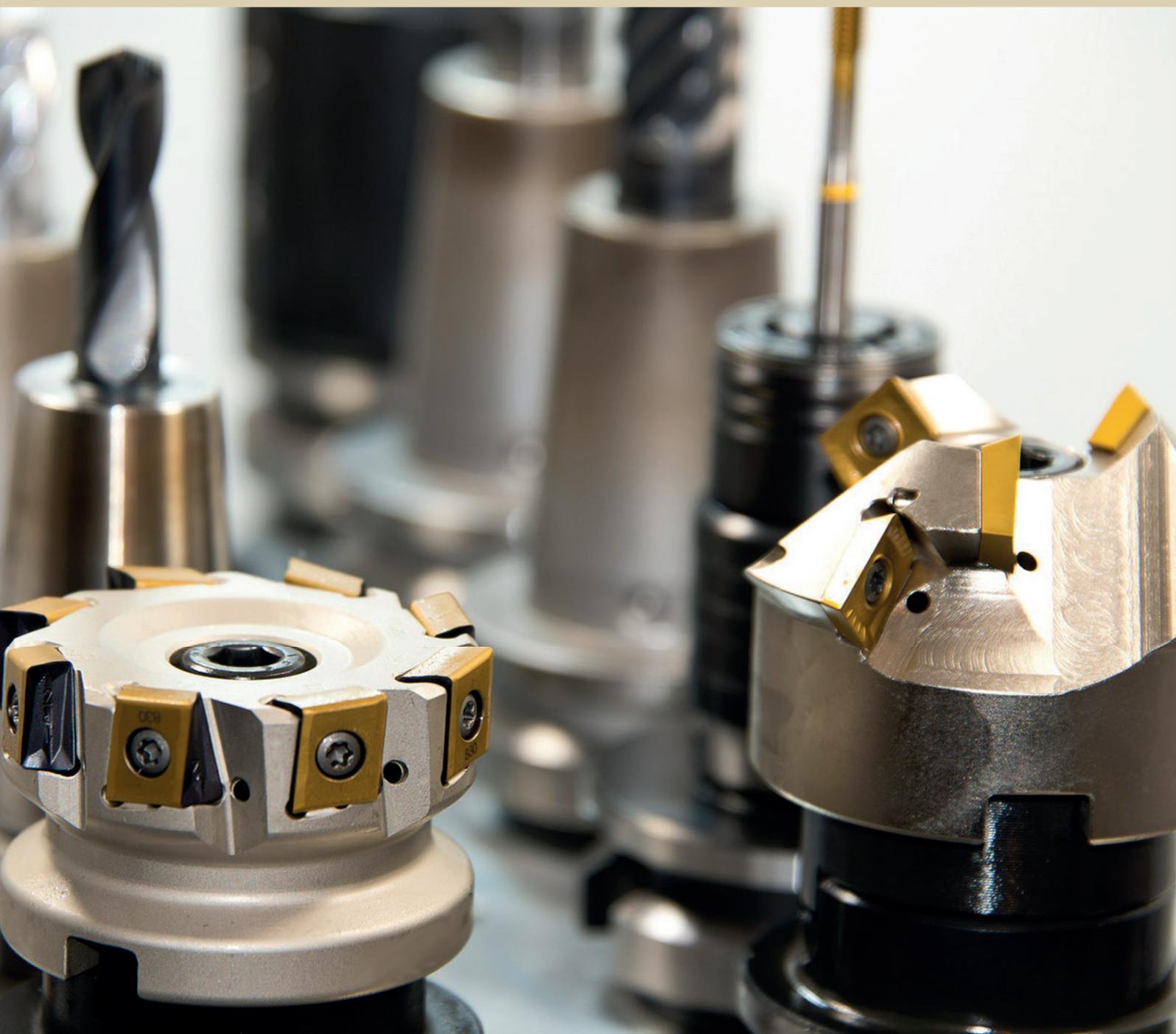


# Ciência e Engenharia de Materiais

Marcia Regina Werner Schneider Abdala  
(Organizadora)



 **Atena**  
Editora

Ano 2018

**MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA**

(Organizadora)

# **Ciência e Engenharia de Materiais**

Atena Editora

2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

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)

C569 Ciência e engenharia de materiais [recurso eletrônico] / Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Ciência e Engenharia de Materiais; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-62-8

DOI 10.22533/at.ed.628183010

1. Engenharia. 2. Materiais I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.11

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.

2018

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](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Você já percebeu a importância dos materiais na sua vida diária? Os materiais estão provavelmente mais imersos na nossa cultura do que a maioria de nós imagina. Diferentes segmentos como habitação, saúde, transportes, segurança, informação/comunicação, vestuário, entre outros, são influenciados em maior ou menor grau pelos materiais.

De fato a utilização dos materiais sempre foi tão importante que os períodos antigos eram denominados de acordo com os materiais utilizados pela sociedade primitiva, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A humanidade está em constante evolução, e os materiais não são exceções. Com o avanço da ciência e da tecnologia a cada dia surgem novos materiais com características específicas que permitem aplicações pormenorizadas e inovação nas mais diferentes áreas.

Todos os dias centenas de pesquisadores estão atentos ao desenvolvimento de novos materiais e ao aprimoramento dos existentes de forma a integrá-los em tecnologias de manufatura economicamente eficientes e ecologicamente seguras.

Estamos entrando em uma nova era caracterizada por novos materiais que podem tornar o futuro mais fácil, seguro e sustentável. O campo da Ciência e Engenharia de Materiais aplicada está seguindo por novos caminhos. A iminente escassez de recursos está exigindo inovações e ideias criativas.

Nesse sentido, este livro evidencia a importância da Ciência e Engenharia de Materiais, apresentando uma coletânea de trabalhos, composta por quatro volumes, que permitem conhecer mais profundamente os diferentes materiais, mediante um exame das relações entre a sua estrutura, as suas propriedades e o seu processamento.

