

Gestão de Resíduos Sólidos 3

Leonardo Tullio
(Organizador)



Leonardo Tullio
(Organizador)

Gestão de Resíduos Sólidos

3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
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
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G393 Gestão de resíduos sólidos 3 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Gestão de Resíduos Sólidos; v. 3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-187-9

DOI 10.22533/at.ed.879191403

1. Lixo – Eliminação – Aspectos econômicos. 2. Pesquisa científica – Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 3. Sustentabilidade. I. Tullio, Leonardo. II. Série.

CDD 363.728

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Preservar o meio ambiente começa com o respeito individual de cada ser humano, pois a conscientização é a chave fundamental para a sustentabilidade. Neste Volume III abordamos 17 trabalhos que focam na questão da educação ambiental e ações necessárias a concretização desse assunto.

A educação ambiental aparece então como instrumento de gestão destes resíduos, pois ela é capaz de modificar o pensamento e sensibilizar as pessoas quanto às questões ambientais no dia-a-dia, com pequenas mudanças no modo de agir.

No processo de ação e transformação da natureza, o homem produz sua existência, modificando a natureza e, por consequência, a si mesmo, e acaba criando novas necessidades. Ao atuar sobre a natureza externa e modificando-a, ao mesmo tempo modifica a sua própria natureza.

Esperamos que essa obra “Gestão de Resíduos Sólidos”, tenha lhe trazido consciência e sabedoria para o tema, e que as mudanças comecem a partir deste conhecimento e que futuras ações sejam realmente aplicadas e eficientes.

Por fim, desejo novos conhecimentos e novos rumos.

Leonardo Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA ESCOLA: A NATUREZA COMO INDUTORA DE CONHECIMENTO	
<i>Gerson Luiz Buczenko</i> <i>Maria Arlete Rosa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8791914031	
CAPÍTULO 2	13
EDUCAÇÃO AMBIENTAL: A RESPOSTA PARA O PROBLEMA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	
<i>Priscila Lemos Vieira</i> <i>Leocádia Terezinha Cordeiro Beltrame</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8791914032	
CAPÍTULO 3	24
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS: UMA PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO EM LABORATÓRIOS DE ENSINO	
<i>Thiago Sá Lopes Silva</i> <i>Edmila Aparecida Ferreira Pereira</i> <i>Michelle Badini de Souza</i> <i>Luciana de Andrade Santos</i> <i>Thamiris Fernandes Pereira</i> <i>Andréia Boechat Delatorre</i> <i>Cristiane de Jesus Aguiar</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8791914033	
CAPÍTULO 4	35
E-WASTE: EL PROBLEMA DE LOS RESIDUOS ELECTRÓNICOS EN ALGUNAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS EN URUGUAYNORMAS	
<i>Victoria Andreina Pereira Insua</i> <i>María Paula Enciso de León</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8791914034	
CAPÍTULO 5	48
A RECICLAGEM DE PAPEL NO ÂMBITO DO PROJETO AMBIARTE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS	
<i>Nadine Rech Medeiros Serafim</i> <i>Luana Cássia Heinen</i> <i>Maiara Stein Wünsche</i> <i>Rafaela Picolotto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8791914035	
CAPÍTULO 6	59
PRÁTICAS DE GESTÃO AMBIENTAL NA FORMAÇÃO DE PROFISSIONAIS DA ÁREA TECNOLÓGICA	
<i>Marilise Garbin</i> <i>Carlos Alberto Mendes Moraes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8791914036	

CAPÍTULO 7	74
PROJETO VIA MANGUE: SUPRESSÃO DE ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM RECIFE-PE	
<i>Irene Maria Silva de Almeida</i>	
<i>Leocádia Terezinha Cordeiro Beltrame</i>	
<i>Fernando Joaquim Ferreira Maia</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8791914037	
CAPÍTULO 8	88
PROJETO PILOTO DE COLETA SELETIVA E RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS	
ESTUDO DE CASO: RECICLAGEM DE RESIDUOS SOLIDOS NO BAIRRO HULENE	
<i>Jose Manuel Elija Guamba</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8791914038	
CAPÍTULO 9	100
LODO DA PARBOILIZAÇÃO DE ARROZ COMO INÓCULO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS	
VIA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA	
<i>Willian César Nadaleti</i>	
<i>Vitor Alves Lourenço</i>	
<i>Marcela da Silva Afonso</i>	
<i>Renan de Freitas Santos</i>	
<i>Ivanna Franck Koschier</i>	
<i>Bruno Müller Vieira</i>	
<i>Diuliana Leandro</i>	
<i>Érico Kunde Corrêa</i>	
<i>Luciara Bilhalva Corrêa</i>	
<i>Paulo Belli Filho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8791914039	
CAPÍTULO 10	108
EDUCAÇÃO E SUSTENTABILIDADE: COLETA SELETIVA SOLIDÁRIA NA UNB	
<i>Izabel Cristina Bruno Bacellar Zaneti</i>	
<i>Vanessa Resende Nogueira Cruvinel</i>	
<i>Gleudson Oliveira da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.87919140310	
CAPÍTULO 11	116
POLÍTICAS E AÇÕES PARA OS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MATINHOS-PR	
<i>Alexandre Dullius</i>	
<i>Maclovia Corrêa da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.87919140311	
CAPÍTULO 12	133
CONTENÇÃO DE RESÍDUOS TÓXICOS EM MATERIAIS GEOPOLIMÉRICOS PRODUZIDOS	
A PARTIR DE CINZAS PESADAS DA QUEIMA DO CARVÃO MINERAL E CAULIM	
<i>Rozineide Aparecida Antunes Boca Santa</i>	
<i>Cíntia Soares</i>	
<i>Humberto Gracher Riella</i>	
DOI 10.22533/at.ed.87919140312	

