

# Princípios de Química

Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Carmen Lúcia Voigt**  
(Organizadora)

# **Princípios de Química**

Atena Editora  
2019

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

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

### **Conselho Editorial**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Conselho Técnico Científico**

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

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
P957	Princípios de química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-422-1 DOI 10.22533/at.ed.221192406  1. Química – Estudo e ensino. I. Voigt, Carmen Lúcia.  CDD 540.7
<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

Química é a ciência que estuda a estrutura das substâncias, a composição e as propriedades das diferentes matérias, suas transformações e variações de energia. A Química conquistou um lugar central e essencial em todos os assuntos do conhecimento humano, estando interligada com outras ciências como a Biologia, Ciências Ambientais, Física, Medicina e Ciências da Saúde.

Pesquisas na área da Química continuam evoluindo cada dia, sendo benéficas devido maior conscientização de como usar os conhecimentos químicos em prol da qualidade de vida e do desenvolvimento da sociedade; prezando pelo meio ambiente, surgindo assim processos e novas tecnologias com menor agressão e impacto.

Muitas são as fontes degradadoras da natureza, porém os resíduos químicos são considerados os mais agressivos. Ao longo dos anos inúmeros tipos de contaminantes foram lançados no meio ambiente, causando contaminação e poluição em diversos tipos de compartimentos ambientais como solos, rios e mares. O avanço e crescimento industrial no mundo é uma das principais causas da poluição excessiva e liberação de resíduos químicos.

Devido estudos na área da Química é possível realizar remoção de poluentes por diversos processos e o desenvolvimento de técnicas e materiais é abordado neste volume, que trata de processos como adsorção para retirada de contaminantes da natureza. Além destes processos, este volume também trata de novos materiais para aplicação em substituição aos polímeros convencionais, como os biopolímeros, produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, ou seja, possuem um ciclo de vida mais curto comparado com fontes fósseis como o petróleo o qual leva milhares de anos para se formar.

Fatores ambientais e sócio-econômicos estão relacionados ao crescente interesse por novas estratégias que buscam alternativas aos produtos e processos convencionais. Neste enfoque, os trabalhos selecionados para este volume oportunizam reflexão e conhecimento na área da Química, abrangendo aspectos favoráveis para ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMEROS PELAS BACTÉRIAS GLUCONACETOBACTER HANSENI E KOMAGATAEIBACTER RHATICUS EM MEIOS CONTENDO HIDROLISADO DE ARROZ E MILHO	
<i>Karina Carvalho de Souza</i>	
<i>Gabriela Rodrigues dos Santos</i>	
<i>Grazielly Maria Didier de Vasconcelos</i>	
<i>Paulo Henrique Marrocos de Oliveira</i>	
<i>Yêda Medeiros Bastos de Almeida</i>	
<i>Felipe Cunha da Silva Trindade</i>	
<i>Glória Maria Vinhas</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2211924061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>7</b>
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE ÓRTESE SUROPODÁLICA DE MEMBRO INFERIOR PRODUZIDO COM POLICLORETO DE VINILA (PVC)	
<i>Heloisa Barbara Rozario Azevedo</i>	
<i>Fabiane De Oliveira Santana</i>	
<i>Paula Hortência Santos Magalhães</i>	
<i>Maria Karoline Silva Souza</i>	
<i>Caio Cezar Neves Kunrath</i>	
<i>Menilde Araújo Silva Bião</i>	
<i>Franco Dani Rico Amado</i>	
<i>Bruno Souza Fernandes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2211924062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>12</b>
OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE DCPD COM INCORPORAÇÃO DO COPOLÍMERO F-127 PELO MÉTODO DE DEPOSIÇÃO ELETROQUÍMICA	
<i>Pablo Eduardo Costa dos Santos</i>	
<i>Cristiane Xavier Resende</i>	
<i>Zaine Teixeira Camargo</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2211924063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>19</b>
CARBOXIMETILCELULOSE-G-OLIGO(ÓXIDO DE ETILENO-CO-ÓXIDO DE PROPILENO): EFEITO DA PORCENTAGEM DE ENXERTIA NAS PROPRIEDADES EM MEIO AQUOSO SALINO	
<i>Nívia do Nascimento Marques</i>	
<i>Rosângela de Carvalho Balaban</i>	
<i>Sami Halila</i>	
<i>Redouane Borsali</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2211924064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>32</b>
PROPRIEDADES MECÂNICAS, TERMOMECAÂNICAS, REOMETRIA DE TORQUE E MORFOLOGIA DE BLENDS PS/PP/PP RECICLADO COMPATIBILIZADAS COM O COPOLÍMERO SEBS	
<i>Carlos Bruno Barreto Luna</i>	
<i>Eduardo da Silva Barbosa Ferreira</i>	