Considerando que a utilização de materiais e os projetos de engenharia mudam continuamente e que o ritmo desta mudança se acelera, não há como prever os avanços de longo prazo nesta área. A busca por novos materiais prossegue continuamente...

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
COMPÓSITOS AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZRO <sub>2</sub> : PROCESSAMENTO E PROPRIEDADES MECÂNICAS	
<i>João Domingos Covello Carregosa</i>	
<i>Luiz Fernando Grespan Setz</i>	
<i>Rosane Maria Pessoa Betânio Oliveira</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>16</b>
PROPRIEDADES DE ÓXIDO DE CÉRIO OBTIDO VIA SÍNTESE HIDROTHERMAL ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS	
<i>João Domingos Covello Carregosa</i>	
<i>Rosane Maria Pessoa Betânio Oliveira</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> REFORÇADO COM NANOPARTÍCULAS DE ZRO <sub>2</sub> (3%MOL Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	
<i>Caio Marcello Felbinger Azevedo Cossú</i>	
<i>Claudinei dos Santos</i>	
<i>Manuel Fellipe Rodrigues Paes Alves</i>	
<i>Leonardo Queiroz Bueno Campos</i>	
<i>Bruno Galvão Simba</i>	
<i>Roberto de Oliveira Magnago</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>42</b>
EFEITO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO NAS PROPRIEDADES DE BLOCOS CERÂMICOS	
<i>Geovana Lira Santana</i>	
<i>Manoel da Cruz Barbosa Neto</i>	
<i>Ricardo Peixoto Suassuna Dutra</i>	
<i>Daniel Araújo de Macedo</i>	
<i>Lizandra Fernanda Araújo Campos</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PROPORÇÃO DO SUBSTITUINTE CÁLCIO NA ATIVIDADE CATALÍTICA NA REDE DA PEROVSKITA LA <sub>(1-x)</sub> CA <sub>(x)</sub> MNO <sub>3</sub> (X=0,2 E 0,4)	
<i>Anderson Costa Marques</i>	
<i>Mariza de Carvalho Montenegro Fernandes</i>	
<i>Cássia Carla de Carvalho</i>	
<i>Ana Karenina de Oliveira Paiva</i>	
<i>Filipe Martel de Magalhães Borges</i>	
<i>Felipe Olobardi Freire</i>	
<i>Alexandre de Sousa Campos</i>	
<i>Juan Alberto Chaves Ruiz</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
INCORPORAÇÃO DO ÓXIDO DE MAGNÉSIO NA ZEÓLITA MCM-22 UTILIZANDO A TÉCNICA DE IMPREGNAÇÃO POR COMPLEXAÇÃO	
<i>André Miranda da Silva</i>	
<i>Vitória de Andrade Freire</i>	
<i>Caroline Vasconcelos Fernandes</i>	
<i>Franciele Oliveira Costa</i>	
<i>Bianca Viana de Sousa</i>	

**CAPÍTULO 7 ..... 69**

AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DO PÓ DE RESÍDUO DE MANGANÊS EM MATRIZ CERÂMICA PARA REVESTIMENTO

*Ana Claudia Rangel da Conceição*  
*Eval Oliveira Miranda Junior*  
*Helen Fernandes de Sousa*  
*Olímpio Baldoino da Costa Vargens Neto*  
*Victor Antunes Silva Barbosa*  
*Oswaldo Cruz Santos*  
*Mirtânia Antunes Leão*

**CAPÍTULO 8 ..... 81**

ANÁLISE DO CUSTO DE FABRICAÇÃO BASEADO NA GEOMETRIA DE PEÇAS CERÂMICAS USANDO ERP - ESTUDO DE CASO EM MPE

*Suellen de Mendonça Terroso Ferreira Jacoboski*  
*Marcia Silva de Araujo*  
*José Alberto Cerrí*

**CAPÍTULO 9 ..... 93**

SÍNTESE TERMAL DE PENEIRA MOLECULAR DE ÓXIDO DE MN K-OMS-2 A PARTIR DE K-BIRNESSITA OBTIDA PELO MÉTODO SOL-GEL

*Bruno Apolo Miranda Figueira*  
*Dayane dos Santos Rezende*  
*Kássia Lene Lima Marinho*  
*Milena Carvalho de Moraes*  
*Gilvan Pereira de Figueiredo*  
*José Manuel Rivas Mercury*

**CAPÍTULO 10 ..... 99**

COMPARAÇÃO DE DIFERENTES TÉCNICAS DE INCORPORAÇÃO DO ÓXIDO DE COBALTO NA PENEIRA MOLECULAR SBA-15

*Franciele Oliveira Costa*  
*Jonas Santana Albuquerque*  
*Bianca Viana de Sousa*

**CAPÍTULO 11 ..... 109**

ATIVAÇÃO POR CALCINAÇÃO DO ÓXIDO DE ZIRCÔNIA UTILIZANDO DIFERENTES TEMPERATURAS INCORPORADO NA PENEIRA MOLECULAR MCM-41

*Maria Rosiane de Almeida Andrade*  
*Carlos Eduardo Pereira*  
*José Jaílson Nicácio Alves*  
*Bianca Viana de Sousa Barbosa*

**CAPÍTULO 12 ..... 119**

PROCEDIMENTOS NA SIMULAÇÃO MATEMÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DE VALORES E MAXIMIZAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE NOVOS MATERIAIS CERÂMICOS

*José Vidal Nardi*  
*Aline Souza Lopes Ventura Nardi*

**CAPÍTULO 13 ..... 136**

PRODUÇÃO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO A PARTIR DE RESÍDUO DA PEDRA CARIRI VISANDO SUA APLICAÇÃO EM BIOMATERIAIS