CAPÍTULO 13	146
AVALIAÇÃO DA PARTICIPAÇÃO DA POPULAÇÃO NO PROGRAMA DE COLETA SELETIVA DO MUNICÍPIO DE BRUSQUE/SC	
<i>Karoline Heil Soares</i>	
<i>Rafaela Picolotto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.87919140313	
CAPÍTULO 14	158
POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM MUNICÍPIOS DE MÉDIO PORTE: O CASO DE DELMIRO GOUVEIA/AL	
<i>Melyssa Souza de Lavor</i>	
<i>Joana Fortes Silva</i>	
<i>Rafaela Faciola Coelho de Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.87919140314	
CAPÍTULO 15	172
CARACTERIZAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SEMENTES DE AÇAÍ EM PARAGOMINAS-PA	
<i>Rafael Dias Bicalho</i>	
<i>Ana Júlia da Silva Moura</i>	
<i>Felipe Daniel Souza Cavalcante</i>	
<i>Letícia Picanço da Silva</i>	
<i>Vivaldo Saldanha Neto</i>	
<i>Túlio Marcus Lima da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.87919140315	
CAPÍTULO 16	180
EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM HOSPITAL DE ENSINO DE CAMPO GRANDE – MS: IMPACTO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE	
<i>Ellen Souza Ribeiro</i>	
<i>Ana Lígia Barbosa Messias</i>	
<i>Flávia Rosana Rodrigues Siqueira</i>	
<i>Mônia Alves Mendes de Souza</i>	
<i>Minoru German Higa Júnior</i>	
DOI 10.22533/at.ed.87919140316	
CAPÍTULO 17	188
ANÁLISE DA ASSOCIAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS A SOLO LATERÍTICO PARA UTILIZAÇÃO EM CAMADAS DE BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS	
<i>Natássia da Silva Sales</i>	
<i>Ayrton de Sá Brandim</i>	
DOI 10.22533/at.ed.87919140317	
SOBRE O ORGANIZADOR	200

CONTENÇÃO DE RESÍDUOS TÓXICOS EM MATERIAIS GEOPOLIMÉRICOS PRODUZIDOS A PARTIR DE CINZAS PESADAS DA QUEIMA DO CARVÃO MINERAL E CAULIM

Rozineide Aparecida Antunes Boca Santa

Universidade federal de Santa Catarina (UFSC)

Departamento de Engenharia Química e
Engenharia de Alimentos
Florianópolis, SC

Cíntia Soares

Universidade federal de Santa Catarina (UFSC)

Departamento de Engenharia Química e
Engenharia de Alimentos
Florianópolis, SC

Humberto Gracher Riella

Universidade federal de Santa Catarina (UFSC)

Departamento de Engenharia Química e
Engenharia de Alimentos
Florianópolis, SC

RESUMO: A contaminação com elementos tóxicos pode ser potencialmente perigosa, como, por exemplo, resíduos de metais pesados presentes em efluentes provindas de processos industriais de diversas fontes. Caso não haja formas de contenção, podem causar graves problemas ambientais. Os tratamentos e a recuperação destes elementos podem se tornar economicamente elevados, de difícil eliminação e muitas vezes ineficientes. Uma técnica que tem sido utilizada é a contenção de metais pesados através da inserção em matrizes de cimento para serem solidificados. No entanto, para que não haja lixiviação dos

metais para o meio ambiente, é importante que o material seja resistente e com poucos poros na estrutura. Neste contexto, o objetivo principal desta pesquisa foi a utilização de resíduos industriais como uma das matérias-primas para obtenção de geopolímeros para a aplicação na imobilização de resíduos industriais presentes em efluentes contaminados. As matrizes dos cimentos geopoliméricos são formadas através da ativação de aluminossilicatos com reagentes alcalinos. As amostras de geopolímeros foram obtidas utilizando cinzas pesadas e caulim (CP/C) e para ativação dos materiais utilizou-se quatro misturas, entre elas: 8 e 12 M de NaOH e 8 e 12 M KOH nas proporções de 2:1 em volume com Na_2SiO_3 . Os materiais foram caracterizados pelas técnicas de FRX, DRX e MEV e ICP-MS no extrato lixiviado e solubilizado após a imobilização. Observou-se, através dos resultados, que os materiais geopoliméricos apresentaram estruturas densas e bem formadas. O material sintetizado possui potencial para contenção de resíduos tóxicos, considerando que houve alta redução dos metais pesados presentes nos extratos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos tóxicos, contenção, cinza pesada, geopolímeros.

ABSTRACT: Contamination with toxic elements can be potentially dangerous, such as heavy metal residues present in effluents from

industrial processes from a variety of sources. If there are no forms of containment, they can cause serious environmental problems. The treatments and recovery of these elements can become economically high, difficult to eliminate and often inefficient. One technique that has been used is the containment of heavy metals by insertion into cement matrices to be solidified. However, in order for there to be no leaching of the metals into the environment, it is important that the materials be strong and with few pores in the structure. In this context, the main objective of this research was the use and immobilization of industrial waste as one of the raw materials for obtaining and applying geopolymer in the containment of toxic waste present in contaminated effluents. The matrices of the geopolymeric cements are formed through the activation of aluminosilicates with alkaline reagents. Geopolymer samples were obtained using bottom ash and kaolin (BA / C). For the activation of the materials, four mixtures were used, among them: 8 and 12 M NaOH and 8 and 12 M KOH in proportions of 2: 1 by volume with Na_2SiO_3 . The materials were characterized by the XFR, XDR and SEM and ICP-MS techniques in the leached extract and solubilized after immobilization. It was observed from the results that the geopolymeric materials presented dense and well-formed structures. The synthesized material has the potential to contain toxic residues, considering that there was a high reduction of the heavy metals present in the extracts.

KEYWORDS: Toxic, containment, bottom ash, geopolymer.

