

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 13/06/2020.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO” FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

TIAGO CESAR GIMENES

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS NANOESTRUTURADOS
PROCESSADOS PELA TÉCNICA DE FIAÇÃO POR SOPRO EM
SOLUÇÃO**

Ilha Solteira

2019

TIAGO CESAR GIMENES

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS NANOESTRUTURADOS
PROCESSADOS PELA TÉCNICA DE FIAÇÃO POR SOPRO EM
SOLUÇÃO**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP - Campus de Ilha Solteira, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciência dos Materiais com ênfase em Física da Matéria Condensada.

Prof. Dr. Fernando R. de Paula
Orientador

Ilha Solteira
2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

G491d Gimenes, Tiago Cesar.
Desenvolvimentos de materiais nanoestruturados processados pela técnica de fiação por sopro em solução / Tiago Cesar Gimenes . -- Ilha Solteira: [s.n.], 2020
185 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Física da Matéria Condensada, 2020

Orientador: Fernando Rogério de Paula
Inclui bibliografia

1. Fiação por sopro em solução. 2. Membranas de PVDF/TiO₂. 3. Membranas de PVDF/Ni. 4. Membranas de PVDF/Fe₂O₃@SiO₂. 5. Fibras de TiO₂. 6. Fibras de TiO₂/Ag.


Raiane da Silva Santos



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Desenvolvimento de materiais nanoestruturados processados pela técnica de fiação por sopro em solução

AUTOR: TIAGO CESAR GIMENES

ORIENTADOR: FERNANDO ROGERIO DE PAULA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIA DOS MATERIAIS, área: Física da Matéria Condensada pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. FERNANDO ROGERIO DE PAULA
Departamento de Física e Química / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. RENATO GRILLO
Departamento de Física e Química / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. MICHAEL JONES DA SILVA
Departamento de Engenharia de Energia / Câmpus Experimental de Rosana - UNESP

Prof. Dr. FERNANDO HENRIQUE CRISTOVAN
Unidade Especial de Ciências Exatas e Tecnologia / Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí

Prof. Dr. LINCON ZADOROSNY
Departamento de Física / Centro Universitário de Santa Fé do Sul - UNIFUNEC

Ilha Solteira, 13 de dezembro de 2019

**Dedico esse trabalho aos meus pais, pois sem dúvida nenhuma, se
estou onde estou e aonde chegarei, foi e será sempre devido a eles:**

Valdecir Adão Gimenes

e

Inês Alves da Silva Gimenes

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelas oportunidades concebidas em minha vida e pelo fato de ter fé e esperança de que amanhã vai ser melhor do que hoje. Acredito que os ingredientes fé e esperança levam a motivação, que na resultante se transforma em energia, com intensidades indetermináveis!

Agradeço ao Prof. Dr. Fernando Rogério de Paula, por me dar um voto de confiança e por me orientar durante esses seis anos entre mestrado e doutorado. Sou grato pela sua dedicação, atenção e paciência durante todo esse percurso. Também sou grato pela troca de sabedoria e companheirismo.

Agradeço a minha família (Valdecir, Inês e Leandro), por sempre estarem ao meu lado. Também agradeço a minha namorada Valéria, por sempre me apoiar e entender (mesmo que contra vontade), os sacrifícios feitos para chegar ao final dessa fase.

Agradeço a todos os professores do departamento que tenham contribuído de maneira direta ou indireta em meu trabalho e em minha formação. Também agradeço a todos meus amigos feitos no Dfq e os de longa data, por me ajudar com coisas relacionadas ao trabalho e pelas conversas de distração. Para não esquecer de alguém, optei por não citar nomes, entretanto, cada um de vocês tem um espaço especial em minha vida.

Agradeço a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” “UNESP”, a CAPES, INEO, Departamento de Física e Química “DFQ” e ao Programa de Pós-Graduação de Ciência dos Materiais “PPG.CM” por contribuírem em minha formação profissional, pessoal e pelos auxílios financeiros concedidos.

**“EU SOU UM UNIVERSO DE ÁTOMOS,
E AINDA ASSIM,
UM ÁTOMO NO UNIVERSO”**

(Richard Feynman)

RESUMO

A técnica de fiação por sopro em solução foi utilizada neste trabalho para produção de fibras de PVDF/TiO₂, PVDF/Ni, PVDF/Fe₂O₃@SiO₂, TiO₂/Ag e fibras puras de TiO₂. Inicialmente, foi realizado um estudo sobre a influência da concentração das nanopartículas de TiO₂ no compósito PVDF/TiO₂, analisando as alterações morfológicas, estrutura cristalina, propriedades térmicas e propriedades fotocatalíticas, sendo a melhor eficiência fotocatalítica das fibras contendo a incorporação 0,20 g de TiO₂, degradando 92% do corante em 60 minutos. As fibras puras de TiO₂ e fibras de TiO₂/Ag também foram estudadas em termos de suas morfologias, estruturas cristalinas, propriedades térmicas e propriedades fotocatalíticas. Essas nanofibras apresentaram uma eficiência fotocatalítica mais elevada quando comparado ao compósito de PVDF/TiO₂. As fibras puras de TiO₂ degradaram 100 % do corante em 40 minutos de exposição a irradiação ultravioleta e o compósito TiO₂/Ag degradou 100 % do corante em 30 minutos de exposição à radiação. Para obtenção de fibras com propriedades magnéticas, foram produzidas mantas fibrosas contendo Ni e Fe₂O₃@SiO₂, com a matriz polimérica de PVDF. Os compósitos magnéticos produzidos foram estudados e analisados em termos de suas morfologias, estruturas cristalinas, propriedades térmicas e propriedades magnéticas. O compósito PVDF/Ni apresentou comportamento ferromagnético para curvas *MvsH* e comportamento superparamagnético para curvas de *MvsT*. O compósito de PVDF/Fe₂O₃@SiO₂ exibiu comportamento ferrimagnético para curvas *MvsH* e comportamento superparamagnético à temperatura ambiente para curvas *MvsT*. Os compósitos produzidos e as fibras puras possuem várias aplicações devido às suas propriedades fotocatalíticas, magnéticas e poliméricas. A combinação dessas propriedades magnéticas com as poliméricas, permitem que esses compósitos atuem nas mais diversas áreas de aplicações, como em medicina, biologia, química ambiental, geoquímica, ciência do solo, geologia e mineralogia.

Palavras Chaves: Fiação por sopro em solução. Membranas de PVDF/TiO₂. Membranas de PVDF/Ni. Membranas de PVDF/Fe₂O₃@SiO₂. Fibras de TiO₂. Fibras de TiO₂/Ag.

Abstract

A solution blow spinning technique was used in this work to produce PVDF/TiO₂, PVDF/Ni, PVDF/Fe₂O₃@SiO₂, TiO₂ fibers and TiO₂/Ag pure fibers. Firstly, it was realized a study of the influence of TiO₂ nanoparticle concentration on the morphology, crystal structure, thermal properties and photocatalytic properties of PVDF/TiO₂ composite. The better photocatalytic fiber was the incorporation containing 0,20 g of TiO₂ which had 92% degradation of the dye in 60 minutes. TiO₂ and TiO₂/Ag pure fibers were also produced and the morphology, crystal structure, thermal properties and photocatalytic properties was studied. Showing a better photocatalytic efficiency when compared to PVDF/TiO₂ composite. Pure TiO₂ fibers degraded 100% of the dye in 40 minutes under ultraviolet irradiation and the TiO₂/Ag composite degraded 100% of the dye in 30 minutes. In order to obtain fibers with magnetic properties, fibrous blanket of Ni and Fe₂O₃@SiO₂ were produced keeping the PVDF polymer matrix. The magnetic composites produced were studied and analyzed their morphology, crystal structures, thermal properties and magnetic properties. The PVDF/Ni composite showed ferromagnetic behavior for MvsH curves and superparamagnetic behavior for MvsT curves, and the PVDF/Fe₂O₃@SiO₂ composite exhibited a ferrimagnetic behavior for MvsH curves and superparamagnetic behavior at room temperature for MvsT curves. The composites produced and the pure fibers have several applications due to their photocatalytic, magnetic and polymeric properties. The combination of magnetic and polymeric properties allows these composites to act in a wide range of applications, such as medicine, biology, environmental chemistry, geochemistry, soil science, geology and mineralogy.

Keywords: Solution blow spinning. PVDF/TiO₂ Membranes. PVDF/Ni Membranes. PVDF/Fe₂O₃@SiO₂ Membranes. TiO₂ Fibers. TiO₂/Ag Fibers.

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1: Estimativa da população brasileira até 2060.	25
Figura 2: Aplicações relacionadas com nanofibras poliméricas.....	27
Figura 3: Processo de Eletrofiação	32
Figura 4: Variações do jato polimérico à medida que se aumenta o potencial elétrico do sistema.....	33
Figura 5: Aparato experimental da técnica de FSS.....	35
Figura 6: Funcionamento do bico concêntrico da técnica de FSS.	36
Figura 7: (a) Técnica de FSS e (b) Técnica de eletrofiação.	38
Figura 8: Monômero VDF e a unidade repetitiva do PVDF.....	40
Figura 9: Estrutura semicristalina do PVDF.	41
Figura 10: (a) Representação da célula unitária da fase α e (b) Representação esquemática da cadeia do PVDF (fase α).	43
Figura 11: (a) Representação da célula unitária da fase β . (b) Configuração da cadeia do PVDF na fase β	44
Figura 12: (a) Representação da célula unitária da fase γ – PVDF. (b) Célula unitária da fase γ	45
Figura 13: Representação da célula unitária da fase δ	46
Figura 14: Síntese do PEO.	47
Figura 15: Estrutura cristalina das fases do TiO_2 : (a) Bruquita, (b) Anatase e (c) Rutilo.....	50
Figura 16: Efeito do tratamento térmico na cristalinidade e área superficial do TiO_2	51
Figura 17: Esquema representativo da partícula de um semiconductor: Banda de valência “BV” e Banda de condução “BC”.....	54
Figura 18: Representação esquemática da recombinação do par elétron/buraco nos materiais com gap direto e indireto.	57
Figura 19: Ilustração esquemática da heterojunção entre as fases anatase e rutilo.	58
Figura 20: Transferência de elétron do TiO_2 para o metal.	61
Figura 21: Áreas de aplicações para as nanopartículas de óxido de ferro.	62

Figura 22: Estrutura cúbica de face centrada: (a) Célula unitária de esfera rígida e (b) célula unitária de esfera reduzida.....	63
Figura 23: Estrutura cristalina da magnetita (Fe_3O_4): em vermelho átomos de O^{2-} , em castanho átomos de Fe^{3+} e em verde átomos de Fe^{2+}	65
Figura 24: representação da unidade tetraédrica do (SiO_4): Esquema da estrutura de sílica.....	66
Figura 25: representação ilustrativa das nanopartículas de Fe_3O_4 recobertas com SiO_2	67
Figura 26: Diagrama esquemático para a obtenção das membranas fibrosas de PVDF/ TiO_2	69
Figura 27: Diagrama esquemático para a obtenção de fibras puras de TiO_2	70
Figura 28: Diagrama esquemático para o preparo das soluções para o processo de Fiação das fibras de TiO_2/Ag	72
Figura 29: Diagrama esquemático para o preparo das soluções para o processo de Fiação das membranas fibrosas de PVDF/Ni.....	73
Figura 30: Diagrama esquemático para o preparo das soluções para o processo de fiação das membranas fibrosas de PVDF/ $\text{Fe}_2\text{O}_3@\text{SiO}_2$	74
Figura 31: Reator fotocatalítico: (a) Região externa do reator. (b) Região interna do reator. (c) Solução utilizada para o ensaio fotocatalítico. (d) Solução da RhB obtida a cada 10 min.....	78
Figura 32: Micrografias da manta de PVDF puro. Ampliações: (a) 10.000 vezes e (b) 400 vezes.....	81
Figura 33: Micrografias da manta de PVDF contendo a incorporação de 0,01 g de nanopartículas de TiO_2 . Ampliações: (a) 10.000 vezes e (b) 400 vezes.	82
Figura 34: Micrografias da manta de PVDF contendo a incorporação de 0,05 g de nanopartículas de TiO_2 . Ampliações: (a) 10.000 vezes e (b) 400 vezes.	83
Figura 35: Micrografias da manta de PVDF contendo a incorporação de 0,10 g de nanopartículas de TiO_2 . Ampliações: (a) 10.000 vezes e (b) 400 vezes.	83

