



# As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 2

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a  
Economia e o Meio Ambiente 2

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Natália Sandrini  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.ª Dr.ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente 2 [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 2)  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-430-6 DOI 10.22533/at.ed.306192506  1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série.  CDD 658.5
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ESTUDOS DA ÁGUA E SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO UBERABINHA EM UBERLÂNDIA - MG	
Maria da Graça Vasconcelos	
Luiz Alfredo Pavanin	
Erich Vettore Pavanin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
BATIMETRIA E MEDIÇÃO DE VAZÃO NA BACIA DO RIO JI-PARANÁ - RO	
Renato Billia de Miranda	
Camila Bermond Ruezzeno	
Bruno Bernardo dos Santos	
Frederico Fabio Mauad	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA ENSAIO DE PROVA DE CARGA EM SOLO BASÁLTICO	
Daniel Russi	
Sandra Garcia Gabas	
Giancarlo Lastoria	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
UTILIZAÇÃO DO MÉTODO PAPEL FILTRO E CENTRÍFUGA PARA DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E CORRELAÇÕES COM PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	
Ana Carolina Dias Baêso	
Eduardo Souza Cândido	
Roberto Francisco de Azevedo	
Gustavo Armando dos Santos	
Tulyo Diniz Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DE UM SOLO TROPICAL DA BAIXADA FLUMINENSE NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
Fernando Benedicto Mainier	
Claudio Fernando Mahler	
Viktor Labuto Ramos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925065</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
ELABORAÇÃO DE UMA CARTA DE UNIDADES DE TERRENO DO MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM – ES	
Bruna Xavier Faitanin	
Éder Carlos Moreira	
Altair Carrasco de Souza	
Vitor Roberto Schettino	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925066</b>	

<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>69</b>
ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO SILTE ARENOSO DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA COM CAL PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO	
Wagner Teixeira Eclesielter Batista Moreira João Luiz Rissardi Vanessa Corrêa de Andrade Ronaldo Luis dos Santos Izzo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925067</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>80</b>
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA NA RESISTÊNCIA DE SOLOS SEDIMENTARES	
Jair de Jesús Arrieta Baldovino Eclesielter Batista Moreira Ronaldo Luis Dos Santos Izzo Juliana Lundgren Rose Erico Rafael Da Silva Wagner Teixeira Felipe Perretto Roberto Pan	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925068</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>95</b>
PERFILAGEM DO SUBSOLO NO MUNICÍPIO DE APUCARANA-PR COM BASE EM DADOS DE SONDAgens DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT	
Mariana Alher Fernandes Augusto Montor de Freitas Luiz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925069</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>104</b>
UTILIZAÇÃO DO PERMEÂMETRO DE TUBO NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE CAMADAS SUPERFICIAIS DE SOLOS	
Marcos Túlio Fernandes Glaucimar Lima Dutra	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250610</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>116</b>
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICOS	
Alessandra Lidia Mazon Maytê Pietrobelli de Souza Bianca Penteado de Almeida Tonus André Fanaya	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250611</b>	

**CAPÍTULO 12 ..... 133**

AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO DE CARACTERÍSTICA NÃO LATERÍTICA SOB O ENFOQUE GEOTÉCNICO NAS MARGENS DA TO-222 NO MUNICÍPIO DE ARAGUAÍNA - TO

Glacielle Fernandes Medeiros  
Renata de Moraes Farias  
Palloma Borges Soares  
Ana Sofia Oliveira Japiassu  
Andressa Fiuza de Souza  
Igor Guimarães Matias

**DOI 10.22533/at.ed.30619250612**

**CAPÍTULO 13 ..... 144**

ADAPTAÇÃO DE METODOLOGIA DE HIERARQUIZAÇÃO DE NÍVEIS DE ATENÇÃO UTILIZADA EM MINERAÇÃO PARA TRABALHOS DE MAPEAMENTO DE RISCOS GEOTÉCNICOS EM ÁREA URBANA

Marcelo Corrêa da Silva  
Daiara Luiza Guimarães

**DOI 10.22533/at.ed.30619250613**

**CAPÍTULO 14 ..... 157**

PRODUÇÃO DE CONCENTRADO ÚMIDO FOSFATADO: UMA EXPERIÊNCIA DE ESTÁGIO NA MINERAÇÃO

Matheus Henrique Borges Coutinho  
Ricardo Antonio de Rezende  
Cibele Tunussi  
Marcos Vinicius Agapito Mendes

**DOI 10.22533/at.ed.30619250614**

**CAPÍTULO 15 ..... 163**

ESTUDO DOS DESPERDÍCIOS DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUGESTÕES PARA A MINIMIZAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DOS MESMOS, VISANDO A OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DAS OBRAS E MENORES IMPACTOS AMBIENTAIS

Beatriz Zeurgo Fernandes  
Rafael Bergjohann  
Luiz Carlos de Campos

**DOI 10.22533/at.ed.30619250615**

**CAPÍTULO 16 ..... 176**

USO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND

Kenyson Diony Souza Silva  
Raduan Krause Lopes  
Fabiano Medeiros Da Costa

**DOI 10.22533/at.ed.30619250616**

**CAPÍTULO 17 ..... 192**

ESTUDOS PRELIMINARES DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE MINÉRIO DE COBRE SULFETADO NA ELABORAÇÃO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO

Julia Alves Rodrigues  
Dilson Nazareno Pereira Cardoso  
Abel Jorge Rodrigues Ferreira  
Edinaldo José de Sousa Cunha  
Bruno Marques Viegas  
Edilson Marques Magalhães  
José Antônio da Silva Souza

**DOI 10.22533/at.ed.30619250617**

**CAPÍTULO 18 ..... 200**

AValiação DO COMPORTAMENTO DE COMPOSIÇÕES A BASE DE CIMENTO DE ALUMINATO DE CÁLCIO FRENTE AOS MICRORGANISMOS STAPHYLOCOCCUS AUREUS E ESCHERICHIA COLI

Renata Martins Parrreira  
Talita Luana de Andrade  
Newton Soares da Silva  
Cristina Pacheco Soares  
Victor Carlos Pandolfelli  
Ivone Regina de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.30619250618**