1 | INTRODUÇÃO

A educação ambiental nas últimas décadas tem sido uma alternativa para atender as necessidades de melhorias na gestão de resíduos, bem como auxiliar no direcionamento para uma sociedade ambientalmente sustentável. Os impactos provocados pelo crescimento do setor industrial têm incentivado uma série de pesquisas em nível mundial com o objetivo de preservar os recursos naturais em prol da sobrevivência na Terra. A poluição da água, as extrações de matérias-primas, a deposição de rejeitos no solo, a emissão de gases tóxicos, entre outros, tem causado danos muitas vezes irreversíveis nos ecossistemas.

Neste contexto, visando contribuir com as pesquisas que envolvem a sustentabilidade ambiental, este trabalho tem, como um dos principais objetivos, transformar resíduos industriais em matéria-prima de qualidade e utilizar o material produzido como barreira para manter alguns resíduos potencialmente tóxicos imobilizados. Neste sentido, três importantes itens foram abordados, entre eles: a cinza pesada provinda da queima do carvão mineral, a ciência que envolve a produção de geopolímeros e a contenção de metais pesados provindos de efluentes industriais.

Os geopolímeros, segundo Davidovits (2008), podem ser considerados como um novo material, uma nova pasta, um novo cimento, apesar de sua tecnologia ser estudada há alguns anos. Assim, alguns cientistas o elegem como um cimento do futuro (PALOMO et al., 1999; ROY, 1999; KOMNITSAS, 2011; SHI, PALOMO et al., 2014,

BOCA SANTA, 2016). Esses materiais são conhecidos por diferentes denominações, entre elas cerâmicas alcalinas, cimentos ativados alcalinamente, hidrocerâmicas, polímero inorgânico, geopolímeros, entre outros. O pesquisador Davidovits durante algum tempo realizou estudos para obter um material com propriedades superiores aos cimentos comuns e, após concluir algumas pesquisas, denominou-os de geopolímeros devido à semelhança com materiais geológicos (BUCHWALD et al., 2005) e por formar ligações entre silício-oxigênio-alumínio (Si-O-Al) resultando nos polissialatos. Segundo Duxson et al. (2007), a denominação mais condizente é “polímeros inorgânicos”.

A polimerização ocorre através de uma rápida reação química em condições fortemente alcalinas. Os polissialatos formam anéis de polímeros entre Si^{4+} e Al^{3+} coordenados com oxigênio, variando seu estado de amorfo e semi-cristalino. Os geopolímeros são resistentes ao ácido e ao fogo, possuem propriedades zeolíticas e são de grande utilidade para contenção de resíduos tóxicos (DAVIDOVITS, 2002). A matéria-prima, fonte de aluminossilicato para produção de geopolímeros, pode ser adquirida de reservas naturais ou de resíduos industriais (XU e VAN DEVENTER, 2003).

A natureza tem fornecido ao homem uma infinidade de elementos fundamentais para a sobrevivência, entre eles os combustíveis fósseis. Um combustível fóssil que tem sido utilizado em grandes proporções no Brasil e no mundo é o carvão mineral. No Brasil, a região sul é onde está situada a maior concentração de jazidas. As maiores reservas estão no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. O Paraná possui jazidas menores, seguido pelo estado de São Paulo situado na região sudeste. A idade geológica do carvão mineral brasileiro oscila entre 230 e 280 milhões de anos. No ranking mundial, em termos de reservas, o Brasil ocupa o décimo lugar. O carvão mineral abastece cerca de 1,5% da energia elétrica no Brasil (ANNEL, 2014).

A combustão do carvão mineral em termoelétricas tem trazido grandes benefícios para a sociedade. Porém, a queima do carvão pode também aumentar a poluição ambiental devido à extração, o beneficiamento e aos resíduos finais gerados após a queima. O carvão mineral, além da parte orgânica, possui uma alta porcentagem de materiais inorgânicos que permanecem nas cinzas. Assim, as cinzas residuais podem ser reutilizadas como subproduto na obtenção de vários materiais.

As cinzas são classificadas em cinzas leves e cinzas pesadas. As cinzas leves são capturadas em precipitadores e as cinzas pesadas se depositam no fundo das fornalhas e suas partículas são carregadas e depositadas em lagoas de decantação. As cinzas são fontes ricas de sílica e alumina, substratos essenciais para a produção de materiais geopoliméricos. As partículas das cinzas pesadas são maiores e seu formato não é homogêneo. Porém, após a moagem, as cinzas pesadas se transformam em material pozolânico altamente reativo (CHINDAPRASIRT et al., 2009).

A geração de resíduos industriais tem crescido ao longo dos anos. Alguns são passíveis de tratamento e outros necessitam de cuidados especiais e de imobilização para não serem dispostos em ambientes impróprios e não causarem danos à saúde.

Entre eles pode-se citar a contaminação causada pelos metais pesados gerados em diversos processos industriais. Assim, visando auxiliar na preservação do meio ambiente e no crescimento com sustentabilidade, este trabalho foi realizado priorizando a utilização de resíduos industriais como matéria-prima sólida para produção de geopolímeros. A principal fonte de aluminossilicato para a síntese das amostras geopoliméricas foi a cinza pesada provinda da queima do carvão mineral. Os ativadores testados para a ativação alcalina dos materiais geopoliméricos foram o hidróxido de sódio (NaOH), o hidróxido de potássio (KOH) e o silicato de sódio (Na_2SiO_3).

2 | METODOLOGIA

2.1 Materiais

A cinza pesada utilizada para a síntese das amostras foi cedida pela empresa ENGIE Brasil, geradora de energia elétrica a partir da queima do carvão mineral, situada na região sul do Brasil. Como fonte de aluminossilicato utilizou-se também caulim industrial, fornecido pela empresa Colorminas – Colorifício e Mineração, com sede em Içara/SC. Os reagentes utilizados para ativação foram hidróxido de sódio (NaOH) e hidróxido de potássio (KOH), ambos da marca Sinth, os quais foram preparados em composição com silicato de sódio (Na_2SiO_3), cedido pelo Manchester Química do Brasil. O efluente contaminado com resíduos de metais pesados foi obtido de uma empresa de decapagem de placas de circuito impresso com sede no Brasil.