Figuras 36: Micrografias da manta de PVDF contendo a incorporação de 0,20 g de nanopartículas de TiO ₂ . Ampliações: (a) 10.000 vezes e (b) 400 vezes.	84
Figura 37: Micrografias da manta de PVDF contendo a incorporação de 0,30 g de nanopartículas de TiO ₂ . Ampliações: (a) 10.000 vezes e (b) 400 vezes.	84
Figura 38: Difratoograma de Raios X das fibras de PVDF puro e dos compósitos de PVDF/TiO ₂	85
Figura 39: Curvas termogravimétricas do PVDF puro e dos compósitos de PVDF/TiO ₂	87
Figura 40: Análise termogravimétrica diferencial para manta de PVDF puro e para os compósitos de TiO ₂	88
Figura 41: Curvas de degradação do corante RhB em função das fibras de PVDF com diferentes concentrações de nanopartículas de TiO ₂	91
Figura 42: Cinética de degradação da RhB das fibras de PVDF com incorporações de TiO ₂	91
Figura 43: Constantes de degradação da RhB para as fibras de PVDF contendo diferentes incorporações de TiO ₂	92
Figura 44: Micrografias das fibras de TiO ₂ obtidas com distância de trabalho de 5 cm: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratada termicamente.	95
Figura 45: Micrografias das fibras de TiO ₂ obtidas com distância de trabalho de 10 cm: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratada termicamente.	95
Figura 46: Micrografias das fibras de TiO ₂ obtidas com distância de trabalho de 15 cm: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratada termicamente.	96
Figura 47: Micrografias das fibras de TiO ₂ obtidas com distância de trabalho de 25 cm: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratada termicamente.	96
Figura 48: Micrografias das fibras de TiO ₂ obtidas com distância de trabalho de 35 cm: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratada termicamente.	96

Figura 49: Degradação fotocatalítica das fibras de TiO ₂ obtidas com diferentes distâncias de trabalho.	98
Figura 50: Cinética de degradação da RhB das fibras de TiO ₂ obtidas com diferentes distâncias de trabalho.	99
Figura 51: Constantes de degradação da RhB para as fibras de TiO ₂ obtidas com diferentes distâncias de trabalho.	100
Figura 52: Micrografias das fibras de TiO ₂ processadas com taxa de Injeção de 53 µL/min: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratada termicamente.	101
Figura 53: Micrografias das fibras de TiO ₂ processadas com taxa de Injeção de 101	101
Figura 54: Micrografias das fibras de TiO ₂ processadas com taxa de Injeção de 89 µL/min: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratada termicamente.	101
Figura 55: Micrografias das fibras de TiO ₂ processadas com taxa de Injeção de 107 µL/min: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratada termicamente.	102
Figura 56: Micrografias das fibras de TiO ₂ processadas com taxa de Injeção de 125 µL/min: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratada termicamente.	102
Figura 57: Degradação fotocatalítica das fibras de TiO ₂ processadas com diferentes Taxas de Injeção.	103
Figura 58: Cinética de degradação da RhB das fibras de TiO ₂ processadas com diferentes Taxas de Injeção.	104
Figura 59: Constantes de degradação da RhB para as fibras de TiO ₂ processadas com diferentes Taxas de Injeção.	105
Figura 60: Micrografias das fibras de TiO ₂ processadas com rotação do coletor em 40 rpm: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratadas termicamente.	106
Figura 61: Micrografias das fibras de TiO ₂ processadas com a rotação do coletor em 60 rpm: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratadas termicamente.	107

Figura 62: Micrografias das fibras de TiO ₂ processadas com a rotação do coletor em 80 rpm: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratadas termicamente.	107
Figura 63: Micrografias das fibras de TiO ₂ processadas com a rotação do coletor em 100 rpm: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratadas termicamente.	107
Figura 64: Micrografias das fibras de TiO ₂ processadas com a rotação do coletor em 120 rpm: (a) Sem tratamento térmico e (b) tratadas termicamente.	108
Figura 65: Degradação fotocatalítica das fibras de TiO ₂ processadas com diferentes velocidades de Rotação do Coletor.	109
Figura 66: Cinética de degradação da RhB das fibras de TiO ₂ processadas com diferentes rotações do coletor.	110
Figura 67: Constantes de degradação da RhB para as fibras de TiO ₂ processadas com diferentes rotações do coletor.	111
Figura 68: Micrografias das fibras puras de TiO ₂ obtidas após o tratamento térmico: (a) 500 °C, (b) 600 °C, (c) 700 °C, (d) 800 °C, (e) 900 °C e (f) 1000 °C.	113
Figura 69: Diagrama de raios X das fibras de TiO ₂ submetidas a diferentes tratamentos térmicos.	114
Figura 70: Degradação fotocatalítica das fibras de TiO ₂ tratadas termicamente sobre diferentes temperaturas.	117
Figura 71: Cinética de degradação da RhB das fibras de TiO ₂ tratadas termicamente sobre diferentes temperaturas.	118
Figura 72: Constantes de degradação da RhB para as fibras de TiO ₂ tratadas termicamente sobre diferentes temperaturas.	119
Figura 73: Curvas de TG do PEO puro e do compósito PEO/TiP.	121
Figura 74: Curvas de DSC do PEO puro e do compósito PEO/TiP.	122
Figura 75: Micrografias das fibras de TiO ₂ contendo incorporação de 0,005 g de Ag ₂ CO ₃ : (a) Sem tratamento térmico e (b) tratadas termicamente.	123
Figura 76: Micrografias das fibras de TiO ₂ contendo incorporação de 0,010 g de Ag ₂ CO ₃ : (a) Sem tratamento térmico e (b) tratadas termicamente.	124
Figura 77: Micrografias das fibras de TiO ₂ contendo incorporação de 0,050 g de Ag ₂ CO ₃ : (a) Sem tratamento térmico e (b) tratadas termicamente.	124

Figura 78: Micrografias das fibras de TiO_2 contendo incorporação de 0,250 g de Ag_2CO_3 : (a) Sem tratamento térmico e (b) tratadas termicamente.	124
Figura 79: Micrografias das fibras de TiO_2 contendo incorporação de 0,500 g de Ag_2CO_3 : (a) Sem tratamento térmico e (b) tratadas termicamente.	125
Figura 80: Difratoograma de raios X dos compósitos de TiO_2/Ag contendo diferentes incorporações de nanopartículas de Ag_2CO_3 .	126
Figura 81: Degradação fotocatalítica do compósito de TiO_2/Ag contendo diferentes incorporações de Ag_2CO_3 .	128
Figura 82: Cinética de degradação da RhB das fibras de TiO_2/Ag contendo diferentes incorporações de Ag_2CO_3 .	129
Figura 83: Constantes de degradação das fibras de TiO_2/Ag contendo diferentes incorporações de Ag_2CO_3 .	130
Figura 84: Curvas de TG obtidas a partir dos compósitos de PEO/TiP e PEO/TiP/ Ag_2CO_3 .	131
Figura 85: Curvas de DSC obtidas para os compósitos de PEO/TiP e PEO/TiP/ Ag_2CO_3 .	133
Figura 86: Micrografias da manta de PVDF contendo incorporação de 0,01 g de nanopartículas de Ni. Ampliações: (a) 10.000 vezes e (b) 400 vezes.	135
Figura 87: Micrografias da manta de PVDF contendo incorporação de 0,10 g de nanopartículas de Ni. Ampliações: (a) 10.000 vezes e (b) 400 vezes.	135
Figura 88: Difratoograma das fibras de PVDF e dos compósitos PVDF/Ni contendo diferentes concentrações de Ni.	136
Figura 89: Análises de TG para a manta de PVDF puro e para os compósitos PVDF/Ni contendo diferentes incorporações de nanopartículas de Ni.	137
Figura 90: Análises de DTG para a manta de PVDF puro e para os compósitos de PVDF contendo diferentes incorporações de nanopartículas de Ni.	139
Figura 91: (a) Medidas de M_{vsH} sobre as temperaturas de 10 K e 300 K, para a amostra de PVDF/Ni contendo 0,01 g de Ni. (b) Ampliação da região menor campo magnético aplicado.	140

Figura 92: (a) Medidas de M_{vsH} sobre as temperaturas de 10 K e 300 K, para a amostra de PVDF/Ni contendo 0,10 g de Ni. (b) Ampliação da região menor campo magnético aplicado.	140
Figura 93: Curvas de ZFC e FC obtidas do compósito contendo 0,01 g de Ni, com aplicação do campo magnético externo em (a) 40 Oe e (b) 1000 Oe.	141
Figura 94: Curvas de ZFC e FC obtidas do compósito contendo 0,10 g de Ni, com aplicação do campo magnético externo em (a) 40 Oe e (b) 1000 Oe.	142
Figura 95: Micrografia das partículas de magnetita revestida com sílica utilizadas nas incorporações das fibras de PVDF. Ampliação de 20.000 vezes.	143
Figura 96: Micrografias da manta de PVDF contendo 0,010 g de partículas de $Fe_2O_3@SiO_2$. Ampliações: (a) 10.000 vezes e (b) 400 vezes.	144
Figura 97: Micrografias da manta de PVDF contendo 0,050 g de partículas de $Fe_2O_3@SiO_2$. Ampliações: (a) 10.000 vezes e (b) 400 vezes.	144
Figura 98: Difratoograma das fibras de PVDF puro e dos compósitos PVDF/ $Fe_2O_3@SiO_2$	145
Figura 99: Curvas DTG para a manta de PVDF e para os compósitos de PVDF/ $Fe_2O_3@SiO_2$	147
Figura 100: Curvas de DTG para a manta de PVDF e para os compósitos de PVDF/ $Fe_2O_3@SiO_2$	148
Figura 101: (a) Medidas de M_{vsH} sobre as temperaturas de 10 k e 300 k, para a amostra de PVDF/MgSi contendo 0,010 g de $Fe_2O_3@SiO_2$. (b) Ampliação da região menor campo magnético aplicado.	149
Figura 102: (a) Medidas de M_{vsH} sobre as temperaturas de 10 k e 300 k, para a amostra de PVDF/ $Fe_2O_3@SiO_2$ contendo 0,050 g de MgSi. (b) Ampliação da região menor campo magnético aplicado.	150
Figura 103: Curvas de ZFC e FC do compósito PVDF/ $Fe_2O_3@SiO_2$ contendo 0,010 g de $Fe_2O_3@SiO_2$, com aplicação do campo magnético externo em (a) 40 Oe e (b) 1000 Oe.	151
Figura 104: Curvas de ZFC e FC do compósito PVDF/MgSi contendo 0,050 g de $Fe_2O_3@SiO_2$, com aplicação do campo magnético externo em (a) 40 Oe e (b) 1000 Oe.	152

Figura 105: Campo coercivo em função do tamanho das nanopartículas.	157
Figura 106: Dependência do inverso da suscetibilidade ($1/\chi$) com a temperatura de um material diamagnético.....	159
Figura 107: Dependência do inverso da suscetibilidade ($1/\chi$) com a temperatura de um material paramagnético (Lei de Curie) e de um material ferromagnético acima da temperatura de ordem magnética (lei de Curie-Weiss).....	159
Figura 108: Ciclo de histerese típico de um material ferromagnético, contendo magnetização de saturação M_s , magnetização remanente M_r e campo coercivo H_c	161
Figura 109: Curva de magnetização inicial ou virgem (OABC) e curva de magnetização (CDEFG). A curva BD'E' é seguida se H desce de um ponto abaixo da saturação (correspondente ao ponto C)	162
Figura 110: Diminuição das linhas de campo ao dividir um material em domínios magnéticos.	164
Figura 111: Momentos magnéticos no interior de uma parede de domínio de 180° (parede de Bloch).	164
Figura 112: Dependência angular da barreira de energia para campo externo igual a zero (linha contínua) e para um campo externo diferente de zero (linha tracejada).	166