**CAPÍTULO 19 ..... 209**

UMA TÉCNICA, BASEADA EM PROJETO DE EXPERIMENTOS, PARA OTIMIZAÇÃO DA DOSAGEM DE ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA

André Rodrigues Monticeli  
Paulo César Mappa  
Aellington Freire de Araújo  
Emerson Ricky Pinheiro  
Karoline Santos da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.30619250619**

**CAPÍTULO 20 ..... 221**

REDUÇÃO DO CONSUMO DE AÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS AO ESFORÇO CORTANTE ATRAVÉS DA ESCOLHA DO ÂNGULO DAS BIELAS

Lucas Teotônio de Souza  
Paula de Oliveira Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.30619250620**

**CAPÍTULO 21 ..... 232**

ANÁLISE DE CRONOGRAMA FÍSICO x CRONOGRAMA REALIZADO NA OBRA DO FÓRUM DE RIO NEGRO/PR PARA FINS DE DIMINUIÇÃO DOS ATRASOS

Nathalia Loureiro de Almeida Correa

**DOI 10.22533/at.ed.30619250621**

**CAPÍTULO 22 ..... 250**

ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DO CORRETO DIMENSIONAMENTO DOS VERTEDORES EM BARRAGENS E SUAS INFLUÊNCIAS ECOLÓGICAS E SOCIOECONÔMICAS. ESTUDO DE CASO: USINA HIDRELÉTRICA DE XINGÓ

Jéssica Beatriz Dantas  
Djair Félix da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.30619250622**

<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>262</b>
ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTO PERMEÁVEL EM UMA ÁREA DA CIDADE DE JOINVILLE/SC	
Adilon Marques dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250623</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>281</b>
ANÁLISE NUMÉRICA DA SENSIBILIDADE DO ALGORITMO IMPLEX APLICADO EM UM CENÁRIO HIPOTÉTICO DE ESTABILIDADE DE TALUDE VIA TÉCNICA DE DESCONTINUIDADES FORTES	
Nayara Torres Belfort	
Ana Itamara Paz de Araujo	
Kátia Torres Botelho Galindo	
Igor Fernandes Gomes	
Leonardo José do Nascimento Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250624</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>294</b>
DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS POR MEIO DE CÁLCULO MANUAL E COM O AUXÍLIO DE UM SOFTWARE COMPUTACIONAL	
Iva Emanuely Pereira Lima	
Vitor Bruno Santos Pereira	
Vinicius Costa Correia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250625</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>306</b>
DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE PILARES MISTOS PREENCHIDOS DE AÇO E CONCRETO	
Jéssica Salomão Lourenção	
Élcio Cassimiro Alves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250626</b>	
<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>325</b>
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS: MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	
João Augusto Dunck Dalosto	
Luiz Fernando Hencke	
Jhonatan Conceição dos Santos	
Hevrlí da Silva Carneiro Pilatti	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250627</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>336</b>
APLICAÇÃO DO CPR EM SOLOS MOLES NA REGIÃO DO CAMPO DOS PERDIZES: DUPLICAÇÃO DA BR 135, ENTRE O KM 39,36 E O KM 39,90	
Rodrigo Nascimento Barros	
Larysse Lohana Leal Nunes	
Saymo Wendel de Jesus Peixoto Viana	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250628</b>	
<b>CAPÍTULO 29</b> .....	<b>348</b>
ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR INTERNO DE UMA TERAPIA INTENSIVA	
Sylvia Katherine de Medeiros Moura	
Antonio Calmon de Araújo Marinho	
Wagner Amadeus Galvão de Souza	
Angelo Roncalli Oliveira Guerra	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250629</b>	

<b>CAPÍTULO 30</b> .....	<b>357</b>
'ARTENGENHARIA': UMA PONTE TRANSDISCIPLINAR PARA O DESENVOLVIMENTO DO POTENCIAL HUMANO E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A GESTÃO DO CONHECIMENTO	
Ana Alice Trubbianelli	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250630</b>	
<b>CAPÍTULO 31</b> .....	<b>371</b>
PROCEDIMENTO DE ANÁLISE EXPERIMENTAL E NÚMÉRICO DE UMA PONTE EXECUTADA COM PALITOS DE PICOLÉ	
Matheus Henrique Morato de Moraes	
João Eduardo Sousa de Freitas	
Diogo Henrique Morato de Moraes	
Juarez Francisco Freire Junior	
Wellington Andrade da Silva	
Geraldo Magela Gonçalves Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250631</b>	
<b>CAPÍTULO 32</b> .....	<b>383</b>
EXERGIA HÍDRICA EM SISTEMAS REDUTORES DE PRESSÃO	
Conrado Mendes Moraes	
Ângela B. D. Moura	
Eduardo D. P. Schuch	
Eduardo de M. Martins	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250632</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>393</b>

## USO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND

**Kenyson Diony Souza Silva**

Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho -  
Rondônia

**Raduan Krause Lopes**

Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho -  
Rondônia

**Fabiano Medeiros Da Costa**

Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho -  
Rondônia

**RESUMO:** As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) são resíduos gerados em usinas de açúcar que, mesmo não possuindo caráter fertilizante, em grande parte tem como destino final as lavouras. A utilização destas cinzas em compostos cimentícios promove um destino mais nobre a este produto, não sendo o meio ambiente. Este ensaio teórico teve como objetivo avaliar o potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial do cimento Portland em concretos, que depende basicamente de dois fatores: a constituição química da cinza e as possíveis mudanças produzidas no cimento com seu uso. Utilizando fontes bibliográficas para realização da pesquisa, observou-se que as CBC são compostas predominantemente por dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), e que o tempo e a temperatura de queima influenciam na presença e variação de alguns elementos químicos. Através da

análise química da CBC e a verificação do seu uso no cimento, observou-se a possibilidade de substituição em 20%, e nos casos em que não é exigida a mesma resistência, este valor pode ser de até 30%. Diante da larga demanda por cimento no Brasil e a grande produção de CBC nas usinas, tal substituição para produção do concreto pode trazer vantagens econômicas, sociais e ambientais à sociedade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cinzas. Materiais pozolânicos. Produção sustentável.