2.2 Método Para Processamento Dos Materiais E Reagentes

As cinzas pesadas foram obtidas úmidas e com partículas não uniformes. Para a síntese de materiais geopoliméricos é fundamental que a cinza seja seca e moída. Assim, as cinzas foram submetidas à secagem por 24 h a 100 °C e, em seguida, foram moídas em moinhos de bolas durante 48 h.

O processo de geração da cinza pesada favorece a formação de cristais na microestrutura, por isso a parte amorfa é reduzida. Para aumentar a concentração de material amorfo uma mistura de 2:1 em massa entre a cinza pesada e metacaulim (CP/M) foi realizada. O metacaulim foi obtido a partir da calcinação do caulim a 850 °C por 2 h.

Após a dissolução dos reagentes alcalinos um resfriamento por 24 h em temperatura ambiente foi realizado. Para este estudo NaOH e KOH foram utilizados, ambos nas concentrações de 8 e 12 M. As quatro soluções foram compostas de NaOH/ Na_2SiO_3 e KOH/ Na_2SiO_3 nas proporções de 2:1 em volume. Para cada 100 g da mistura entre a CP/M, 50 ml da mistura de cada solução reagente foram utilizados.

O silicato de sódio e o efluente contaminado com metais pesados foram utilizados

de acordo com as características originais dos materiais. As proporções de efluentes testadas foram de 5 ml para cada 100 g de cimento geopolimérico.

2.3 Síntese Das Amostras De Geopolímeros

A CP/M foi previamente misturada até homogeneização dos materiais para facilitar a completa ativação das partículas. Em seguida, as proporções pré-determinadas dos reagentes foram adicionadas. O material permaneceu em agitação por, aproximadamente, 5 min. Após este período, as proporções de efluente contaminado com metais pesados para os testes de imobilização na matriz dos geopolímeros foram adicionadas. O material foi agitado por mais 5 min. Para a cura, os geopolímeros foram acondicionados em porta-amostras não metálicos para não haver contaminação. Após 28 dias de cura em temperatura ambiente, os materiais foram preparados para a realização de lixívia e solubilidade de acordo a metodologia descrita pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - NBR 10005 e 10006.

2.4 Caracterização Dos Materiais

A CP/M e as amostras geopoliméricas foram caracterizadas pelas técnicas de fluorescência de raios X (FRX), realizada em um Espectrômetro da Marca Philips, modelo – PW 2400, por dispersão de comprimento de onda (WDXRF), no Laboratório de Análises do SENAI de Criciúma - SC. A difração de raios X (DRX) foi realizada em um difratômetro da marca Philips, modelo X'pert, com radiação cobre $K\alpha$ ($\lambda = 1,5418$ Å), potência de 40 kV e 30 mA. A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada em um sistema MEV-EDS da marca Phillips XL30 – UFSC/LCM e da marca JEOL JSM-6390LV Scanning Electron Microscope do Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) – UFSC. Para avaliar a concentração dos metais no efluente, no extrato lixiviado e no solubilizado foi utilizada a técnica de espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) em um espectrômetro de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), marca Perkin Elmer, modelo Nexlon 300D, Shelton, USA.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Composição em Óxidos Dos Principais Elementos Presentes nos Materiais Obtidos por Frx

A Figura 1 apresenta uma imagem da cinza pesada antes e após o processo de secagem e moagem. A cinza possui diversos tamanhos de partículas e, portanto, após a moagem, as partículas foram peneiradas com tela de 45 mesh ($354 \mu\text{m}$). A cinza pesada apresentou 13% de umidade. A análise de FRX indicou a presença de altas proporções de SiO_2 e de Al_2O_3 , sendo 57,3% de SiO_2 na CP e 47,37% no caulim

e 23,7% de Al_2O_3 na CP e 37,99% no caulim. A razão molar entre os dois elementos presentes nos materiais e nas proporções de 2:1 em massa foi de 3,3.

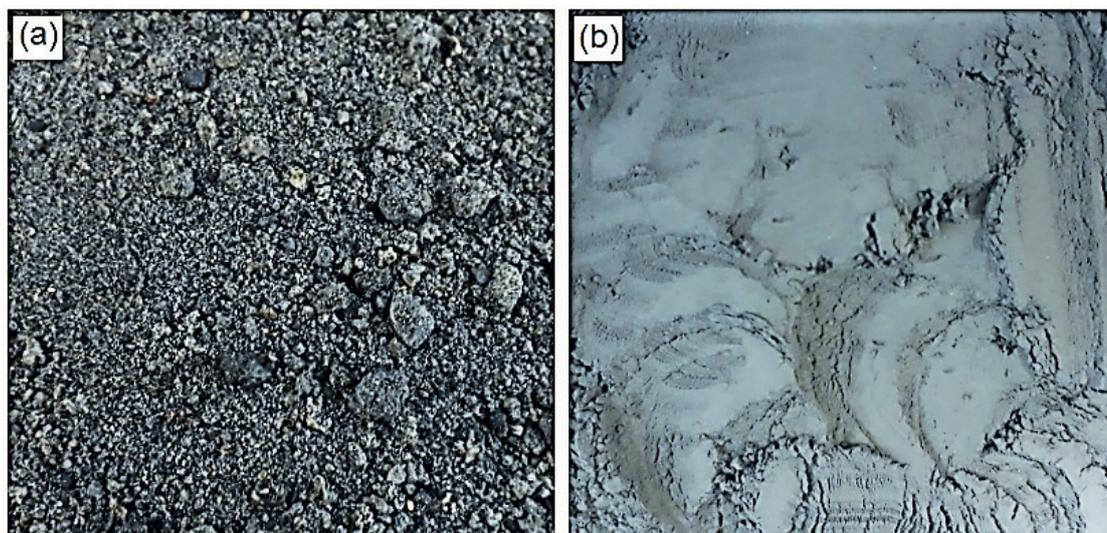


Figura 1. Partículas de cinza pesada antes (a) e após (b) o processamento.