LISTA DE ABREVIações

AcNi	Acetato de níquel (II) tetra-hidratado
Ag	Prata
Ag ₂ CO ₃	Carbonato de prata
Al ₂ O ₃	Dióxido de alumínio
Au	Ouro
BC	Banda de condução
BV	Banda de valência
C	Carbono
CO	Monóxido de carbono
Co	Cobalto
Cu	Cobre
CuO	Óxido de cobre
D	Distância de trabalho
DMA	Dimetilacetamida
DMF	Dimetilformamida
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
DTG	Análise Termogravimétrica Diferencial
e ⁻	Elétrons
E. coli	Escherichia Coli
F	Flúor
FC	Field Cooled
Fe	Ferro
FSS	Fiação por Sopro em Solução
Fe ₂ Cl ₃	Cloreto Férrico
H	Hidrogênio
h ⁺	Buracos
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
H _c	Campo coercivo
Hc	Coercividade
HC	Hidrocarbonetos
HF	Fluoreto de hidrogênio

Hs	Campo de saturação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
Fe ₂ O ₃ @SiO ₂	Magnetita revestida com sílica e funcionalizada com NH ₂
Mn	Manganês
Mr	Magnetização remanescente
Ms	Magnetização de saturação
Ni	Níquel
(NH ₄ OH)	Hidróxido de amônio
NiO	Óxido de níquel
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
O ₃	Ozônio
OH•	Radical hidroxila
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
P _s	Pressão do sistema
P. aeruginosa	Pseudomonas aeruginosa
Pd	Paládio
PEG	Poli(óxido de etileno glicol)
PEO	Poli(óxido de etileno)
POAs	Processos Oxidativos Avançados
PVA	Álcool polivinílico
PVC	Poli(cloreto de vinila)
PVDF	Poli(fluoreto de vinilideno)
PVP	Poli(vinil pirrolidona)
RhB	Rodamina-B
SBS	Solution Blow Spinning
(Na ₂ SO ₃)	Sulfito de Sódio
S. pyogenes	Streptococcus pyogenes
S.aureus	Staphylococcus aureus
SiO ₂	Dióxido de silício
SO ₂	Dióxido de enxofre
TG	Análise Termogravimétrica
THF	Tetrahidrofurano

TiO ₂	Dióxido de titânio
TiP	Isopropóxido de titânio
VDF	Fluoreto de vinilideno
ZFC	Zero Field Cooled
ZrO ₂	Dióxido de zircônio
β	Taxa da injeção da solução ou vazão
ω	Rotação do coletor

SUMÁRIO:

1. INTRODUÇÃO.....	25
2. OBJETIVOS.....	30
2.1 OBJETIVO GERAL	30
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
3.1 ELETROFIAÇÃO.....	31
3.2 FIAÇÃO POR SOPRO EM SOLUÇÃO (FSS)	34
3.3 FIAÇÃO POR SOPRO EM SOLUÇÃO vs ELETROFIAÇÃO	38
3.4 POLI(FLUORETO DE VINILIDENO) (PVDF)	40
3.4.1 FASE α	42
3.4.2 FASE β	43
3.4.3 FASE γ	44
3.4.4 FASE δ	45
3.5 POLI(ÓXIDO DE ETILENO) (PEO)	46
3.6 DIÓXIDO DE TITÂNIO	49
3.7 PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POAs).....	52
3.8 FOTOCATÁLISE	53
3.9 PRATA (Ag).....	59
3.10 FIBRAS MAGNÉTICAS.....	61
3.10.1 NÍQUEL (Ni)	62
3.10.2 NANOPARTÍCULAS DE MAGNETITA REVESTIDA COM SÍLICA	64
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	68
4.1. MATERIAIS	68
4.2. MÉTODOS	68
4.2.1. FIBRAS DE PVDF/TiO ₂	68

4.2.2. FIBRAS DE TiO_2	69
4.2.3. FIBRAS DE TiO_2/Ag	72
4.2.4. FIBRAS DE PVDF/Ni	73
4.2.5. FIBRAS DE PVDF/ $\text{Fe}_2\text{O}_3@ \text{SiO}_2$	74
4.2.5.1. PARTÍCULAS DE $\text{Fe}_2\text{O}_3@ \text{SiO}_2$	75
4.3. CARACTERIZAÇÃO	76
4.3.1. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X	76
4.3.2. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	76
4.3.3. CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA.....	77
4.3.4. ENSAIO FOTOCATALÍTICO	77
4.3.6. MEDIDAS MAGNÉTICAS	78
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
5.1 FIBRAS DE PVDF/ TiO_2	80
5.1.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	80
5.1.2 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X	84
5.1.3. ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TG) E ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DIFERENCIAL (DTG).....	86
5.1.4. ATIVIDADE FOTOCATALÍTICA DAS FIBRAS DE PVDF/ TiO_2	89
5.2 FIBRAS DE TiO_2	93
5.2.1 EFEITO DA DISTÂNCIA TRABALHO NA FORMAÇÃO DAS FIBRAS.....	94
5.2.1.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	94
5.2.1.2 PROPRIEDADES FOTOCATALÍTICAS	97
5.2.2 EFEITO DA TAXA DE INJEÇÃO NA FORMAÇÃO DAS FIBRAS	100
5.2.2.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) ..	100
5.2.2.2 PROPRIEDADES FOTOCATALÍTICAS	103

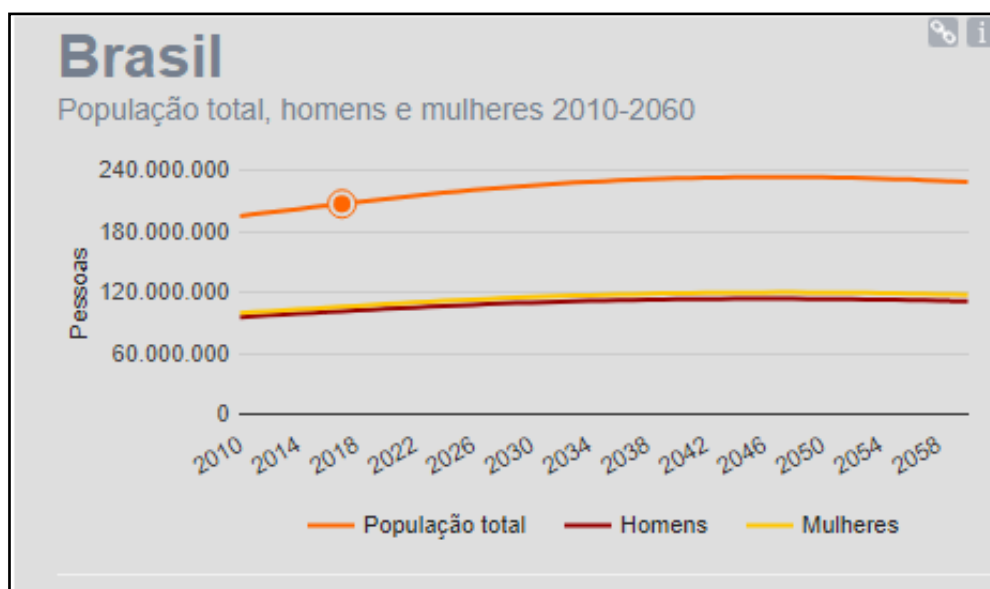
5.2.3 EFEITO DA ROTAÇÃO DO COLETOR NA FORMAÇÃO DAS FIBRAS.....	106
5.2.3.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) ..	106
5.2.3.2 PROPRIEDADES FOTOCATALÍTICAS	108
5.2.4 EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NA FORMAÇÃO DAS FIBRAS.....	112
5.2.4.1 MICROSCPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	112
5.2.4.2 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X	113
5.2.4.3 PROPRIEDADES FOTOCATALÍTICAS	116
5.2.4.5. ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRIA (TG) E CALORIMETRIA EXPLOATÓRIA DIFERENCIAL (DSC).....	120
5.3 FIBRAS DE TiO ₂ /Ag	122
5.3.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	123
5.3.2 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X	125
5.3.3 PROPRIEDADES FOTOCATALÍTICAS	127
5.3.4 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TG) E CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)	130
6. FIBRAS COM PROPRIEDADES MAGNÉTICAS	134
6.1 FIBRAS DE PVDF COM INCORPORAÇÃO DE Ni.....	134
6.1.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	134
6.1.2 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X	136
6.1.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TG) E ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DIFERENCIAL (DTG).....	137
6.1.4 PROPRIEDADES MAGNÉTICAS.....	139
6.2 FIBRAS DE PVDF COM INCORPORAÇÃO DE Fe ₂ O ₃ @SiO ₂	142
6.2.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	142
6.2.2 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X	145

6.2.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TG) E ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DIFERENCIAL (DTG).....	146
6.2.4 Propriedades Magnéticas	148
7. CONCLUSÃO	153
APÊNDICE A.....	156
A.1 NANOPARTÍULAS MAGNÉTICAS E SUAS PROPRIEDADES...	156
A.1.1 PARAMAGNETISMO E DIAMAGNETISMO	158
A.1.2 FERROMAGNETISMO	160
A.1.3 CURVAS DE MAGNETIZAÇÃO.....	161
A.1.4 DOMÍNIOS MAGNÉTICOS	163
A.1.5 SUPERPARAMAGNETISMO.....	165
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	168

1. INTRODUÇÃO

De acordo com as projeções demográficas da Organização das Nações Unidas (ONU), estima-se que a população mundial chegará a 8,6 bilhões de pessoas em 2030, com projeção para 11,2 bilhões até 2100¹. Atualmente, segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil se encontra com aproximadamente 209 milhões de habitantes. Com crescimento em média de um indivíduo a cada 19 s, a população brasileira poderá atingir 233 milhões de habitantes em 2060², Figura 1.

Figura 1: Estimativa da população brasileira até 2060.



Fonte: IBGE² (2019).

O crescimento populacional mundial contribui significativamente com o aumento da poluição e dos problemas ambientais, afetando a sociedade de maneira direta e indireta. A demanda por alimentos e produtos para satisfazer tal crescimento, fez com que a sociedade evoluísse e passasse a utilizar máquinas em função da produtividade. Esses avanços estão deixando para as gerações futuras, consequências incorrigíveis como poluições do ar, terra e água.

Os grandes centros urbanos junto com suas demandas para manter em movimento setores como os industriais, energéticos e de transporte, estão entre

os primeiros quando o assunto é poluição. Esses setores são mantidos principalmente pela queima de combustíveis fósseis, geralmente derivados de petróleo e carvão mineral. Tais queimas são responsáveis pela liberação de gases poluentes como dióxido de enxofre (SO₂), hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO) e dióxido de nitrogênio (NO₂)³. Os efeitos dessas poluições custam caro para a saúde humana, de acordo com a Organização Mundial da Saúde - (OMS), nove em cada dez pessoas respiram ar poluído e como consequência aproximadamente 7 milhões de pessoas morrem por ano. Um terço das mortes no mundo causadas por acidente vascular cerebral, câncer de pulmão e doenças cardíacas estão relacionados com a poluição do ar⁴.