**ABSTRACT:** The ashes of sugarcane bagasse (CBC) are waste generated in sugar mills, which even not possessing character fertilizer, your final destination, in General, are the crops. The use of such ashes in cementitious compounds promotes a nobler destiny to that product, not the environment. This theoretical test aimed to assess the potential of the ash of the sugarcane bagasse as a partial replacement of Portland cement in concrete, which depends on two factors: your chemical Constitution and possible changes produced in cement with your use. Using bibliographic sources for research achievement, it was observed that the CBC are composed predominantly of silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ ), and the time and your burning temperature influence the presence and variation of some chemical elements. Through chemical analysis of the CBC and the verification of your use in

cement, the possibility of replacing in 20%, or even 30% as long as it's not required the same cement resistance. On the large demand for cement in Brazil and the great CBC production in plants, such replacement for concrete production can bring economic, social and environmental benefits to society. Even if the results are satisfactory, the viability of your use depends on deeper studies on the topic.

**KEYWORDS:**Ashes. Pozzolanic materials. Sustainable production.

## 1 | INTRODUÇÃO

A promoção da sustentabilidade é um dos grandes desafios das atividades econômicas atuais. O rápido crescimento da população gerou um aumento no consumo de recursos naturais, tornando-se necessária a busca por soluções que impliquem um desenvolvimento que concilie a tríade: meio ambiente, economia e sociedade.

Esse crescimento populacional ocasiona também uma maior demanda por habitação, levando países mais desenvolvidos e/ou detentores de poucas matérias-primas a buscarem novas alternativas para o uso dos seus recursos disponíveis, bem como o aproveitamento dos subprodutos gerados em atividades industriais.

A construção civil sempre foi o setor que mais impulsionou o desenvolvimento da sociedade, porém, simultaneamente, é também o mais agressivo ao meio ambiente. É responsável pelo consumo de 40% dos recursos naturais extraídos no globo e 5% da emissão de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera. Isso deve-se, em partes, ao setor não possuir políticas de sustentabilidade para melhor controle de suas atividades (CORDEIRO, 2006).

O cimento, elemento básico da construção civil, é composto predominantemente por clínquer, produto de uma indústria que, além de consumir grande quantidade de energia, é responsável pela emissão de enormes quantidades de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). No seu processo de produção são gerados vários gases que intensificam o efeito estufa, como  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{SO}_2$ , em proporções menores. Malhotra (2002) estima que aproximadamente 7% de todo  $\text{CO}_2$  antrópico produzido no mundo é devido à produção de cimento Portland, o que representa aproximadamente 1,4 bilhão de toneladas por ano.

Para cada tonelada de clínquer produzido, são consumidas 1,7 toneladas de matéria-prima, basicamente composta de calcário e argila, e lançada na atmosfera 870 kg de  $\text{CO}_2$ . Esse gás é gerado pelas indústrias cimenteiras durante a calcinação do calcário e queima de combustíveis fósseis utilizados no processo de fabricação do clínquer. De acordo Nunes *et al.*, (2008), na indústria do concreto, 90% da emissão de carbono ocorre nos fornos que queimam o clínquer. Considerando o constante crescimento do uso de cimento em países desenvolvidos e em subdesenvolvimento há uma tendência de aumento nas taxas de emissão dos gases intensificadores do efeito estufa associados à produção de cimento (MALHOTRA 1999). Dessa forma, o grande desafio das indústrias é produzir cimento de menor impacto ambiental sem deixar

de atender as necessidades do seu consumidor, prezando por um desenvolvimento tecnológico (PÁDUA, 2012).

Com essa visão de produção sustentável, novas pesquisas estão sendo realizadas no âmbito da construção civil para analisar o uso da cinza proveniente do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), como substituto parcial do cimento Portland em concretos e argamassas. Uma inovação promissora para o Brasil, visto que o país ocupa o primeiro lugar na produção de cana-de-açúcar no mundo, gerando conseqüentemente 47 milhões de toneladas de bagaço anualmente. Para cada tonelada de bagaço, são produzidos 25 kg de CBC (PEREIRA *et al.*, 2016 e LIMA *et al.*, 2010). Isso se deve tanto pela produção de energia elétrica a partir da queima do bagaço, quanto pelo uso do etanol como combustível de veículos.

A reciclagem destes materiais apresenta inúmeras vantagens, dentre elas: uma redução no volume de resíduos destinados a aterros sanitários e, conseqüentemente, uma diminuição no risco de contaminação do meio ambiente; redução do volume de extração de matéria-prima necessária à produção de materiais para a construção, preservando, assim, os recursos naturais não renováveis. Além disso, diminui significativamente a liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, gerado em grande quantidade durante a produção do cimento Portland e da cal, tanto pela queima do combustível quanto pela descarbonatação da rocha calcária (PAULA, 2006, p. 2).

Em outras palavras, o autor alista os possíveis benefícios que a efetivação do uso da CBC em grandes escalas pode trazer à sociedade. A substituição parcial de cimento *Portland* por esse sub-produto é benéfica uma vez que a cinza possui altos valores de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) e, conseqüentemente, apresenta propriedade pozolânica. O (SiO<sub>2</sub>) reage com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) presente na constituição do cimento, adquirindo caráter aglomerante.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Cimento *portland*

Cimento *Portland* é a denominação convencional para o material usado na construção civil, comumente conhecido como cimento. Foi descoberto por um construtor inglês, Joseph Aspdin, que o patenteou em 1824. O produto recebeu esse nome devido ser semelhante em cor e dureza à pedra de Portland, uma ilha situada no sul da Inglaterra (ABCP, 2002).

ANBR5732/1991 define o Cimento Portland Comum como: aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados.

O cimento Portland é um material pulverulento, composto de silicatos e aluminatos de cálcio com inúmeras propriedades e características. Quando misturados com água,

hidratam-se e formam uma pasta ligante, permanecendo maleável por cerca de 1,5 hora. Em seguida, endurecem, sendo capazes de desenvolver elevada resistência mecânica ao longo do tempo. É caracterizado também, como um ligante hidráulico, ou seja, significa que além de endurecer ao ar, também endurece dentro de água, tendo ainda capacidade de manter a resistência ao longo do tempo nos dois ambientes.

