

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
Dissertação será disponibilizado
somente a partir de 08/06/2028

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

Faculdade de Engenharia e Ciências- campus de Guaratinguetá

ODEILSON MORAIS PINTO

**Síntese de nanoestruturas de óxido de titânio e alumínio para aplicação em sistemas de
recobrimento**

Guaratinguetá

2026

Odeilson Moraes Pinto

Síntese de nanoestruturas de óxido de titânio e alumínio para aplicação em sistemas de recobrimento

Dissertação, apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências, Guaratinguetá, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Física.

Área de Concentração: Crescimento de Cristais e Transporte Eletrônico em Nanoestruturas.

Orientador: Prof^a Dra. Olivia Maria Berengue

Coorientador: Prof^a Dra. Rosana Alves Gonçalves

Guaratinguetá

2026

P659s	Pinto, Odeilson Moraes Síntese de nanoestruturas de óxido de titânio e alumínio para aplicação em sistemas de revestimento / Odeilson Moraes Pinto - Guaratinguetá, 2026. 111 f : il. Bibliografia: f. 93-108 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2026. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Olivia Maria Berengue Coorientadora: Prof^a Dr^a. Rosana Alves Gonçalves 1. Isolamento térmico. 2. Nanoestruturas. 3. Dióxido de titânio. 4. Nanotecnologia. I. Título. CDU 620.1(043)
-------	--

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A síntese de nanoestruturas para aplicação em sistemas de revestimento térmico possui relevância científica, tecnológica e ambiental. A incorporação de nanomateriais, como óxidos metálicos (por exemplo, TiO_2 e Al_2O_3), permite o desenvolvimento de revestimentos com elevada estabilidade térmica, baixa condutividade térmica e alta refletância, propriedades importantes para a proteção térmica e o controle do fluxo de calor em superfícies expostas a altas temperaturas. Esses revestimentos contribuem para o aumento da eficiência energética e para a ampliação da vida útil de componentes metálicos, com aplicações em setores como o aeronáutico, automotivo, petroquímico e de geração de energia. A melhoria do desempenho térmico de sistemas industriais está associada à redução do consumo energético e das emissões de gases de efeito estufa, além da diminuição da frequência de manutenção e substituição de equipamentos. Nesse contexto, esta pesquisa contribui para o avanço da ciência dos materiais e da nanotecnologia, estando alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, em particular o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). Além disso, os resultados desse trabalho serão utilizados para escrever e depositar uma patente.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The synthesis of nanostructures for application in thermal coating systems has scientific, technological, and environmental relevance. The incorporation of nanomaterials, such as metal oxides (e.g., TiO_2 and Al_2O_3), enables the development of coatings with high thermal stability, low thermal conductivity, and high reflectance, properties that are important for thermal protection and heat flux control in surfaces exposed to high temperatures. These coatings contribute to increased energy efficiency and to the extension of the service life of metallic components, with applications in sectors such as aerospace, automotive, petrochemical, and energy generation. Improvements in the thermal performance of industrial systems are associated with reductions in energy consumption and greenhouse gas emissions, as well as with a lower frequency of maintenance and equipment replacement. In this context, this research contributes to advances in materials science and nanotechnology and is aligned with the United Nations Sustainable Development Goals, particularly SDG 7 (Affordable and Clean Energy), SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), SDG 12 (Responsible Consumption and Production), and SDG 13 (Climate Action). Furthermore, the results of this work will be used to write and file a patent.

ODEILSON MORAIS PINTO

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM FÍSICA E ASTRONOMIA”**

**PROGRAMA: FÍSICA E ASTRONOMIA
CURSO: MESTRADO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO



Documento assinado digitalmente

OLIVIA MARIA BERENGUE

Data: 17/07/2026 16:59:12-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª. Olívia Maria Berengue
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:



Documento assinado digitalmente

OLIVIA MARIA BERENGUE

Data: 06/07/2026 20:03:45-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. OLIVIA MARIA BERENGUE
Orientador - UNESP



Documento assinado digitalmente

WILLIAM CHIAPPIM JUNIOR

Data: 22/06/2026 17:12:59-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. WILLIAM CHIAPPIM JUNIOR
UNESP



Documento assinado digitalmente

CLEOCIR JOSE DALMASCHIO

Data: 07/07/2026 09:49:42-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. CLEOCIR JOSÉ DALMASCHIO
UFES

JUNHO de 2026

Dedico este trabalho aos meus pais e minha irmã, que sempre acreditaram em mim desde o
começo dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, sem seu apoio espiritual eu não teria forças para concluir este trabalho.

Aos meus pais, Odeilson Santos Pinto e Rose Soares de Moraes Pinto, e a minha irmã Lyndenes Moraes Pinto, por todo apoio que me deram durante esse processo, por estarem comigo nos momentos difíceis e comemorar comigo nos momentos felizes.

À Olivia Maria Berengue, minha orientadora, por sua amizade, pelas oportunidades que me deu, pelas conversas profundas, pelos conselhos e confiança.