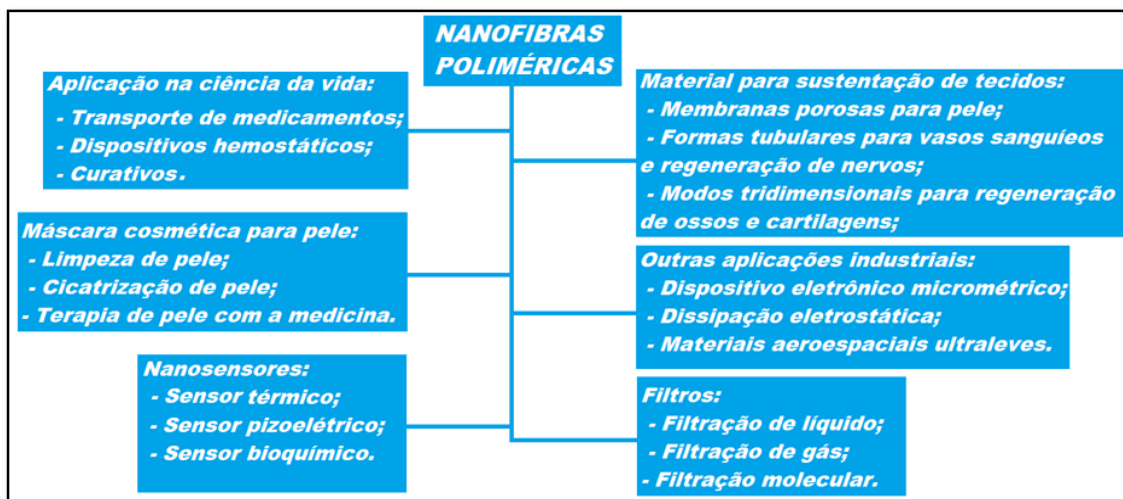
Atualmente, como um dos inúmeros exemplos de desastres ambientais e poluições terrestres, o Brasil passa por momentos difíceis. Três barragens da empresa Vale S.A, uma das maiores empresas de mineração do mundo, conhecida por “Companhia vale do Rio Doce” até 2007, se romperam na cidade de Brumadinho no estado de Minas Gerais. Foram registrados 236 mortos e outras 34 pessoas continuam desaparecidas, segundo a Defesa Civil do estado de Minas⁵. Tal evento é considerado como um dos maiores acidentes de trabalho já registrado no país e seus danos são de naturezas irreversíveis tanto para os familiares, quanto para o meio ambiente.

Em relação a contaminação de água, um dos exemplos existentes é o descarte de efluentes domésticos e industriais (sem tratamento prévio adequado) em rios, lagos e córregos⁶. Esses descartes causam desequilíbrio no ecossistema aquático, além de transmitir doenças através de água contaminada. Como exemplo dessa prática, as indústrias têxteis utilizam 150 litros de água, em média, para a produção de um quilograma de tecido. Desse volume, cerca de 88 % é descartado no meio ambiente, muitas vezes contendo diversos corantes que são utilizados para os tingimentos de tecidos⁷.

Portanto, diante de tais problemas a ciência está sempre estudando, pesquisando e aprimorando novas tecnologias, com o objetivo de diminuir esses impactos ambientais. Tais estudos, pesquisas e tecnologias começaram a avançar com o desenvolvimento da nanotecnologia. A partir desse domínio foi possível criar novas propriedades e compreender novos fenômenos, aplicando-os em escalas macroscópica e microscópica.

O estudo da nanotecnologia se refere ao desenvolvimento de materiais com escalas nano, como exemplo nanofibras poliméricas. As nanofibras ganharam notoriedade devido as diversas propriedades dos materiais nessa escala, como alto desempenho mecânico, elevada área superficial, porosidade e isolamento térmico e acústico. Diante de tais propriedades esses materiais estão sendo utilizados nas mais diversas aplicações como em filtros⁸, nanosensores⁹, máscara cosmética para pele, ciência da vida, nanosensores, material para sustentação de tecidos (aplicações em pele, vasos sanguíneos e ossos) e aplicações industriais¹⁰, Figura 2.

Figura 2: Aplicações relacionadas com nanofibras poliméricas.



Fonte: Adaptado de Huang¹⁰ (2003).

Como as nanofibras começaram a ganhar atenção em função de suas propriedades e aplicações, as técnicas utilizadas para sua produção também passaram a ser pesquisadas. Diferentes técnicas foram desenvolvidas com esta finalidade, tais como síntese de molde, automontagem e separação de fases¹⁰. Dentre as técnicas mais utilizadas a eletrofiação ganha destaque devido a obtenção de fibras a partir de polímero fundido ou em solução polimérica¹¹. No entanto, esta técnica faz uso da alta tensão como força motriz, dificultando a eletrofiação de materiais com constantes dielétricas altas e sensíveis a temperatura. Diante de tais limitações uma nova técnica de fiação foi desenvolvida. Denominada de Fiação por Sopro em Solução (FSS), esta técnica utiliza conceitos da eletrofiação e fiação convencional, obtendo fibras a partir do

polímero no estado fundido ou em solução sem o uso de altas voltagens. Se comparada com a técnica de eletrofiação, a FSS processa de forma mais eficiente micro e nanofibras com igual qualidade, dependendo do material, pode apresentar processamentos de até 100 vezes mais rápido¹².

No processo de fiação e eletrofiação diversos polímeros podem ser utilizados como matrizes poliméricas, como o Poli(fluoreto de vinilideno) (PVDF), Poli(óxido de etileno) (PEO), Poli(cloreto de vinila) (PVC) e Poli(vinil pirrolidona) (PVP). Dentre esses, os polímeros PVDF e PEO estão sendo extensivamente estudados nos últimos anos¹³.

O PVDF é um polímero muito utilizado em extração e distribuição de petróleo, produção farmacêutica, sistemas de transporte de fluídos, dispositivos nanoeletrônicos e sensores^{9,14}. Já o PEO é um polímero utilizado na produção de membranas biodegradáveis (com a finalidade de liberação de drogas) em curativos, embalagens e purificação de ar¹⁵. A utilização desses polímeros como matrizes poliméricas permitem incorporações de diversos tipos de nanopartículas, tais como os óxidos e metais. Dentre as nanopartículas mais utilizadas encontra-se as de Níquel (Ni), Magnetita e Dióxido de titânio (TiO₂)¹⁶.

Diante de tais possibilidades, este trabalho teve como objetivo estudar os parâmetros de obtenção de membranas fibrosas a partir de matrizes poliméricas, obtidas via técnica de FSS. Inicialmente foram processadas, membranas de PVDF com incorporações de partículas de TiO₂, Ni e Magnetita revestida com sílica e funcionalizada com NH₂ (Fe₂O₃@SiO₂). Também é apresentado uma nova síntese para a obtenção de fibras puras de TiO₂, obtidas através de tratamento térmico das fibras de PEO/Isopropóxido de titânio (TiP) e fibras puras de TiO₂ com incorporação de prata (Ag), obtidas após tratamento térmico das fibras de PEO/TiP/Carbonato de prata (Ag₂CO₃).

As membranas obtidas neste trabalho apresentam propriedades tanto da matriz polimérica quanto das nanopartículas incorporadas, o que as viabiliza nas mais diversas aplicações. Como exemplo, as fibras de PVDF/TiO₂ podem ser aplicadas na área de filtração devido a propriedade hidrofóbica do PVDF¹⁴. No entanto, devido a estabilidade térmica e a propriedade fotocatalítica do TiO₂, esses compósitos fibrosos também podem ser utilizados em purificação de água e ar^{17,18}.

A obtenção de membranas fibrosas com propriedades magnéticas permite, as mais diversas aplicações como, medicinais¹⁹, tecnológicas, geoquímicas e ambientais²⁰. Em relação a aplicações ambientais os compósitos de PVDF/Ni e PVDF/ $\text{Fe}_2\text{O}_3@\text{SiO}_2$ podem ser aplicados na área de filtração. Os filtros com propriedades magnéticas podem ser efetivamente usados na purificação de águas, por exemplo, em águas residuais descartadas por indústrias que contêm impurezas de dimensões micro e nano como, Fe e seus vários compostos²¹.

7. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram eficácia na obtenção de membranas fibrosas, sintetizadas pela técnica de FSS. As fibras de PVDF foram utilizadas como matrizes poliméricas para a obtenção das mantas fibrosas de PVDF/TiO₂, PVDF/Ni e PVDF/Fe₂O₃@SiO₂. A estrutura fibrosa do PEO foi utilizada como suporte para a obtenção das microfibras puras de TiO₂ (obtidas pós-queima das fibras de PEO/TiP) e para a obtenção de microfibras de TiO₂/Ag (obtidas pós-queima das fibras de PEO/TiP/Ag₂CO₃).

As mantas fibrosas de PVDF/TiO₂ apresentaram morfologias homogêneas, cilíndricas e sem uma orientação preferencial. A difratometria de raios X apresentou picos característicos do PVDF e das fases anatase e rutilo. As análises de TG e DTG para os compósitos demonstraram o mesmo padrão de degradação da matriz, porém, a degradação ocorreu em temperaturas menores. As análises fotocatalíticas comprovaram a eficiência dos compósitos na decomposição da RhB, degradando 92 % do corante em 60 min de exposição à radiação ultravioleta (amostra contendo 0,20 g de TiO₂).

Para as fibras de TiO₂ puro foram estudados os parâmetros como distância trabalho, taxa de injeção, rotação do coletor e tratamento térmico. Ao fim de cada uma dessas etapas foi selecionado o parâmetro que apresentou as melhores condições em termos de morfologia e eficiência fotocatalítica. Os parâmetros selecionados foram, distância de trabalho de 35 cm, taxa de injeção de 53 µL/min e rotação do coletor de 60 rpm. O tratamento térmico foi o último parâmetro estudado, nesta etapa as fibras foram fibradas novamente utilizando a variável selecionada de cada parâmetro e tratadas termicamente de 500 a 1000 °C. As estruturas cristalinas das fibras obtidas pós tratamento térmico de 500 a 800 °C, apresentaram picos característicos somente da fase anatase. Entretanto, para as fibras tratadas a 900 °C observa-se a presença das fases anatase e rutilo e para as fibras tratadas a 1000 °C, identificou-se somente a fase rutilo. As fibras tratadas a 600 °C apresentaram a melhor eficiência fotocatalítica, degradando totalmente o corante RhB em 40 min de exposição à radiação ultravioleta.

As análises de TG para a matriz polimérica (PEO) apresentou apenas um único evento de perda de massa e a curva de DSC apresentou uma única temperatura de fusão, na qual contém o pico endotérmico em 73 °C. Os demais

picos endotérmicos em 336°C e 400 °C são possivelmente causados pela decomposição do PEO. Para o compósito PEO/TiP foi identificado um retardamento no processo de degradação da matriz, apresentando um pico endotérmico entre as temperaturas de 33 °C e 176 °C (atribuído a perda de etanol e água) e dois picos exotérmicos em 303 °C e 495 °C, atribuídos a transformação de fase amorfa do TiO₂ para a fase anatase.

As fibras de TiO₂/Ag apresentaram morfologias rugosas, distribuídas aleatoriamente e com formatos retangulares e cilíndricos. A incorporações de Ag₂CO₃ não afetou a estrutura cristalina do TiO₂. Todos os compósitos apresentaram picos característicos da fase anatase e para as amostras contendo 0,25 e 0,50 g de Ag₂CO₃, também foi possível identificar picos da fase rutilo e da prata. As fibras contendo 0,01 g de Ag₂CO₃ apresentaram a melhor degradação, degradando 100 % do corante em 30 min. A incorporação do Ag₂CO₃ também não alterou o processo de degradação térmica do TiO₂.

No estudo com o objetivo de obter fibras com propriedades magnéticas, a incorporação das nanopartículas de Ni na matriz polimérica de PVDF não apresentou influencias significativas na morfologia, quando comparadas as fibras de PVDF puro. A difratometria de raios X desses compósitos apresentaram picos característicos do PVDF e das nanopartículas de Ni (somente para os compósitos contendo 0,10 g de Ni). As análises TG e DTG revelaram que as nanopartículas de Ni não apresentaram influências na estabilidade térmica da matriz. Em termos de propriedades magnéticas, as curvas de *MvsH* apresentam um comportamento ferromagnético e para as curvas de *MvsT* foi identificado um comportamento superparamagnético.

O compósito de PVDF/Fe₂O₃@SiO₂ apresentou fibras com estruturas cilíndricas, homogêneas, aleatoriamente dispersas e organizadas em planos fibrosos sobrepostos entre si. Em relação a difratometria de raios X, foi identificado picos característicos somente do PVDF. As análises TG e DTG demonstraram que as incorporações das nanopartículas de Fe₂O₃@SiO₂ não influenciaram na decomposição térmica da matriz polimérica. As medidas de *MvsH* apresentaram um comportamento ferrimagnético e as medidas de *MvsT* apresentaram um comportamento superparamagnético em temperatura ambiente.