*Tiago Maia Esmeraldo Alves*  
*Ana Cândida de Almeida Prado*

**CAPÍTULO 14..... 148**

SÍNTESE DE NANOCATALISADORES CERÂMICOS DE COMPOSIÇÃO  $Zr_{1-x}Ce_xO_2$  PARA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEL GASOSO ECOLOGICAMENTE CORRETO

*Pedro Henrique Pinheiro Lima*  
*Gislayne Rayane Alves da Silva*  
*Francisco Natanael Félix Barbosa*  
*Maria Isabel Brasileiro*  
*Laédna Souto Neiva*

**SOBRE A ORGANIZADORA ..... 159**

## PRODUÇÃO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO A PARTIR DE RESÍDUO DA PEDRA CARIRI VISANDO SUA APLICAÇÃO EM BIOMATERIAIS

**Tiago Maia Esmeraldo Alves**

Universidade Federal do Cariri  
Juazeiro do Norte – Ceará

**Ana Cândida de Almeida Prado**

Universidade Federal do Cariri  
Juazeiro do Norte - Ceará

**RESUMO:** A extração da Pedra Cariri no nordeste é uma atividade frequente devido sua aplicação ornamental como também para o setor de construção civil. Contudo, por esta extração, a formação de resíduo não aproveitado cresce e se torna uma problemática ao meio ambiente. O objetivo deste trabalho é produzir hidroxiapatita, a partir deste resíduo calcítico, com porosidade, solubilidade e granulometria controladas. O resíduo foi caracterizado por difração de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX) e análise termogravimétrica (ATG). O calcário foi calcinado em 850°C e 950°C, por 45 minutos e três horas, sendo caracterizado por DRX, FRX e ATG. Depois de calcinado, o mesmo foi hidratado com 17,5g e 22g de óxido para 100mL água e misturado manualmente por 15 e 25 minutos. Os hidróxidos produzidos serão fonte de matéria prima para fabricar hidroxiapatita, cuja mesma será caracterizada por DRX, microscopia de varredura (MEV) e infravermelho, como também será estudado sua viabilidade como um biomaterial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo. Pedra Cariri. Calcinação. Hidroxiapatita. Biomaterial.

**ABSTRACT:** The extraction of Cariri stone in the northeast is a frequent activity because of its ornamental application as well as for the construction sector. However, by this extraction, untapped waste formation grows and becomes a problem for the environment. The objective of this work is to produce calcium hydroxide, from this limestone residue, with controlled porosity, solubility and particle size. The waste was characterized with XRay Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF) and thermal analysis (TGA). The limestone was calcined at 850°C and 950°C for 45 minutes and three hours, being characterized by XRD, XRF and TGA. Once calcined, it was hydrated with 17,5g and 22g oxide to 100mL water and manually mixed for 15 and 25 minutes. The hydroxides produced will be a source of raw material to produce hydroxyapatite, which will be characterized by XRD, scanning electron microscopy (SEM) and infrared, as well as its viability as biomaterial.

**KEYWORDS:** Waste. Cariri Stone. Calcined. Hydroxyapatite. Biomaterial.

## 1 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No sul do Estado do Ceará, nordeste do Brasil, ocorre a extração de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que é utilizado na indústria de ornamentações em formas de lajotas, que comercialmente é conhecido como Pedra Cariri. Segundo Vidal, Padilha e Oliveira (2006) e Suassuna, Brasileiro e Prado (2012), a extração desta cerâmica é realizada com a retirada da camada de solo e de calcário intemperizado, realizando cortes na forma de placas do carbonato de cálcio de modo semi-mecanizado.

Foi aferido que todo o processo da extração gera uma perda total de material em torno de 70%. Isso ocorre por conta da utilização de tecnologias inadequadas às condições das jazidas, como também a falta de acompanhamento de pessoas capacitadas (VIDAL; PADILHA; OLIVEIRA, 2006).

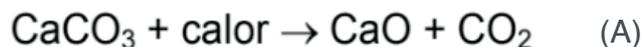
Um processo comum, realizado nas indústrias para expandir a utilidade econômica da Pedra Cariri, é a produção de cal pela decomposição do calcário por aquecimento que depois é aplicado em argamassas, correção de pH, utilizado como agente aglomerante, dentre outras aplicações. Este processo térmico para a produção de cal é chamado de calcinação.

A calcinação ocorre quando a temperatura de decomposição é atingida. A faixa de temperatura é em torno de  $900^\circ\text{C}$  para carbonatos com alto teor de pureza e o processo de produção de cal “começa em suas partes mais quentes (em contato com os gases), evoluindo como “ondas térmicas” em direção às zonas frias interior dos blocos” (SOARES; HORI; HENRIQUE, 2007). Durante o processo de calcinação, o material apresenta retração de volume, por outro lado se torna sensível a um aumento de porosidade e área específica.

Segundo Soares, Hori e Henrique (2007), a perfeita calcinação do carbonato depende das condições de operação do forno e a quantidade de matéria-prima utilizada. É dito por estes autores que a porosidade, o tamanho dos poros, densidade, forma dos grânulos, área superficial do grão e compostos químicos formados a partir de impurezas presentes na matéria prima podem ser igualmente aprimorados a depender da experiência do operador do forno durante o processo de calcinação, como também pela qualidade da matéria prima utilizada em larga escala. Durante a calcinação, é observado que “as fases cristalinas referentes aos carbonatos vão gradativamente sendo substituídas pelas fases ligadas à presença dos óxidos” (SOARES; HORI; HENRIQUE, 2007).

“Observa-se que em temperaturas entre  $900^\circ\text{C}$  e  $950^\circ\text{C}$  ocorre um processo de formação de poros no material e aglomeração de novos retículos cristalinos. Já a temperaturas superiores, entre  $1000^\circ\text{C}$  e  $1200^\circ\text{C}$ , as partículas se aglomeram de forma mais concisa, reduzindo a microporosidade do material” (SOARES; HORI; HENRIQUE, 2007).

