

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^a Dr^a 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^a Dr^a 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^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a 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^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a 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^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a 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^a 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^a Dr^a 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^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a 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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
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>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
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

CAPÍTULO 1	1
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	
DOI 10.22533/at.ed.0842015061	
CAPÍTULO 2	8
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DURANTE O PROCESSO DE LAMINAÇÃO TESTADA ATRAVÉS DE ENSAIO DE DUREZA E ENSAIO METALOGRAFICO	
Gabrielle Schultz Braz Gabriel Inácio Pontin	
DOI 10.22533/at.ed.0842015062	
CAPÍTULO 3	21
ANÁLISE DAS JUNTAS SOLDADAS NA UNIÃO DA ESTRUTURA DO VEÍCULO BAJA SAE	
Henrique Ajuz Holzmann Victor Henrique Javara	
DOI 10.22533/at.ed.0842015063	
CAPÍTULO 4	33
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 Claudia de Melo Caldas Batista Eve Maria Freire de Aquino	
DOI 10.22533/at.ed.0842015064	
CAPÍTULO 5	48
EFEITOS DE PÓS CERÂMICOS ATIVOS NAS PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS À BASE DE PVDF	
Eriton Rodrigo Botero Jaldair de Araújo e Nóbrega	
DOI 10.22533/at.ed.0842015065	
CAPÍTULO 6	62
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	
DOI 10.22533/at.ed.0842015066	
CAPÍTULO 7	80
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

EFEITOS DE PÓS CERÂMICOS ATIVOS NAS PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS À BASE DE PVDF

Data de aceite: 05/06/2020

Data de submissão: 04/04/2020

Eriton Rodrigo Botero

Universidade Federal da Grande Dourados,
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia,
Dourados- MS

<http://lattes.cnpq.br/8529549983857097>

Jaldair de Araújo e Nóbrega

Universidade Federal da Grande Dourados,
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia,
Dourados- MS

<http://lattes.cnpq.br/1566935477819559>

RESUMO: Este trabalho traz uma síntese dos resultados sobre as influências de matrizes cerâmicas na formação de fases eletricamente ativas em polímeros de compósitos baseados em PVDF. Através da rota de síntese por via química foram produzidos compósitos eletricamente ativos, cuja concentração de fase ferroelétrica é superior a 90% das fases cristalinas, o que abre caminho para a síntese de novos materiais com propriedades piezolétricas, flexibilidade e rigidez mecânica superiores aos que existem atualmente no mercado.

PALAVRAS-CHAVE: Compósitos, PVDF, Ferroelétricos.

EFFECTS OF CERAMIC POWDERS IN THE PROPERTIES OF PVDF POLIMERIC FERROELCTRIC COMPISITES

ABSTRACT: This work shows the results about the influences of ceramic matrices in the formation of electrically active phases in the polymeric phase of PVDF based composites. Using the chemical synthesis route, electrically active composites were produced, whose ferroelectric phase concentration is greater than 90% of the crystalline phases, which opens the doors for the synthesis of new materials with piezoelectric properties, flexibility and mechanical rigidity superior to those that currently exists.

KEYWORDS: Composites, PVDF, Ferroelectrics

1 | INTRODUÇÃO

O Fluoreto de Poli(Vinilideno), conhecido como PVDF, pode ser tratado como um polímero com propriedades eletroeletrônicas que é estudado desde a década de 60, por apresentar os maiores valores de coeficientes piezo e piroelétrico nessa classe de materiais, por sua flexibilidade, excelente processabilidade, estabilidade à ação de produtos químicos e resistência mecânica [1]. Uma característica

peculiar deste material é o polimorfismo de sua estrutura cristalina, decorrente das diferentes conformações que suas cadeias podem assumir, sendo quatro fases cristalinas mais importantes, denominadas de α , β , γ , e δ [2], o que confere ao PVDF propriedades distintas em função de sua conformação, incluindo as propriedades piezolétricas da fase β . A fase mais comum é a α , obtida geralmente a partir da cristalização do polímero fundido [3], ou a partir da cristalização em solução [4]. Nesse último caso, em geral, se obtém um polímero semicristalino, no qual o grau de cristalinidade é em torno de 40% a 60% contudo, quando cristalizado a partir da rota de síntese por fusão [5], este valor pode chegar a 90% [6].

Diferentemente da fase α , a fase β é polar [2], pois a conformação all-trans de suas cadeias resulta em um momento de dipolo perpendicular à cadeia polimérica [7]. Este tipo de conformação dipolar favorece o surgimento das propriedades ferroelétricas, pois a orientação dos dipolos elétricos, em consequência da rotação das cadeias, pode ser realizada com aplicação de campo elétrico [8]. Assim, por possuir propriedades ferroelétricas proeminentes, a fase β é a mais desejada para aplicações tecnológicas em sensores e atuadores [9,10].

As fases γ e δ são bem menos intensas e só apresentam propriedades significativas quando inexitem as fases α e β . Apresentam características apolares, portanto, não sendo relevantes para uso em dispositivos eletrônicos [2].