Os compósitos fibrosos e as fibras puras obtidas nesse trabalho podem ser aplicados em diversas áreas. As membranas fibrosas de PVDF/TiO₂ podem ser utilizadas nas áreas de filtração, purificação de água e ar, devido as propriedades fotocatalíticas do TiO₂ e hidrofóbicas do PVDF. As fibras puras de TiO₂ também podem ser utilizadas para a descontaminação de rios e lagos poluídos. Para o compósito de TiO₂/Ag, tem-se as aplicações relacionadas com as propriedades fotocatalíticas do TiO₂, mas também aplicações relacionadas com as propriedades antibacterianas da Ag, podendo ser aplicados nas áreas médicas.

Também foi obtido membranas fibrosas de PVDF com propriedades magnéticas com a incorporação das partículas de Ni e Fe₂O₃@SiO₂. Os compósitos de PVDF/Ni assim como o PVDF/Fe₂O₃@SiO₂ podem ser utilizados em aplicações como transporte antimicrobianos e catálise. No entanto, ambos compósitos magnéticos podem ser aplicados na área de filtração. As membranas fibrosas com propriedades magnéticas são utilizadas na purificação de águas residuais, que são descartadas por indústrias e contêm impurezas de dimensões micro e nano, como partículas de Fe e seus vários compostos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Estados Unidos:** População mundial. 2017. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2017/06/1589091-populacao-mundial-atingiu-76-bilhoes-de-habitantes>>. Acesso em: 30 jan. 2019

[2] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil:** População. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

[3] CASTRO, Hermano Albuquerque de; GOUVEIA, Nelson; ESCAMILLA-CEJUDO, José A. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 6, p. 135-149, 2003.

[4] World Health Organization. Estados Unidos: How air pollution is destroying our health. 2018. Disponível em: <<https://www.who.int/air-pollution/news-and-events/how-air-pollution-is-destroying-our-health>>. Acessado em: 30 Jan. 2019

[5] G1. Brasil: Chega a 236 o número de mortos identificados no rompimento da barragem da vale em Brumadinho. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/05/06/chega-a-236-o-numero-de-mortos-identificados-no-rompimento-da-barragem-da-vale-em-brumadinho.ghtml>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

[6] ROTT, Eduard, et al. Removal of phosphonates from synthetic and industrial wastewater with reusable magnetic adsorbent particles. *Water research*, 2018, 145: 608-617.

[7] ZANONI, Maria Valnice Boldrin; CARNEIRO, Patrícia Alves. O descarte dos corantes têxteis. **Ciência Hoje**, v. 29, n. 174, p. 61-64, 2001.

[8] KIM, Han Bin, et al. Dependence of the fiber diameter on quality factor of filters fabricated with meta-aramid nanofibers. *Separation and Purification Technology*, 2019, 222: 332-341.

[9] MAFTOONAZAD, Neda; RAMASWAMY, Hosahalli. Design and testing of an electrospun nanofiber mat as a pH biosensor and monitor the pH associated quality in fresh date fruit (Rutab). *Polymer Testing*, 2019, 75: 76-84.

[10] HUANG, Zheng-Ming et al. A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. **Composites science and technology**, v. 63, n. 15, p. 2223-2253, 2003.

[11] SIGMUND, Wolfgang et al. Processing and structure relationships in electrospinning of ceramic fiber systems. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 89, n. 2, p. 395-407, 2006.

[12] COSTA, RGF et al. Efeito do TiO₂ na morfologia das nanofibras e PLA obtidas pelo método de fiação por sopro em solução. In: **Embrapa Instrumentação-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: WORKSHOP DA REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 7.; ESCOLA DE NANOTECNOLOGIA, 3., 2013, São Carlos, SP. Anais... São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2013. p. 312-314 Editores: Maria Alice Martins, Odílio Benedito Garrido de Assis, Caue Ribeiro, Luiz Henrique Capparelli Mattoso. CD-ROM. Editores: Maria Alice Martins, Odílio Benedito Garrido de Assis, Caue Ribeiro, Luiz Henrique Capparelli Mattoso., 2013.

[13] ZHA, Jinlong, et al. Superhydrophobicity of polymer films via fluorine atoms covalent attachment and surface nano-texturing. **Journal of Fluorine Chemistry**, 2017, 200: 123-132.

[14] BOTTINO, A. et al. Poly (vinylidene fluoride) with improved functionalization for membrane production. **Journal of Membrane Science**, v. 166, n. 1, p. 23-29, 2000.

[15] XUE, Zhigang; HE, Dan; XIE, Xiaolin. Poly (ethylene oxide)-based electrolytes for lithium-ion batteries. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 3, n. 38, p. 19218-19253, 2015.

[16] COSTA, Rodrigo GF et al. Eletrofiação de polímeros em solução. Parte II: aplicações e perspectivas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 22, n. 2, 2012.

[17] SHI, Fengmei et al. Preparation and characterization of PVDF/TiO₂ hybrid membranes with different dosage of nano-TiO₂. **Journal of Membrane Science**, v. 389, p. 522-531, 2012.

[18] OCHIAI, Tsuyoshi; FUJISHIMA, Akira. Photoelectrochemical properties of TiO₂ photocatalyst and its applications for environmental purification. **Journal of Photochemistry and photobiology C: Photochemistry reviews**, v. 13, n. 4, p. 247-262, 2012.

[19] JIN, Ling, et al. Rapid detection of Salmonella in milk by nuclear magnetic resonance based on membrane filtration superparamagnetic nanobiosensor. *Food Control*, 2020, 110: 107011.

[20] CORNELL, Rochelle M.; SCHWERTMANN, Udo. The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses. **John Wiley & Sons**, 2003.

-
- [21] YILDIZ, Zehra. Optimization of the parameters of the magnetic filtration process using response Surface methodology. **Transport in porous media**, 2011, 90.3: 965-975.
- [22] STANGER, Jon et al. Electrospinning. United Kingdom: **Smithers Rapra Technology**, 2005. v. 16, N.10, p. 1- 218.
- [23] SIGMUND, Wolfgang et al. Processing and structure relationships in electrospinning of ceramic fiber systems. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 89, n. 2, p. 395-407, 2006.
- [24] SUBBIAH, Thandavamoorthy et al. Electrospinning of nanofibers. **Journal of applied polymer science**, v. 96, n. 2, p. 557-569, 2005.
- [25] ALMUHAMED, Sliman et al. Electrospinning composite nanofibers of polyacrylonitrile/synthetic Na-montmorillonite. **Journal of industrial and engineering chemistry**, v. 35, p. 146-152, 2016.
- [26] INSTRUMENTAÇÃO, Embrapa. Eletrofiação de polímeros em solução. Parte I: fundamentação teórica. **Polímeros**, v. 22, n. 2, p. 170-177, 2012.
- [27] SHAO, Changlu et al. A novel method for making ZrO₂ nanofibres via an electrospinning technique. **Journal of Crystal Growth**, v. 267, n. 1-2, p. 380-384, 2004.
- [28] AZAD, Abdul-Majeed; MATTHEWS, Thomas; SWARY, Jessica. Processing and characterization of electrospun Y₂O₃-stabilized ZrO₂ (YSZ) and Gd₂O₃-doped CeO₂ (GDC) nanofibers. **Materials Science and Engineering: B**, v. 123, n. 3, p. 252-258, 2005.
- [29] AZAD, Abdul-Majeed. Fabrication of yttria-stabilized zirconia nanofibers by electrospinning. **Materials Letters**, v. 60, n. 1, p. 67-72, 2006.
- [30] CLOUPEAU, M.; PRUNET-FOCH, B. Electrostatic spraying of liquids: main functioning modes. **Journal of electrostatics**, v. 25, n. 2, p. 165-184, 1990.
- [31] MEDEIROS, Eliton S. et al. Solution blow spinning: A new method to produce micro-and nanofibers from polymer solutions. **Journal of applied polymer science**, v. 113, n. 4, p. 2322-2330, 2009.
- [32] DA SILVA PARIZE, Delne Domingos et al. Solution blow spinning: parameters optimization and effects on the properties of nanofibers from poly (lactic acid)/dimethyl carbonate solutions. **Journal of materials science**, v. 51, n. 9, p. 4627-4638, 2016.

[33] RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física*. **Grupo Patria Cultural SA DE CV**, 2001.

[34] OLIVEIRA, Juliano E. et al. Nano and submicrometric fibers of poly (D, L-lactide) obtained by solution blow spinning: Process and solution variables. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 122, n. 5, p. 3396-3405, 2011.

[35] HE, Ji-Huan; WU, Yue; ZUO, Wei-Wei. Critical length of straight jet in electrospinning. **Polymer**, v. 46, n. 26, p. 12637-12640, 2005.

[36] OLIVEIRA, Juliano E. et al. Structural and morphological characterization of micro and nanofibers produced by electrospinning and solution blow spinning: a comparative study. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2013, 2013.

[37] COSTA, RGF et al. Efeito do TiO₂ na morfologia das nanofibras e PLA obtidas pelo método de fiação por sopro em solução. In: **Embrapa Instrumentação-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: WORKSHOP DA REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 7.; ESCOLA DE NANOTECNOLOGIA, 3., 2013, São Carlos, SP. Anais... São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2013. p. 312-314 Editores: Maria Alice Martins, Odílio Benedito Garrido de Assis, Caue Ribeiro, Luiz Henrique Capparelli Mattoso. CD-ROM. Editores: Maria Alice Martins, Odílio Benedito Garrido de Assis, Caue Ribeiro, Luiz Henrique Capparelli Mattoso., 2013.

[38] NALWA, Hari Singh. Ferroelectric polymers: chemistry: physics, and applications. **CRC Press**, 1995.

[39] SENCADAS, V. J. G. S. Influência das condições de processamento na morfologia e fases cristalinas do PVDF e nas transições de fase do copolímero P(VDF-TrFE). 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Moinho – Uminho, Gualtar, 2005.

[40] OMAR, A. Processing, morphology and product parameters of PVDF filaments for biomedical applications. **Autex: Institut fur Textiltechnik**, p. 12-19, 2008.

[41] VEVED, Albert; EJUH, Geh Wilson; DJONGYANG, Noël. Study of the optoelectronic and piezoelectric properties of ZrO₂ doped PVDF from quantum chemistry calculations. **Chinese Journal of Physics**, 2019.

[42] ÜNSAL, Ömer Faruk; ALTIN, Yasin; ÇELİK BEDELOĞLU, Ayşe. Poly (vinylidene fluoride) nanofiber-based piezoelectric nanogenerators using

reduced graphene oxide/polyaniline. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 137, n. 13, p. 48517, 2020.

[43] LI, Meimei et al. Super-hydrophilic electrospun PVDF/PVA-blended nanofiber membrane for microfiltration with ultrahigh water flux. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 137, n. 9, p. 48416, 2020.

[44] KANG, Guo-dong; CAO, Yi-ming. Application and modification of poly (vinylidene fluoride)(PVDF) membranes—a review. **Journal of membrane science**, v. 463, p. 145-165, 2014.

[45] BROADHURST, M. G. et al. Piezoelectricity and pyroelectricity in polyvinylidene fluoride—A model. **Journal of Applied Physics**, v. 49, n. 10, p. 4992-4997, 1978.

[46] CHENG, Joy J.; POLAK, Maria A.; PENLIDIS, Alexander. Influence of micromolecular structure on environmental stress cracking resistance of high density polyethylene. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 26, n. 4, p. 582-593, 2011.

[47] LOVINGER, Andrew J. Poly (vinylidene fluoride). In: **Developments in crystalline polymers—1**. Springer, Dordrecht, 1982. p. 195-273.

[48] GREGORIO JR, Rinaldo. Determination of the α , β , and γ crystalline phases of poly (vinylidene fluoride) films prepared at different conditions. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 100, n. 4, p. 3272-3279, 2006.

[49] SENCADAS, V.; GREGORIO FILHO, R.; LANCEROS-MENDEZ, S. Processing and characterization of a novel nonporous poly (vinilidene fluoride) films in the β phase. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 352, n. 21-22, p. 2226-2229, 2006.