O processo de calcinação é dito endotérmico e segue a reação A:



Essa reação é favorecida por altas temperaturas. Já, a inibição catalítica gerada pelas impurezas do calcário, concentração de  $\text{CO}_2$  e tamanho indevido de partícula são fatores adversos ao processo de calcinação do material (SOARES; HORI; HENRIQUE, 2007).

Outro processo comum que pode ser aplicado ao rejeito da Pedra Cariri seria a produção de hidróxido de cálcio pela hidratação da cal, conhecido grosseiramente como caldeamento. A cal hidratada é também um produto que apresenta vasta aplicação, principalmente por ser um material alcalino e de baixo custo. As propriedades que o hidróxido pode apresentar após o processo de hidratação são extremamente dependentes da qualidade da cal utilizada.

O processo para a fabricação de hidróxido de cálcio se trata da reação da hidratação da cal, onde a cal deve ser adicionada a água. O autor afirma que este processo é influenciado pela temperatura da água, qualidade da cal, a quantidade de óxido por água, a granulometria da cal e a agitação utilizada permitindo fabricar um material com maior ou menor porosidade, assim como, uma maior quantidade de área específica ou uma menor concentração de resíduo insolúvel (SILVA; HORI, 2007).

A reação que define o processo de hidratação é exotérmica e segue a reação B. A mesma é favorecida quando a água utilizada no processo apresenta uma temperatura de  $74^\circ\text{C}$  e utilizando pequenos tamanhos de partículas (aumentando a área específica) de cal na reação.



A reação de hidratação da cal é dividida em três etapas. De acordo com Silva e Hori (2007), a primeira etapa se trata da conversão do óxido de cálcio em hidróxido de cálcio, a segunda etapa é a dissolução do hidróxido de cálcio para produzir os íons de cálcio e íons hidróxido em solução e a terceira etapa a difusão dos íons cálcio e íons hidróxido na solução. Logo, é notável que tanto o processo de calcinação como hidratação se propagam por difusão.

Para testar a viabilidade da utilização do hidróxido como um biomaterial, é necessário o entendimento dos parâmetros que classificam estes materiais. Biomaterial é um material, de origem natural ou artificial, que é aplicado no sistema biológico com a finalidade de substituir ou tratar determinada lesão, como também restaurar funções comprometidas por trauma ou degeneração.

Para que a aplicação apresente resultado positivo, é necessário que este biomaterial também seja biocompatível com o corpo humano.

“Biocompatibilidade é a habilidade de um biomaterial desempenhar sua função desejada em relação a uma terapia médica, sem induzir qualquer efeito local

ou sistêmico indesejável ao beneficiário da terapia; mas, gerando as respostas celulares e teciduais mais benéficas naquela situação específica e otimizando as respostas clinicamente relevantes daquela terapia” (CARVALHO *et al.*, 2010).

Paralelamente, biomateriais também podem apresentar a propriedade de serem biodegradáveis. Essa característica do material, aplicado no sistema biológico, é dada pela absorção da substância utilizada na região alvo, sem causar problemas posteriores em relação à finalidade do tratamento.

A propriedade osteocondutora do material é capacidade de induzir a produção de um novo tecido ósseo na região lesionada onde o biomaterial foi aplicado. Com a biodegradabilidade, o material induzirá o desenvolvimento de tecido ósseo, que ocupará o lugar do biomaterial aplicado ou “ocorre à formação de uma interface de adesão contínua entre tecido e implante” (TURRER; FERREIRA, 2008).

A hidroxiapatita é um material cerâmico amplamente conhecido como um biomaterial que apresenta propriedades de biocompatibilidade, bioatividade e apresenta propriedade osteocondutora (SOUZA *et al.*, 2016). Devido a estas propriedades, existe um interesse na produção desta biocerâmica. Entretanto, a ocorrência dela é extremamente rara na natureza e a busca por novas alternativas de obtenção é de grande valia (COSTA *et al.*, 2009).

A obtenção da hidroxiapatita pode ser realizada por via úmida. Este método permite a obtenção de um material que apresenta características semelhantes ao do tecido ósseo e dentário (COSTA *et al.*, 2009). “Um dos métodos mais utilizado é a técnica de precipitação, que envolve reações via úmida entre percussores de cálcio e fósforo com controle de temperatura e pH da solução” (COSTA *et al.*, 2009). Este processo obedece a seguinte reação ácido-base;



Resultando em um pó de baixo tamanho de partícula (<10µm) e uma cristalinidade semelhante ao que é observado nos tecidos ósseos (COSTA *et al.*, 2009).

Portanto, formulou-se a hipótese de utilização do resíduo da Pedra Cariri, produzido durante a etapa de extração do calcário, para a fabricação de hidroxiapatita, onde deve ser aferida a composição química, mineralógica, tamanho de partícula. Após a etapa de produção ser concluída, será realizado um estudo para avaliar as propriedades osteocondutoras, como também a biocompatibilidade e bioatividade obtidas pelo resíduo da Pedra Cariri.

## 2 | METODOLOGIA

As amostras do resíduo da Pedra Cariri foram coletadas em uma mina localizada no município de Santana do Cariri (CE). Utilizou-se do moinho de bolas horizontal e

esferas de alumina para cominuir as amostras, em uma proporção de 60% de cerâmica e 40% de água destilada por no mínimo 24h. Retirou-se o material do moinho e a barbotina foi depositada na estufa, em uma temperatura entre 60°C e 120°C, por dois dias para secar a água da mistura. Logo após, com o auxílio de peneira de mesh 40 (0,42µm), foi preparado o pó do resíduo da Pedra Cariri.

Alíquotas desse pó foram retiradas, previamente passadas em peneira de mesh 200 (0,074µm), para análise de difração de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX), como também uma pequena porção desse calcário oriundo da peneira de mesh 200 foi direcionado para análise térmica gravimétrica (ATG). Logo após essa etapa, foi realizada uma calcinação nos parâmetros descritos na Tabela 1. A calcinação foi realizada em forno mufla microprocessado, logo as condições de propagação de calor dentro forno não podem ser controladas neste experimento.