Quando sintetizado na fase adequada, este polímero apresenta os maiores coeficientes piezo e piroelétrico dentre os polímeros ferroelétricos [2]. Contudo, se comparado às outras classes de materiais ferroelétricos, os baixos valores de seus coeficientes restringem, em parte, suas aplicações. Em contrapartida, os materiais ferroelétricos convencionais, tanto na forma monocristalina quanto policristalina, mesmo apresentando altos coeficientes piezo e piroelétricos, têm como limitador para aplicações tecnológicas a flexibilidade mecânica. Assim, o desenvolvimento de materiais compósitos ferroelétricos envolvendo cerâmicas e polímeros tem se tornado uma alternativa para contornar essas limitações. Desta forma, se torna um grande interesse aliar as melhores propriedades dos ferroelétricos convencionais com a dos polímeros ferroelétricos, buscando o desenvolvimento de um material ferroelétrico flexível com altos valores de suas constantes de interesse.

Polímeros, como o PVDF, são ótimos candidatos a hospedeiros de materiais ativos na síntese de compósitos. Sob o ponto de vista elétrico, por exemplo, há relatos de uso de materiais condutores ou não condutores que podem ser empregados para sintetizar diferentes nanocompósitos à base de PVDF [11]. O grafeno na forma de nanotubos de carbono, são típicos materiais condutores usados na síntese de compósitos de PVDF. Já os materiais dielétricos cerâmicos, como o titanato de bário (BaTiO_3) [12-14], titanato de estrôncio (SrTiO_3) [15], óxidos de $(\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x)(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)_{1-1/4x}\text{O}_3$, titanato e zirconato de chumbo modificado com lantânio (PLZT)

[16], são exemplos de materiais não condutores que são usados na síntese dos compósitos [17,18]. Neste capítulo será apresentado os conceitos fundamentais de síntese de compósitos eletrônicos de PVDF com diferentes materiais cerâmicos, mostrando as influências desses materiais na cristalização das diferentes estruturas do PVDF. Uma análise quanto ao tipo de relação entre propriedade/cerâmica para os compósitos será traçada, mostrando as infinitas possibilidades de estudo de compósitos eletrônicos à base de PVDF.

2 | FLUORETO DE POLI(VINILIDENO)- PVDF

O Fluoreto de Poli(Vinilideno), ou PVDF, é um polímero sólido a temperatura ambiente, altamente estável à agentes químicos e mecânicos. Além disso é um material polimérico termoplástico, utilizado em embalagens de produtos químicos corrosivos e em diafragmas de válvulas [1,2]. A literatura já projetava que o PVDF seria um dos materiais eletricamente ativos, ao relatar uma extraordinária propriedade piezoelétrica para essa classe de materiais [19,20].

O PVDF é um polímero produzido através do fluorocarbono, que resulta da polimerização de monómeros de fluoreto de vinilideno (VDF). A fórmula química é repleta de unidades repetidas de fluoreto de vinilideno ($CH_2=CF_2$) possuindo um elevado peso molecular médio ($M_w \approx 10^6$ g/mol) [2]. O PVDF possui temperatura de fusão, estimada por DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial), entre 170°C e 200°C (f_T) e temperatura de transição vítrea (T_g) em torno de -35°C [21]. Estas temperaturas dependem fortemente das condições de processamento e da fase cristalina, já que se trata de um material poliamorfo.

A microestrutura do PVDF é na forma de esferas (tipo esferulita mostrado na Figura 1), cujas lamelas cristalinas do PVDF são paralelas ao eixo do núcleo das esferulitas. Os cristais lamelares estão embutidos numa região amorfa da matriz do polímero. À medida que as lamelas cristalinas crescem radialmente do centro das esferulitas para fora, estas divergem e se ramificam, dando origem a uma forma radialmente simétrica [20].



Figura 1: Imagem microestrutural do PVDF evidenciando a formação da estrutura esferulítica.

O PVDF é um polímero molecularmente linear que apresenta dipolos elétricos permanentes, perpendiculares, bem próximos à direção das cadeias poliméricas. Essa formação de dipolos se dá essencialmente pela diferença de eletronegatividades entre os átomos de flúor e carbono em sua cadeia. Cada forma cristalina é decorrente diretamente das diferentes conformações que a cadeia polimérica pode assumir em função das condições de cristalização. Quando possui uma cadeia em zigzague planar trans (TTT) compreende a fase β , quando se tem uma cadeia TGTG` (trans-gauche-trans-gauche) representa as fases α e δ e quando se tem uma cadeia T₃GT₃G` representa a fase γ [21]. A figura 2 representa a organização atômica/dipolar do PVDF das fases mais investigadas do PVDF. A cristalinidade do PVDF pode variar entre 40% a 60%, dependendo do método de preparação, podem chegar até 90% [21].