A Rosana Alves Gonçalves, minha coorientadora, por sua amizade e apoio, que contribuíram de forma significativa para meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos amigos feitos durante essa jornada e aos que já me acompanham há muito tempo, que de diferentes formas me ajudaram a não perder a cabeça. Em especial à Andreza Martin, Beatriz Ribeiro e Gabriel Kremer, que me aturaram reclamando quando estava cansado ou quando estava empolgado contando de uma nova ideia.

Ao Felipe Kodaira, pelo apoio técnico e discussões sobre ciência, política, filmes e músicas.

A Tuane Stefania, Gustavo Carvalho e Luis Felipe Barbosa Marques, do LADIF, pela prestação de serviços de alta qualidade na caracterização estrutural.

A Thiago Galeote Tabuti, André Sardinha e Filipe Caldato por serem tão prestativos e com a ajuda em algumas análises realizadas nesse trabalho.

A empresa Metal Lince, pela preparação da superfície das amostras de metal utilizadas nesse trabalho.

À todos que me ajudaram de alguma forma, seria difícil lembrar de tantos, mas saibam que este trabalho não teria sido possível sem a ajuda de vocês.

À Petrobras, pelo apoio financeiro, concedido por meio do Processo Contratual 0050.0127885.24.9 - SAP 4600679972.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

Este trabalho investigou o desenvolvimento de sistemas de recobrimento isolante térmico baseados em uma matriz epóxi aditivada com nanoestruturas de dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de alumínio (Al_2O_3). O objetivo principal foi avaliar o impacto dessas nanocargas no desempenho térmico de superfícies, visando aplicações em segurança operacional e eficiência energética. As nanopartículas de TiO_2 foram sintetizadas via método sol-gel, enquanto a alumina foi obtida por precipitação química assistida por *template* de poliestireno (PS) para a indução de porosidade. As caracterizações estruturais por DRX e Raman confirmaram a evolução da cristalinidade com o tratamento térmico, identificando a fase anatase para o TiO_2 e a fase $\gamma - Al_2O_3$ para a alumina. Ensaio térmicos realizados com um sistema de aquisição desenvolvido neste trabalho demonstraram que o compósito híbrido (2, 5% TiO_2 + 2, 5% Al_2O_3) apresentou a maior eficiência, reduzindo a temperatura superficial em aproximadamente 9 °C (11, 4%) em comparação à tinta comercial pura. Os resultados sugerem que a incorporação dessas nanoestruturas aumenta a resistência térmica efetiva e pode favorecer mecanismos associados à dissipação radiativa de calor.

Palavras-Chave: TiO_2 ; Al_2O_3 ; isolamento térmico; sol-gel; precipitação assistida por *template*.

ABSTRACT

This study investigated the development of thermal insulation coating systems based on an epoxy matrix modified with titanium dioxide (TiO_2) and aluminum oxide (Al_2O_3) nanostructures. The primary objective was to evaluate the impact of these nanofillers on surface thermal performance, aiming at applications in operational safety and energy efficiency. TiO_2 nanoparticles were synthesized via the sol-gel method, while alumina was obtained through chemical precipitation assisted by a polystyrene (PS) template to induce porosity. Structural characterization using XRD and Raman spectroscopy confirmed the evolution of crystallinity following heat treatment, identifying the anatase phase for TiO_2 and the $\gamma - Al_2O_3$ phase for alumina. Thermal tests conducted using a data acquisition system developed in this study demonstrated that the hybrid composite (2.5% TiO_2 + 2.5% Al_2O_3) exhibited the highest efficiency, reducing the surface temperature by approximately 9 °C (11.4%) compared to the neat commercial paint. The results suggest that the incorporation of these nanostructures increases effective thermal resistance and may enhance mechanisms associated with radiative heat dissipation.

Keywords: TiO_2 ; Al_2O_3 ; thermal insulation; sol-gel; template-assisted precipitation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Mudança na área superficial de um cubo dividido em cubos menores. Fonte: elaborado pelo autor	18
Figura 2	Esquematização das categorias das nanoestruturas. Fonte: adaptado de (Adul-Rasool et al., 2024)	19
Figura 3	Vários tipos de métodos ou abordagens para síntese de nanopartículas. Fonte: adaptado de (Qamar et al., 2023)	22
Figura 4	a) diagrama de fase temperatura vs composição (Ti-O). b) Diagrama de Fase Pressão vs. Temperatura (Polimorfos de TiO_2). Fonte: adaptado de (Nie et al., 2009; Benson; Mellor; Jackson, 2016)	24
Figura 5	Esquematização dos diferentes estágios do processo sol-gel. Fonte: adaptado de (Bokov et al., 2021)	27
Figura 6	Imagens representativas (a e b) de FEG-MEV e (c e d) de TEM das partículas de $SiO_2@TiO_2$ (tamanho médio = 260 ± 22 nm) antes da calcinação (c) e após a calcinação a 1000 °C (d); imagem HRTEM da parte da casca das partículas de $SiO_2@TiO_2$ (e) antes e (f) após a calcinação a 1000 °C; a presença de nanocristalitos de ~ 5 nm com distâncias interplanares de 0,35 nm é evidente em (e). Fonte: (Ferreira-Neto et al., 2021).	29
Figura 7	Imagens MEV de amostras com a quantidade de trietanolamina e amônia (a e b) 2 mmol e 272 mmol, a imagem TEM correspondente (c), padrão DRX das amostras (d) e imagens HRTEM das amostras (e). Fonte: adaptado de (Bao et al., 2018)	30
Figura 8	Transformação de fase do óxido de alumínio. Fonte: (Xie et al., 2016)	31
Figura 9	(a) FEG-MEV e (b) TEM das nanoesferas de Al_2O_3 sintetizado através do método de deposição química a vapor com tratamento térmico posterior. (c) Ilustração esquemática do mecanismo de crescimento de nanoesferas de Al_2O_3 . Fonte: adaptado de (Zhao et al., 2019).	33
Figura 10	Quantidade de trabalhos publicados ao longo do tempo sobre o tema "Thermal insulation". Fonte: dados retirados do sistema Scopus.	34
Figura 11	Espectro teórico do corpo negro e espectro solar completo na superfície da Terra e no topo da atmosfera. Fonte: adaptado de (Wang; Yu, 2023).	35
Figura 12	Representação da condução térmica. Fonte:(Helerbrock, 2025)	37
Figura 13	Distribuição espectral de radiação de corpo negro. A curva clássica (preta) diverge da intensidade observada em altas frequências (comprimentos de onda curtos), isso ficou conhecido como catástrofe do ultravioleta ou catástrofe de Rayleigh-Jeans. Fonte: adaptado de (Wikipedia contributors, 2025).	42

