

# Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

**Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia  
(Organizadores)**



# Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia  
(Organizadores)



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Karine de Lima

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof<sup>a</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof<sup>a</sup> Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco

Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
 Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
 Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	<p>Engenharia de materiais e metalúrgica [recurso eletrônico] : tudo à sua volta / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia, João Dallamuta. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.            Modo de acesso: World Wide Web.            Inclui bibliografia            ISBN 978-65-5706-108-4            DOI 10.22533/at.ed.084201506</p> <p>1. Engenharia – Tecnologia. 2. Metalurgia. I. Holzmann, Ajuz. II. Biscaia, Ricardo Vinicius Bubna. III. Dallamuta, João.            CDD 620.002854</p>
<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

Nos dias atuais, com uma escassez cada vez maior de matéria prima e energia, buscar novas formas de produção ecologicamente corretas é um diferencial ao setor industrial. Neste contexto as pesquisas nesta área veem crescendo e se tornando uma das grandes vertentes da engenharia de materiais, buscando-se a melhoria de materiais, aliando-se novos componentes e reutilizando materiais de descarte.

Neste e-book são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados ao desenvolvimento de materiais, bem como a reutilização de subprodutos da construção civil, vislumbrando a uma melhoria tanto de novos materiais, como a um descarte inteligente e eficiente de resíduos. De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
UM ESTUDO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DAS TURBINAS GERADORAS DE ENERGIA EÓLICA, NOS PARQUES EM PERNAMBUCO	
Kaio Moab de Oliveira Silva Joaci Galindo Veronica Alves Teixeira Vitor Bismark Ferreira de Macedo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0842015061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DURANTE O PROCESSO DE LAMINAÇÃO TESTADA ATRAVÉS DE ENSAIO DE DUREZA E ENSAIO METALOGRÁFICO	
Gabrielle Schultz Braz Gabriel Inácio Pontin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0842015062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>21</b>
ANÁLISE DAS JUNTAS SOLDADAS NA UNIÃO DA ESTRUTURA DO VEÍCULO BAJA SAE	
Henrique Ajuz Holzmann Victor Henrique Javara	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0842015063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>33</b>
ANÁLISE EXPERIMENTAL E ANALÍTICA DA INFLUÊNCIA DA RAZÃO W/D EM COMPÓSITO POLIMÉRICO DE POLIÉSTER REFORÇADO POR FIBRAS DE VIDRO/JUTA	
Raphael Siqueira Fontes Sérgio Renan Lopes Tinô Ana Cláudia de Melo Caldas Batista Eve Maria Freire de Aquino	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0842015064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>48</b>
EFEITOS DE PÓS CERÂMICOS ATIVOS NAS PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS À BASE DE PVDF	
Eriton Rodrigo Botero Jaldair de Araújo e Nóbrega	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0842015065</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>62</b>
SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA OBTIDAS VIA ROTAS QUÍMICA E ELETROQUÍMICA E SUA OTIMIZAÇÃO	
Arthur da Rocha Albertini Guilherme Frederico Bernardo Lenz e Silva Rodrigo Labat Marcos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0842015066</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>80</b>
TRANSFORMAÇÃO DE REJEITOS DE LAVAGEM DE BAUXITA DA AMAZÔNIA EM MATERIAL TIPO HIDROGROSSULAR (KATOITA) DE $\text{Ca}_3\text{Fe/Al}_2(\text{OH}_4)_3$	
Renata de Sousa Nascimento Bruno Apolo Miranda Figueira	

**CAPÍTULO 8 ..... 87**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO ATRAVÉS DA ADIÇÃO DE FIBRAS DO COCO BABAÇU**

Márcio do Nascimento Silva

Deuzuíta dos Santos Freitas Viana

Lívia Racquel de Macêdo Reis

Wendel Melo Prudêncio de Araújo

DOI 10.22533/at.ed.0842015068

**CAPÍTULO 9 ..... 94**

**COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DE CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR) COM INSERÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO (NTC) E CINZAS DE CASCA DE ARROZ (CCA)**