[50] BENZ, Marcel; EULER, William B. Determination of the crystalline phases of poly (vinylidene fluoride) under different preparation conditions using differential scanning calorimetry and infrared spectroscopy. **Journal of applied polymer science**, v. 89, n. 4, p. 1093-1100, 2003.

[51] MA, Lulu; DENG, Li; CHEN, Jianming. Applications of poly (ethylene oxide) in controlled release tablet systems: a review. **Drug development and industrial pharmacy**, v. 40, n. 7, p. 845-851, 2014.

[52] BAILEY, FE Jr. **Poly (ethylene oxide)**. Elsevier, 2012.

[53] ARYA, Anil; SHARMA, A. L. Insights into the use of polyethylene oxide in energy storage/conversion devices: a critical review. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 50, n. 44, p. 443002, 2017.

[54] SAKELLARIOU, P.; ABRAHAM, M. H.; WHITING, G. S. Solubility characteristics of poly (ethylene oxide): Effect of molecular weight, end groups and temperature. *Colloid and Polymer Science*, v. 272, n. 7, p. 872-875, 1994.

[55] FAUCHER, J. A. et al. Glass transitions of ethylene oxide polymers. **Journal of Applied Physics**, v. 37, n. 11, p. 3962-3964, 1966.

[56] BURGHAZ, Engin. Poly (ethylene-oxide)/clay/silica nanocomposites: Morphology and thermomechanical properties. **Polymer**, v. 52, n. 22, p. 5118-5126, 2011.

[57] XUE, Zhigang; HE, Dan; XIE, Xiaolin. Poly (ethylene oxide)-based electrolytes for lithium-ion batteries. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 3, n. 38, p. 19218-19253, 2015.

[58] WU, Ning et al. Mathematical modeling and in vitro study of controlled drug release via a highly swellable and dissoluble polymer matrix: polyethylene oxide with high molecular weights. **Journal of controlled release**, v. 102, n. 3, p. 569-581, 2005.

[59] MAGGI, L. et al. Dissolution behaviour of hydrophilic matrix tablets containing two different polyethylene oxides (PEOs) for the controlled release of a water-soluble drug. Dimensionality study. **Biomaterials**, v. 23, n. 4, p. 1113-1119, 2002.

[60] MOLINA, Inmaculada et al. Protein release from physically crosslinked hydrogels of the PLA/PEO/PLA triblock copolymer-type. **Biomaterials**, v. 22, n. 4, p. 363-369, 2001.

[61] NIEN, Yu-Hsun et al. Preparation and characterization of electrospun polycaprolactone/polyethylene oxide membranes. **Journal of Polymer Research**, v. 20, n. 6, p. 166, 2013.

[62] BANDEHALI, Samaneh et al. Advances in high carbon dioxide separation performance of poly (ethylene oxide)-based membranes. **Journal of Energy Chemistry**, 2019.

[63] AYDOGDU, Ayca; SUMNU, Gulum; SAHIN, Serpil. A novel electrospun hydroxypropyl methylcellulose/polyethylene oxide blend nanofibers: Morphology

and physicochemical properties. **Carbohydrate polymers**, v. 181, p. 234-246, 2018.

[64] VOORNEVELD, Jason et al. Dual electrospinning with sacrificial fibers for engineered porosity and enhancement of tissue ingrowth. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**, v. 105, n. 6, p. 1559-1572, 2017.

[65] KIM, Hyun Min et al. Highly stretchable and contact-responsive light-emitting diodes based on MAPbBr₃–PEO composite film. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 819, p. 153360, 2020.

[66] MEGELSKI, Silke et al. Micro-and nanostructured surface morphology on electrospun polymer fibers. **Macromolecules**, v. 35, n. 22, p. 8456-8466, 2002.

[67] RICHARD-LACROIX, Marie; PELLERIN, Christian. Raman spectroscopy of individual poly (ethylene oxide) electrospun fibers: Effect of the collector on molecular orientation. **Vibrational Spectroscopy**, v. 91, p. 92-98, 2017.

[68] SON, Won Keun et al. The effects of solution properties and polyelectrolyte on electrospinning of ultrafine poly (ethylene oxide) fibers. **polymer**, v. 45, n. 9, p. 2959-2966, 2004.

[69] NOGUEIRA, Raquel FP; JARDIM, Wilson F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química nova**, v. 21, n. 1, p. 69-72, 1998.

[70] SEZER, Banu et al. A rapid tool for determination of titanium dioxide content in white chickpea samples. **Food chemistry**, v. 240, p. 84-89, 2018.

[71] IWASHITA, Shinya et al. Ion energy control and its applicability to plasma enhanced atomic layer deposition for synthesizing titanium dioxide films. **Thin Solid Films**, v. 660, p. 865-870, 2018.

[72] IBUKUN, Olaniyan; JEONG, Hae Kyung. Tailoring titanium dioxide by silver particles for photocatalysis. **Current Applied Physics**, v. 20, n. 1, p. 23-28, 2020.

[73] HANAOR, Dorian AH; SORRELL, Charles C. Review of the anatase to rutile phase transformation. **Journal of Materials science**, v. 46, n. 4, p. 855-874, 2011.

[74] BELTRAN, A.; GRACIA, L.; ANDRES, J. Density functional theory study of the brookite surfaces and phase transitions between natural titania polymorphs. **The Journal of Physical Chemistry B**, v. 110, n. 46, p. 23417-23423, 2006.

[75] GUPTA, Shipra Mital; TRIPATHI, Manoj. A review of TiO₂ nanoparticles. **Chinese Science Bulletin**, v. 56, n. 16, p. 1639, 2011.

[76] HANAOR, Dorian AH; SORRELL, Charles C. Review of the anatase to rutile phase transformation. **Journal of Materials science**, v. 46, n. 4, p. 855-874, 2011.

[77] DIEBOLD, Ulrike. The surface science of titanium dioxide. **Surface science reports**, v. 48, n. 5-8, p. 53-229, 2003

[78] LI, Guozheng et al. 2, 4, 5-Trichlorophenol degradation using a novel TiO₂-coated biofilm carrier: roles of adsorption, photocatalysis, and biodegradation. **Environmental science & technology**, v. 45, n. 19, p. 8359-8367, 2011.

[79] CHEN, Chuncheng; MA, Wanhong; ZHAO, Jincal. Semiconductor-mediated photodegradation of pollutants under visible-light irradiation. **Chemical Society Reviews**, v. 39, n. 11, p. 4206-4219, 2010.

[80] ANTON, L. B.; BRAGA, N. A. Nanopartículas de TiO₂: síntese pelo método sol-gel e técnicas de caracterização. **Scientia Amazonia**, v. 4, n. 2, p. 36-59, 2015..

[81] KUDO, Akihiko; MISEKI, Yugo. Heterogeneous photocatalyst materials for water splitting. **Chemical Society Reviews**, v. 38, n. 1, p. 253-278, 2009.

[82] TEIXEIRA, CPAB; JARDIM, W. F. Caderno Temático Volume 3—Processos Oxidativos Avançados. **Universidade de Campinas UNICAMP**, 2004.

[83] PRIYA, M. H.; MADRAS, Giridhar. Kinetics of TiO₂-catalyzed ultrasonic degradation of rhodamine dyes. **Industrial & engineering chemistry research**, v. 45, n. 3, p. 913-921, 2006.

[84] LI, W. et al. Size dependence of thermal stability of TiO₂ nanoparticles. **Journal of Applied Physics**, v. 96, n. 11, p. 6663-6668, 2004.

[85] ZIOLLI, Roberta Lourenço et al. Mecanismo de fotodegradação de compostos orgânicos catalisada por TiO₂. **Química Nova**, v. 21, n. 3, p. 319-325, 1998.

-
- [86] DJURIŠIĆ, Aleksandra B.; LEUNG, Yu Hang; NG, Alan Man Ching. Strategies for improving the efficiency of semiconductor metal oxide photocatalysis. **Materials Horizons**, v. 1, n. 4, p. 400-410, 2014.
- [87] OLIVEIRA, J.; SILVEIRA, L. Utilização de dióxido de titânio em processos fotocatalíticos para degradação de halofenóis. **Vivências**, v. 7, n. 12, p. 91-104, 2011.
- [88] HERRMANN, Jean-Marie. Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. **Catalysis today**, v. 53, n. 1, p. 115-129, 1999.
- [89] SUWA, Y.; INAGAKI, M.; NAKA, S. Polymorphic transformation of titanium dioxide by mechanical grinding. **Journal of materials science**, v. 19, n. 5, p. 1397-1405, 1984.
- [90] XU, Mingchun et al. Photocatalytic activity of bulk TiO₂ anatase and rutile single crystals using infrared absorption spectroscopy. **Physical Review Letters**, v. 106, n. 13, p. 138302, 2011.
- [91] LUTTRELL, Tim et al. Why is anatase a better photocatalyst than rutile?-Model studies on epitaxial TiO₂ films. **Scientific reports**, v. 4, p. 4043, 2014.
- [92] WANG, Wei-Kang et al. Self-induced synthesis of phase-junction TiO₂ with a tailored rutile to anatase ratio below phase transition temperature. **Scientific reports**, v. 6, p. 20491, 2016.
- [93] SU, Ren et al. How the anatase-to-rutile ratio influences the photoreactivity of TiO₂. **The journal of physical chemistry C**, v. 115, n. 49, p. 24287-24292, 2011.
- [94] BOJINOVA, A. et al. Anatase/rutile TiO₂ composites: Influence of the mixing ratio on the photocatalytic degradation of Malachite Green and Orange II in slurry. **Materials Chemistry and Physics**, v. 106, n. 2-3, p. 187-192, 2007.
- [95] DEÁK, Peter; ARADI, Bálint; FRAUENHEIM, Thomas. Band lineup and charge carrier separation in mixed rutile-anatase systems. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 115, n. 8, p. 3443-3446, 2011.
- [96] LUO, Zhu et al. Crystalline mixed phase (anatase/rutile) mesoporous titanium dioxides for visible light photocatalytic activity. **Chemistry of Materials**, v. 27, n. 1, p. 6-17, 2014.

[97] CHOI, Jung-Yoon et al. Photocatalytic antibacterial effect of TiO₂ film formed on Ti and TiAg exposed to *Lactobacillus acidophilus*. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials, v. 80, n. 2, p. 353-359, 2007.

[98] SUI, Xianhang et al. Carbonaceous–TiO₂ materials: unique morphologies for photocatalytic applications. **Journal of Materials Science**, p. 1-16, 2020.

[99] CHEN, Jie et al. TiO₂ nanosheet/NiO nanorod hierarchical nanostructures: p–n heterojunctions towards efficient photocatalysis. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 562, p. 313-321, 2020.

[100] BANKURA, K. P. et al. Synthesis, characterization and antimicrobial activity of dextran stabilized silver nanoparticles in aqueous medium. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, n. 4, p. 1159-1165, 2012.

[101] SCANDORIEIRO, Sara et al. Synergistic and additive effect of oregano essential oil and biological silver nanoparticles against multidrug-resistant bacterial strains. **Frontiers in microbiology**, v. 7, p. 760, 2016.

[102] LARA, Humberto H. et al. Bactericidal effect of silver nanoparticles against multidrug-resistant bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 26, n. 4, p. 615-621, 2010.

[103] LOK, Chun-Nam et al. Proteomic analysis of the mode of antibacterial action of silver nanoparticles. **Journal of proteome research**, v. 5, n. 4, p. 916-924, 2006.

[104] SEO, Song Yi et al. Alginate-based composite sponge containing silver nanoparticles synthesized in situ. **Carbohydrate polymers**, v. 90, n. 1, p. 109-115, 2012.

[105] CAI, Tao et al. A promising inorganic-organic Z-scheme photocatalyst Ag₃PO₄/PDI supermolecule with enhanced photoactivity and photostability for environmental remediation. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 263, p. 118327, 2020.

[106] XIE, Mingyuan; ZHANG, Tailiang. A novel efficient visible-light-driven double Z-scheme PANI/Ag₃PO₄/CNO heterojunction photocatalyst mediated by PANI and in situ grown AgNPs. **Journal of Materials Science**, v. 55, n. 9, p. 3974-3990, 2020.