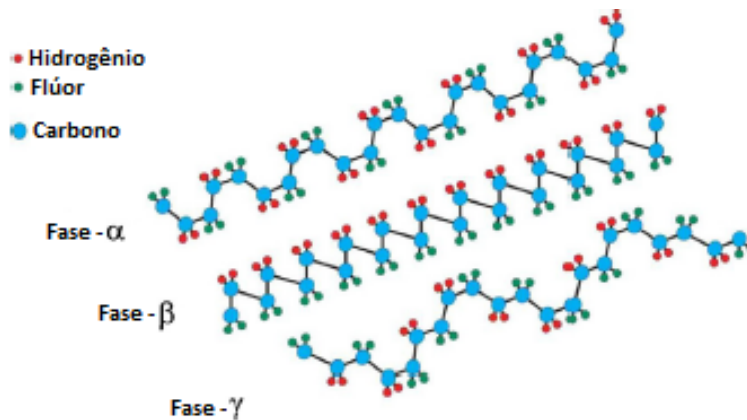


Figura 2: Representação esquemática da conformação da cadeia para as fases α , β e γ do PVDF. Figura adaptada pela referência [22]

A fase mais comum do PVDF é caracterizada por possuir estrutura apolar, conhecida como fase α , que é obtida a partir da cristalização do material fundido [20, 23]. A célula unitária da fase α -PVDF é formada por duas macromoléculas e é apolar resultando momentos dipolares dispostos em arranjos antiparalelos [24]. Possui uma estrutura ortorrômbica (grupo P2cm) com dimensões de $\mathbf{a} = 4.96 \text{ \AA}$, $\mathbf{b} = 9.64 \text{ \AA}$ e $\mathbf{c} = 4.62 \text{ \AA}$, apresentando uma densidade de 1920 Kg/m^3 e um valor de entalpia de fusão (ΔH_f) de $93,07 \text{ J/g}$ [20].

A fase β do PVDF destaca-se entre as outras fases por apresentar momento de dipolo elétrico, com possibilidade de apresentar propriedades piezoelétricas, piroelétricas e ferroelétricas, sendo a mais desejável do ponto de vista tecnológico para aplicação em sensores e atuadores. Esta fase é obtida por estiramento mecânico da fase α a temperaturas inferiores a 100°C e com razão de estiramento (relação entre o comprimento final e inicial da mostra) maior ou igual a 4 [2]. A fase também pode ser obtida por solução se a cristalização ocorrer a temperaturas

inferiores a 70°C [25]. A célula unitária na fase é polar, pertencendo ao grupo Cm2m de dimensões $a = 8.58 \text{ \AA}$, $b = 4.91 \text{ \AA}$, $c = 2.56 \text{ \AA}$, densidade de 1970 Kg/m³ e entalpia de fusão (ΔH_f) de 93,07 J/g [23].

Existem dois tipos de fase γ , uma delas cristalizada diretamente do material fundido a temperaturas superiores a 160 °C, formando esferulitas não aneladas, cuja taxa de formação aumenta com o aumento da temperatura de cristalização. O outro tipo de fase γ é obtido a partir da transição de fase α em γ [26]. A fase δ é obtida a partir da fase α , através da aplicação de um campo elétrico elevado (>30 MV/m) [23].

A versatilidade do uso do PVDF em diversas aplicações não se deve somente ao fato de ser um material polimorfo, mas também à interconversão entre essas fases. Ou seja, certos procedimentos experimentais favorecem a conversão de um certo tipo de cristalização para outro. A figura 3 apresenta os procedimentos para a interconversão das fases cristalinas do PVDF para se obter a fase β [25].

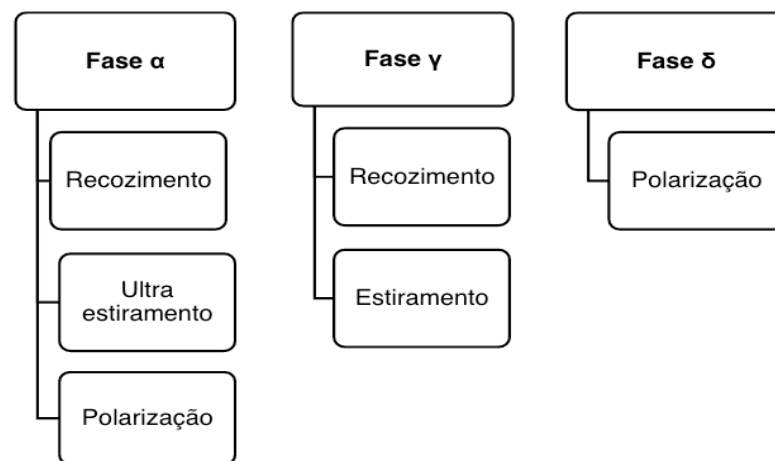


Figura 3: Resumo dos processos de interconversão das diferentes fases cristalinas do PVDF para a fase β , utilizando pressão, temperatura e campo elétrico.

3 | CARACTERIZAÇÃO DAS FASES CRISTALINAS DO PVDF POR FTIR

A identificação das fases cristalinas do PVDF é um problema devido a semelhança da conformação entre suas fases cristalinas e, dependendo das condições de preparação, o mesmo filme pode conter um ou mais fases cristalinas, criando alguns problemas qualitativos e quantitativos na identificação das fases [27]. Uma das técnicas mais utilizadas para identificação dessas fases é a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), já que as bandas de absorção do PVDF são facilmente detectadas por FTIR. A tabela 1 apresenta as bandas características das fases α , β e γ do PVDF [28].