Amostra	Abertura da peneira ou maior tamanho de partícula (µm)	Massa (g)	Tempo (minutos)	Temperatura (°C)	Velocidade de aquecimento (°C/minuto)
1	0,42	400	45	850	10
2	0,42	400	45	950	10
3	0,42	400	180	850	10
4	0,42	400	180	950	10

Tabela 1: Parâmetros utilizados no processo de calcinação do resíduo.

Fonte: Própria.

Após a conclusão da calcinação, foram realizadas análises de DRX, FRX e ATG dessas amostras para verificar a qualidade da cal produzida.

Realizou-se a hidratação das quatro amostras de óxido de cálcio, obtidas no processo anterior, resultando em quatro processos distintos de hidratação, onde se manteve a granulometria do material a ser hidratado passando pela peneira de 100 mesh (0,149µm), a temperatura do banho entre 70 e 75°C e a proporção de material sólido/água e o tempo de reação foram variados, para cada tipo de óxido obtido. A hidratação foi realizada de acordo com os parâmetros da Tabela 2.

Amostra	CaO/H <sub>2</sub> O (g/100mL)	Tempo de reação (minutos)
1.1	17,5	15
1.2	17,5	25
1.3	22,0	15
1.4	22,0	25
2.1	17,5	15
2.2	17,5	25
2.3	22,0	15
2.4	22,0	25
3.1	17,5	15

3.2	17,5	25
3.3	22,0	15
3.4	22,0	25
4.1	17,5	15
4.2	17,5	25
4.3	22,0	15
4.4	22,0	25

Tabela 2: Parâmetros utilizados no processo de hidratação do óxido de cálcio.

Fonte: Própria.

O processo de hidratação foi realizado com base na técnica laboratorial evidenciada por Silva e Hori (2007). Depois de hidratados, realizou-se a secagem do material por 3 dias a 40°C em estufa e 30 dias de repouso no dessecador para a retirada da água em excesso do processo de hidratação.

Pelos resultados da caracterização dos óxidos produzidos, selecionaram-se as amostras de hidróxido (preparadas em peneira de mesh 100) que apresentariam um maior grau de calcinação para servirem de matéria-prima para a produção de hidroxiapatita, como também a caracterização destas por DRX e para análise de espectroscopia de infravermelho e análise por microscópio eletrônico de varredura (MEV), para identificar as características do material final obtido.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para analisar a qualidade da Pedra Cariri estudada, foi realizada a caracterização mineralógica e química por, respectivamente, DRX e FRX, sendo também realizada uma análise de TGA do rejeito.

O resultado da análise química está exposto na Tabela 3. O difratograma de raios X do resíduo da pedra Cariri está exposto na Figura 1, essa mesma figura traz o resultado das difrações das amostras calcinadas nas diferentes condições de temperatura e tempo; os resultados foram interpretados com programa “X’Pert HighScore Plus”. Em sequência, a análise por termogravimetria do resíduo está exposta na Figura 2.

Na Tabela 3, é notável que o resíduo coletado para esta pesquisa apresentou um alto grau de pureza em relação ao elemento cálcio (CaO em 92,7%), essa elevada composição está relacionada com o alto grau de concentração de calcita (CaCO<sub>3</sub>) que pode ser observada na análise de composição mineralógica do rejeito pela difração de raios X (Figura 1).

Além do elevado teor de cálcio, é notável a existência de ferro, magnésio, silício e alumínio em pequenas concentrações. Estes elementos são justificáveis pelo fato da amostra ser advinda de uma rocha natural (cacos não aproveitáveis da Pedra Cariri), onde há minerais acessórios presentes na composição do material.

No difratograma exposto na Figura 1, a Pedra Cariri apresentou em sua composição

mineralógica picos característicos de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e um pico característico de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). O alto teor de cálcio pela análise FRX está concordando com o resultado exposto nesta análise mineralógica, assim como também o pequeno teor de sílica exposto na Tabela 3 está em concordância com o pequeno pico existente de quartzo apresentado na análise por DRX.

O resultado da análise termogravimétrica para o rejeito da Pedra Cariri está exposto na Figura 2. Nessa figura, foi notável que este material apresentava uma perda de massa quando aquecido em altas temperaturas. Esta perda foi aferida como 41% de sua massa total. A perda de massa é compatível com a relação estequiométrica da reação A para calcinação da calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que se transforma em óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), liberando gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e contabilizado o mesmo como perda de massa.

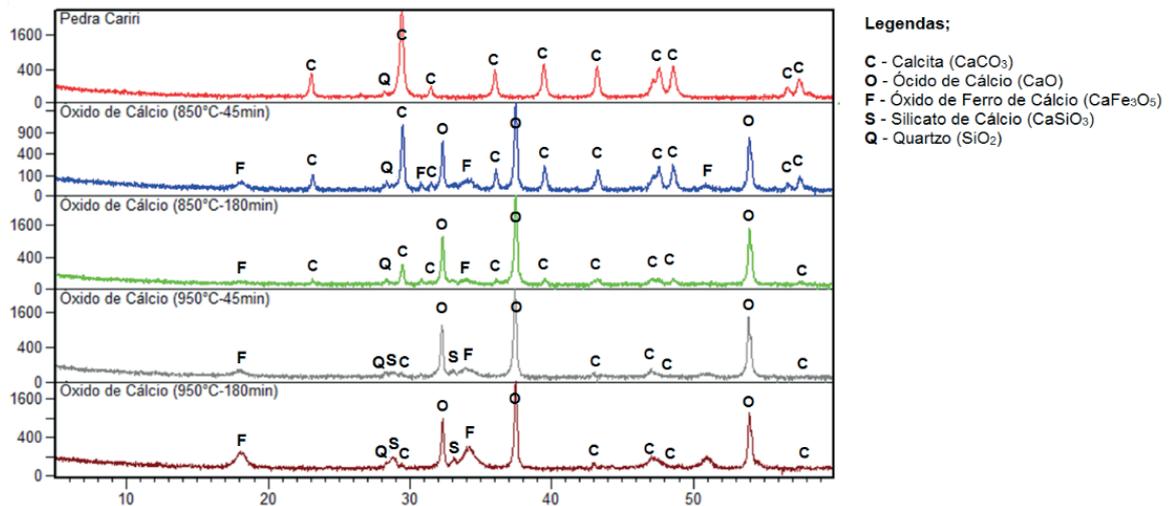


Figura 1: Picos característicos da Pedra Cariri e das quatro amostras calcinadas.