*Danilo Diniz Siqueira  
Edcleide Maria Araújo  
Elieber Barros Bezerra*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924065**

**CAPÍTULO 6 ..... 50**

**SÍNTESE E COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE HPAM TERMORRESPONSIVA**

*Bruna Luiza Batista de Lima  
Nívia do Nascimento Marques  
Marcos Antonio Villetti  
Rosângela de Carvalho Balaban*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924066**

**CAPÍTULO 7 ..... 58**

**FILME DE POLICAPROLACTONA REFORÇADOS POR MICROFIBRILAS DE CELULOSE DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea Mart.*)**

*Rachel Margalho Barreira Valentim  
Izael Pinho dos Santos  
Victor Soares Pereira  
Carmen Gilda Barroso Tavares Dias  
Marcos Allan Leite dos Reis*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924067**

**CAPÍTULO 8 ..... 64**

**AValiação DA BIODEGRADABILIDADE DE FILMES DE AMIDO REFORÇADOS COM NANOCRISTAIS DE CELULOSE DA FIBRA DE COCO VERDE**

*Ingrid Lessa Leal  
Yasmin Carolino da Silva Rosa  
Josiane Dantas Viana Barbosa  
Janice Izabel Druzian  
Bruna Aparecida Souza Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924068**

**CAPÍTULO 9 ..... 74**

**CARACTERIZAÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA E APLICAÇÃO EM FILMES DE AMIDO E QUITOSANA**

*Marina R. d Andrade  
Taynã Isis de S. Santana  
Bruna A. S. Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924069**

**CAPÍTULO 10 ..... 79**

**EFFECT OF BIOSURFACTANTS IN PATHOGENIC BACTERIA ADHESION ON THE SURFACE OF FLEXIBLE FILMS**

*Michel Zampieri Fidelis  
Heitor Suyama  
Eduardo Abreu  
Denise Milleo Almeida  
Giane Gonçalves Lenzi*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240610**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>93</b>
UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE NA ADSORÇÃO DE GASOLINA PRESENTE EM CORPOS AQUATICOS: ESTUDO EM LEITO DIFERENCIAL	
<i>Fernanda Vieira Amorim</i>	
<i>Márcia Ramos Luiz</i>	
<i>Ewellyn Silva Souza</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240611</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>105</b>
ESTUDO DA ADSORÇÃO DE COBRE EM LODO RECUPERADO DA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA DE AÇUDE POR ELETROCOAGULAÇÃO/FLOTAÇÃO	
<i>Fábio Erlan Feitosa Maia</i>	
<i>Ronaldo Ferreira do Nascimento</i>	
<i>Eliezer Fares Abdala Neto</i>	
<i>Jefferson Pereira Ribeiro</i>	
<i>Ari Clecius Alves de Lima</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240612</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>117</b>
ADSORÇÃO DE CO <sub>2</sub> EM MATERIAL MEOSPOROSO DO TIPO SBA-16 FUNCIONALIZADO	
<i>Táisa Cristine de Moura Dantas</i>	
<i>Eloy Sanz-Pérez</i>	
<i>Raul Sanz</i>	
<i>Amaya Arencibia</i>	
<i>Guillermo Calleja</i>	
<i>Ana Paula de Melo Alves Guedes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240613</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>132</b>
CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE FURFURAL PELO ADSORVENTE ARGILA BENTONITA	
<i>Riann Queiroz Nóbrega</i>	
<i>Ana Cláudia Rodrigues De Barros</i>	
<i>Lorena Lucena De Medeiros</i>	
<i>Flávio Luiz Honorato Da Silva</i>	
<i>Joelma Moraes Ferreira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240614</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>140</b>
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DE ARGILA ORGANOFÍLICA ATRAVÉS DE PLANEJAMENTO FATORIAL	
<i>Paulo Henrique Almeida Da Hora</i>	
<i>Líszandra Fernanda Araújo Campos</i>	
<i>Antonio Cícero De Sousa</i>	
<i>Gesivaldo Jesus Alves De Figueiredo</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240615</b>	