Banda (cm⁻¹)	Fase	Grupo e modo vibracional
408	α	Balanço (CF ₂) + balanço (CH ₂)
431	γ	Balanço (CF ₂)
444	β	Balanço (CF ₂) + balanço (CH ₂)
472	β	Vibração (CF ₂) (filmes orientados)
488	Amorfa	
490	β	Vibração (CF ₂)
511	β	Deformação CF ₂
512	γ	Deformação CH ₂
530	α	Deformação CF ₂
600	Amorfa	
615	α	Deformação CF ₂
678	-	Defeitos na cadeia polimérica devido a ligações cabeça-cabeça ou cauda-cauda
766	α	Deformação CF ₂
778	γ	Balanço (CH ₂)
795	α	Balanço (CH ₂)
812	β ou γ	Deformação CH ₂ fora do plano
833	γ	
840	β ou γ	Balanço CH ₂
855	α	Deformação CH fora do plano
877	β	Balanço CH ₂
880	Amorfa	
976	α	Deformação CH fora do plano

Tabela 1: Bandas de Absorção do FTIR nas fases α , β e γ do PVDF, com os respectivos modos vibracionais [29,30,31].

As semelhanças de conformação da cadeia polimérica das fases γ e β , refletem em números próximos das bandas de absorção, como mostra a tabela 1: banda de absorção em 512 cm⁻¹ para a fase γ , que está próximo da banda em 510 cm⁻¹ para a fase β . [29]. Da mesma forma ocorre no pico da banda em 840 cm⁻¹, alguns autores consideram somente da fase β [29, 30] e outros consideram comuns as fases γ e β [31].

A intensidade dos picos de absorção do espectro de FTIR é diretamente relacionada com a concentração da fase cristalina. Assim, por exemplo, a quantificação do teor da fase β em relação a α em amostras de PVDF pode ser feita através do cálculo da porção entre as fases (considerando que a porção cristalina do polímero se deva apenas a presença das fases β e α):

$$F_{\beta} = \frac{C_{\beta} + C_{\alpha}}{C_{\beta}} \quad (\text{equação 1})$$

onde F_{β} é a fração de fase β na porção cristalina, e C_{α} e C_{β} são respectivamente as concentrações, em mol/cm³, da fase β e α . Ao escrever a absorbância em termos da concentração molar das fases, temos:

$$Abs = k_{\lambda} \cdot l \cdot C \quad (\text{equação 2})$$

onde Abs é a absorbância, k_{λ} é o coeficiente de absorção molar no comprimento de onda λ , l é a espessura da amostra e C a concentração em mol/cm³. Isolando a

concentração da equação 2, tem-se:

$$C = \frac{Abs}{k \cdot \lambda \cdot l} \quad (\text{equação 3})$$

Com os valores do coeficiente de absorção molar dos picos da fase α ($K\alpha = 6,1 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{mol}$) e β ($K\beta = 7,7 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{mol}$), nos respectivos números de onda de 763 e 840 cm^{-1} , pode-se reescrever a equação 3 substituindo C pela expressão oriunda da Lei de Lambert Berr (equação 2), obtendo:

$$F_{\beta} = \frac{Abs_{\beta}}{1,26 \cdot Abs_{\alpha} + Abs_{\beta}} \times 100 \quad (\text{equação 4})$$

4 | COMPÓSITOS POLÍMERO/CERÂMICA

Compósitos são materiais que possuem pelo menos dois componentes, ou duas fases, com propriedades nitidamente distintas em sua composição. Separadamente os constituintes do compósito mantêm suas características, porém quando suas ações são combinadas eles formam um composto com propriedades impossíveis de se obter com apenas um deles [32]. A criação de modelos para a classificação e organização dos compósitos foi desenvolvida por Newnham e seus colaboradores, os quais foram os primeiros a designarem o termo conectividade, que indica o modo como as diferentes fases dos materiais compósitos se interligam [32]. Em compósitos bifásicos, ou sistema de duas fases, essas conectividades possuem dez possibilidades distintas, sendo representada por dois números, o primeiro para o reforço e o segundo para a matriz. Se um material compósito apresentar conectividade numa direção qualquer, diz-se que tem conectividade 1, se for em duas direções tem conectividade 2 e se for em três direções tem conectividade 3.

Para compósitos com conectividade 0-3, como cerâmica/polímero, a matriz polimérica é auto conectada nas três dimensões, enquanto não há contato algum entre as partículas da cerâmica. Dentre outros padrões de conectividade, os compósitos com conectividade 0-3 apresentam algumas vantagens, como facilidade no preparo e baixo custo [33].

Embora em compósitos não se procure a interação entre as fases constituintes, no caso de compósitos a base de PVDF a mera interação entre as fases na conectividade 0-3 favorece alterações na cristalinidade da matriz polimérica, já que a interconversão entre algumas fases se dá por estiramento, ou seja, uma propriedade mecânica.

5 | MATERIAIS

Para o estudo das influências da rota de síntese, bem como da morfologia das fases cerâmicas usadas na síntese de compósitos ferroelétricos a base de PVDF, foram preparados compósitos ferroelétricos na forma de filmes usando três diferentes matrizes cerâmicas. Para cada matriz cerâmica foram variadas as condições de síntese do material compósito, buscando sempre uma otimização na cristalização e formação da fase β do PVDF.