## 2.2 Produção de cimento *portland*

O processo é fundamentalmente constituído por três partes: extração e preparação da matéria-prima, cozedura e moagem. Assim, o cimento se origina nas minas de calcário, onde ocorre o desmonte da rocha e o minério é extraído e levado para ser industrializado. Na usina, ele passa pela britagem e peneiramento para adquirir granulometria uniforme e, em seguida, é realizada a dosagem nos silos dosadores, que consiste na mistura de calcário, argila e minério de ferro em proporções adequadas. Em seguida, este conjunto de materiais é calcinado até fusão incipiente, a uma temperatura de 1.450°C em um forno rotativo, onde, então, sílica, alumina, ferro e cal reagem no interior do forno, dando origem ao clínquer (POGGIALI, 2010).

Esse material é resfriado rapidamente e moído até tornar-se um pó fino, e então é adicionada uma pequena quantidade de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ) finalmente moído e os aditivos necessários para que o cimento adquira as propriedades desejadas, concluindo, assim, a última etapa da produção do cimento. A adição de sulfato de cálcio, comumente conhecida como gipsita, realizada após a clínquerização (em torno de 4%) tem a função de prolongar o tempo de início da pega do cimento (MACEDO, 2009).

De acordo com Cordeiro (2006), além da gipsita, são adicionados materiais corretivos ao clínquer. Posteriormente, o composto é moído até uma granulometria em média inferior à 75  $\mu\text{m}$  (NEVILLE, 1997). A finalidade dos materiais corretivos, como areia, bauxita e minério de ferro, é suprir o clínquer de elementos não disponíveis nas matérias-primas principais. A homogeneização e moagem das matérias-primas podem ser realizadas por dois processos distintos, são eles: em água (via úmida) e a seco (via seco). Porém, devido ao elevado consumo energético da via úmida para eliminar a água, é pouco utilizada atualmente. Com o término da moagem, o cimento é acondicionado em silos até a expedição final.

O produto final (cimento) é apresentado como o resultado das misturas que acontecem nos silos dosadores das fábricas. O componente principal dessas misturas é o clínquer Portland, de composição química e cristalina, das quais derivam as propriedades aglomerantes e hidráulicas do cimento. Assim, produzindo variados tipos de cimento, cada qual com características específicas de aplicação (ABCP, 2002).

As diferentes proporções e tipos de aditivos inseridos nos cimentos, realizadas nos silos dosadores, são em função do tipo de cimento que se deseja produzir, tendo em vista que existem onze tipos de cimentos no mercado brasileiro. A maneira na qual

o produto final é armazenado nos depósitos para a expedição - granel ou ensacado - está relacionado com o tipo de consumidor.

### 2.3 Tipos de cimento *portland*

Segundo Paula (2006), ao se iniciar uma construção, é necessário fazer a escolha de qual cimento é mais conveniente para uso, pois estão disponíveis no mercado diversos tipos com hidratação, consistência e resistência que diferem entre si. Essa diferença está na composição química, entretanto, todos aderem às exigências das Normas Técnicas Brasileiras. A finalidade do uso e o tipo de construção determinam qual cimento deve ser escolhido. No quadro 01 a seguir, está a classificação dos cimentos com suas respectivas siglas e normas técnicas os controla de acordo Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

NOME	SIGLA	NORMA
Cimento Portland Comum	CP I	NBR 5732
Cimento Portland Comum com Adição	CP I-S	NBR 5732
Cimento Portland Composto com Escória	CP II-E	NBR 11578
Cimento Portland Composto com Pozolana	CP II-Z	NBR 11578
Cimento Portland Composto com Fíler	CP II-F	NBR 11578
Cimento Portland de Alto-Forno	CP III	NBR 5735
Cimento Portland Pozolânico	CP IV	NBR 5736
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	NBR 5733
Cimento Portland Resistente a Sulfatos	RS	NBR 5737
Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação	BC	NBR 13116
Cimento Portland Branco	CPB	NBR 12989

Quadro 01- Classificação do Cimento Portland

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em (PAULA, 2006) e (ABCP, 2016).

Tendo em vista os onze tipos de cimentos apresentados no quadro exposto, a análise de suas características e propriedades para a aplicação na obra é de fundamental importância, pois alguns são deles são específicos para determinados fins, enquanto outros são restringidos a alguns.

### 2.4 Composição do cimento *portland*

O cimento é composto pela mistura do clínquer formado a partir do óxido de cálcio (CaO) extraído da pedra calcária (CaCO<sub>3</sub>) e argila, com as adições incorporadas posteriormente à calcinação. Quantitativamente, o clínquer é o maior elemento, sendo ele o ligante hidráulico responsável pela forma pastosa do cimento. Com adição de água e após secar, se torna duro e resistente (PAULA, 2006).

Segundo Macedo (2009), o calcário é a matéria-prima básica do clínquer, constituído basicamente de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e, dependendo de sua

origem geológica, pode conter várias impurezas como magnésio, silício, alumínio e ferro. Para melhorar a qualidade do clínquer, o calcário recebe algumas correções complementares de argila, material arenoso e minério de ferro.

As adições inseridas no cimento são definidas de acordo a NBR 11172/90 como produtos de origem mineral adicionados aos cimentos, argamassas e concretos, com a finalidade de alterar suas características. As principais adições minerais usadas em argamassas e concretos são: sílica ativa, metacaulim, escória de alto forno e cinza volante.

A sílica ativa é um subproduto industrial do processo de produção das ligas de ferrosilício ou silício metálico em grandes fornos elétricos de fusão, do tipo arco voltaico. O metacaulim é uma adição mineral alumino-silicosa proveniente da calcinação de argilas caulínicas ou de argilas especiais como o caulim de alta pureza (CARMO; PORTELLA; VALDUGA, 2007).

A escória de alto forno é um resíduo da produção de ferro gusa em alto forno. Em siderúrgicas que operam altos fornos a carvão de coque são geradas aproximadamente 300 toneladas de escória por tonelada de ferro gusa. Altos fornos que utilizam como combustível carvão vegetal a geração de escória é inferior a este valor (JOHN, 1995).

Segundo Macedo (2009), a cinza volante, pozolana mais empregada na fabricação do cimento, é um subproduto originado da queima de carvão mineral para a produção de energia elétrica, principalmente das usinas termoelétricas.