**CAPÍTULO 16 ..... 147**

CINÉTICA E MODELAGEM DA CAPTURA DE CO<sub>2</sub> POR MEIO DA REAÇÃO DE CARBONATAÇÃO DO ORTOSILICATO DE LÍTIO

*Suélen Maria de Amorim*  
*Michele Di Domenico*  
*Tirzhá Lins Porto Dantas*  
*Humberto Jorge José*  
*Regina de Fatima Peralta Muniz Moreira*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240616**

**CAPÍTULO 17 ..... 157**

MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA ARGILA BRASGEL VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NA REMOÇÃO DE NÍQUEL EM SISTEMA DE BANHO FINITO

*Joseane Damasceno Mota*  
*Rochelia Silva Souza Cunha*  
*Patrícia Noemia Mota De Vasconcelos*  
*Meiry Glaucia Freire Rodrigues*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240617**

**CAPÍTULO 18 ..... 166**

REMOÇÃO DO CORANTE DIRECT BLACK 22 ATRAVÉS DE ADSORÇÃO

*Déborah Fernanda Mamedes da Silva*  
*Deivid Sousa de Figueiroa*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240618**

**CAPÍTULO 19 ..... 177**

INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DE SAIS NA ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO PROCION UTILIZANDO ALUMINA ATIVADA

*Nathália Favarin da Silva*  
*Enrique Chaves Peres*  
*Guilherme Luiz Dotto*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240619**

**CAPÍTULO 20 ..... 186**

ADSORÇÃO DE ÍNDIGO CARMINE UTILIZANDO MICROESFERAS DE ALGINATO (AL) E QUITOSANA (QT) PURAS E DOPADAS COM NÍQUEL E FERRO.

*Ana Clara Correia Queiroz da Silva*  
*Francisco Mateus Gomes do Nascimento*  
*Francisco Renan Lima Amorim*  
*Guilherme Augusto Magalhães Júnior*  
*Cícero Pessoa de Moura*  
*Rafael Ribeiro Portela*  
*Mayara Sousa de Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240620**

**CAPÍTULO 21 ..... 195**

SÍNTESE E APLICAÇÃO DE PENEIRA MOLECULAR ORGANOFÍLICA NA REMOÇÃO DE ÍONS CR(III)

*Paulo Henrique Almeida da Hora*  
*Lizandra Fernanda Araújo Campos*  
*Antonio Cícero de Sousa*

**CAPÍTULO 22 ..... 202**

BIOSSORÇÃO DE ÍONS CR(VI) EM SOLUÇÃO AQUOSA EMPREGANDO CASCA DE BANANA NANICA

*Giovani Santana Silva*

*Ângelo Capri Neto*

*Maria da Rosa Capri*

DOI 10.22533/at.ed.22119240622

**CAPÍTULO 23 ..... 215**

REMOÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE PRESENTE EM SOLUÇÕES SINTÉTICAS DILUÍDAS EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DA CASCA DE ARROZ