A síntese dos compósitos fez-se inicialmente a dissolução do pó de PVDF (Solef 11010/1001) em dimetilformamida (DMF) Vetec (UV/HPLC) [13], sob agitação mecânica e temperatura ambiente, na proporção de 80 mg de polímero por mL do solvente. Ao completar a dissolução do polímero foram adicionados, nas devidas proporções em massa, os pós cerâmicos submicrométricos (com tamanho médio na ordem de 70 nm) dos três sistemas: um ferroelétrico a base de chumbo (titanato zirconato de chumbo modificado com lantânio); dois ferromagnéticos (ferrita de níquel e ferrita de cobalto); todos com características morfológicas distintas. Após a adição da cerâmica (em distintas proporções), o sistema foi mantido sob agitação por 5 minutos, a temperatura ambiente, para dispersão das partículas de cerâmica na solução polimérica. Após esse período a solução foi transferida para uma placa de Petri, e então foram cristalizadas em estufa, com condições de temperatura e tempo variáveis. Todos os compósitos preparados apresentam espessura em torno de 0,1 mm e integridade mecânica. Nesse capítulo apresentaremos apenas os resultados mais significativos de cada composição preparada.

6 | RESULTADOS

Nos espectros de FTIR dos filmes de PVDF para distintas temperaturas de cristalização, mostrados na Figura 4, verifica-se bandas típicas das fases cristalinas do PVDF, contudo com presença significativa de bandas da fase amorfa (488 e 880 cm^{-1}) [11], independente da temperatura de cristalização. A presença expressiva desse pico indica um baixo grau de cristalinidade nos filmes obtidos, para o intervalo de temperatura (50 a 90° C). A respeito das absorções referentes às fases cristalinas do PVDF, nota-se que a presença da fase β (840 e 511 cm^{-1}), é mais favorecida à baixas temperaturas de cristalização, enquanto temperaturas superiores a cristalização do polímero é favorecida na fase α (976, 855, 796, 764, 614 e 532 cm^{-1}). Pode-se dizer que baixas taxas de evaporação do solvente, favorecem a formação da fase ferroelétrica (fase β) em relação a fase apolar (fase α).

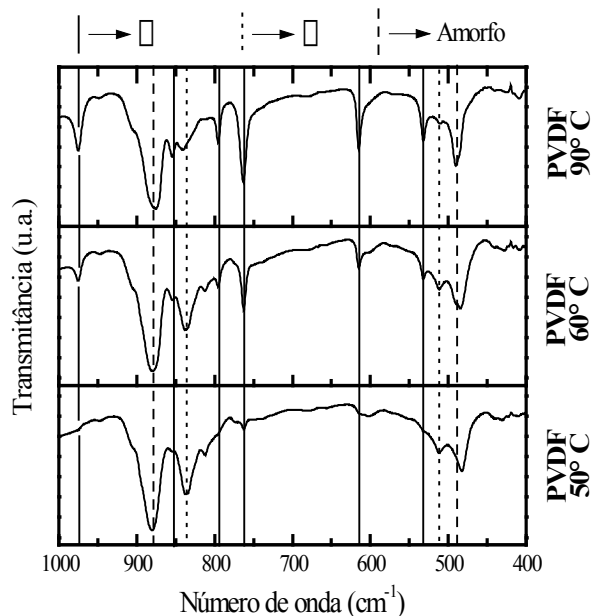


Figura 4: Espectros de infravermelho dos filmes de PVDF cristalizados a (a) 50, (b) 60, e (c) 90° C.

Na Figura 5 são apresentados os espectros de infravermelho dos compósitos de PVDF/PLZT em forma de filmes, cristalizados a 50°C. Foram adicionadas nas concentrações de 1, 10 e 25% em massa, cerâmicas de PLZT em matrizes poliméricas de PVDF. A banda alargada na região de 595 cm^{-1} , característica da deformação Ti-O, do PLZT, pode ser observada no espectro de FTIR do PLZT puro e dos compósitos. Para essa temperatura de cristalização, todas as composições apresentaram bandas proeminentes para a fase ferroelétrica (fase β) e amorfa. A fase apolar (fase α) pode ser identificada apenas pela banda de baixa intensidade em 763 cm^{-1} . Comparando os espectros entre as diferentes composições deste sistema, e também com o espectro do PVDF puro cristalizado nesta mesma temperatura (Figura 4), verifica-se que o perfil do espectro referente ao polímero é praticamente o mesmo, o que nos permite dizer que a inserção das partículas cerâmicas de PLZT não alteram de forma significativa as propriedades estruturais da matriz polimérica.

Usando a equação 4, e as intensidades dos picos de absorção obtido por FTIR de todas as amostras, estimou-se o teor de fase β ($F\beta(\%)$) em relação as demais fases cristalinas do PVDF nos compósitos estudados. Os valores $F\beta(\%)$ são apresentados no gráfico da Figura 6 para todas as amostras preparadas nessa série.