Christa Korzenowski

Rosangel Rojas Agüero

Ronaldo Beraldin da Silva

Priscila Marques Correa

Luiz Carlos Pinto Silva Filho

DOI 10.22533/at.ed.0842015069

**SOBRE OS ORGANIZADORES..... 113**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 114**

## TRANSFORMAÇÃO DE REJEITOS DE LAVAGEM DE BAUXITA DA AMAZÔNIA EM MATERIAL TIPO HIDROGROSSULAR (KATOITA) DE $CA_3FE/AL_2(OH)_3$

Data de aceite: 05/06/2020

Data de Submissão: 27/05/2020

### Renata de Sousa Nascimento

Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Programa de Pós-graduação em Sociedade,  
Ambiente e Qualidade de Vida, Santarem-PA.  
<http://lattes.cnpq.br/1149710156702325>

### Bruno Apolo Miranda Figueira

Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Programa de Pós-graduação em Sociedade,  
Ambiente e Qualidade de Vida, Santarem-PA  
<http://lattes.cnpq.br/6852513231905237>

### Andson Pereira Ferreira

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Pará, Parauapebas-PA  
<http://lattes.cnpq.br/7360816759464936>

**RESUMO:** Este trabalho propõe a transformação dos rejeitos de lavagem de bauxita da região Oeste do estado do Pará. O processo de transformação envolveu dissolução do rejeito em ácido clorídrico e água na proporção (1:1), método da co-precipitação e tratamento hidrotermal a 80°C. Os resultados revelaram que o rejeito de bauxita foi transformado com sucesso em hidrogrossular com estrutura análoga à katoita, com tamanho médio dos

cristais de 5 µm e morfologia em forma de octaédricos ligados uns aos outros. Os resultados aqui apresentados demonstram que os rejeitos de bauxita da Amazônia podem ser uma interessante fonte de baixo custo para a obtenção de produto de valor agregado.

**PALAVRAS-CHAVE:** rejeitos, bauxita, Amazônia, katoita.

### TRANSFORMATION OF BAUXITE- WASHING RESIDUES FROM AMAZON INTO HYDROGROSSULAR-TYPE MATERIAL (KATOITA) OF $CA_3FE/AL_2(OH)_3$

**ABSTRACT:** This work proposes the transformation of bauxite washing waste from the western region of the state of Pará. The transformation process involved dissolving the waste in hydrochloric acid and water in the proportion (1: 1), co-precipitation method and hydrothermal treatment at 80°C. The results revealed that the bauxite tailings were successfully transformed into hydrogrossular with a katoite-like structure, with an average crystal size of 5 µm and morphology in the form of octahedrals connected to each other.

**KEYWORDS:** residues, bauxite, Amazon, katoite.

## 1 | INTRODUÇÃO

A katoita, está inclusa na série dos minerais hidratados do grande grupo das granadas. Os minerais do grupo das granadas são silicatos formados por processos metamórficos de grau baixo a alto, cuja fórmula geral é  $X_3Y_2(\text{SiO}_4)_3$ , sendo: X, um cátions divalentes, por exemplo:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$ , e Y, um cátions trivalentes, como:  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Cr}^{3+}$ . Quando as séries grossular  $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$  e andradita  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$ , do grupo das granadas, sofrem processo de incorporação de hidrogênio a sua composição química é modificada, de modo que, os tetraedros de  $[\text{SiO}_4]_3$  são parcial ou completamente substituídos por tetraedros de  $[(\text{OH})_4]_3$ , ou seja, os átomos de hidrogênios se ligam aos átomos de oxigênio que outrora estavam ligados ao silício, e portanto passam a ser chamados de hidrogrossular e hidroandratita, respectivamente (Klein & Dutrow 2012; Dilnesa et al., 2014; Schoenitz et al., 1999).