*Lúcia Allebrandt da Silva Ries*

*Joyce Helena da Silveira*

DOI 10.22533/at.ed.22119240623

**CAPÍTULO 24 ..... 227**

MANAGEMENT AND CLASSIFICATION OF PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS OF GROUNDWATER

*Sharise Beatriz Roberto*

*Jomar Berton Junior*

*Rúbia Michele Suzuki*

*Elton Guntendorfer Bonafé*

*Makoto Matsushita*

*Edmilson Antonio Canesin*

DOI 10.22533/at.ed.22119240624

**CAPÍTULO 25 ..... 242**

HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMINARES PARA REMOÇÃO DE POLUENTES AQUOSOS

*María Magdalena Costanzo*

*Rocio Belén Garate*

*Nora Alejandra Comelli*

*Nora Andrea Merino*

DOI 10.22533/at.ed.22119240625

**CAPÍTULO 26 ..... 253**

EFEITO DO MÉTODO DE SÍNTESE NAS PROPRIEDADES DO ÓXIDO DE CÉRIO, DESTINADO A FOTOCATÁLISE

*Kimberly Paim Abeta*

*Marie Lídio dos Santos Galvão Ribeiro*

*Larissa Soares Lima*

*Leila Maria Aguilera Campos*

*Sirlene Barbosa Lima*

*Maria Luiza Andrade da Silva*

DOI 10.22533/at.ed.22119240626

<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>267</b>
PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ESTIMATIVA DE INCERTEZA APLICADOS À MEDIÇÃO DE GRANDEZAS QUÍMICAS	
<i>Cassiano Lino dos Santos Costa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240627</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>282</b>
O USO DE REDES SOCIAIS E TECNOLOGIA MÓVEL COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO POR PROFESSORES DA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA (EAD)	
<i>Eziel Cardoso da Silva</i>	
<i>Antonio Zilverlan Geermano Matos</i>	
<i>Marco Aurélio da Silva Coutinho</i>	
<i>Antônio Araújo Rodrigues</i>	
<i>Francisco Dhiêgo Silveira Figueirêdo</i>	
<i>Davi da Silva</i>	
<i>Dihêgo Henrique Lima Damacena</i>	
<i>Francisco Maycon Soares</i>	
<i>Juciane Maria de Sousa dos Santos</i>	
<i>Jose Adriano Cavalcante Alencar</i>	
<i>Enivaldo Pereira dos Santos</i>	
<i>Julianna de Sousa Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240628</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>292</b>

## OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE DCPD COM INCORPORAÇÃO DO COPOLÍMERO F-127 PELO MÉTODO DE DEPOSIÇÃO ELETROQUÍMICA

### **Pablo Eduardo Costa dos Santos**

Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Química  
São Cristóvão – SE

### **Cristiane Xavier Resende**

Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia de Materiais  
São Cristóvão – SE

### **Zaine Teixeira Camargo**

Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Química  
São Cristóvão – SE.

**RESUMO:** Este trabalho teve como proposta a construção de um sistema constituído por um substrato de Ti revestido com cristais de fosfatos de cálcio (CaP) e o copolímero Pluronic® F-127 (F-127) por eletrodeposição. Os CaP são bastantes atrativos, devido à similaridade química com a parte inorgânica do tecido ósseo e propriedades bioativas, enquanto que o copolímero F-127 apresenta ação anti-inflamatória conhecida, possibilidade de controle da morfologia na síntese de diversos materiais (síntese template). Os revestimentos obtidos, com diferentes concentrações do F-127 (0, 6 e 9%), foram caracterizados por DRX, MEV e FTIR. Revestimentos de CaP foram obtidos por eletrodeposição a 28°C. Foi confirmado por DRX e FTIR uma única fase de fosfato

bicálcico dihidratado, (DCPD-  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), nos revestimentos. Por MEV, observou-se que a morfologia dos cristais da amostra controle (sem adição de F-127) não difere das amostras produzidas com a adição de F-127. A morfologia destes cristais observadas por MEV é predominantemente em forma de placas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fosfato de cálcio, eletrodeposição, Pluronic F-127.

**ABSTRACT:** This work proposes the construction of a system of Ti substrate coated with calcium phosphate crystals (CaP) and the copolymer Pluronic® F-127 (F-127) by electrodeposition process. The CaPs are most often used as the mineral phase because of their similarity with the inorganic phase of bone, as well as their high bioactivity and biocompatibility. The F-127 copolymer has a good anti-inflammatory action and is capable of controlling the morphology of various materials (synthesis template). The coatings obtained, with different concentrations of F-127 (0, 6 and 9%), characterized by XRD, SEM and FTIR. CaP coatings were obtained by electrodeposition at 28 ° C. A single phase of dicalcium phosphate dihydrate (DCPD- $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) was confirmed by the XRD and FTIR in the coatings. MEV, it was observed that the morphology of the crystals of the control sample (without addition of F-127) did not differ from the samples produced with the

addition of F-127. The morphology of these crystals observed by MEV is predominantly plates.

**KEYWORDS:** Calcium phosphate, electrodeposition, Pluronic F-127.

## 1 | INTRODUÇÃO

Quando se trata da substituição de tecidos duros como na cirurgia de artroplastia total de quadril, da fixação de fraturas ósseas ou em tratamentos odontológicos, os metais são os mais utilizados. Tal classe de materiais começou a ser utilizada em implantes ortopédicos a partir de 1926, quando foi datado o emprego dos primeiros aços inoxidáveis [1]. Hoje, o titânio e suas ligas são amplamente usados em dispositivos biomédicos, especialmente quando se trata de substituições de tecidos rígidos, devido às suas propriedades desejáveis, tais como módulo de elasticidade relativamente baixo, maleabilidade, boa resistência à fadiga, resistência à corrosão e biocompatibilidade [2]. Em termos de implantes odontológicos, atualmente estima-se que o uso de titânio para fixação de implantes dentários em todo o mundo chega a movimentar todo ano um mercado de cerca de US\$ 4 bilhões [3].