Fonte: Própria.

Analito	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MnO	SrO	ZnO	CuO
Teor (%)	92,70	1,67	1,46	1,32	1,29	0,67	0,50	0,21	0,10	0,08

Tabela 3: Composição mineralógica do resíduo da Pedra Cariri

Fonte: Própria.

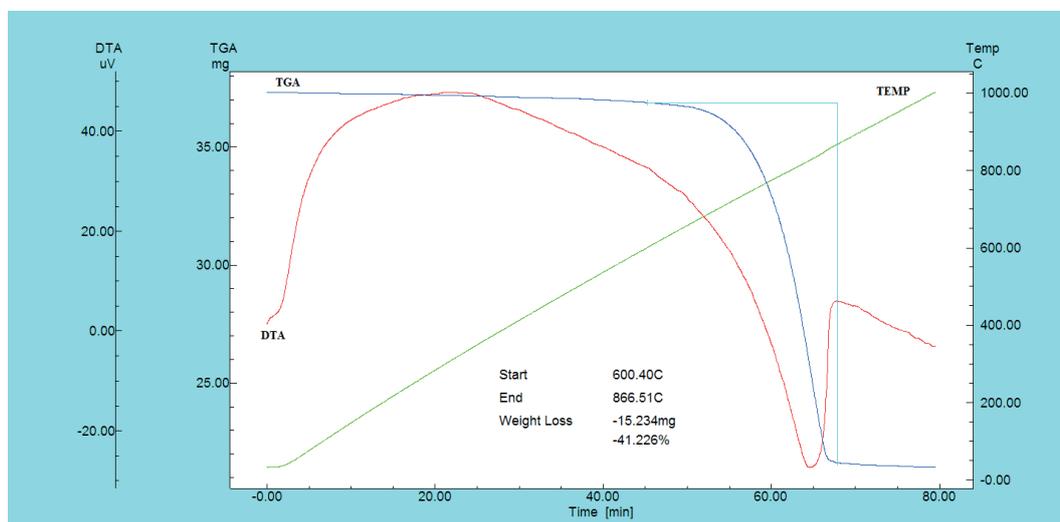


Figura 2: Análise Termogravimétrica da Pedra Cariri.

Fonte: Própria.

As quatro amostras de óxido obtidas pelo processo de calcinação foram caracterizadas mineralogicamente e quimicamente por, respectivamente, DRX e FRX, sendo realizada novamente uma análise de termogravimetria para aferir as perdas de massa após a calcinação. Os resultados das análises químicas estão expostos na Tabela 4. Os difratogramas dos óxidos obtidos estão expostos também na Figura 1. As análises térmicas dos quatro óxidos estão expostas nas Figuras 3, 4, 5 e 6.

Analito	Óxido 1 (850°C/45 min)	Óxido 2 (850°C/180min)	Óxido 3 (950°C/45min)	Óxido 4 (950°C/180min)
CaO	94,769%	94,470%	94,152%	94,635%
MgO	1,445%	1,393%	1,447%	1,362%
SiO <sub>2</sub>	0,984%	1,013%	1,103%	0,822%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,842%	0,984%	1,022%	0,767%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,024%	0,978%	1,216%	1,159%
MnO	0,403%	0,393%	0,443%	0,406%
SO <sub>3</sub>	0,228%	0,272%	0,382%	0,220%
K <sub>2</sub> O	0,076%	0,260%	-	0,359%
SrO	0,178%	0,173%	0,176%	0,165%
ZnO	0,051%	0,053%	0,059%	0,062%
ZrO <sub>2</sub>	-	0,011%	-	-
CuO	-	-	-	0,042%

Tabela 4: Composição mineralógica das amostras calcinadas (continua).

Fonte: Própria.

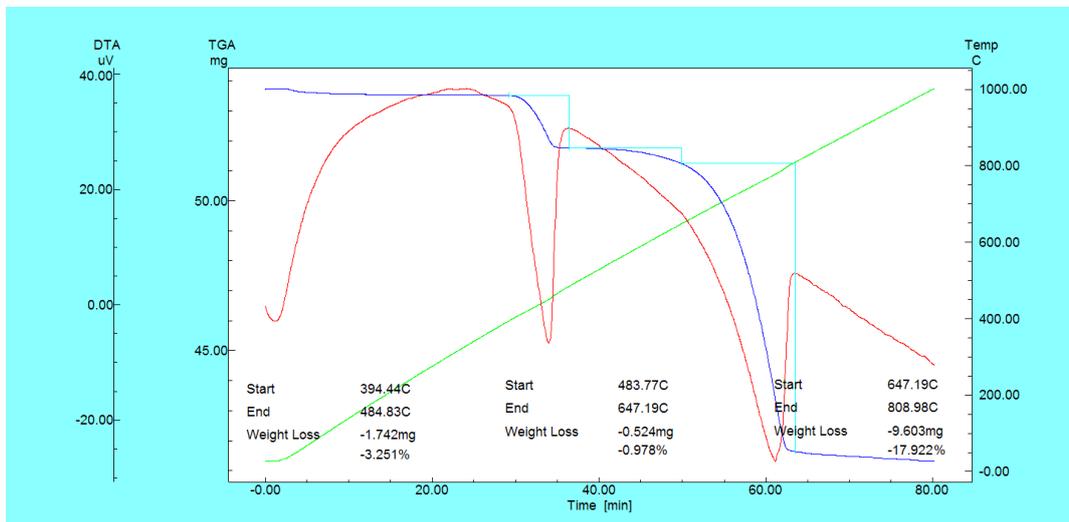


Figura 3: Análise termogravimétrica do material calcinado em 850°C por 45 minutos.