Essas duas séries têm como membros finais o mineral chamado katoita, que terá composição química de alumínio  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$  ou ferro  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{OH})_{12}$ , respectivamente (Passaglia & Rinaldi 1984). Essas fases minerais, inclusive a katoita, são comumente encontradas em cimentos Portland hidratados e possuem alta relevância na construção civil, pois materiais à base de cimento hidratado podem servir para imobilizar resíduos radioativos de nível baixo a intermediário (Atkins e Glasser, 1992; Lacivita et al., 2015), e metais tóxicos, como o  $\text{Cr}^{6+}$ , (Hillier et al., 2007), investigaram o potencial da katoita como fase hospedeira para  $\text{Cr}^{6+}$  advindo do processamento de minério de cromita e concluíram que houve a substituição de tetraedros de  $[(\text{OH})_4]_3$  por tetraedro de  $[\text{CrO}_4]^{2-}$ .

Neste trabalho é proposta a síntese fácil e de baixo custo para a obtenção de katoita de alumínio e ferro, utilizando resíduos de lavagem de bauxita da Região Amazônica (Brasil), e possivelmente desenvolver um trabalho futuro com aplicação em áreas estratégicas como citadas acima.

## 2 | MATERIAL E METÓDOS

As amostras de rejeitos foram coletadas nos meses de setembro, outubro e novembro de 2012, sempre na primeira e na terceira semana de cada mês, totalizando 6 amostragens codificadas como JUR-1, JUR-2, JUR-3, JUR-4, JUR-5 e JUR-6. Todas as amostras passaram por processo de homogeneização e quarteamento e posteriormente uma amostragem chamada “estoque” foi separada e nomeada como (RBAUX) e caracterizada. A caracterização mineralógica foi realizada por difratometria de raios-X (DRX) em um difratômetro D2Phaser (Bruker), tubo de Cu ( $1,5406 \text{ \AA}$ ), faixa de 5 a  $75^\circ$  ( $2\theta$ ) com tensão de 30 kV e 10mA. A caracterização

química foi obtida em espectrômetro de Fluorescência de raios-X (FRX) Sequencial (Axios Minerals, da Panalytical), equipado com tubo de raios-x cerâmico anodo de Rh.

Para a transformação do resíduo de lavagem de bauxita em katoita, utilizou-se cerca de 4g de RBAUX que foram adicionados à solução de ácido clorídrico (HCl) e água deionizada na proporção (1:1) e aquecidos a 100°C para obter uma solução rica em  $\text{Fe}^{3+}$ , nomeada de *solução A*. A razão estequiométrica de Ca/Fe ideal para a obtenção de katoita foi a (2:1) que correspondem aproximadamente 0,7g de  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Sigma Aldrich). Esta massa foi adicionada na *solução A*, juntamente com uma segunda solução a base de hidróxido de sódio (NaOH) na razão 3mol/L, sob agitação vigorosa. A solução resultante foi submetida a um tratamento hidrotermal a 80°C por 24, 48, 120 e 168 horas. Após o tratamento hidrotermal o material foi lavagem com água deionizada, filtrado e seco a 50°C.

O produto final foi caracterizado pelas técnicas de difração de raio X, espectroscopia de infravermelho obtido por um espectrômetro de absorção molecular na região de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) (Bruker, Vertex 70), utilizando uma pastilha prensada a vácuo contendo 0,200 g de KBr e 0,0013 g de amostra e por microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS) da marca LEO-Zeiss, 430 Vp, em condições de análise utilizando imagens secundárias obtidas a 20 kV, com distância de trabalho de 11 mm, para reconhecimento da morfologia e análise semi-qualitativa do produto sintético final.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Resíduo de lavagem de bauxita

A composição mineralofica realizada por difração de Raio X indentificou que o resíduo de lavagem de bauxita (RBAUX) é compostos principalmente por kaolinita, hematita, gibbsite, anatásio e quartzo (Costa et al.,2014). (Figura 1). Esta composição foi a mesma do seu produto comercial (bauxita lavada), o que sugere que o processo de beneficiamento de lavagem da bauxita, para separação e redução da granulometria da mesma, não afeta a mineralogia dos rejeitos.