Existem diversos processos para se realizar modificações nas superfícies de metais para se promover uma melhor osseointegração, dentre eles pode ser mencionado o processo de eletrodeposição (ou deposição eletroquímica), que se destaca pela obtenção de revestimentos uniformes em peças de geometria complexa, como a de uma prótese de Ti ou suas ligas, além de apresentar baixo custo. Este método baseia-se na redução catódica de moléculas de água, produzindo uma elevação localizada do pH nas imediações do eletrodo, atuante como cátodo (substrato). Este aumento do pH é responsável pela precipitação de íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  presentes no meio eletrolítico formando uma camada aderente e insolúvel de fosfatos de cálcio sobre o substrato. Usando o método de eletrodeposição é possível obter revestimentos com espessura uniforme e com composição homogênea, revestir substratos metálicos com geometria mais simples à complexas e produzir revestimentos bioativos [4,5].

Nos últimos anos, nota-se uma tendência para desenvolver materiais constituídos por polímero-cerâmica, tais como compósitos constituídos por fosfato de cálcio/colágeno, fosfatos de cálcio/proteína em substratos de Ti, com finalidade de obter revestimentos novos e mais elaborados que apresentam, dentre outras propriedades, uma maior bioatividade e biocompatibilidade [6,7]. O copolímero biocompatível F-127 apresenta ação anti-inflamatória conhecida, possibilidade de controle da morfologia na síntese de diversos materiais (síntese *template*), bem como a capacidade de evitar a formação de biofilmes bacterianos.

Com estas motivações, a proposta desse trabalho foi usar o método de eletrodeposição para revestir substratos de titânio com fosfatos de cálcio bioativo e o copolímero sintético do tipo tribloco, Pluronic F127 (F-127), o que torna o sistema

inédito. Além disso, foi estudado o efeito da concentração do polímero (6 e 9 %) nas fases de fosfatos obtidas e morfologia.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para obtenção dos substratos, foi usada uma barra de titânio de 11 mm de diâmetro, grau 2, adquirida da empresa TiBrasil Titânio Ltda. Foi usada uma isométrica da marca BUEHLER, com lâmina diamantada para o corte de discos de titânio com 2 mm de espessura. Os discos foram posteriormente limpos, e lixados com papel abrasivo de carvão de silício (SiC) com granulidade 600. Antes de cada procedimento de eletrodeposição os discos foram limpos com a imersão dos mesmos em banhos de ultrassom, imersos em acetona, álcool e água por 5 min. cada. Os reagentes usados para obtenção dos revestimentos foram o nitrato de cálcio (Sigma-Aldrich®) di-hidrogenofosfato de amônio (Sigma-Aldrich®), Pluronic F-127 (Sigma-Aldrich®).

O procedimento de eletrodeposição foi realizado usando um potenciostato da marca Autolab® modelo PGSTAT100, localizado no Laboratório de Corrosão no Departamento de Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Sergipe. O potenciostato foi conectado a três eletrodos: Eletrodo de trabalho (E.T., discos de titânio), de referência (E.R., Hg/Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>/KCl) e o contraeletrodo (C.E., fio de platina). Estes foram imersos dentro de uma célula eletrolítica contendo a solução com os íons cálcio e fosfato nas proporções adequadas: 0,042 mol.L<sup>-1</sup> de Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O e 0,025 mol.L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, e polímero com diferentes concentrações (0%, 6 e 9% de F-127).

As soluções poliméricas foram mantidas por 24 h a 4°C, para que o copolímero usado solubilizasse e, em seguida, aguardou-se o equilíbrio térmico para a realização do procedimento de eletrodeposição. Os dados do procedimento de eletrodeposição foram acompanhados através do uso do software “GPES” também da Autolab®. A caracterização dos revestimentos foi possível com a utilização das técnicas de espectroscopia vibracional na região do infravermelho com transformada de Fourier com o modo de reflectância total atenuada (FTIR/ATR), difratometria de raios X (DRX), e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise dos difratogramas das amostras produzidas a temperatura ambiente, é possível confirmar que no revestimento há a presença de uma única fase de fosfato de cálcio, o fosfato bicálcico dihidratado, (DCPD), (Figura 1), de fórmula CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, também conhecido como bruxita. Isso pode ser atribuído ao valor do pH da solução em torno de 4, que favorece a formação de fosfatos de cálcio mais ácidos, a exemplo do DCPD que apresenta cristais em forma de placas, confirmadas por microscopia

eletrônica de varredura, Figura 3.