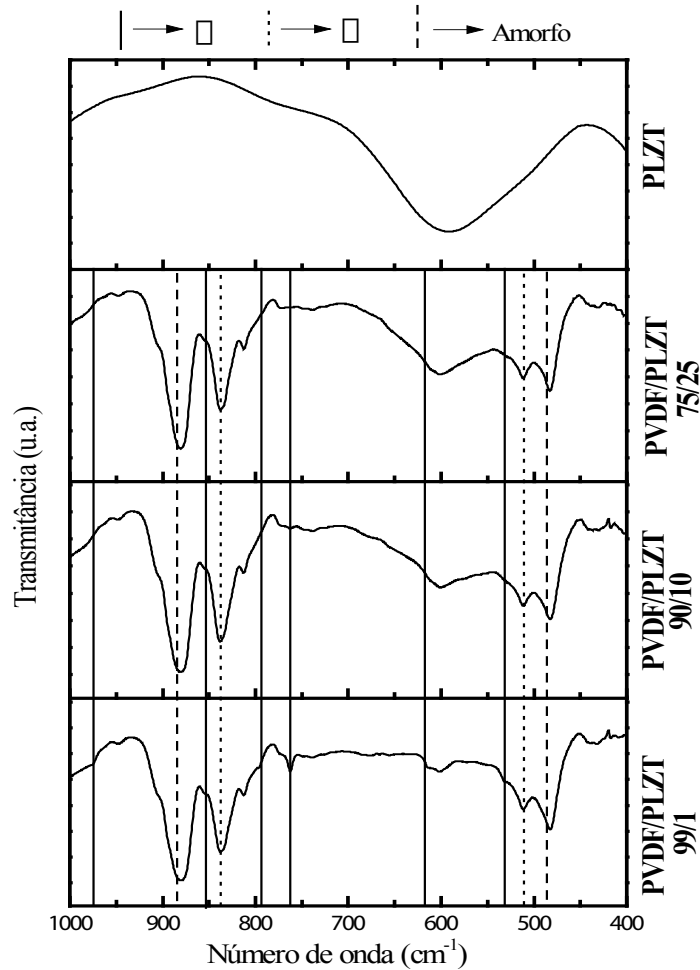


Figura 5: Espectros de infravermelho do PLZT em pó e dos filmes, cristalizados a 50° C, de compósitos a base de PVDF/PLZT, nas composições de 1 a 25% em massa de cerâmica.

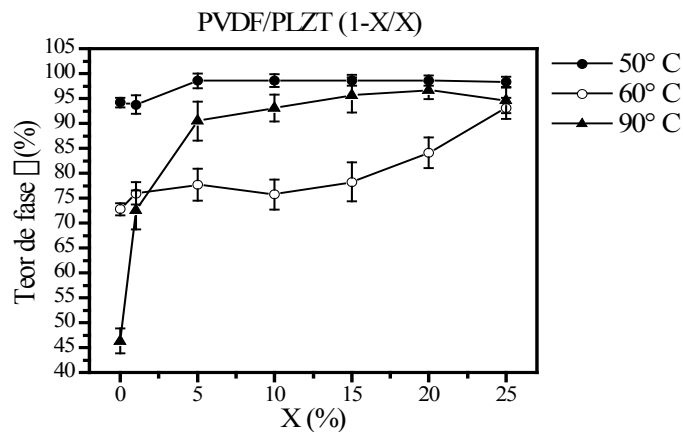


Figura 6: Teor de fase β nos filmes de PVDF/PLZT, cristalizados a 50, 60 e 90° C, de PVDF e compósitos a base de PVDF/PLZT, nas composições de 1 a 25% em massa de cerâmica.

Nos compósitos, nota-se que além da taxa de evaporação do solvente, a concentração de cerâmica também influenciou nos valores de $F\beta$ (%). Contudo, o peso deste novo parâmetro é fortemente relacionado com a temperatura de cristalização dos filmes, uma vez que no intervalo de temperatura avaliado, a influência é mínima para baixas temperaturas (50° C), enquanto para altas temperaturas (90° C) esta influência foi mais expressiva. A ponto dos compósitos cristalizados à 90° C

apresentarem valores de $F\beta(\%)$ superiores aos dos compósitos cristalizados à 60° C, para concentrações de PLZT superiores a 10% em massa.

Assim por essa experiência, usou-se como parâmetro para a síntese de novos compósitos taxas de concentração de cerâmica superiores a 25% em massa no compósito e temperaturas de cristalização de 50°C.

Novos compósitos de PVDF foram sintetizados, envolvendo, agora, matrizes cerâmicas de Ferrita de Cobalto (CoFe_2O_4 , ou somente CFO), seguindo a concentração 70% em peso de PVDF e 30% em peso de CoFe_2O_4 . Os compósitos foram cristalizados à 50°C em três diferentes períodos. A Figura 7 mostra teor de fase β ($F\beta(\%)$) em relação as demais fases cristalinas do PVDF nos compósitos PVDF/CFO em função do tempo de cristalização em horas.

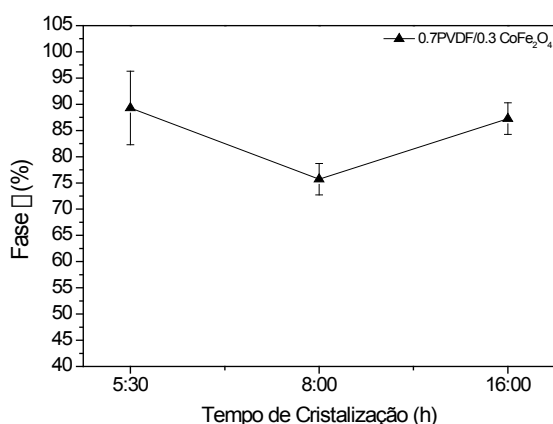


Figura 7: Teor de fase β nos filmes, cristalizados a 50° C, de PVDF/CFO em função do tempo de cristalização.