A composição química, investigada por fluorescência de raios-X, (Tabela 1), mostrou uma composição média principalmente de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (29%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (27,5%), o que pode está relacionado aos minerais gibbsite e hematita, respectivamente. Teores de  $\text{SiO}_2$  (24,6%) e  $\text{TiO}_2$  (3,9%) também foram detectados e foram atribuído às fases de caulinita, quartzo e anatásio. Estes resultados indicaram que o RBAUX é favorável à síntese de katoita.

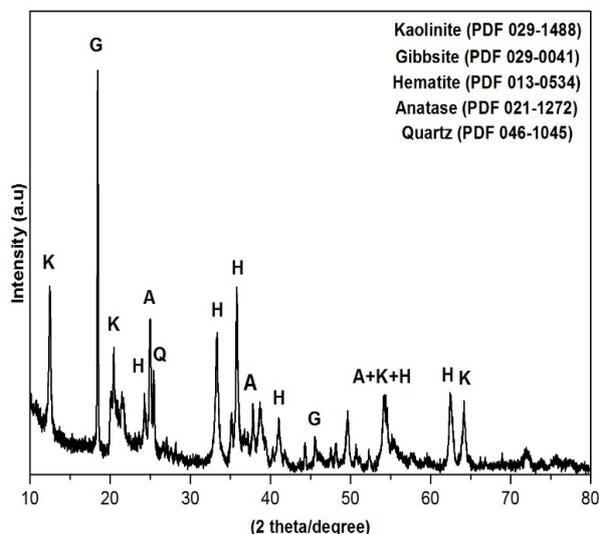


Figura 1. Padrão de DRX da amostra de rejeito de lavagem de bauxita, RBAUX.

RBAUX	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	ZrO <sub>2</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	P.F. (%)
	29,0	27,5	24,6	3,9	0,1	< 0,1	14,73

Tabela 1. Composição química da RBAUX.

P.F. = Perda ao fogo

### 3.2 Transformação do rejeito em katoita

A influência do tempo de cristalização na síntese de katoita foi analisada por DRX (Figura 2). Observou-se nos padrões de DRX a formação da katoita em todos os intervalos de tempo analisados devido a presença dos picos indexados em 17.28; 19.58; 26.52; 28.42; 31.87; 35.00; 39.28; 44.46; 52.54 e 54.67 ( $2^\circ\theta$ ) que correspondem aos planos cristalográficos (211), (220), (321), (400), (420), (422), (521), (532), (640) e (642). O sistema cristalino cúbico, sendo  $a = b = c = 12.55\text{Å}$ , grupo espacial Ia-3d e  $V = 1978,34\text{ Å}^3$  (PDF 00-024-0217) (Olijnyk et al., 1991; Passaglia e Rinaldi, 1984). Além da formação da katoita, notou-se a formação de fases secundárias como calcita (PDF 00-047-1743), amostras obtidas após 120 e 168h, e hidrocalumita (PDF 00-042-0558), amostra obtida após 24h, devido a presença de seus picos principais em  $2^\circ\theta = 29,37$  e  $11,18$ , respectivamente.

Conforme pôde ser observado a amostra obtida em 48h, a  $80^\circ\text{C}$ , mostrou-se ideal para a obtenção da katoita pura, sem a ocorrência de fases secundárias (Figura 3). Segundo Passaglia & Rinaldi (1984), o aumento de intensidade na reflexão (220) pode indicar que os íons  $\text{Fe}^{3+}$  estão em maior concentração nos octaédricos que formam a estrutura desse material, do que o  $\text{Al}^{3+}$ .