Fonte: Própria.

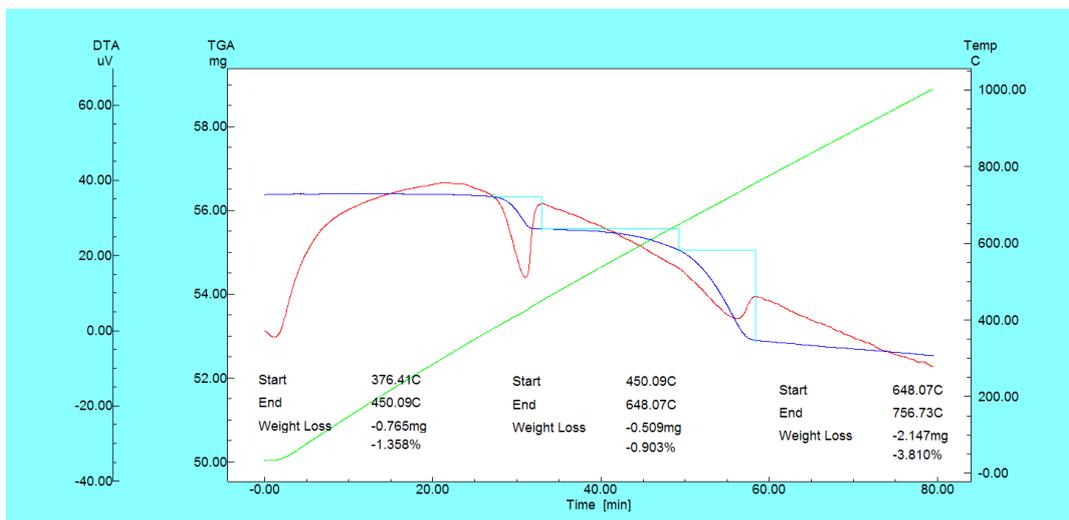


Figura 4: Análise termogravimétrica do material calcinado em 850°C por 180 minutos.

Fonte: Própria.

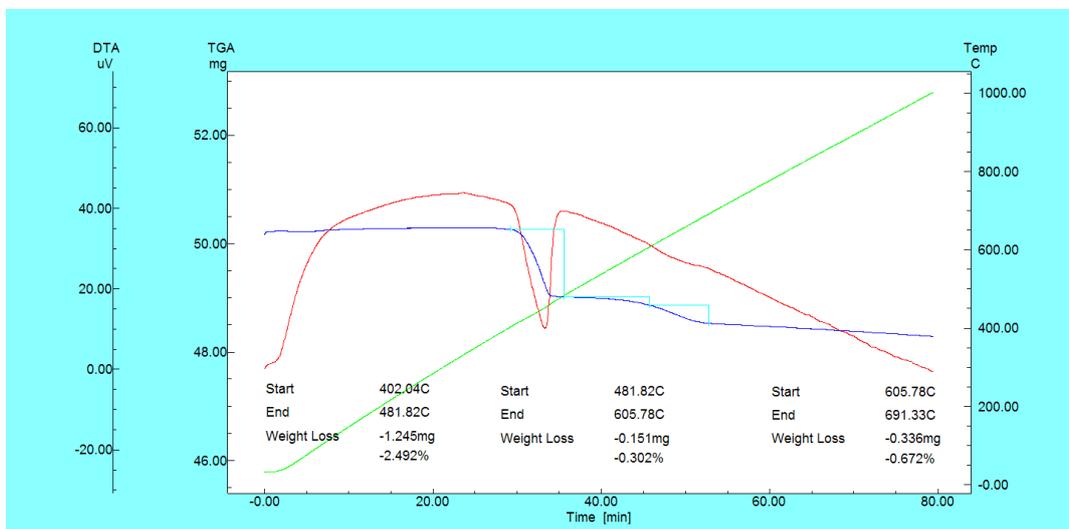


Figura 5: Análise termogravimétrica do material calcinado em 950°C por 45 minutos.

Fonte: Própria.

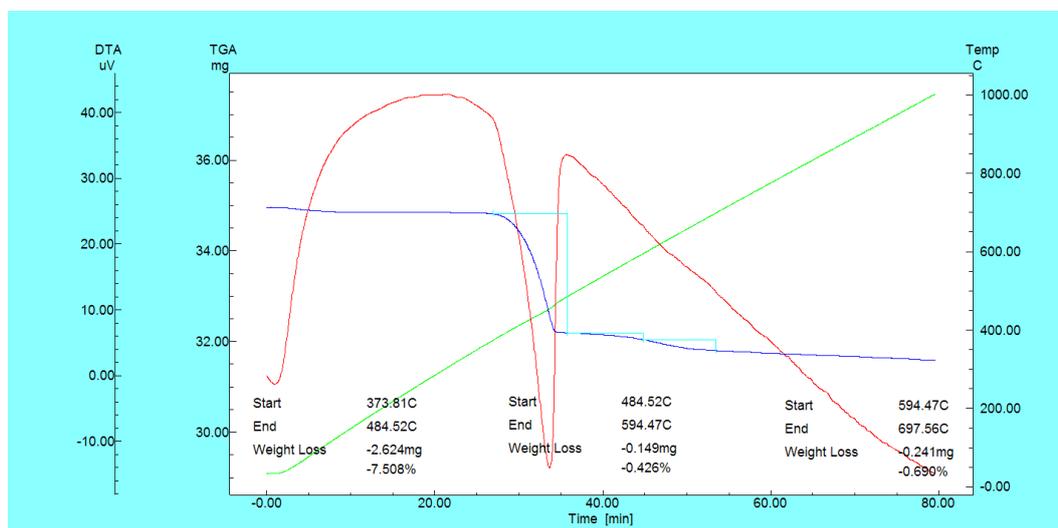


Figura 6: Análise termogravimétrica do material calcinado em 950°C por 180 min.