Dal Molin (2005) salienta que a eficiência de uma adição mineral pode variar em função da quantidade utilizada, das condições de cura, da composição química, mineralógica e granulométrica. O autor ainda afirma que o uso de adições minerais na construção civil é um importante exemplo de prática sustentável, na qual as adições minerais normalmente utilizadas são resíduos provenientes de outras indústrias, os quais seriam descartados em grandes quantidades em locais impróprios, gerando riscos de contaminação do solo e fontes de água.

As adições minerais podem ser utilizadas tanto no processo de fabricação do cimento, substituindo parte do clínquer, como em argamassas e em concretos. No Brasil, a prática mais aplicada é a primeira citada acima por trazer inúmeras vantagens. Do ponto de vista técnico, as adições minerais podem melhorar a qualidade do concreto. Tecnicamente, elas têm custos e preços menores quando comparadas ao cimento *Portland* ou ao clínquer *Portland* (SILVA, 2007).

Há também as justificativas relacionadas à sustentabilidade da construção civil. A incorporação de adições minerais como escórias e pozolanas pode reduzir o consumo de energia além de diminuir substancialmente a produção de gás carbônico para a produção de cimentos (DAL MOLIN, 2005).

## 2.5 Materiais pozolânicos

O uso de pozolanas em concretos teve início na década de 60 em obras de barragens com a adição de cinza volante. Essa aplicação foi em virtude da redução

no calor de hidratação do cimento e custos das obras. Seu uso intensificou-se nos anos 70 com a microssílica, visando a produção de concretos de alta resistência sem o comprometer a sua trabalhabilidade (BORJA, 2011).

Originalmente, o termo pozolana era empregado aos materiais naturais de origem vulcânica que reagem com a cal em presença de água, à temperatura ambiente. Com o decorrer do tempo, essa definição foi expandida a outros materiais que, embora de origem diversas, exibem comportamento semelhante (CORDEIRO, 2006).

Para Massazza (1998) o termo pozolana tem dois significados distintos. O primeiro indica as rochas piroclásticas, essencialmente vítreas e às vezes zeolizadas, que ocorrem no bairro de Pozzuoli (o antigo Puteoli dos tempos romanos) ou em torno de Roma. O segundo significado inclui todos aqueles materiais inorgânicos (naturais ou artificiais), que se endurecem em água quando misturados com hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$  ou CH) ou com materiais que podem liberar hidróxido de cálcio, como o clínquer de cimento Portland. Nesta última, estão as cinzas do bagaço da cana de açúcar.

Segundo Neville (2016), os materiais pozolânicos são naturais ou artificiais que contém dióxido de silício em forma reativa que, por si só, possui pouca ou nenhuma atividade cimentícia, mas que, quando são finamente moídos e na presença de umidades, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio para formar compostos com propriedades cimentícias.

A norma NBR 11172 (ABNT, 1990) define material pozolânico artificial como produtos provenientes de tratamento térmico de determinadas argilas ou subprodutos industriais com atividades pozolânicas. Consideram-se como pozolanas artificiais as argilas calcinadas, cinzas volantes e outros materiais não tradicionais, tais como: escórias siderúrgicas ácidas, microssílicas, rejeito sílico-aluminoso de craqueamento do petróleo; cinzas silicosas de resíduos de alguns vegetais e de rejeitos de carvão mineral.

A NBR 12653 (ABNT, 1992) classifica os materiais pozolânicos em três grandes grupos. O critério usado para essa classificação fundamenta-se exclusivamente na origem dos materiais e não especifica uma classe particular para pozolanas altamente reativas como a sílica ativa, cinza da casca de arroz e cinza do bagaço de cana-de-açúcar:

- Classe N: pozolanas naturais e artificiais, como certos materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, “cherts” silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas.
- Classe C: cinza volante produzida pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas.
- Classe E: qualquer pozolana cujos requisitos diferem das classes anteriores.

Propriedades	Classe N	Classe C	Classe E
SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % min.	70	70	50
SO <sub>3</sub> % máx.	4,0	5,0	5,0
Teor de Umidade, % máx.	3,0	3,0	3,0
Perda ao fogo, % máx.	10,0	6,0	6,0
Álcalis disponíveis em Na <sub>2</sub> O, % máx.	1,5	1,5	1,5

Tabela 03 - Exigências químicas.

Fonte: ABNT NBR 12653, (1992).

Propriedades	Classe N	Classe C	Classe E
Material retido na peneira 45µm, % máx.	34	34	34
IAP com cimento aos 28 dias em relação ao controle, % mín:	75	75	75
IAP com a cal aos 7 dias, em MPa	6,0	6,0	6,0
Água requerida, % máx.	115	110	110

Tabela 04 - Exigências físicas.

Fonte: ABNT NBR 12653, (1992).

Para Mehta e Monteiro (1994), as pozolanas são adicionadas especialmente com duas finalidades: diminuir o calor de hidratação do cimento, característica muito apreciada no concreto e evitar a formação dos sulfoaluminatos expansivos em concretos sujeitos à ação dos sulfatos.

## 2.6 Reações pozolânicas

O termo “atividade pozolânica” compreende todas as reações que envolvem os constituintes ativos das pozolanas, hidróxido de cálcio e água. A atividade pozolânica abrange dois parâmetros principais: a quantidade máxima de hidróxido de cálcio que pode reagir com a pozolana e a taxa com que tal combinação se processa. Ambos os fatores dependem da natureza da pozolana e, mais precisamente, da qualidade e quantidade de fases ativas presentes (MASSAZZA, 1998).

A reação pozolânica, segundo Mehta (1987), ocorre de forma lenta, assim como a taxa de desenvolvimento de resistência e o calor de hidratação associado a essa reação. Por outro lado, a hidratação do silicato tricálcico (C<sub>3</sub>S) do cimento Portland é rápida, e, portanto, a taxa de desenvolvimento da resistência e o calor de hidratação são altos. Nota-se ainda que a reação de hidratação do cimento produz hidróxido de cálcio, enquanto a reação pozolânica consome.

A principal propriedade de uma pozolana é a sua capacidade de reagir e se combinar com o hidróxido de cálcio, para formar silicatos e aluminatos de cálcio hidratados. Dessa forma, em compostos à base de cimento *Portland*, o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação dos silicatos reage com os materiais pozolânicos, utilizados como substituto parcial do cimento, resultando em uma produção extra de

silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), que são produtos mais estáveis do cimento hidratado (OLIVEIRA & BARBOSA, 2006).