Fonte: a autora (2017).

3.2 Morfologia da CP/M obtidas pela técnica de MEV

Na Figura 2, referente a micrografia da amostra CP/M, é possível visualizar as diferenças microestruturais entre a cinza pesada e o mecaulim. A cinza pesada possui partículas porosas e irregulares (CHINDAPRASIRT et al., 2009). Na microestrutura do metacaulim pode-se observar que as placas lamelares foram desordenadas após o tratamento térmico, indicando que ocorreu perda de água através da desidroxilação do caulim.

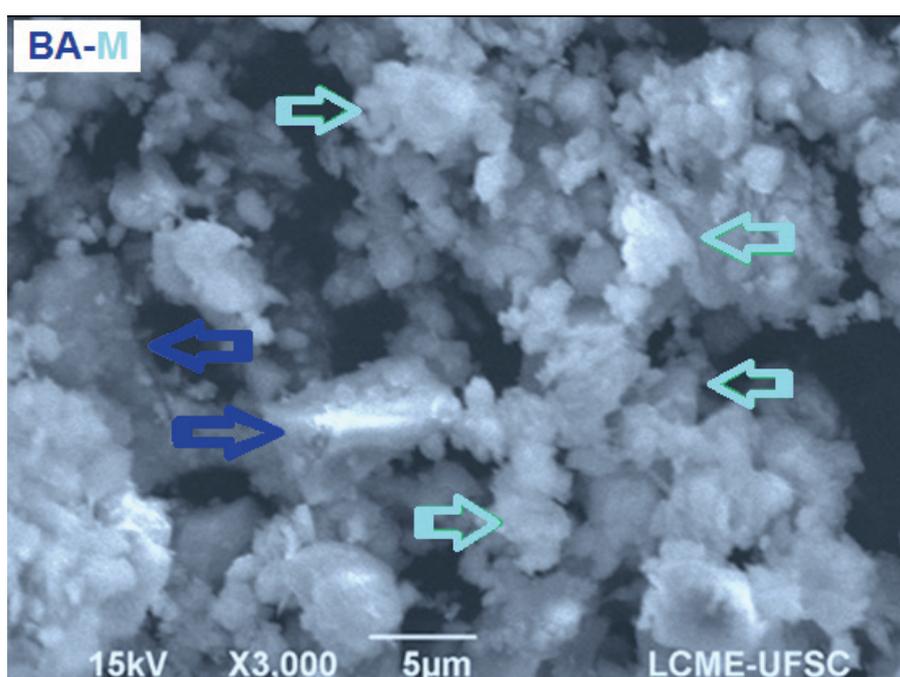


Figura 2. Micrografia obtida pela técnica de MEV da mistura entre CP/M.

Fonte: a autora (2016).

3.3 Características Estruturais Das Amostras De Geopolímeros

As características das amostras geopoliméricas podem ser visualizadas na Figura 3. As amostras apresentam coloração escura com regiões lisas e compactas, indicando que houve a formação de polímeros inorgânicos (geopolímeros). Estes materiais são maquináveis e podem ser reproduzidos conforme os moldes, permitem polimento para aumentar o brilho, podem ser fundidos e danos estruturais podem ser reparados (DAVIDOVITS, 1991).



Figura 3. Geopolímeros sintetizadas com CP/M e com a adição de efluente contaminado.

Fonte: a autora (2016).

3.4 Difractogramas obtidos pela técnica de DRX da CP/M e dos geopolímeros

A análise de DRX (Figura 4) realizada na mistura entre CP/M apresentou um extenso halo (região demarcada pelas flechas) logo abaixo dos picos cristalinos, indicando a presença de material amorfo. Os aluminossilicatos, durante a queima, ficam em grande parte num estado amorfo (TEIXEIRA PINTO, 2004), favorecendo a extensão da geopolimerização durante a síntese.

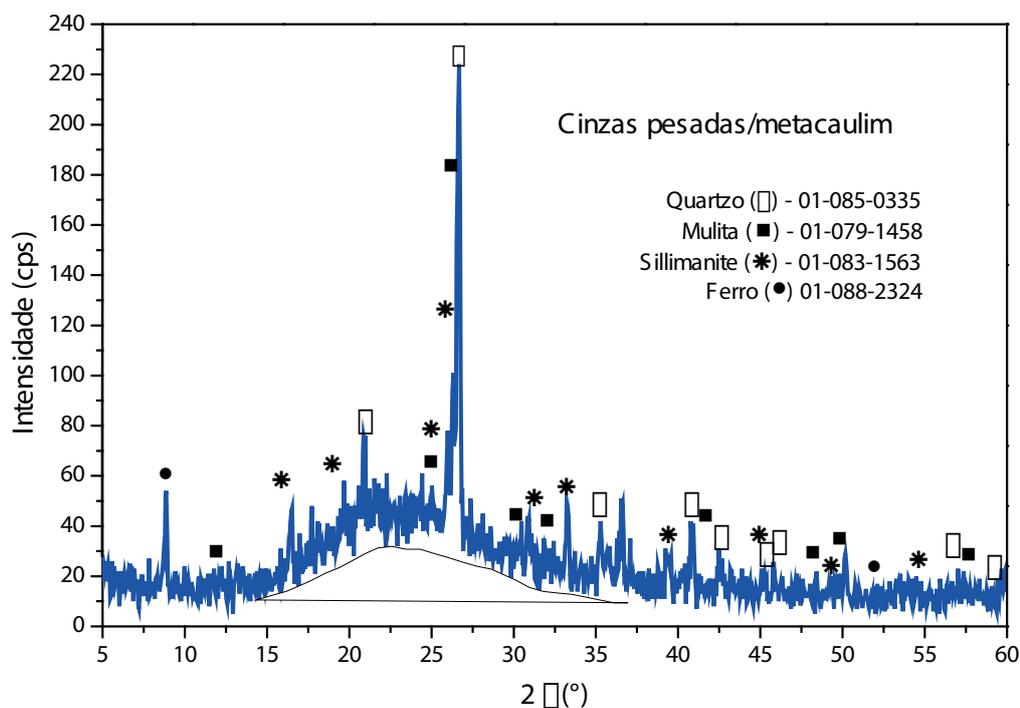


Figura 4. Difratograma obtido a partir da análise de DRX da CP/M.