Tempos de cristalização inferiores a 360 minutos não foram suficientes para a remoção total do solvente (DMF) utilizado no processo, de modo que os filmes ainda apresentavam umidade em tempos inferiores. Tempos superiores a 8 horas de cristalização já eram suficientes para criar mudança de coloração nos filmes, acredita-se que seja pela própria degradação do PVDF, já que tempos superiores há 16 horas os filmes não eram estáveis e não eram autossustentados. Assim, com base nesses resultados verifica-se que tempos de cristalização suficientes para a remoção do solvente utilizado apresentam os melhores resultados na formação da fase β em filmes compósitos à base de PVDF.

Por fim, uma última variável referente à influência do tamanho médio de partícula da cerâmica adicionada ao PVDF para a formação dos compósitos foi ponderada. Assim, sintetizou-se compósitos de PVDF com ferrita de níquel (NiFe_2O_4 , ou NFO) nas concentrações de 70% em peso de PVDF com 30% em peso de NFO, cristalizados à 50°C por 360 minutos. A Figura 8 mostra teor de fase β ($F\beta(\%)$) em relação as demais fases cristalinas do PVDF nos compósitos PVDF/NFO em função

do tamanho médio de partícula da cerâmica.

Para essa variável, nota-se que o tamanho médio de partículas em torno de 80nm, ou inferiores, propiciam a maior concentração de fase β nos compósitos. Tamanhos de partículas superiores causam uma redução significativa na formação da fase de interesse.

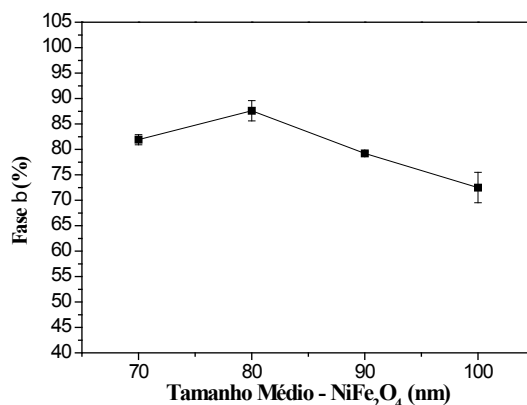


Figura 8: Teor de fase β nos filmes, cristalizados a 50° C por 360 m, de PVDF/NFO em função do tamanho médio de partícula cerâmica.

7 | CONCLUSÕES

É possível a junção de materiais cerâmicos à matrizes poliméricas de PVDF, criando o que se pode chamar de compósito polímero/cerâmica. Almejando uma futura síntese de materiais ferroelétricos funcionais, nesse trabalho usou-se diferentes sistemas cerâmicos eletrônicos, inclusive um ferroelétrico, e estudou-se os efeitos dos dopantes nas propriedades estruturais do PVDF, visando a obtenção de uma fase ferroelétrica ativa desse polímero. Independente da cerâmica utilizada, mas dependente da rota de síntese, observou-se que grandes concentrações de cerâmica, superior a 30% em peso no compósito, baixas temperaturas e tempo de cristalização e com pós-cerâmicos submicrométricos, inferiores à 200 nm, é possível obter compósitos poliméricos cristalizados com 90% de fase eletricamente ativa, ou seja, ferroelétrica. Tais condições abrem caminhos para a síntese de materiais ferroelétricos compósitos com otimização de suas propriedades ferroelétricas e possível uso em dispositivos piezoelétricos flexíveis e mecanicamente resistentes.

REFERÊNCIAS

[1] Nakamura. K e Y. Wada, J. Polym. Sci. A-2 9, 161, 1971.

[2] NALWA, H. S. Ferroelectric Polymers: Chemistry, Physics and Applications. 1. ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1995.