Neville (2016) afirma que a utilização de pozolanas resulta em refinamento dos poros, maior densificação e aumento da resistência tanto da pasta como da interface pasta-agregado.

De acordo com Santos (2006), a utilização de pozolanas em substituição e/ou adição ao cimento confere ao concreto e argamassa características como:

- Menor calor de hidratação do cimento, por meio da substituição de reações exotérmicas (hidratação do cimento), por reações atérmicas (pozolânicas);
- Melhor resistência ao ataque ácido em função da estabilização do hidróxido de cálcio oriundo da hidratação do clínquer que formará um (C-S-H) com menor relação  $\text{CaO/SiO}_2$  de menor basicidade;
- Maior durabilidade, contribuindo para a inibição da reação álcali-agregado e reduzindo a porosidade, diminuindo o ataque do material por substâncias externas como cloretos e sulfatos.

Além destes ganhos, para Santos (2006), o uso da pozolana resulta também em economia de energia e redução do custo de fabricação do cimento. Isso aumenta o período de exploração das jazidas de calcário e argila e, conseqüentemente, o período de produção da fábrica de cimento. Por fim, aumenta a capacidade de produção sem necessidade de novos investimentos.

Mehta (1987) conclui que, a diferença essencial entra a reação pozolânica e as reações que envolvem a hidratação do cimento Portland isoladamente, não está na composição de seus produtos da hidratação, mas na taxa na qual eles são formados. A medida que a reação pozolânica ocorre de forma mais lenta, como já mencionado.

## 2.7 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) como pozolana

O Brasil é atualmente o maior produtor no complexo sucroalcooleiro do mundo, produzindo cerca de 47 toneladas de bagaço da cana-de-açúcar anualmente que, devido seu poder calorífero, é utilizado para cogeração de energia por meio da queima em caldeiras, tendo como produto final as cinzas residuais (LIMA *et al.*, 2010; PAULA, 2006).

Segundo Peinado *et al.*, (2013) e Nunes *et al.*, (2008), por várias décadas essas cinzas foram despejadas em lavouras para atuar como adubos. Porém, pesquisas recentes indicam que elas não apresentam nutrientes minerais adequados para essa função, pois no processo de queima essa matéria orgânica perde toda a sua capacidade de fertilização.

De acordo com Lima *et al.*, (2011) e Souto (2010), constatada a ineficácia da CBC como adubo, diversos estudos estão sendo executados para verificar a utilização da mesma como substituição parcial do Cimento Portland ou da areia no preparo do concreto. Lima *et al.*, (2010) afirma ser possível já que a CBC apresenta alto teor de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), normalmente acima de 60% em massa, atribuindo-lhe caráter

pozolânico.

Sua viabilidade depende ainda de verificações e novos estudos que analisem diversos fatores como tempo e temperatura de queima e condição de moagem da CBC. Entretanto, já se pode considerar o ganho ambiental e econômico que é produzido com esse novo destino dado à CBC, pois pode amenizar a agressão ao meio ambiente, com a diminuição do uso de matéria-prima para fabricação do cimento, além da redução de emissão de seus resíduos. Dessa forma, o que era um problema de estocagem para as empresas, pode se tornar uma fonte rentável (HOJO e MARTINS, 2015).

## **2.8 Extração e esgotamento de recursos naturais**

O aumento da população mundial e a demanda por melhoria da qualidade de vida têm levado à extração de recursos não renováveis e à poluição ambiental de forma descontrolada. As reservas de fosfato no mundo que podem ser exploradas a baixo custo são suficientes para um período de 40 a 100 anos e as reservas mundiais de potássio são suficientes para um período de 50 a 200 anos. A situação é pior para os micronutrientes, em que as reservas de cobre e zinco são suficientes para 60 anos, manganês para 35 anos e selênio para 55 anos (Aaron, 2005).

Não distante disso, encontra-se a exploração das matérias-primas para fabricação do cimento. A produção de cimento está em plena expansão mundial. Em relação ao Brasil, estima-se que em 2010 o mercado alcançou a casa de 59,121 milhões de toneladas de cimento produzidos, batendo recordes de vendas e com um aumento de 14,8% em relação ao ano anterior. Com isso, as empresas cimenteiras estão investindo pesado na criação e modernização de novas plantas (Fonte SNIC). Considerando que o produto é composto de 75-80% de calcário, só em 2010, foram extraídos cerca de 45,818 milhões de toneladas de calcário das jazidas brasileiras. Além disso, deve-se levar em consideração que, mesmo diante de significativas reservas de calcário no país, pequena parte dela encontra-se disponível para fabricação do cimento, devido ao fato da maior parte apresentar elevados teores de impurezas.

## **2.9 Desenvolvimento sustentável**

O conceito de desenvolvimento sustentável diz respeito ao modo de evolução que tem como alvo o alcance da sustentabilidade. De acordo com o Guia de Sustentabilidade na Construção (CIC/FIEMG, 2008), o desenvolvimento sustentável trata do processo de manutenção do equilíbrio entre a capacidade do ambiente e as demandas por igualdade, prosperidade e qualidade de vida da população humana.

Segundo a definição cunhada em 1987 pela Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento, o desenvolvimento sustentável é o tipo de desenvolvimento que atende às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem suas próprias necessidades.

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, juntamente com a Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura e outras instituições, apresenta uma série de

princípios básicos da construção sustentável, dentre os quais se destacam:

- Aproveitamento de condições naturais locais;
- Utilizar mínimo de terreno e integrar-se ao ambiente natural;
- Não provocar ou reduzir impactos no entorno;
- Gestão sustentável na implantação da obra;
- Uso de matérias-primas que contribuam com a eco-eficiência do processo;
- Redução do consumo energético;
- Reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos;
- Educação ambiental – conscientização dos envolvidos no processo.

A visão de construção sustentável deve estar presente em todo o ciclo de vida de um empreendimento, desde sua concepção até sua requalificação, desconstrução ou demolição.

Sob o prisma da sustentabilidade, materiais e resíduos devem ser tratados conjuntamente, pois a correta seleção e utilização de materiais reduzem a geração de resíduos. Além disso, o beneficiamento de resíduos de outros setores sendo utilizados na produção do cimento, pode reduzir significativamente os impactos por ela ocasionados (FONSECA, 2010).

