicando a possibilidade de empregar esse resíduo como seu substituto, agregando valor ao resíduo industrial e proporcionando vantagens técnicas e ambientais em seu uso.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O biocarvão foi produzido a partir do resíduo frigorífico de rúmen bovino por meio de pirólise lenta em reator de laboratório do tipo leito fixo nas temperaturas de 400, 500 e 600°C. As análises imediatas foram realizadas conforme a Norma 8112 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 1986). Por meio desta análise, foram determinados os teores de umidade, materiais voláteis, de cinzas e, por diferença, o teor de carbono fixo do material. Após a produção do biocarvão, executou-se os corpos de prova (CP), que, posteriormente, foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão, realizado em uma prensa analógica de acordo com as especificações da ABNT NBR 5739.

2.1. Preparação do Biocarvão

Produziu-se o biocarvão a partir de resíduo ruminal bovino gerado no tratamento primário de um frigorífico, por meio de pirólise lenta em reator de laboratório do tipo leito fixo. O reator de formato cilíndrico, fabricado com aço inoxidável, apresenta um volume útil de 2,4 L e opera em regime de batelada. Uma vez inserido o material dentro do reator, o mesmo é fechado hermeticamente e posicionado no interior de uma mufla com controle de temperatura. Assim, para cada batelada de produção do biocarvão, cerca de 250g do resíduo ruminal foi submetido à temperatura inicial de 50ºC, passando para uma taxa de aquecimento de 15°C min^{-1} até atingir a temperatura pré-definida de pirólise onde permaneceu por 30 minutos na temperatura final. Foram utilizadas as temperaturas finais de 400°C, 500°C e 600°C para obtenção de biocarvões de diferentes características para análise.

2.2. Análises Imediatas

As análises imediatas foram realizadas conforme a Norma 8112 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1986). Por meio destas análises determinou-se os teores de umidade, materiais voláteis, de cinzas e, por diferença, o teor de carbono fixo do material.

2.2.1. Determinação do Teor de Umidade do Carvão

Para a determinação da umidade, pesou-se um grama das amostras em cadinhos previamente secos e aplicado o método de secagem em estufa regulada a 105°C até a amostra atingir massa constante. Logo após, retirou-se o material da estufa e aguardou-se até que atingisse a temperatura ambiente em um dessecador.

A análise foi feita para todas as repetições e o teor de umidade determinado por meio da Equação 1:

$$U\ (\%) = \left(\frac{m1\ -\ m2}{m}\right) * 100 \quad (1)$$

Onde U refere-se à umidade em %; m1 a massa do cadinho somado a massa da amostra antes da secagem (g); m2 a massa do cadinho

somada a massa da amostra seca em estufa (g); e m é a massa da amostra (g).

2.2.2. Determinação dos Materiais Voláteis

Para a determinação dos materiais voláteis foram usadas as amostras já secas a 105°C, e levadas à mufla aquecida a 950°C, sob os seguintes passos: deixados por dois minutos na parte externa da mufla sobre a porta (≅300°C); deixados por três minutos na entrada da mufla ainda com a porta aberta (≅500°C); deixados por seis minutos no fundo da mufla, com a porta fechada (≅950°C). E então levados ao dessecador por aproximadamente 1 hora para que esfriassem a temperatura ambiente.

Os teores de materiais voláteis foram determinados por meio da Equação 2:

$$MV(\%) = (\frac{m2 - m3}{m}) * 100 \quad (2)$$

Onde, MV refere-se aos teores de materiais voláteis em %; m2 a massa do cadinho somado a massa da amostra seca em estufa (g); m3 a massa do cadinho somado a massa da amostra após mufla (g); e m a massa da amostra (g).

2.2.3. Determinação do Teor de Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas, foi aproveitado o material resultado da análise anterior que, então, levado novamente a mufla à temperatura de 750° C por 6 horas. Terminada a incineração, foi levado as amostras para o dessecador por aproximadamente 1 hora a fim de que atingissem a temperatura ambiente.

Realizou-se a análise para todas as repetições e o teor de cinzas determinado por meio da Equação 3:

$$Z(\%) = (\frac{m4 - m0}{m}) * 100 \quad (3)$$

Onde, Z refere-se ao teor de cinzas em %; m4 a massa do cadinho somado a massa das cinzas (g); m0 a massa do cadinho sem a amostra (g); e m a massa da amostra (g).

2.2.4. Determinação do Teor de Carbono Fixo

A determinação do teor de carbono fixo é uma medida indireta, obtida através do cálculo da Equação 4 utilizando os parâmetros previamente determinados.

$$CF(\%) = 100 - (MV + Z)\% \quad (4)$$

Onde, CF refere-se ao teor de carbono fixo em %; MV a porcentagem de materiais voláteis; e Z a porcentagem de cinzas.