- [3] WASER, R.; BÖTTGER, U.; TIEDKE, S. Polar Oxides Properties, Characterization and imaging. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005.
- [4] COSTA, L. M. M.; BRETAS, R. E. S.; GREGORIO, JR., R. Caracterização de Filmes de PVDF- β Obtidos por Diferentes Técnicas. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 19, n. 3, p. 183-189, 2009.
- [5] GREGORIO, JR., R.; BORGES, D. S. Effect of crystallization rate on the formation of the polymorphs of solution cast poly(vinylidene fluoride). *Polymer*, v. 49, n. 18, p. 4009-4016, 2008.
- [6] Sharma T, Je S S, Gill B and Zhang J X 2012 *Sensors Actuators A* 177 87.
- [7] FURUKAWA, T.; DATE, M.; FUKUDA, E. Hysteresis Phenomena in Polyvinylidene Fluoride Under High Electric Field. *Journals of Applied Physics*, v. 51, n. 2, p. 1135-1142, 1980.
- [8] FUKADA, E. History and recent progress in piezoelectric polymers. *IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Society*, v. 47, n. 6, p. 1277-1290, 2000.
- [9] XU, Y. *Ferroelectric materials and their applications*. Amsterdam: NorthHolland, 1991.
- [10] HAERTLING, G. H. *Electronic Ceramics: Properties, Devices, and Applications*. New York: Marcel Dekker, INC, 1988.
- [11] Prateek, Vijay Kumar Thakur, Gupta, Raju Kumar. Recent Progress on Ferroelectric Polymer-Based Nanocomposites for High Energy Density Capacitors: Synthesis, Dielectric Properties, and Future Aspects. *Chem. Rev.* 2016, 116, 7, 4260-431.
- [12] Hoshina, T. Size Effect of Barium Titanate Fine Particles and Ceramics. *J. Ceram. Soc. Jpn.* 2013, 121, 156–161.
- [13] Schumacher, B.; Geßwein, H.; Haußelt, J.; Hanemann, T. Temperature Treatment of Nano-Scaled Barium Titanate Filler to Improve the Dielectric Properties of High-k Polymer Based Composites. *Microelectron. Eng.* 2010, 87, 1978–1983.
- [14] Padalia, D.; Bisht, G.; Johri, U. C.; Asokan, K. Fabrication and Characterization of Cerium Doped Barium Titanate/PMMA Nanocomposites. *Solid State Sci.* 2013, 19, 122–129.
- [15] Nisa, V. S.; Rajesh, S.; Murali, K. P.; Priyadarsini, V.; Potty, S. N.; Ratheesh, R. Preparation, Characterization and Dielectric Properties of Temperature Stable SrTiO₃/PEEK Composites for Microwave Substrate Applications. *Compos. Sci. Technol.* 2008, 68, 106–112.
- [16] G. R. Salmazzo, E. A. Falcão, A. R. L. Caires, D. Garcia, J. A. Eiras, E. R. Botero, Síntese e caracterização estrutural de compósitos a base de poli(fluoreto de vinilideno)/ (Pb_{0,91}-La_{0,09}) (Zr_{0,65}Ti_{0,35})_{0,98}O₃, *Cerâmica* 60 (2014) 83-87.
- [17] Piskunov, S.; Heifets, E.; Eglitis, R. I.; Borstel, G. Bulk Properties and Electronic Structure of SrTiO₃, BaTiO₃, PbTiO₃ Perovskites: An abinitio HF/DFT Study. *Comput. Mater. Sci.* 2004, 29, 165–178.
- [18] Kong, L. B.; Zhang, T. S.; Ma, J.; Boey, F. Progress in Synthesis of Ferroelectric Ceramic Materials via High-Energy Mechanochemical Technique. *Prog. Mater. Sci.* 2008, 53, 207–322.
- [19] J. G. Bergman, J. K. McFee e G. R. Crane, *Appl. Phys. Lett.* 18, 203 (1971).
- [20] HEYMANS, N. & EL MOHAJIR, B. E. (2001) – “Changes in Structural and Mechanical Behaviour of PVDF with Processing and Thermomechanical Treatments. 1. Change in Structure”, *Polymer*, 42(13):5661–5667.

- [21] LOVINGER, A. J. Ferroelectric Polymers. Science, v. 220, n. 4602, p. 1115-1121, 1983.
- [22] Martins, P.; Lopes, A. C.; Lanceros-Mendez, S. Electroactive Phases of Poly(Vinylidene Fluoride): Determination, Processing and Applications. Prog. Polym. Sci. 2014, 39, 683–706.
- [23] LOVINGER, A. J. (1982) Developments in crystalline polymers. Applied Science Publishers Ltd., p. 196-273, 1982.
- [24] HUANG, C.; ZHANG, Q. M.; XIA, F & SU, J (2004) “Electroactive Polymer (EAP) Actuators as Artificial Muscles: Reality, Potencial and Challenges” Edited by Yoseph Bar-Cohen (SPIE – The International Society for Optical Engineering).
- [25] CESTARI, M. & GREGÓRIO Jr., R. (1994) – “Effect of Crystallization Temperature on the Crystalline Phase Content and Morphology of Poly(vinylidene fluoride)”, Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, Vol 32 (5):859-870.
- [26] CAPITÃO, R. C. & GREGÓRIO Jr., R. (2000) – “Morphology and Phase Transition of High Melt Temperature Crystallized Poly(vinylidene fluoride)”, Journal of Material Science, Vol 35 (2):299-306.
- [27] Boccaccio T, Bottino A, Capannelli G, Piaggio P. Characterization of PVDF membranes by vibrational spectroscopy. Journal of Membrane Science 2002;210:315–29.
- [28] Kepler RG, Anderson RA. Piezoelectricity and pyroelectricity in polyvinylidene fluoride. Journal of Applied Physics 1978; 49:4490–4.
- [29] Gregorio R. Determination of the alpha, beta, and gamma crystalline phases of poly(vinylidene fluoride) films prepared at different conditions. Journal of Applied Polymer Science 2006;100:3272–9.
- [30] Lanceros-Méndez S, Mano JF, Costa AM, Schmidt VH. FTIR and DSC studies of mechanically deformed beta-PVDF films. Journal of Macromolecular Science: Physics 2001;B40:517–27.
- [31] Gregorio R, Capitaó RC. Morphology and phase transition of high melt temperature crystallized poly(vinylidene fluoride). Journal of Materials Science 2000;35:299–306.
- [32] NEWNHAM, R. E.; SKINNER, D. P. & CROSS, L. E. (1978) – “Connectivity and Piezoelectric - Pyroelectric Composites”, **Materials Research Bulletin**, Vol 13:525–536.
- [33] ESTEVES, A. C. C.; BARROS-TIMMONS, A.; TRINDADE, T. Nanocompósitos de Matriz Polimérica: Estratégias de Síntese de Materiais Híbridos. **Química Nova**, v. 27, n. 5, p. 798-806, 2004.

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