Fonte: Própria.

A variação dos parâmetros no processo de calcinação (Tabela 1) não influenciou a composição química das amostras obtidas após este processo. Os óxidos obtidos ainda apresentaram elevados teores de cálcio e existiu uma alteração mínima na proporção de ferro, magnésio, silício e alumínio em suas composições.

As amostras calcinadas apresentaram algumas diferenças em sua composição mineralógica, sendo notável que a amostra calcinada a 850°C por 45 minutos apresentou a formação de óxido de cálcio (CaO), mas ainda existiam elevados resquícios de calcita em sua estrutura evidenciados pelos picos característicos deste mineral restantes no material.

Para todas as amostras calcinadas, foram observados dois eventos de perda de massa: um que ocorre aproximadamente no intervalo de 400 a 450°C e, o outro, no intervalo de 600 a 800°C.

Este segundo intervalo (entre 600 e 800°C) está associado à reação de liberação de dióxido de carbono pelo aquecimento do carbonato. Foram aferidas perdas de massas associadas a este evento de aproximadamente 18%, 5%, 1% e 0,5% para as amostras que passaram respectivamente pela calcinação de 850°C por 45 minutos, 850°C por 180 minutos, 950°C por 45 minutos e 950°C por 180 minutos. Estas perdas de massas se tratam de resquícios de carbonato de cálcio, conforme também identificado na análise mineralógica do material.

Em consonância com as conclusões de Soares, Hori e Henrique (2007), para se produzir óxido de cálcio a partir da pedra Cariri, foi necessária uma temperatura de 950°C sem resquícios significativos de carbonato.

Os dados aferidos na análise termogravimétrica estão de acordo com os dados observados nas análises mineralógicas dos óxidos (Figura 3, 4, 5 e 6), onde foi observada uma redução dos picos característicos da calcita em sua estrutura em relação ao aumento da temperatura e do tempo utilizados no processo de calcinação.

O evento associado à perda de massa observada na faixa de 400°C ainda está sendo investigado, podendo ser relativo a uma nova fase gerada nos processos de calcinação ou alguma contaminação durante o processamento.

## 4 | CONCLUSÃO

Comparando as amostras calcinadas, é possível aferir que com o aumento de temperatura e tempo de calcinação, é evidente a redução dos picos característicos de Calcita, permitindo uma obtenção de um material com maior grau de pureza mineralógica em Óxido de Cálcio.

É notável também pela análise DRX que outras microestruturas foram formadas no óxido calcinado em 950°C por 180 min. Isto é justificado pelos outros elementos químicos além do Cálcio que, com o fornecimento de energia, facilitaram a formação de novas microestruturas.

Conclui-se, também, que a temperatura de 850°C não é suficiente para calcinar por completo o material. E que na temperatura de 950°C, o intervalo de tempo de 45 minutos já é suficiente para a calcinação total.

Apesquisa está em andamento para realizar a reação de obtenção de hidroxiapatita com o hidróxido de cálcio, como também aferir seu potencial como um biomaterial por meio da resposta de um sistema vivo a sua aplicação.

## REFERÊNCIAS

CARVALHO, P. D. P.; ROSA, A. L.; BASSI A. P. F.; PEREIRA, L. A. V. D. **Biomateriais aplicados a Implantodontia**. Revista Implantnews, volume 7, número 3, página 56-65, Maio/Junho, 2010.

COSTA, A. C. F. M. *et al.* **Hidroxiapatita**: Obtenção, caracterização e aplicações. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, volume 4, número 3, página 29-38, Novembro, 2009.

SILVA, A. C.; HORI, C. E. **Estudo e otimização da reação de hidratação do óxido de cálcio**. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SOARES, B. D.; HORI, C. E.; HENRIQUE, H. M. **Estudo na produção de óxido de cálcio por calcinação do calcário**: caracterização dos sólidos, decomposição térmica e otimização paramétrica. 2007. 383 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SOUZA, G. *et al.* **Hidroxiapatita como biomaterial utilizado em enxerto ósseo na implantodontia**: Uma reflexão. Revista Odontológica de Araçatuba, volume 37, número 3, página 33-39, Setembro/Dezembro, 2016. Disponível em: < <http://apcdaracatuba.com.br/revista/2016/12/5.pdf>>. Acesso em: 17 de Janeiro de 2018.

SUASSUNA, F. M.; BRASILEIRO, M. I.; PRADO, A.C.A. **Reaproveitamento do rejeito da extração e beneficiamento da Pedra Cariri em massas cerâmicas**. IV Encontro Universitário da UFC no Cariri, UFCA, 2012.

TURRER, C. L.; FERREIRA, F. P. M. **Biomateriais em Cirurgia Craniomaxilofacial**: Princípios

básicos e aplicações. Revista Brasileira de Cirurgia Plástica, volume 23, número 3, páginas 234-239, Julho/Agosto/Setembro, 2008.

VIDAL, F. W. H; PADILHA, M. W. M; OLIVEIRA, R. R. **Aspectos Geológicos da Bacia do Araripe e do aproveitamento dos rejeitos da Pedra Cariri - Ceará.** In: Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais do Nordeste. 5° ed. 2006. Pernambuco. Anais... Rio de Janeiro: CETEM. 2006. p. 31 – 36.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**Marcia Regina Werner Schneider Abdala:** Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação lato sensu; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-62-8