2.3. Ensaios de Resistência à Compressão

Inicialmente preparou-se o concreto de referência sem a adição de biocarvão. Posteriormente o biocarvão foi adicionado (1 e 2% em peso) à mistura, substituindo parcialmente o cimento. Os CP foram moldados conforme as diretrizes estabelecidas na norma (ABNT NBR 5738, 2015).

O concreto simples é um material composto basicamente por cimento, água, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra brita) e ar. A NBR 6118 (2014) define elementos de concreto simples como "elementos estruturais elaborados com concreto que não possuem qualquer tipo de armadura, ou que a possuem em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado."

Para a realização dos experimentos foi selecionada uma dosagem para obtenção de um concreto de traço 1:2:3 e água/cimento (a/c) de 0,61, com resistência característica igual a 25 MPa aos 28 dias de idade, sendo considerado, conforme a ABNT NBR 8953 (2015), um concreto de classe de resistência do grupo 1, classificado como C25, que pode ser misturado no próprio canteiro de obras ou dosado em central.

O estudo visa analisar o comportamento do concreto para uso não estrutural, descartando alguns métodos de ensaios usualmente empregados para análise de concretos aplicados estruturalmente.

Todas as séries deste estudo foram ensaiadas aos 7 e 28 dias de idade, sendo submetidos 3 corpos de prova (CP1, CP2 e CP3) de cada tratamento ao teste de resistência à compressão em uma prensa universal para ensaios.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram obtidos a partir das análises imediatas de determinação do teor de umidade do carvão, materiais voláteis, teor de cinzas, de carbono fixo e os ensaios de resistência à compressão.

De forma a obter-se o teor de umidade do carvão, o material foi retirado do dessecador e realizou-se a pesagem em balança analítica, aplicou-se os resultados na Equação 1, como mostrado na Tabela 1:

Tabela 1. Teor de umidade do carvão.

	400°C	500°C	600°C
m1 (g)	34,43	31,49	31,28
m2 (g)	34,41	31,47	31,27
m (g)	1,0	1,0	1,0
U	2%	2%	1%

Fonte: Os autores.

As amostras secas anteriormente foram levadas à mufla seguindo os passos determinados na metodologia. Logo após resfriadas e pesadas, aplicou-se os resultados na Equação 2, como apontado na Tabela 2:

Tabela 2. Porcentagem de materiais voláteis.

	400°C	500°C	600°C
m2 (g)	34,41	31,47	31,27
m3 (g)	34,03	31,16	31,13
m (g)	1,0	1,0	1,0
MV	38%	31%	14%

Fonte: Os Autores.

Com base na Equação 3 e definida a porcentagem de materiais voláteis, utilizou-se o carvão para obter-se o teor de cinzas presente no mesmo, como mostrado na Tabela 3:

Tabela 3. Teor de cinzas do carvão.

	400°C	500°C	600°C
m4 (g)	33,55	30,64	30,45
m0 (g)	33,43	30,49	30,28
m (g)	1,0	1,0	1,0
z	12%	15%	17%

Fonte: Os autores.

A Tabela 4 demonstra os resultados que foram aplicados na Equação 4, determinando o teor de carbono fixo:

Tabela 4. Teor de carbono fixo.

	400°C	500°C	600°C
CF	50%	54%	69%

Fonte: Os autores.

Para que a pirólise fosse, de fato, efetivada, foi projetado um reator de aço-inox com medidas e design exato, de forma que se adaptasse ao modelo da mufla utilizada. O mesmo possui formato cilíndrico e tampa rosqueável que possibilita a saída do bio-óleo através de um pequeno tubo de respiro feito de mesmo material.

Em cada batelada de produção, 250g de resíduo ruminal bovino foi submetido às temperaturas de 400, 500 e 600°C, resultando em cerca de 96g, 77g e 74g de biocarvão, respectivamente.

Após a produção do biocarvão, executou-se os corpos de prova, que, posteriormente, foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão realizado em uma prensa analógica de acordo com as especificações da ABNT NBR 5739.

Os corpos de prova com idade de 7 dias e adição de 1% de biocarvão, proveniente da pirólise de resíduo ruminal bovino, obtiveram os resultados demonstrados na Tabela 5:

Tabela 5. Resistência à compressão dos corpos de prova com 1% de adição de biocarvão aos 7 dias.

Temperatura Biocarvão	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CP3 (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão
400°C - 1%	20,37	18,33	18,08	18,93	1,03
500°C - 1%	22,92	20,12	18,84	20,63	1,70
600°C - 1%	14,51	18,08	16,81	16,47	1,48

Fonte: Os autores.