No processo de seleção de materiais e fornecedores adequados com as premissas da sustentabilidade, o Guia de Sustentabilidade na Construção (CIC/ FIEMG, 2008) recomenda a adoção de materiais locais, reutilizáveis, recicláveis ou reciclados. Dentre estes, pode-se destacar não somente o cimento Portland composto com escória ou outros produtos minerais reaproveitáveis, como também as adições minerais aplicadas diretamente ao concreto.

### **3 | MATERIAL E MÉTODO**

Esta pesquisa é de cunho teórico, do tipo bibliográfica, desenvolvida através de buscas em sites de publicações científicas e livros: Google Acadêmico, Periódicos Capes e Scielo. Baseou-se em um universo de livros, artigos, dissertações, teses e normas.

O material utilizado como locus do estudo foi categorizado de acordo com os percentuais de substituição da cinza do bagaço pelo cimento, cujos resultados serão apresentados a seguir.

### **4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Após a análise do material utilizado, foram encontrados diferentes traços de substituição de cimento por CBC: Cordeiro (2006) - 20%; Paula (2006) - 20%; Pádua

(2012) - 10%; Poggiali (2010) - 20%; Nunes *et al.*, (2008) - 13%. Dentre outros fatores, essa variação é decorrente da granulometria da CBC usada e das condições de queima de cada usina para obtenção das cinzas. Pode-se sugerir como melhor possibilidade a substituição de 20% do cimento pela CBC. O mesmo processo pode ser feito com 30%, porém, a resistência final do concreto será menor. Não foram encontradas desvantagens em relação a tal substituição, desde que seja respeitada a porcentagem máxima de 30% de troca em massa do cimento.

As cinzas podem ser classificadas como pozolanas por superarem o valor mínimo de atividade pozolânica (75%), estabelecido pela NBR 5752 de 1992.

Em suas pesquisas, Paula (2006), lista os diversos benefícios que a produção sustentável de concreto com a utilização da CBC pode trazer ao meio ambiente.

A reciclagem destes materiais apresenta inúmeras vantagens, dentre elas: uma redução no volume de resíduos destinados a aterros sanitários e, conseqüentemente, uma diminuição no risco de contaminação do meio ambiente; redução do volume de extração de matéria-prima necessária à produção de materiais para a construção, preservando, assim, os recursos naturais não renováveis. Além disso, diminui significativamente a liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, gerado em grande quantidade durante a produção do cimento Portland e da cal, tanto pela queima do combustível quanto pela descarbonatação da rocha calcária (p. 2).

Teodoro *et al.*, (2014) realizaram a substituição de 15% de cimento por CBC no estado de Mato Grosso do Sul e observaram que, essa porcentagem de substituição promoveria uma diminuição de emissão de CO<sub>2</sub> em, aproximadamente, 53,5 kilotoneladas por ano apenas nesse estado. Já no Brasil, em cenário idêntico, pode-se atingir cerca de 3.162,76 kilotoneladas de CO<sub>2</sub> a menos sendo liberada na atmosfera anualmente. Os cálculos foram realizados considerando a produção de cimento no ano do estudo.

Hojo & Martins (2015) encontraram um traço com 7,5% de substituição de cimento por cinza, o qual apresentou uma resistência semelhante ao concreto sem substituição. Nos seus estudos, observaram também que essa substituição reduziu o consumo de cimento de 367 kg/m<sup>3</sup> para 339 kg/m<sup>3</sup> e o custo em R\$ 15,72/m<sup>3</sup>.

Os dados mencionados demonstram o quanto a produção de cimento influencia na emissão dos gases causadores do efeito estufa, representando cerca de 7% do total produzido no mundo. Juntamente a essa poluição ambiental está também a grande quantidade de calcário extraído das jazidas para suprir a demanda de produção do segundo produto mais utilizado no mundo. Vale lembrar que as matérias-primas do cimento, quase que em sua totalidade, são de fontes não renováveis, logo, esses produtos podem se tornar escassos futuramente.

Outro dado importante refere-se à disponibilidade de matérias-primas do cimento no Brasil. O país possui reservas relativamente pequenas de calcários e destas, apenas uma pequena parte encontra-se em condições adequadas para a fabricação de cimento por apresentarem elevado grau de impurezas em sua constituição, diminuindo mais ainda a possibilidade de utilização destas reservas.

Observou-se, por fim, que há a possibilidade de ganho econômico na produção do concreto com utilização do CBC, não sendo, entretanto, o objeto deste estudo.

## 5 | CONCLUSÃO

Percebeu-se ao final da pesquisa, que a CBC pode substituir parcialmente o cimento Portland na produção do concreto por apresentar, entre outros atributos, um alto índice de pozolanicidade, o qual é caracterizado pela sua capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento. Dos estudos analisados, pode-se inferir que a margem de substituição do cimento por CBC deve variar entre 20% a 30%, uma vez que a resistência mecânica do concreto obtida é semelhante à resistência do concreto sem substituição.

A utilização da CBC para fabricação de cimento contribui de forma quádrupla para a sustentabilidade do planeta. Na medida em que tal prática pode agregar valor às cinzas, promove a diminuição do consumo de recursos naturais e de emissão de CO<sub>2</sub>, contribuindo para uma geração de menor quantidade de resíduos de construção e demolição. Ademais, além do ganho ambiental da redução de emissão de CO<sub>2</sub>, há o reaproveitamento de resíduos gerados nas indústrias - as cinzas, que são depositados no meio ambiente, sem nenhum tratamento, e que podem receber um destino mais nobre, agregando valor ao produto.

Assim, uma produção sustentável deve ter como princípio a prevenção e redução dos resíduos pelo desenvolvimento de tecnologias limpas, com uso de materiais recicláveis ou reutilizáveis. E o uso da CBC em compostos cimentícios apresenta-se como uma alternativa viável para uma redução do uso de recursos naturais e da poluição atmosférica.

Embora existam atualmente grandes empresas com sofisticados equipamentos, tanto para a extração do calcário e argila quanto para sua industrialização e produção do clínquer, esse processo ainda possui um elevado custo financeiro. A substituição de cimento por CBC em larga escala reduziria significativamente o consumo de matéria-prima, o custo da produção e ainda o valor da obra onde seria empregado.