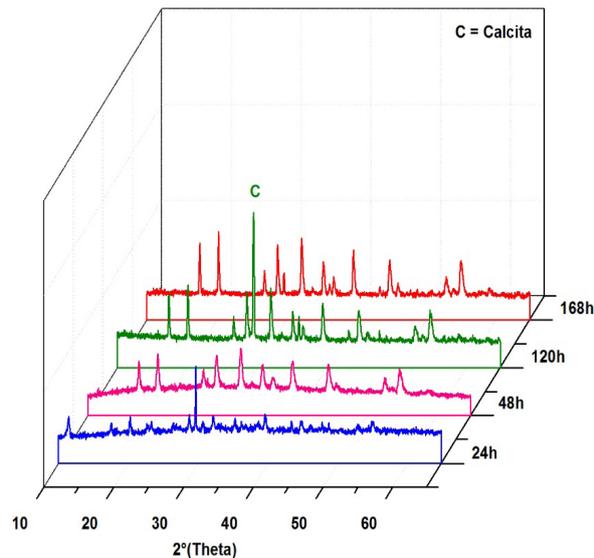


Figura 2. Padrões de DRX obtidos em 24, 48, 120 e 168 horas. C = calcita.

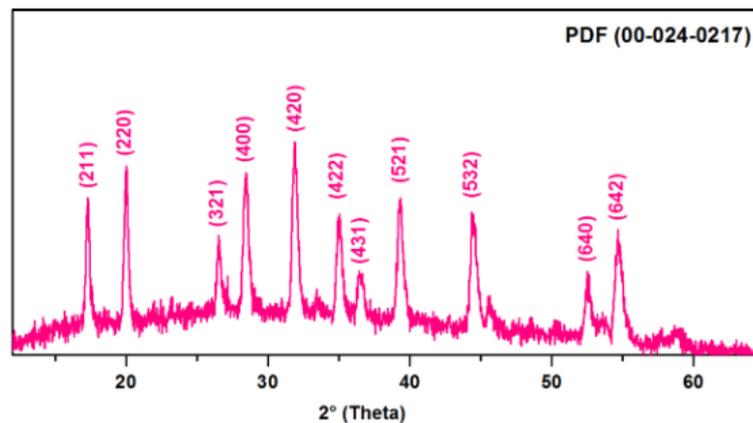


Figura 3. Padrões de DRX da katoita obtida após 48 horas.

Uma investigação por espectroscopia de infravermelho foi feita na amostra obtida após 48 horas (Figura 4). A banda em  $3608\text{ cm}^{-1}$  corresponde as vibrações do estiramento O-H de água livre ou quimicamente ligada a estrutura da katoita, enquanto as bandas em  $1634$  e  $1469\text{ cm}^{-1}$  podem está relacionadas as vibrações do estiramento das bandas de C-O do grupo do carbonato  $\text{CO}_3^{2-}$  adsorvido na superfície do material. As bandas registradas em  $876$  e  $454\text{ cm}^{-1}$  foram atribuídas as vibrações do estiramento Metal-O (Ca-O, Al-O, Fe-O) (Yang et al., 2017; Geiger & Rossman, 2018).

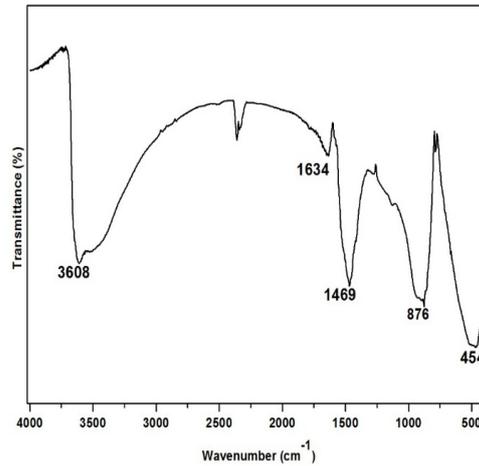


Figura 4. Espectro de infravermelho da katoita obtida a 48horas.