Fonte: a autora (2016).

Os difratogramas da Figura 5 são referentes às amostras de geopolímeros sintetizados com 8 M e 12 M de NaOH e com 8 M e 12 M de KOH na mistura com Na_2SiO_3 . Todas as amostras apresentaram diferenças estruturais quando comparadas com o difratograma do material de origem (CP/M). A maioria dos picos cristalinos foi alterada e uma nova estrutura se formou. O pico referente ao quartzo (Fig. 4) foi deslocado para comprimentos de ondas maiores. As mudanças estruturais registradas na região entre $2\theta = 20^\circ$ a 35° são características da formação estrutural dos materiais geopoliméricos (PANIAS et al. 2006, FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ et al. 2005). Na Figura 5 (a, b, c) os resultados foram semelhantes. No entanto, com 8 M de KOH ocorreu uma maior extensão da fase gel, indicada pelas alterações e tamanho do halo amorfo observado no difratograma da Figura 5 (d). Para Zhang et al. (2008), as amostras que recebem baixa concentração de Pb apresentam morfologias semelhantes as amostras não contaminadas, ou seja, pequenas proporções de chumbo parecem não ser prejudicial para a formação da estrutura do material.

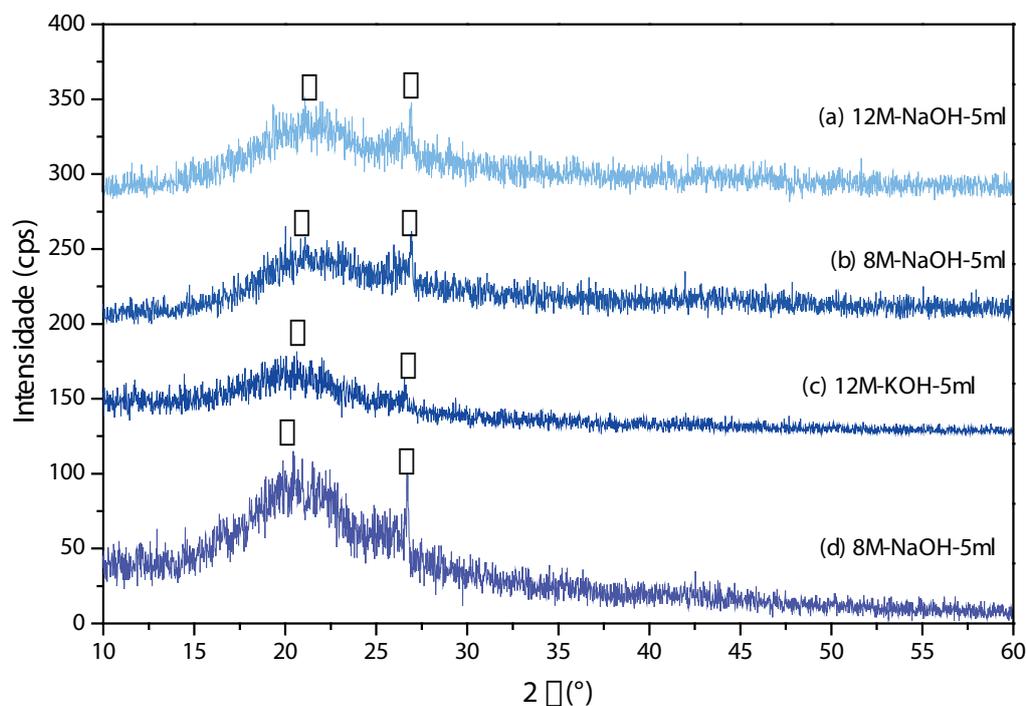


Figura 5. DRX das amostras de geopolímeros.

Fonte: a autora (2016).

3.5 Características morfológicas das amostras de geopolímeros obtidas por MEV

A Figura 6 (a) apresenta o resultado referente à amostra ativada com 12 M de NaOH, a (b) com 8 M de NaOH e a (c) e (d) com 12 e 8 M de KOH, respectivamente. Conforme pode-se observar, a amostra que apresentou microestrutura mais compacta e homogênea foi aquela sintetizada com 8 M de KOH. Os resultados obtidos com adição de 5 ml de efluentes, contendo diferentes proporções de metais pesados para imobilização em amostras de geopolímeros, estão de acordo com os resultados obtidos nos estudos de Boca Santa (2016).

O crescimento de estruturas cristalinas nas amostras pode estar relacionado com as proporções de água. A influência da água em sistemas geopoliméricos tem sido discutida por diversos pesquisadores, sendo que alguns defendem que pequenas proporções de água podem dificultar a trabalhabilidade do sistema devido ao aumento da viscosidade (THAKUR et al., 2009) e outros indicam que a água em maior quantidade pode formar cristais, diminuir a área de superfície específica e a resistência dos materiais (OLIVIA et al., 2008). Os metais pesados inseridos nas amostras durante a síntese podem também ter afetado a reação e desencadeado a formação de outros materiais, ou ainda, ter substituído os íons Na^+ e K^+ na estabilização dos anéis de polímeros formados durante a reação. Assim, com a passagem da água formada e evaporada durante o processo, o Na^+ e K^+ são arrastados para a superfície e, ao entrar em contato com atmosfera de CO_2 , ocorre a carbonatação em alguns pontos da

superfície da amostra (BOCA SANTA, 2012).