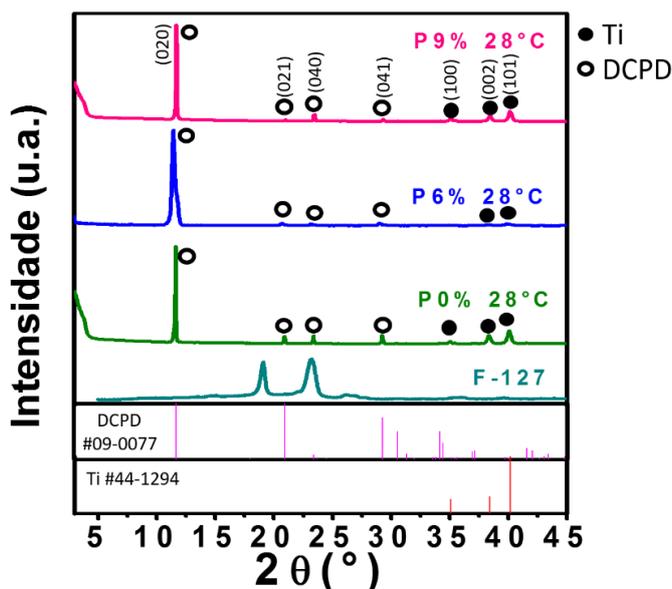


Figura 1: Padrão de difração de raios X das amostras produzidas a 28°C

Em água, devido a presença do  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , acontece o equilíbrio:  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (aq)  $\rightleftharpoons$   $\text{HPO}_4^{2-}$  (aq) +  $\text{H}^+$  (aq), este equilíbrio torna o pH da solução eletrolítica levemente ácido, antes da adição da corrente elétrica. A adição do campo elétrico promove a decomposição da água em gás hidrogênio e íons hidroxila:  $2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^-$  (aq). A formação das hidroxilas na equação anterior, favorece o consumo dos íons  $\text{H}^+$  (evidenciado pelo aumento do pH após iniciado o processo de eletrodeposição) produzidos na primeira etapa onde há um deslocamento de equilíbrio para produzir mais íons  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Finalmente os íons  $\text{Ca}^{2+}$  provenientes do  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  usado migram para o Ti e se combinam com o  $\text{HPO}_4^{2-}$ , ocorrendo a precipitação e depósito na superfície do substrato para produzir o fosfato de cálcio, conforme equação:  $\text{Ca}^{2+}$  (aq) +  $\text{HPO}_4^{2-}$  (aq) +  $2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_{(s)}$  [8].

Os resultados obtidos por meio das medidas de espectroscopia vibracional na região do infravermelho com transformada de Fourier com o modo de reflectância total atenuada (FTIR/ATR) das amostras produzidas a 28°C, Figura 2, revelam as bandas observadas nas regiões em torno de  $3500\text{ cm}^{-1}$  que são atribuídas a estiramentos assimétricos da hidroxila de moléculas de água adsorvida, a banda na região de  $1645\text{ cm}^{-1}$  é devido a dobramentos das ligações O-H presente em moléculas de água. Dobramento do grupo O-H no plano foi medido na região de  $1213\text{ cm}^{-1}$ . Estiramentos da ligação P-O presente em grupos  $\text{HPO}_4^{2-}$  foram registrados em  $1126$ ,  $1058$ ,  $970$  e  $870\text{ cm}^{-1}$ . Rotações de moléculas de água também são observadas na região de  $790\text{ cm}^{-1}$ . As posições das bandas observadas estão em acordo com as referências [9] e [10].

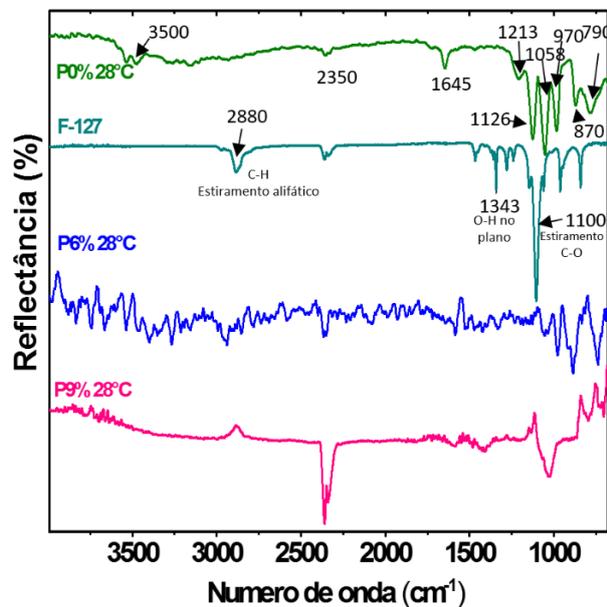


Figura 2: FTIR das amostras obtidas.