[107] RYU, Su-Yeol; CHUNG, Jae Woo; KWAK, Seung-Yeop. Dependence of photocatalytic and antimicrobial activity of electrospun polymeric nanofiber composites on the positioning of Ag–TiO₂ nanoparticles. **Composites Science and Technology**, v. 117, p. 9-17, 2015.

[108] BOXI, Siddhartha Sankar; PARIA, Santanu. Visible light induced enhanced photocatalytic degradation of organic pollutants in aqueous media using Ag doped hollow TiO₂ nanospheres. **RSC Advances**, v. 5, n. 47, p. 37657-37668, 2015.

[109] SEERY, Michael K. et al. Silver doped titanium dioxide nanomaterials for enhanced visible light photocatalysis. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 189, n. 2-3, p. 258-263, 2007.

[110] XIONG, Zhigang et al. Silver-modified mesoporous TiO₂ photocatalyst for water purification. **Water research**, v. 45, n. 5, p. 2095-2103, 2011.

[111] ASHKARRAN, Ali Akbar et al. Double-doped TiO₂ nanoparticles as an efficient visible-light-active photocatalyst and antibacterial agent under solar simulated light. **Applied Surface Science**, v. 301, p. 338-345, 2014.

[112] SU, W. et al. Preparation of TiO₂/Ag colloids with ultraviolet resistance and antibacterial property using short chain polyethylene glycol. **Journal of hazardous materials**, v. 172, n. 2-3, p. 716-720, 2009.

[113] RYU, Su-Yeol; CHUNG, Jae Woo; KWAK, Seung-Yeop. Dependence of photocatalytic and antimicrobial activity of electrospun polymeric nanofiber composites on the positioning of Ag–TiO₂ nanoparticles. **Composites Science and Technology**, v. 117, p. 9-17, 2015.

[114] BIAN, Zhenfeng et al. Superior electron transport and photocatalytic abilities of metal-nanoparticle-loaded TiO₂ superstructures. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 116, n. 48, p. 25444-25453, 2012.

[115] RAJABI, Ali Asghar et al. Modified magnetite nanoparticles with cetyltrimethylammonium bromide as superior adsorbent for rapid removal of the disperse dyes from wastewater of textile companies. **Nanochemistry Research**, v. 1, n. 1, p. 49-56, 2016.

[116] BUDI, Canggih Setya, et al. Ultrafine bimetallic Ag-doped Ni nanoparticles embedded in cage-type mesoporous silica SBA-16 as superior

catalysts for conversion of toxic nitroaromatic compounds. *Journal of hazardous materials*, 2020, 384: 121270.

[117] ARDIYANTI, Harlina et al. Crystal structures and magnetic properties of magnetite (Fe₃O₄)/Polyvinyl alcohol (PVA) ribbon. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing, 2016. p. 020007.

[118] JEANGROS, Q. et al. Reduction of nickel oxide particles by hydrogen studied in an environmental TEM. **Journal of Materials Science**, v. 48, n. 7, p. 2893-2907, 2013.

[119] DE OLIVEIRA, Maria Stella Nunes. Síntese e Caracterização de Complexos Envolvendo Poliaminas e os Íons Metálicos Zinco (II), Níquel (II) e Paládio (II). 2010. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

[120] NEIDHARDT, Jonathan P.; BESSLER, Wolfgang G. Microkinetic Modeling of Nickel Oxidation in Solid Oxide Cells: Prediction of Safe Operating Conditions. **Chemie Ingenieur Technik**, v. 91, n. 6, p. 843-855, 2019.

[121] NELSON, George J. et al. Three-dimensional mapping of nickel oxidation states using full field x-ray absorption near edge structure nanotomography. **Applied Physics Letters**, v. 98, n. 17, p. 173109, 2011.

[122] MOFARRAH, Abdullah; HUSAIN, Tahir; DANISH, Ekram Yousif. Investigation of the potential use of heavy oil fly ash as stabilized fill material for construction. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 24, n. 6, p. 684-690, 2011.

[123] CHEN, Dong-Hwang; HSIEH, Chih-Hsuan. Synthesis of nickel nanoparticles in aqueous cationic surfactant solutions. **Journal of Materials Chemistry**, v. 12, n. 8, p. 2412-2415, 2002.

[124] NEIVA, Eduardo GC et al. Graphene/nickel nanoparticles composites from graphenide solutions. **Journal of colloid and interface science**, v. 453, p. 28-35, 2015.

[125] CALLISTER, William D. et al. **Materials science and engineering: an introduction**. New York: John wiley & sons, 2007.

[126] RICHARDSON, J. T.; SCATES, R. M.; TWIGG, M. V. X-ray diffraction study of the hydrogen reduction of NiO/ α -Al₂O₃ steam reforming catalysts. **Applied Catalysis A: General**, v. 267, n. 1-2, p. 35-46, 2004.

[127] DIAS, Y. J. et al. PVDF/Ni fibers synthesis by solution blow spinning technique. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, v. 29, n. 1, p. 514-518, 2018.

[128] GUO, Qiaohui, et al. Hierarchically porous NiCo₂S₄ nanowires anchored on flexible electrospun graphitic nanofiber for high-performance glucose biosensing. *Journal of Alloys and Compounds*, 2020, 819: 153376.

[129] ZHENG, Hao et al. Magnetic–fluorescent nanocomposites as reusable fluorescence probes for sensitive detection of hydrogen peroxide and glucose. **Analytical Methods**, v. 6, n. 16, p. 6352-6357, 2014.

[130] WU, Wei et al. Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications. **Science and technology of advanced materials**, v. 16, n. 2, p. 023501, 2015.

[131] ARDIYANTI, Harlina et al. Crystal structures and magnetic properties of magnetite (Fe₃O₄)/Polyvinyl alcohol (PVA) ribbon. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing, 2016. p. 020007.

[132] OLIVEIRA, Luiz CA; FABRIS, José D.; PEREIRA, Márcio C. Óxidos de ferro e suas aplicações em processos catalíticos: uma revisão. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 123-130, 2013.

[133] HURLEY, Katie R. et al. Predictable heating and positive MRI contrast from a mesoporous silica-coated iron oxide nanoparticle. **Molecular pharmaceutics**, v. 13, n. 7, p. 2172-2183, 2016.

[134] BERRY, Catherine C.; CURTIS, Adam SG. Functionalisation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine. **Journal of physics D: Applied physics**, v. 36, n. 13, p. R198, 2003.

[135] JOSÉ, Nadia Mamede; PRADO, Luis Antônio Sanches de Almeida. Materiais híbridos orgânico-inorgânicos: preparação e algumas aplicações. **Periódicos (Química)**. 2005.

[136] SALH, Roushdey. Defect related luminescence in silicon dioxide network: a review. 2011.

[137] GHARIEH, Ali et al. Silica encapsulation by miniemulsion polymerization: a novel approach of efficient chemical functionalization on silica nanoparticles. **Polymer**, v. 98, p. 182-189, 2016.

[138] BAI, Yalong et al. Synthesis of amino-rich silica-coated magnetic nanoparticles for the efficient capture of DNA for PCR. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 145, p. 257-266, 2016.

[139] WANG, Yonghong et al. Electrochemical detection of glutathione by using thymine-rich DNA-gated switch functionalized mesoporous silica nanoparticles. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 87, p. 459-465, 2017.

[140] GOMES, Luana Silva; DE SOUZA, Marcos Costa; FURTADO, Antonia Carlene Rodrigues. A sílica e suas particularidades. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 4, 2018.

[141] GHOSH CHAUDHURI, Rajib; PARIA, Santanu. Core/shell nanoparticles: classes, properties, synthesis mechanisms, characterization, and applications. **Chemical reviews**, v. 112, n. 4, p. 2373-2433, 2011.

[142] MA, Dongling et al. Multifunctional nano-architecture for biomedical applications. **Chemistry of Materials**, v. 18, n. 7, p. 1920-1927, 2006.

[143] PECH, David et al. Analysis of the corrosion protective ability of PACVD silica-based coatings deposited on steel. **Surface and Coatings Technology**, v. 201, n. 1-2, p. 347-352, 2006.

[144] SUN, Conroy; LEE, Jerry SH; ZHANG, Miqin. Magnetic nanoparticles in MR imaging and drug delivery. **Advanced drug delivery reviews**, v. 60, n. 11, p. 1252-1265, 2008.

[145] ZADOROSNY, L. Produção e caracterização de micro e nanofibras de Poli(fluoreto de vinilideno) – (PVDF) obtidos pela técnica de fiação por sopro em solução. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado)–Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista- UNESP, Ilha Solteira, 2013.

[146] JABOYEDOFF, M.; KÜBLER, B.; THÉLIN, Ph. An empirical Scherrer equation for weakly swelling mixed-layer minerals, especially illite-smectite. **Clay Minerals**, v. 34, n. 4, p. 601-617, 1999.

[147] ALMEIDA, M. K. Fotocatálise heterogênea aplicada na degradação do corante rodamina-B utilizando nanopartículas de dióxido de titânio. **Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, BA**, 2011.

[148] ARSUAGA, Jesús María et al. Influence of the type, size, and distribution of metal oxide particles on the properties of nanocomposite ultrafiltration membranes. **Journal of membrane science**, v. 428, p. 131-141, 2013.

[149] MAXIMOUS, Nermen et al. Performance of a novel ZrO₂/PES membrane for wastewater filtration. **Journal of Membrane Science**, v. 352, n. 1-2, p. 222-230, 2010.

[150] SHI, Fengmei et al. Preparation and characterization of PVDF/TiO₂ hybrid membranes with different dosage of nano-TiO₂. **Journal of Membrane Science**, v. 389, p. 522-531, 2012.

[151] YU, Shuili et al. Effect of SiO₂ nanoparticle addition on the characteristics of a new organic–inorganic hybrid membrane. **Polymer**, v. 50, n. 2, p. 553-559, 2009.

[152] GARCÍA, A. et al. Incorporation of CuO nanoparticles into thin-film composite reverse osmosis membranes (TFC-RO) for antibiofouling properties. **Polymer Bulletin**, v. 75, n. 5, p. 2053-2069, 2018.

[153] WEI, Yong et al. Effect of TiO₂ nanowire addition on PVDF ultrafiltration membrane performance. **Desalination**, v. 272, n. 1-3, p. 90-97, 2011.

[154] YU, Shansheng et al. Formation mechanism of β -phase in PVDF/CNT composite prepared by the sonication method. **Macromolecules**, v. 42, n. 22, p. 8870-8874, 2009.

[155] BAFQI, Mohammad Sajad Sorayani; BAGHERZADEH, Roohollah; LATIFI, Masoud. Fabrication of composite PVDF-ZnO nanofiber mats by electrospinning for energy scavenging application with enhanced efficiency. **Journal of Polymer Research**, v. 22, n. 7, p. 130, 2015.

[156] BESSERGENEV, V. G. et al. An improvement of photocatalytic activity of TiO₂ Degussa P25 powder. **Applied Catalysis A: General**, v. 500, p. 40-50, 2015.

[157] KRALCHEVSKA, R. et al. Influence of gamma-irradiation on the photocatalytic activity of Degussa P25 TiO₂. **Journal of Materials Science**, v. 47, n. 12, p. 4936-4945, 2012.

[158] COSTA, Lúcia MM; BRETAS, Rosário ES; GREGORIO FILHO, Rinaldo. Caracterização de filmes de PVDF- β obtidos por diferentes técnicas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 3, p. 183-189, 2009.

[159] HAN, Eunji et al. Degussa P25 TiO₂ modified with H₂O₂ under microwave treatment to enhance photocatalytic properties. **Catalysis Today**, v. 303, p. 305-312, 2018.

[160] WANG, Tao, et al. A Z-scheme TiO₂ quantum dots fragment-Bi₁₂TiO₂₀ composites for enhancing photocatalytic activity. *Renewable Energy*, 2020, 147: 856-863.

[161] ZULFIQAR, S. et al. Study of the thermal degradation of polychlorotrifluoroethylene, poly (vinylidene fluoride) and copolymers of chlorotrifluoroethylene and vinylidene fluoride. **Polymer Degradation and Stability**, v. 43, n. 3, p. 423-430, 1994.