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados dos ensaios de compressão realizados nos corpos de prova aos 7 dias, porém com 2% de adição de biocarvão:

Tabela 6. Resistência à compressão dos corpos de prova com 2% de adição de biocarvão aos 7 dias.

Temperatura Biocarvão	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CP3 (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão
400°C - 2%	21,64	19,10	21,14	20,63	1,10
500°C - 2%	20,37	20,63	18,33	19,77	1,03
600°C - 2%	20,37	20,12	19,10	19,86	0,55

Fonte: Os autores.

Dessa mesma forma, os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos corpos de prova aos 28 dias e com 1% de adição de biocarvão podem ser observados na Tabela 7:

Tabela 7. Resistência à compressão dos corpos de prova com 1% de adição de biocarvão aos 28 dias.

Temperatura Biocarvão	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CP3 (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão
400°C - 1%	23,94	25,97	26,74	25,55	1,18
500°C - 1%	26,48	22,92	28,01	25,80	2,13
600°C - 1%	19,86	20,37	22,92	21,05	1,34

Fonte: Os autores.

Na Tabela 8, os indicativos dos resultados nos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova com 2% de adição de biocarvão aos 28 dias:

Tabela 8. Resistência à compressão dos corpos de prova com 2% de adição de biocarvão aos 28 dias.

Temperatura Biocarvão	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CP3 (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão
400°C - 2%	26,74	23,43	26,74	25,64	1,56
500°C - 2%	24,19	24,44	24,70	24,44	0,21
600°C - 2%	24,19	24,95	25,21	24,78	0,43

Fonte: Os autores.

De forma a possibilitar a comparação dos resultados, foram realizados ensaios de compressão em corpos de prova executados com concreto de mesmo traço, mas sem nenhuma adição de biocarvão, obtendo-se os resultados apontados na Tabela 9:

Tabela 9. Resistência à compressão dos corpos de prova sem adição de biocarvão aos 7 dias e 28 dias.

Idade (dias)	CP1 (dias)	CP2 (MPa)	CP3 (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão
7	14,00	15,28	17,80	15,69	1,58
28	19,09	19,09	20,37	19,37	0,59

Fonte: Os autores.

Levando em consideração os dados demonstrados nas tabelas, é possível observar um aumento significativo da capacidade resistente do concreto com substituição parcial do cimento por biocarvão em relação ao concreto de referência.

Em suma, a substituição parcial do cimento por biocarvão produzido a partir da pirólise de resíduo ruminal bovino se torna uma alternativa viável, visto que, além de contribuir consideravelmente para o aumento da resistência do concreto, colabora para a redução do impacto ambiental causado pela grande quantidade do resíduo eliminado pelos frigoríficos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, conclui-se que os corpos de prova executados com a substituição parcial do cimento por biocarvão proveniente da pirólise a 400 e 500°C apresentaram um aumento de resistência de, em média, 30%, enquanto o produzido através da pirólise a 600°C apresentaram um aumento de resistência de 18%.

Durante a pirólise, o carbono da matéria-prima de biomassa é sequestrado na estrutura química do biocarvão produzido, que seria liberado na atmosfera através de decomposição ou degradação da biomassa. Utilizar materiais produzidos a partir de resíduos para substituir parcialmente o cimento é uma estratégia econômica e sustentável para alcançar misturas de concreto verdes.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Carvão vegetal** - Análise imediata - Método de ensaio: NBR 8112. Rio de Janeiro: ABNT,, 1983, p. 6.

ABNT -, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto fresco** - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico: NBR 9833. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto** - Procedimento: NBR 6118. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ABNT -, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**Concreto** – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: NBR 5738. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Concreto para fins estruturais** - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência: NBR 8953. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

ABNT -, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Concreto -** Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: NBR 5739. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BERARDI, U.; NALDI, M. The impact of the temperature dependent thermal conductivity of insulating materials on the effective building envelope performance, **Energy Build,** 2017, p. 262–275. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.052

BERNARDES, J. Pesquisadores da Poli desenvolvem nova técnica que diminui emissão de CO2 na produção de cimento. **Tecnologia, USP Online**, São Paulo, 17 abr. 2013. Disponível em: https://www5.usp.br/noticias/tecnologia-2/pesquisadores-da-poli-desenvolvem-nova-tecnica-que-diminui-emissao-de-co2-na-producao-de-cimento/. Acesso em: 15 set. 2020.

BISKRI, Y.; ACHOURA, D.; CHELGHOUM, N.; MOURET, M. Mechanical and durability characteristics of High Performance Concrete containing steel slag and crystalized slag as aggregates. **Constr. Build. Mater**, v. 150, n. 30, p. 167–178, 2017. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.083

BRANDÃO, F.L. **Estudo Computacional da Pirólise de Bagaço de Cana-de-Açúcar e Madeira em Reator de Leito Fluidizado**, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: http://w2.files.scire.net.br/atrio/ufrj-pem_upl/THESIS/1780/pemufrj2015mscfilipeleitebrandao_20160125153156834.pdf. Acesso em: 15 set. 2020.