No espectro da amostra controle do F-127, bandas em  $2880\text{ cm}^{-1}$  são referentes a estiramento alifático do grupo C-H presente na estrutura de polímero; em  $1343\text{ cm}^{-1}$  e  $1110\text{ cm}^{-1}$  são observadas bandas referentes ao estiramento de ligações O-H (no plano de torção) e estiramento de ligações C-O, respectivamente [11]. As bandas que aparecem em  $2350\text{ cm}^{-1}$  são oriundas de deformações axiais simétricas de  $\text{CO}_2$  presente no ar. Nota-se nos espectros, regiões destacadas que indicam os modos vibracionais do  $\text{PO}_4$  característicos de determinados fosfatos de cálcio de acordo com Drouet, 2013 [12]; a apreciação dos gráficos sugere que as amostras P0% 28°C 1h, P6% 28°C 1h e P9% 28°C 1h, apresentam a fase DCPD. Devido a não homogeneidade dos revestimentos das amostras produzidas a 28°C (podendo ser evidenciada através de fotografias dos revestimentos) observa-se nos espectros de FTIR que as bandas, para as algumas amostras produzidas com adição de F-127 e não aparecem bem definidas, com sinal se confundindo com ruídos, provavelmente devido a esta não homogeneidade e pouca quantidade de revestimento.

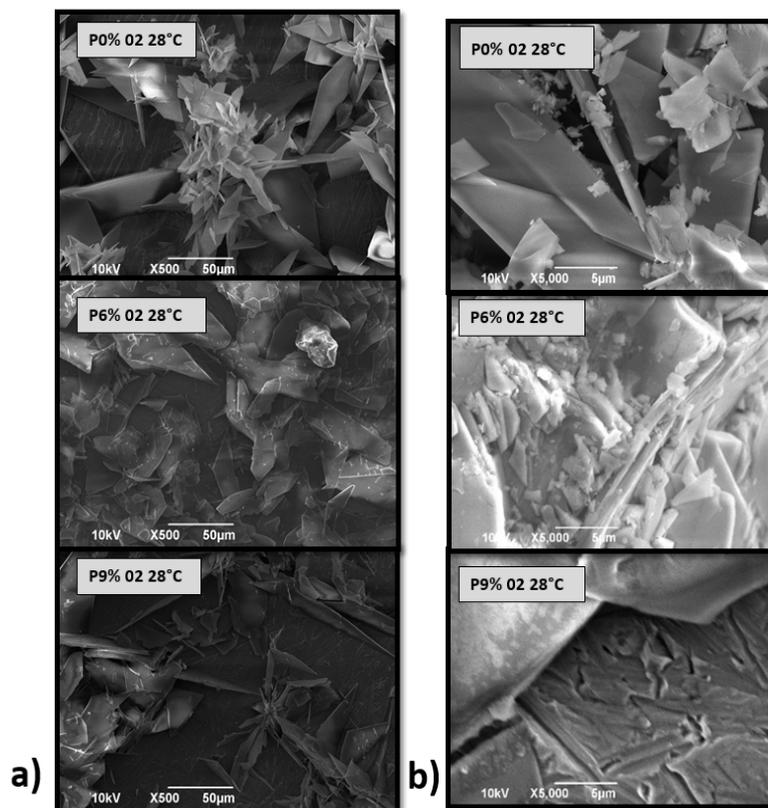


Figura 3: Aspecto visual dos revestimentos; a) MEV a 500X e b) MEV a 5000x.

As análises das imagens de MEV (Figura 3) indicam que a morfologia dos cristais obtidos da fase do DCPD é em forma de placas. São observadas, também, diversas regiões não revestidas, que podem ser atribuídas possivelmente devido a baixa mobilidade iônica alcançada nesta condição de temperatura, influenciando diretamente na distribuição de corrente em todos sistema. A amostra preparada com e sem adição de F-127 não apresentam distinção na morfologia, sugerindo que não há influência do polímero no processo de orientação no decorrer do crescimento dos cristais para estas condições de temperatura e concentração de F-127 empregadas.