[162] SANG, Min et al. Fabrication of a piezoelectric polyvinylidene fluoride/carbonyl iron (PVDF/CI) magnetic composite film towards the magnetic field and deformation bi-sensor. **Composites Science and Technology**, 2018.

[163] DILPAZIR, Sobia, et al. A simple UV-ozone surface treatment to enhance photocatalytic performance of TiO₂ loaded polymer nanofiber membranes. *RSC advances*, 2016, 6.18: 14751-14755.

[164] TEOW, Y. H. et al. Studies on the surface properties of mixed-matrix membrane and its antifouling properties for humic acid removal. **Journal of applied polymer science**, v. 128, n. 5, p. 3184-3192, 2013.

[165] FERREIRA, Cristiano André da Silva. Avaliação do desempenho fotocatalítico de camadas betuminosas superficiais de pavimentos. 2017. Tese de Doutorado.

[166] WONG, Chung Leng; TAN, Yong Nian; MOHAMED, Abdul Rahman. A review on the formation of titania nanotube photocatalysts by hydrothermal treatment. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 7, p. 1669-1680, 2011.

[167] OU, Wei, et al. Two-dimensional ultrathin MoS₂-modified black Ti₃C₂ nanotubes for enhanced photocatalytic water splitting hydrogen production. *Journal of Energy Chemistry*, 2020, 43: 188-194.

[168] MORADI, Rasoul et al. Vacuum enhanced membrane distillation for trace contaminant removal of heavy metals from water by electrospun PVDF/TiO₂ hybrid membranes. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 33, n. 7, p. 2160-2168, 2016.

[169] ZHU, Jianfeng, et al. Preparation of PVDF/TiO₂ nanofibers with enhanced piezoelectric properties for geophone applications. *Smart Materials and Structures*, 2019, 28.8: 085006.

[170] WEI, Yong et al. Effect of TiO₂ nanowire addition on PVDF ultrafiltration membrane performance. **Desalination**, v. 272, n. 1-3, p. 90-97, 2011.

[171] ONG, C. S. et al. Effect of PVP molecular weights on the properties of PVDF-TiO₂ composite membrane for oily wastewater treatment process. **Separation science and technology**, v. 49, n. 15, p. 2303-2314, 2014.

[172] KIM, Byoung Soo; LEE, Jonghwi. Macroporous PVDF/TiO₂ membranes with three-dimensionally interconnected pore structures produced by directional melt crystallization. **Chemical Engineering Journal**, v. 301, p. 158-165, 2016.

[173] DONG, Chuanyi et al. Self-powering/self-cleaning electronic-skin basing on PVDF/TiO₂ nanofibers for actively detecting body motion and degrading organic pollutants. **Applied Surface Science**, v. 416, p. 424-431, 2017.

[174] PINHO, Luís; MOSQUERA, Maria J. Photocatalytic activity of TiO₂-SiO₂ nanocomposites applied to buildings: Influence of particle size and loading. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2013, 134: 205-221.

[175] Koide, S., & Nonami, T. (2007). Disinfecting efficacy of a plastic container covered with photocatalyst for postharvest. *Food Control*, 18(1), 1-4.

[176] HORIKOSHI, Satoshi; SERPONE, Nick. Can the photocatalyst TiO₂ be incorporated into a wastewater treatment method? Background and prospects. *Catalysis Today*, 2020, 340: 334-346.

[177] CHOI, Do-Young, et al. Characterization of TiO₂ fibers by combined electrospinning method and hydrothermal reaction. *Materials Letters*, 2013, 106: 41-44.

[178] YOU, Yang, et al. Preparation of continuous TiO₂ fibers by sol-gel method and its photocatalytic degradation on formaldehyde. *Applied surface science*, 2012, 258.8: 3469-3474.

[179] WANG, Chen-Chi; YING, Jackie Y. Sol-gel synthesis and hydrothermal processing of anatase and rutile titania nanocrystals. **Chemistry of materials**, v. 11, n. 11, p. 3113-3120, 1999.

[180] LI, W. et al. Size dependence of thermal stability of TiO₂ nanoparticles. **Journal of Applied Physics**, v. 96, n. 11, p. 6663-6668, 2004.

[181] CHOUDHURY, Biswajit; CHOUDHURY, Amarjyoti. Local structure modification and phase transformation of TiO₂ nanoparticles initiated by oxygen defects, grain size, and annealing temperature. **International Nano Letters**, v. 3, n. 1, p. 55, 2013.

[182] LUTTRELL, Tim et al. Why is anatase a better photocatalyst than rutile?-Model studies on epitaxial TiO₂ films. **Scientific reports**, v. 4, p. 4043, 2014.

[183] XU, Mingchun et al. Photocatalytic activity of bulk TiO₂ anatase and rutile single crystals using infrared absorption spectroscopy. **Physical Review Letters**, v. 106, n. 13, p. 138302, 2011.

[184] SU, Ren et al. How the anatase-to-rutile ratio influences the photoreactivity of TiO₂. **The journal of physical chemistry C**, v. 115, n. 49, p. 24287-24292, 2011.

[185] BOJINOVA, A. et al. Anatase/rutile TiO₂ composites: Influence of the mixing ratio on the photocatalytic degradation of Malachite Green and Orange II in slurry. **Materials Chemistry and Physics**, v. 106, n. 2-3, p. 187-192, 2007.

[186] BIZARRIA, M. T. M.; D'ÁVILA, M. A.; MEI, L. H. I. Non-woven nanofiber chitosan/PEO membranes obtained by electrospinning. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 31, n. 1, p. 57-68, 2014.

[187] AYDOGDU, Ayca; SUMNU, Gulum; SAHIN, Serpil. A novel electrospun hydroxypropyl methylcellulose/polyethylene oxide blend nanofibers: Morphology and physicochemical properties. **Carbohydrate polymers**, v. 181, p. 234-246, 2018.

[188] LEE, Deuk Yong et al. Insertion of a TiO₂ buffer layer for the fixation of electrospun TiO₂ nanofibers on glass substrates. **J Korean Phys Soc**, v. 55, p. 84-88, 2009.

[189] YULIARTO, Brian et al. Synthesis of nanoporous TiO₂ and its potential applicability for dye-sensitized solar cell using antocyanine black rice. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2010, 2010.

[190] GUO, Mei-Ting; TIAN, Xiao-Bo. Impacts on antibiotic-resistant bacteria and their horizontal gene transfer by graphene-based TiO₂&Ag composite photocatalysts under solar irradiation. *Journal of hazardous materials*, 2019, 380: 120877.

[191] DENG, Hongyu, et al. Photocatalytic degradation of dye by Ag/TiO₂ nanoparticles prepared with different sol-gel crystallization in the presence of effluent organic matter. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26.35: 35900-35912.

[192] SU, W. et al. Preparation of TiO₂/Ag colloids with ultraviolet resistance and antibacterial property using short chain polyethylene glycol. **Journal of hazardous materials**, v. 172, n. 2-3, p. 716-720, 2009.

[193] SEERY, Michael K. et al. Silver doped titanium dioxide nanomaterials for enhanced visible light photocatalysis. **Journal of photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 189, n. 2-3, p. 258-263, 2007.

[194] LI, X. Z.; LI, F. B. Study of Au/Au³⁺-TiO₂ photocatalysts toward visible photooxidation for water and wastewater treatment. **Environmental science & technology**, v. 35, n. 11, p. 2381-2387, 2001.

[195] SUBRAMANIAN, Vaidyanathan; WOLF, Eduardo; KAMAT, Prashant V. Semiconductor– metal composite nanostructures. To what extent do metal nanoparticles improve the photocatalytic activity of TiO₂. **The Journal of Physical Chemistry B**, v. 105, n. 46, p. 11439-11446, 2001.

[196] HUSSAIN, Muhammad et al. Ag TiO₂ nanocomposite for environmental and sensing applications. **Materials Chemistry and Physics**, v. 181, p. 194-203, 2016.

[197] DHANALEKSHMI, K.; MEENA, K.; RAMESH, I. Synthesis and characterization of Ag@ TiO₂ core-shell nanoparticles and study of its antibacterial activity. **Int J Nanotechnol**, v. 3, n. 5, p. 9, 2013.

[198] WU, Shuting, et al. Fabrication of flexible composite drug films via foldable linkages using electrohydrodynamic printing. *Materials Science and Engineering: C*, 2020, 108: 110393.

[199] GHEORGHIU, Felicia, et al. PVDF–ferrite composites with dual magneto-piezoelectric response for flexible electronics applications: synthesis and functional properties. *Journal of Materials Science*, 2020, 55.9: 3926-3939.

[200] WU, Hui et al. Electrospinning of Fe, Co, and Ni nanofibers: synthesis, assembly, and magnetic properties. **Chemistry of materials**, v. 19, n. 14, p. 3506-3511, 2007.

[201] DIAS, Y. J. et al. PVDF/Ni fibers synthesis by solution blow spinning technique. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, v. 29, n. 1, p. 514-518, 2018.

[202] BRAGA, Valdeilson Souza et al. Phase transition in niobium pentoxide supported on silica-alumina. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 92, n. 3, p. 851-855, 2008.

[203] MIKHAYLOVA, Maria, et al. Superparamagnetism of magnetite nanoparticles: dependence on surface modification. *Langmuir*, 2004, 20.6: 2472-2477.

[204] MARCELO, Gema, et al. Stabilization in water of large hydrophobic uniform magnetite cubes by silica coating. *The Journal of Physical Chemistry C*, 2011, 115.51: 25247-25256.

[205] WU, Wei et al. Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications. **Science and technology of advanced materials**, v. 16, n. 2, p. 023501, 2015.

[206] ZHAO, Yuqing, et al. Electric field endowing the conductive polyvinylidene fluoride (PVDF)-graphene oxide (GO)-nickel (Ni) membrane with high-efficient performance for dye wastewater treatment. *Applied Surface Science*, 2019, 483: 1006-1016.

[207] YU, Weiming, et al. A conductive PVDF-Ni membrane with superior rejection, permeance and antifouling ability via electric assisted in-situ aeration for dye separation. *Journal of Membrane Science*, 2019, 581: 401-412.

[208] RIBEIRO, Giuliano Augustus Pavan. As propriedades magnéticas da matéria: um primeiro contato. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, 2000.

[209] GUIMARÃES, Alberto P.; OLIVEIRA, I. S. Magnetismo e ressonância magnética em sólidos. **São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo**, 2009.

[210] DOMINGO-ROCA, R.; JACKSON, J. C.; WINDMILL, J. F. C. 3D-printing polymer-based permanent magnets. **Materials & Design**, v. 153, p. 120-128, 2018.

[211] HU, Yong; DU, An. The core-shell separation of ferromagnetic nanoparticles with strong surface anisotropy. **Journal of nanoscience and nanotechnology**, v. 9, n. 10, p. 5829-5833, 2009.

[212] AKBARZADEH, Abolfazl; SAMIEI, Mohammad; DAVARAN, Soodabeh. Magnetic nanoparticles: preparation, physical properties, and applications in biomedicine. **Nanoscale research letters**, v. 7, n. 1, p. 144, 2012.

[213] CULLITY, Bernard Dennis; GRAHAM, Chad D. **Introduction to magnetic materials**. John Wiley & Sons, 2011.

[214] ASHCROFT, Neil W. et al. Solid state physics [by] Neil W. Ashcroft [and] N. David Mermin. **Non-Commercial (By-NC)**. 1976.

[215] KNOBEL, M. et al. Superparamagnetism and other magnetic features in granular materials: a review on ideal and real systems. **Journal of nanoscience and nanotechnology**, v. 8, n. 6, p. 2836-2857, 2008.

[216] LU, Jing Ju; DENG, Hong Yuan; HUANG, Huei Li. Thermal relaxation of interacting fine magnetic particles—field-cooled and zero-field-cooled magnetization variation. **Journal of magnetism and magnetic materials**, v. 209, n. 1-3, p. 37-41, 2000.

[217] HANSEN, Mikkel Fougte; MØRUP, Steen. Estimation of blocking temperatures from ZFC/FC curves. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 203, n. 1-3, p. 214-216, 1999.