A morfologia da katoita por microscopia eletrônica de varredura (Figura 5), revelou um agregado de cristais octaédricos de Ca/Fe/Al com tamanho médio de  $5\mu\text{m}$ , cuja análise semi-quantitativa por EDS revelou uma composição média dos octaédricos de Ca =  $\sim 12.25$ , Fe =  $\sim 6.75\%$  e Al =  $\sim 2.5\%$  (Passaglia & Rinaldi, 1984).

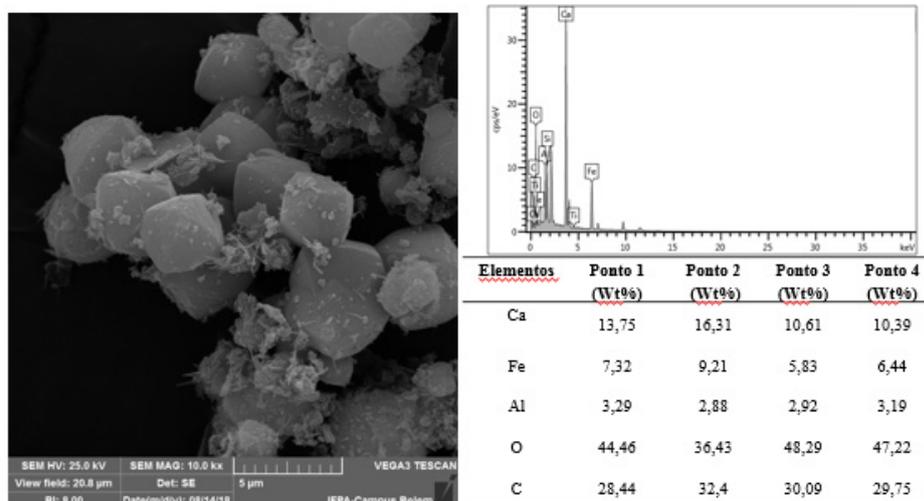


Figura 5. Morfologia do cristal de katoita por microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS).

## 4 | CONCLUSÃO

Baseado nos resultados ilustrado neste trabalho, o resíduo de lavagem de bauxita da região Amazônica constituídos por kaolinita, gibbsita, hematita, anatásio e quartzo, com alto teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mostrou-se ser uma excelente material de partida para a produção de hidrogrossular com estrutura análoga a katoita. A banda de infravermelho em  $3608\text{ cm}^{-1}$  é de fundamental importância para a confirmação da presença do grupo hidróxila (OH) na estrutura cristalina do material, e o EDS

releva uma composição de Ca-Fe/Al.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro das agências de fomento CNPq (Universal 420169/2016-4), CAPES (88881.160695/2017-01) e IFPA-Campus Parauapebas (PA) pelo apoio institucional.