#### 4 | CONCLUSÕES

O método de eletrodeposição empregado é de baixo custo e eficaz para obtenção de revestimentos de fosfatos cálcio em substratos metálicos. Apesar da não homogeneidade dos revestimentos, a presença desta fase de DCPD pode ser promissora para processos em que se deseja uma rápida regeneração óssea. Análises de FTIR confirmam a presença de fosfatos nos revestimentos. Por DRX, foi possível observar que ocorre a formação somente da fase do somente DCPD a 28°C e nas concentrações de 6 e 9 % do F-127. As análises das imagens obtidas por MEV revelam que a amostra controle (sem adição de F-127) não apresentam cristais com morfologias distintas das amostras produzidas com a adição de F-127 nas

concentrações de 6 e 9%. Ensaios com concentrações mais elevadas de F-127 devem ser realizados posteriormente bem como sua quantificação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFS pela estrutura fornecida para o desenvolvimento desse trabalho, a CAPES e CNPq pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

Rezaie, H. R.; Bakhtiari, L.; Öchsner, A. **Biomaterials and Their Applications**, New York: Springer, 2015.

Osman, R. B.; Swain, M. V. A Critical Review of Dental Implant Materials with an Emphasis on Titanium versus Zirconia, **Materials**, v. 8, p. 932-958, 2015.

Ratner, B. D.; Hoffman, A. S.; Schoen, F. J.; Lemons, J. E. **Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine**, Canada: Academic Press, 2013.

Gopi a, D.; Sherif, El-S.; Rajeswari a, D.; Kavitha f, L.; Radheshyam, P.; Dwivedi, J.; Polaki, S. R; Evaluation of the mechanical and corrosion protection performance of electrodeposited hydroxyapatite on the high energy electron beam treated titanium alloy, **Journal of Alloys and Compounds**, v. 616, p. 498-504, 2014.

Metoki, N.; Rosa, C. M. R.; Zanin, H.; Marciano, F. R.; Eliaz, N.; Lobo, A. O. Electrodeposition and biomineralization of nano-beta-tricalcium phosphate on graphenated carbon nanotubes, **Surface and Coatings Technology**, v. 297, p. 51-57, 2016.

Cheng, X. L.; Filiaggi, M.; Roscoe, S. G. Electrochemically assisted co-precipitation of protein with calcium phosphate coatings on titanium alloy , **Biomaterials**, v. 25, p. 5395-5403, 2004.

Liu, Y.; Hunziker, E. B.; Randall, N. X.; de Groot, K.; Layrolle, P. Proteins incorporated into biomimetically prepared calcium phosphate coatings modulate their mechanical strength and dissolution rate, **Biomaterials**, v. 24, p. 65-70, 2003.

Shojai, M. S.; Khorasani, M. T.; Jamshidi, A. Hydrothermal processing of hydroxyapatite nanoparticles – A Taguchi experimental design approach. **Journal of Crystal Growth**, v. 361, p. 73-84, 2012.

Mandel, S. A.; Tas, C. Brushite ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) to octacalcium phosphate ( $\text{Ca}_8(\text{HPO}_4)_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) transformation in DMEM solutions at 36.5 °C, **Materials Science and Engineering: C**, v. 30, p. 245-254, 2010.

Lu, X.; Wang, Y.; Wang, J.; Qu, S.; Weng, J.; Xin, R.; Leng, Y. Calcium phosphate crystal growth under controlled environment through urea hydrolysis. **Journal of Crystal Growth**, v. 297, p. 396-402, 2006.

Al Kayal, T.; Panetta, D.; Canciani, B.; Losi, P.; Tripodi, M.; Burchielli, S.; Ottoni, P.; Salvadori, P. A.; Soldani, G. N.; Syam. Evaluation of the Effect of a Gamma Irradiated DBM-Pluronic F127 Composite on Bone Regeneration in Wistar Rat. **PLoS ONE**, v. 10, p. 1-19, 2015.

Drouet, C.; Apatite Formation: Why It May Not Work as Planned, and How to Conclusively Identify Apatite Compounds, **BioMed Research International**, v. 2013, p. 1-12, 2013.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**Carmen Lúcia Voigt:** Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-422-1