Apesar da relevância técnica e ambiental, ainda são escassos os estudos sobre essa temática. Deve-se analisar, também, os benefícios econômicos e sociais que esse modelo de produção pode trazer, atendendo assim outros aspectos do desenvolvimento sustentável. Além disso, pesquisas que visam um desenvolvimento e produção sustentáveis (em qualquer setor, principalmente na construção civil, um dos que mais agride o meio ambiente), são dignas de mais investimentos e devem ser vistas com mais importância, principalmente pelo setor público.

## REFERÊNCIAS

- AARON, S. **Some statistics on limited natural resources**. 2005. Disponível em: <<http://scotaaron.com/resources2.html>>. Acesso em: 05/10/2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Boletim Técnico. **Guia Básico De Utilização Do Cimento Portland**. 2002. Disponível em: <[http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106\\_2003.pdf](http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf)> Acesso em 27 Nov. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11172/1990**: Aglomerantes de Origem Mineral. Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732/1991**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. Rio de Janeiro, 3 ed., p.8, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos: ABNT, 1992.
- BORJA, E. V.: **Efeito da adição de argila expandida e adições minerais na formulação de concretos estruturais leves autoadensáveis**. Tese (Doutorado), - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Natal, 230 p., 2011.
- CARMO, J. B. M.; PORTELLA, K. F.; VALDUGA, L. **Análise comparativa de concretos compostos com sílica ativa e metacaulim**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49, 2007, Bento Gonçalves. Anais... São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007.
- CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- DAL MOLIN, D. C. C. **Adições minerais para concreto estrutural**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2005.v.1, capítulo 12, p. 345-380.
- FONSEICA, G. C. da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) -UFMG, Belo Horizonte, MG, 2010.
- HOJO, L. Y. C. P., MARTIS, C. H. **Utilização da substituição parcial do cimento por cinza leve do bagaço de cana-de-açúcar em concretos**. Ed. 01, 2015. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1135/515>> Acesso em 28 Nov. 2016.
- JOHN, V.M. **Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP, 1995.
- LIMA, S. A.; SALES, A.; MORETTI, J. P.; ALMEIDA, F. C. R.; SANTOS, T. J. (2010). Caracterização de concretos confeccionados com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Tema Caracterização de Materiais. CINPAR 2010 – **VI Congresso Internacional sobre patologia e reabilitação de estruturas**. Córdoba, Argentina: 2, 3 e 4 de jun. de 2010.
- LIMA, S. A.; SALES, A.; ALMEIDA, F. C. R.; MORETTI, J. P.; PORTELLA, K. F. Concretos com cinza do bagaço da cana-de- açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 201-212, 2011.

MALHOTRA, V. M. “**Making concrete ‘greener’ with fly ash**”, *Concrete International*, v. 21, n. 5, pp. 61-66. 1999.

MALHOTRA, V. M., Introduction: sustainable development and concrete technology. *Concrete International*, v. 24, n. 7, p. 22, 2002.

MARCEDO, P. C., **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Estruturas), Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MASSAZZA, F. **Pozzolana and pozzolanic cements** in: Hewlett, P. C. (ed), *Lea’s chemistry of cement and concrete*, 4 ed. New York: J. Wiley, pp. 471-63, 1998.

MEHTA, P.K. **Natural Pozzolan**. In: *Supplementary Cementing Materials*. Ottawa: V. M. Malhotra. 1987. 427p.

METHA, P.K. e MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**; Editora Pini Ltda, São Paulo, 1ªed., 1994.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**, 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 828 p.,1997.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**, 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NUNES, I. H. S.; VANDERLEI, R.D.; SECCHI, M.; ARIKA, M.; ABE, P. Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção. *Revista Tecnológica*, Paraná, v. 17, p. 39-48, 2008.

OLIVEIRA, M. P. de, BARBOSA, N. P. **Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento portland em argamassas**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.10, n.2, p.490–496, 2006.

PÁDUA, P. G. L. de. **Desempenho de compósitos cimentícios fabricados com cimentos aditivados com cinzas de bagaço de cana-de-açúcar in natura e beneficiadas**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – UFMG, Belo Horizonte, MG, 2012.

PAULA, M. O. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento portland**. Dissertação (Mestrado em Magister Scientiae), UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, Viçosa, 2006.

PEREIRA, A. M.; ASSUNÇÃO, C.C.; GUIMARÃES, L de M.; MALMONGE, J. A.; TASHIMA, M. M.; AKASAKI, J. L. Análise microestrutural do potencial das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como material pozolânico em compósitos cimentícios. **22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. p. 3029-3041, 06-10 Natal, nov. 2016.

PEINADO, H. S.; NAGANO, M.F.; FILHO, R.G.D.M.; VANDERLEI, R.D.; YASSINE, A.J.N.; BAPTISTA, T.T.A. Uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como agregado em Concretos e argamassas. **ENTECA - IX Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura**, Maringá, PR, out. 2013.

POGGIALI, F. S. J., **Desempenho De Microconcretos Fabricados Com Cimento Portland Com Adições De Cinza De Bagaço De Cana-De-Açúcar**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 2010.

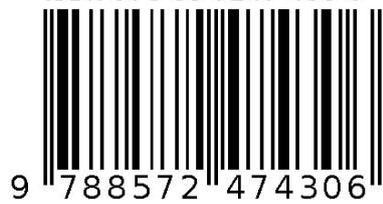
SANTOS, S. **Produção e avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis- SC, 2006.

SILVA, M. G. **Cimentos portland com adições minerais**. In: ISAIA G. C. (Ed). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON, v.1, capítulo 23, p. 761-793, 2007.

SOUTO, J. M. F., **Avaliação do desempenho da cinza do bagaço de cana-de-açúcar na produção de concretos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

TEODORO, P.E.; FERREIRA, M.H.; CHARBEL, D.S.; FORMAGINI, S.; NEIVOK, M. P. Estimativa da taxa de redução de CO<sub>2</sub> de concretos produzidos com cinzas residuais de bagaço de cana-de-açúcar. **Revista de ciências exatas e tecnologia**. Vol. 8, n. 8, p. 173-179, 2014.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-430-6



9 788572 474306