## REFERÊNCIAS

- ATKINS, M., AND GLASSER, F.P. **Application of portland cement-based materials to radioactive waste immobilization**. Waste Management, 12, 105–131. 1992.
- COSTA, M, L. et al. **On the geology, mineralogy and geochemistry of the bauxite-bearing regolith in the lower Amazon basin: Evidence of genetic relationships**. Journal of Geochemical Exploration. 2014
- DILNESA, B. Z. LOTHENBACH, B. RENAUDIN, G. WICHSER, A. KULIK, D. **Synthesis and characterization of hydrogarnet  $\text{Ca}_3(\text{Al}_x\text{Fe}_{1-x})_2(\text{SiO}_4)_y(\text{OH})_4(3 - y)$** . Cement and Concrete Research, n. 59, pp. 96–111. 2014.
- GEIGER. C.A; ROSSMAN. G.R. **IR spectroscopy and OH – in silicate garnet: The long quest to document the hydrogarnet substitution**. American Mineralogist, Vol 103, pp 384–393, 2018.
- HILLIER, S., LUMSDON, D.G., BRYDSON, R., AND PATERSON, E. **Hydrogarnet: A host phase for Cr(VI) in chromite ore processing residue (COPR) and other high pH wastes**. Environmental Science and Technology, 41, 1921–1927. 2007.
- KLEIN C. & DUTROW B. **Manual de ciência dos minerais**. Traduzido por Rualdo Menegat. Porto Alegre: Bookman, Ed 23ª. pp. 724. 2012.
- LACIVITA, V. MAHMOUD, A. ERBA, A. D. ARCO, F. MUSTAPHA, s. **Hydrogrossular,  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3\text{-x}(\text{H}_4\text{O}_4)_x$ : An Ab initio investigation of its structural and energetic properties**. 2015.
- OLIJNYK, H. PARIS, E. GEIGER. C. A. G. A. LAGER. **Compressional Study of Katoite  $[\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH}_4)_3]$  and Grossular Garnet**. Journal of geophysical research, vol. 96, n. 14, pp.313-14. 1991.
- PASSAGLIA, E. RINALDI, R. **Katoite, a new member of the  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3\text{-Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$  series and a new nomenclature for the hydrogrossular group of minerals**. In: Bulletin de Minéralogie, vol. 107, n. 5, pp. 605-618. 1984.
- SCHOENITZ, M. NAVROTSKY, A. **Enthalpy of formation of katoite  $\text{Ca}_3\text{Al}_2[(\text{OH})_4]_3$ : Energetics of the hydrogarnet substitution**. American Mineralogist, Vol. 84, pp. 389–391. 1999.
- YANG, J. LI, D. FANG, Y. **Synthesis of Nanoscale  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  and  $\text{Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  Using the Hydrothermal Method and Their Characterization**. Materials (Basel), n.10, vol. 7, pp. 695. 2017.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aço 3, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 37, 93

Aerogeradores 1, 3, 4, 6

Amazônia 8, 80

### B

Baja 8, 21, 22, 23, 24, 25, 31, 32

Bauxita 8, 80, 81, 82, 83, 85

### C

Chapas 8, 9, 10, 15, 17, 18, 19

Coco babaçu 9, 87, 89, 92, 93

Compósitos 8, 33, 34, 35, 38, 40, 42, 45, 48, 49, 50, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 71, 87, 88, 89, 92, 108, 109

Compósitos Poliméricos Híbridos 33

Concreto 9, 3, 87, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 99, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112

Critérios de falha 33, 35

### E

energia 7, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 29, 67, 69, 88, 91

Energia 6, 7, 20, 71

ENERGIA 8, 1

Ensaaios 8, 9, 11, 15, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 30, 31, 33, 35, 37, 42, 45, 72, 73, 74, 75, 77, 94, 96, 97, 98, 99, 102, 104, 109

Ensaaios Mecânicos 19, 21, 24

Eólica 8, 1, 2, 3, 4, 5, 7

### F

Ferroelétricos 48, 49, 55, 59

Fibras 8, 9, 33, 34, 36, 37, 42, 43, 44, 45, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93

Fratura 33, 35, 38, 40, 41, 42, 43, 45

Furo Central 33, 36, 39, 40, 42, 45

### G

Gaiola 21, 22, 23

## K

katoita 8, 80, 81, 82, 83, 84, 85

## P

Parques 8, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Propriedades 8, 9, 8, 9, 15, 19, 20, 21, 24, 25, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 44, 46, 48, 49, 51, 54, 56, 59, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 95, 96, 99, 102, 108, 110

PVDF 8, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61

## R

Rejeitos 8, 80, 81, 82

Resistência 9, 6, 19, 24, 28, 33, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 48, 68, 72, 87, 88, 90, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 106, 107, 108, 109, 110

Resistência Residual 33, 35, 38, 39, 44, 45

## S

SAE 8, 9, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 32

Soldagem 21, 23, 26, 28, 29, 31, 32, 113

## V

Ventos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

## Z

ZTA 21, 24, 28, 29, 30

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**