BRIDGWATER, A.V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass, **Chem. Eng**, 2003, p. 87–102. https://doi.org/10.1016/S1385-8947(02)00142-0

BUNDER, J. **O Concreto:** Sua Origem, Sua História. São Paulo, 2016. Disponível em: Acesso em: 15 set. 2020.

FLEIG, O. P. **Estudo da Torrefação Contínua de Casca de Arroz Como Pré-tratamento Para Pirólise Rápida**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/212834. Acesso em: 15 set. 2020.

GAO, T. L.; SHEN, M.; SHEN, F.; CHEN, L.; LIU, L. GAO. Analysis on differences of carbon dioxide emission from cement production and their major determinants, **J. Cleaner Prod**, 2015, p. 160–170. ;. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.026

GUPTA, S.;KUA, H. W.. Factors determining the potential of biochar as a carbon capturing and sequestering construction material: critical review, **J. Mater. Civ. Eng**, v. 29, 2017. ; https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001924

IMBABI, M.S.; CARRIGAN, C.; McKENNA, S.Trends and developments in green cement and concrete technology, **Int. J. Sustainable Built Environ**, v. 1, n. 2, p. 194–216. 2012. https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2013.05.001

KLOSS, S. *et al.* Characterization of slow pyrolysis biochars: effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties, **J. Environ. Qual,** v.41, n. 4, p. 990–1000. 2012. https://doi.org/10.2134/jeq2011.0070

LEAL, G. C. S. G.; DE FARIAS, M. S. S.; ARAÚJO, A. F. O Processo de Industrialização e Seus Impactos no Meio Ambiente Urbano. **Qualitas Revista Eletrônica**, Campina Grande, v.7, n.1. Ano 2008. Disponível em: http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/view/128/101. Acesso em: 12 maio 2020.

LEHMANN, J., JOSEPH, S. Biochar for environmental Management: an introduction, *In*: J. LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (eds.), **Biochar for Environmental Management:Science and Technology**, v. 1, Sterling, Earthscan, 2009, p. 1–12. Disponível em: https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/Biochar_book_Chapter_1.pdf. Acesso em: 12 maio 2020.

LI, Z. Introduction to concrete. **Advanced Concrete Technology**, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2011, p. 1–22. https://doi.org/10.1002/9780470950067.ch1

MAURY, M. B.; BLUMENSCHEIN, R. N. Produção de Cimento: Impactos à Saúde e ao Meio Ambiente. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, jan./jun., 2012. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/12110/1/ARTIGO_ProducaoCimentoImpacto.pdf. Acesso em: 15 set. 2020.

MINANE, J. R.; BECQUART, F. ;ABRIAK, N. E.; DEBOFFE, C. Upgraded mineral sand fraction from MSWI bottom ash: an alternative solution for the substitution of natural aggregates in concrete applications, **Procedia Eng**, p. 1213– 1220, 2017. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.282

MO, K.H.; ALENGARAM, U.J.;, JUMAAT, M.Z.;YAP, S.P.LEE, S.C. Green concrete partially comprised of farming waste residues: a review, **J. Cleaner Prod**, 2016, p. 122–138. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.022

PALES, A. F.; LEVI, P.; VASS, T. International Energy Agency, Tracking Industry, **IEA Paris**, 2019. Disponível em: https://www.iea.org/reports/cement. Acesso em: 18 maio 2020.

SANTOS, N. A. V. **Pirólise rápida de coprodutos do processo produtivo do biodiesel:** efeito das condições de pirólise e caracterização dos produtos. 2013. 162p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/737/1/DISSERTACAO_Pir%C3%B3lise%20r%C3%A1pida%20de%20coprodutos%20do%20processo.... pdf. Acesso em: 15 set. 2020.

WANG, D.; ZHOU, X.; MENG, Y.; CHEN, Z. Durability of concrete containing fly ash and silica fume against combined freezing-thawing and sulfate attack. **Constr. Build. Mater**, v. 147, p. 398–406, 2017. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.172

YU, J.; LU, C.; LEUNG, C.K.Y.; LI. G. Mechanical properties of green structural concrete with ultrahigh-volume fly ash. **Construction and Building Materials**, Oxford, v. 147, p. 510-518, 2017. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.188

ZHAO, C.; WANG, P.; WANG, L.; LIU, D.. Reducing railway noise with porous soundabsorbing concrete slabs. **Hindawi Publishing Corporation**, Londres, 30 nov. 2014. http://dx.doi.org/10.1155/2014/206549