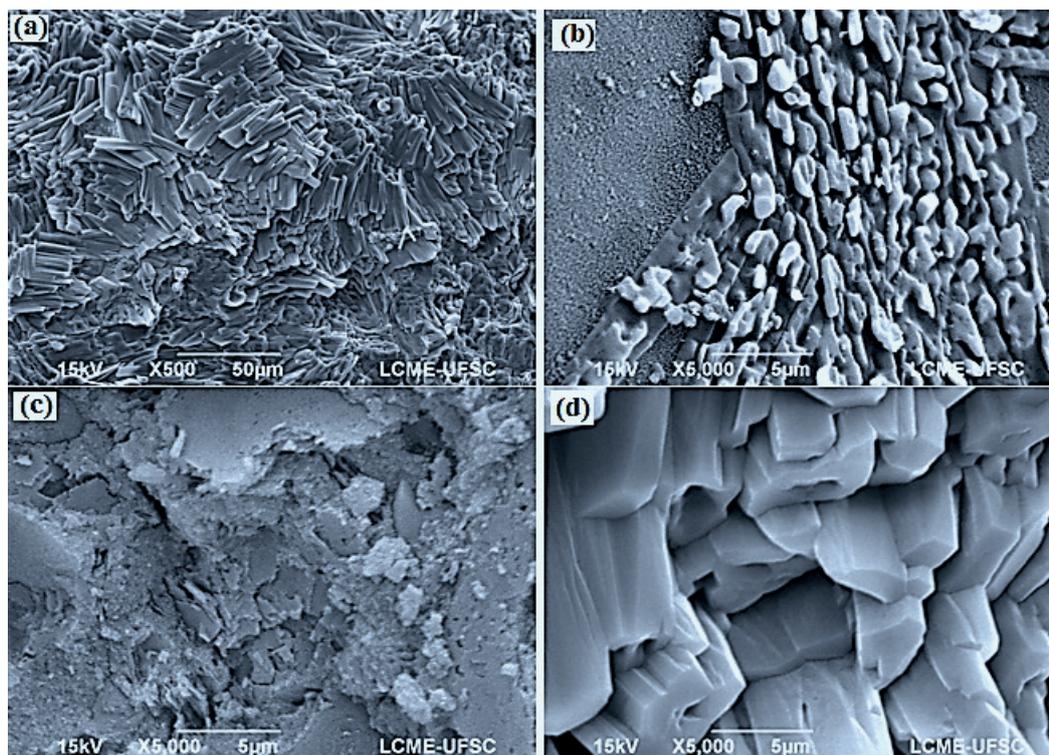


Figura 6. Microscopia de varredura das amostras de geopolímeros sintetizadas com: (a) 8 M de NaOH; (b) 12 M de NaOH; (c) 8 M de KOH e (d) 12 M de KOH.

Fonte: a autora (2016).

3.6 Concentração De Metais Pesados No Efluente E Nos Extratos Lixiviados E Solubilizados Após A Imobilização Analisados Por Icp-Ms

A melhor amostra obtida nos ensaios (CP/M – 8M -KOH) foi submetida a ensaios de lixívia e solubilidade. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos através da análise de ICP-MS realizado no resíduo provindo da indústria de decapagem de placas de circuito impresso (a), no extrato lixiviado (b) e no extrato solubilizado (d) da amostra sintetizada com CP/M ativada com 8 mols/L de KOH e com a adição de 5 ml da solução do efluente contaminado com metais pesados. Os valores permitidos pela NBR 10004/2004 para os metais presentes no extrato lixiviado e solubilizado estão descritos em (c) e (e), respectivamente. De acordo com os resultados, observa-se que o processo de contenção dos metais pesados em matrizes de geopolímeros sintetizadas com CP/M e com 8 M de KOH foi muito eficiente, pois houve alta redução dos valores antes e após o processo de solidificação/imobilização em matrizes geopoliméricas. Os mecanismos pelos quais os metais ficam retidos na estrutura ainda é tema de muitos estudos. As dúvidas normalmente são centradas na possibilidade de encapsulamento, onde os metais são envolvidos pelo gel na microestrutura (fenômeno físico) ou atuando como um reagente e participando do processo de geopolimerização (reação química). Phair et al. (2004) concluíram, após realizarem testes adicionando Pb e Cu na matriz dos geopolímeros, que os metais não são somente encapsulados na estrutura geopolimérica, mas também são responsáveis pela formação de novas fases

no material, formada entre os elementos Cu-Al-Si, por exemplo. Outra observação citada pelos autores foi sobre a concentração do cátion alcalino presente e o tamanho dos íons envolvidos.

Metais	Resíduo (mg/L)	EL* (mg/L)	LMP** NBR- 10004	ES*** (mg/L)	LMP** NBR-10004
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Pb	12619,91 ± 20,78	0,011 ± 0,00007	1,0	0,0013 ± 0,00001	0,01
Cu	347,51 ± 3,97	0,024 ± 0,00032	5,0	0,019 ± 0,00012	2,0
Cr	2,60 ± 0,05	0,006 ± 0,00007	2,0	0,0082 ± 0,0003	0,05
Al	6,04 ± 0,88	1,21 ± 0,038	-	1,92 ± 0,048	0,2
Fe	4,20 ± 0,03	0,026 ± 0,0046	-	0,02 ± 0,0022	0,3

Tabela 1. Metais pesados no efluente e nos extratos lixiviados e solubilizados obtidos pela técnica de ICP-MS.

*Extrato lixiviado, ** Limite máximo permitido e ***Extrato solubilizado

Fonte: a autora (2017).

4 | CONCLUSÃO

Os testes realizados com a solidificação/imobilização do efluente contaminado com diferentes elementos e concentrações de íons metálicos indicaram que o material geopolimérico possui propriedades favoráveis ao processo. É importante observar também que os geopolímeros foram produzidos a partir de altas proporções de cinzas pesadas, aproximadamente 70% dos sólidos, ou seja, o processo pode ser considerado ambientalmente sustentável pois pode-se considerar que foram imobilizados dois resíduos industriais: as cinzas pesadas e os metais presentes no efluente. Além disto, houve economia de materiais naturais, baixo gasto energético e baixa emissão de CO₂, visto que para produzir os cimentos geopoliméricos os sólidos não necessitam passar pelo processo de clinquerização. Segundo o resultado das análises, a melhor amostra obtida foi a sintetizada com 8 M de KOH.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo incentivo financeiro, ao LCME (Laboratório Central de Microscopia Eletrônica) pela realização das análises de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura), a ENGIE Brasil, ao LABMAC (Laboratório de Materiais e Corrosão) e a UFSC como

unidade mantenedora e pelo apoio a pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - (ANEL). Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par3_cap9.pdf>. Acesso em: 18 outubro de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 10004:2004. **Resíduos sólidos** – Classificação. Disponível em: <<http://analiticaqmc.paginas.ufsc.br/files/2013/07/residuos-nbr10004.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 10005:2004. **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/ABNT-NBR-10005-Lixiviacao-de-Residuos.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 10006:2004. **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Disponível em: < <http://www.ecosystem.com.br/wp-content/uploads/2014/03/NBR-10006.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

BOCA SANTA, R.A.A. **Desenvolvimento de Geopolímeros Apartir de Cinzas Pesadas Oriundas da Queima do Carvão Mineral e Metacaulim Sintetizado A partir de Resíduo da Indústria de Papel**. Florianópolis, 135p., 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.

BOCA SANTA, R.A.A. **Síntese de geopolímeros a partir de cinzas pesadas e metacaulim para avaliação das propriedades de solidificação/imobilização de resíduos tóxicos**. Florianópolis, 189p., 2016. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.

BUCHWALD, A.; DOMBROWSKI, K.; WEIL, M. **Development of Geopolymer Concrete Supported by System Analytical Tools**. Proceedings of the 2nd Int. Synposiun of Non-tradition Cement and Concrete, ed. by Bilek and Kersner, p.25-35, 2005.

CHINDAPRASIRT P., CHAI J., RATTANASAK U., **Comparative Study on the Characteristics of Fly Ash and Bottom ash Geopolymers**. Minerals Engineering, v. 29, 2009.

DAVIDOVITS, J.; DAVIDOVICS, M. **Geopolymer: Ultra-high Temperature Tooling material for the Manufacture of Advanced Composites**. Geopolymer Tooling Material, v. 2, p. 1939-1949, 1991.

DAVIDOVITS J. **30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications. Market Trends and Potential Breakthroughs**. Keynote Conference on Geopolymer Conference Melbourne, Australia, 2002.

DAVIDOVITS, J. **Geopolymer Chemistry e Aplicacion**. Institute Geopolymere, 2 ed., Cap. 1, p. 9, 2008.

DUXSON, P. et al. Geopolymer Technology: the Current State of the Art. ADVANCES IN GEOPOLYMER SCIENCE & TECHNOLOGY, Springer Science+Business, 2007.

FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PALOMO, A. **Composition and Microstructure of Alkali Activated Fly Ash Binder: Effect of the Activator**. Cement And Concrete Research, Madrid, n. , p.1204-1209, 2005.

KOMNITSAS, K. A., **Potential of Geopolymer Technology Towards Green Buildings. International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities**. Procedia Engineering, v. 21, p. 1023 –

1032, 2011.

OLIVIA, M.; SARKER, P.; NIKRAZ, H. **Water Penetrability of Low Calcium Fly Ash Geopolymer Concrete**. Conference on Constitution and Building Technol International, 2008.

PALOMO, A.; GRUTZECK, M.; BLANCO, M. **Alkali-Activated Fly Ashes a Cement for the Future. Cement and Concreto**, Elsevier Science Ltd, p. 1323-1329, 1999.

PALOMO, A., KRIVENKO, P., GARCIA-LODEIRO, I., KAVALEROBA, E., MALTEVA, O., FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A. **A Review on Alkaline Activation: New Analytical Perspectives**, v. 64, N. 315, Mater. Construcc., 2014.

PHAIR, J.W.; DEVENTER, J.S.J.; SNITH, J.D. **Effect of Al source and alkali activation on Pb and Cu immobilisation in fly-ash based “geopolymers”**, v.19, Issue 3, p. 423–434, 2004

PANIAS, D.; GIANNOPOULOU, I. P. **Development of Inorganic Polymeric Materials Based on Fired Coal Fly Ash**. Acta Metallurgica Slovaca, v. 12, p. 321 - 327, 2006.

ROY, D. M., **Alkali-activated cements opportunities and challenges**. Cement and Concrete Research, v. 29, p. 249–254, 1999.

TEIXEIRA PINTO, A., **Novos Sistemas Ligantes Obtidos por Activação Alcalina. Construção Magazine**. Tese de Doutoramento da Universidade de Minho, Portugal 2004. Disponível em: <http://home.utad.pt/~ibentes/index_files/Novos%20Materiais.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2015.

THAKUR, R. N.; GHOSH, S. **Effect of Mix Composition on Compressive Strength and Microstructure of Fly Ash Based Geopolymer Composites**. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Asian Research Publishing Network (ARPN), v. 4, NO. 4, 2009.

XU, H., VAN DEVENTER, J.S.J. **The Effect of Alkali Metals on the Formation of Geopolymeric Gels from Alkali-feldspars**. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, v. 216, p. 27-44, 2003.

ZHANG, J., PROVIS, J., FENG, D., VAN DEVENTER, S.J. **Geopolymers for Immobilization of Cr6+, Cd2+, and Pb2+**. Journal of Hazardous Materials, v. 157, p. 587–598, 2008.

SOBRE O ORGANIZADOR

Leonardo Tullio - Doutorando em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná – UFPR (2019-2023), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR (2014-2016), Especialista MBA em Agronegócios – CESCAGE (2010). Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais- CESCAGE/2009). Atualmente é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-187-9