Figura 14	Radiação em uma superfície. (a) Reflexão, absorção e transmissão da irradiação em um meio semitransparente. (b) A radiosidade de um meio opaco. Fonte: elaborado pelo autor.	43
Figura 15	(a) Emissividade total emitida em função da temperatura para um composto à base de SiC, utilizado em escudos térmicos de veículos de reentrada atmosférica. (b) Emissividade espectral em função do comprimento de onda para compostos dopados com impurezas de Cr_2O_3 . Fonte: adaptado de (Novo et al., 2014).	45
Figura 16	Circuito térmico equivalente para uma parede composta em série. Fonte: (Incropera et al., 2011)	47
Figura 17	Resultados dos testes de campo do filme de nanopartículas de $BaSO_4$ e da tinta nanocompósita de $BaSO_4$ -acrílico. (a) As temperaturas do filme de nanopartículas de $BaSO_4$ e da tinta branca comercial foram comparadas à temperatura ambiente durante 24 horas. (b) O poder de resfriamento do filme de nanopartículas de $BaSO_4$ foi caracterizado diretamente por um aquecedor de <i>feedback</i> . (c) A temperatura da tinta de $BaSO_4$ foi comparada à temperatura ambiente. (d) O poder de resfriamento da tinta de $BaSO_4$ foi medido durante o dia e a noite. A irradiação solar é representada pelas regiões em laranja. Fonte: adaptado de (Li et al., 2021b).	49
Figura 18	Desempenho de resfriamento diurno da tinta RC medido em 25 de abril de 2023. (c) Desempenho de resfriamento noturno do revestimento RC medido em 15 de abril. Fonte: adaptado de (Mishra; Sundaram; Sasiithlu, 2024).	50
Figura 19	Diagrama esquemático ilustrando a interação entre a luz solar e a radiação térmica com o projeto de revestimento de resfriamento radiativo diurno de dupla camada. Fonte: adaptado de (Lin et al., 2022).	51
Figura 20	Variações de temperatura com diferentes matrizes e cargas. Fonte: adaptado de (Wang et al., 2013).	51
Figura 21	Processo de síntese de TiO_2 via método sol-gel. a) Dispersão de partículas de TiO_2 amorfas. b) Material resultante após secagem.	54
Figura 22	Fotografia do gel de hidróxido de alumínio (a), do material obtido após a secagem na estufa (b) e pó obtido após a calcinação (c).	56
Figura 23	Difração de raio X em planos cristalinos. Fonte: adaptado de (Jr., 2014). .	58
Figura 24	Interações do feixe de elétrons com a amostra na MEV, resultando na emissão de diferentes tipos de sinais detectáveis. Fonte: adaptado de (Reimer, 1993)	60

Figura 25	Diagrama esquemático de uma configuração típica de Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS) (acima) e análise relacionada (abaixo). Um laser ilumina partículas em suspensão que sofrem movimento browniano, os fótons espalhados são detectados em um ou múltiplos ângulos por detectores de fóton único (SPDs), e um correlator é usado para análise. Os dados resultantes correspondem ao traçado da taxa de contagem, a partir do qual a Função de Autocorrelação pode ser extraída para obter a distribuição de tamanho das partículas com base em sua dinâmica de difusão. Partículas menores exibem flutuações de intensidade mais rápidas, conforme revelado pela função de Autocorrelação. Fonte: adaptado de (Swabian Instruments, 2025).	62
Figura 26	Representação do princípio de funcionamento da técnica FTIR-ATR. Fonte: adaptado de (Specac, 2025).	64
Figura 27	(a) Interface do <i>software</i> de aquisição e (b) esquema do <i>hardware</i> desenvolvido para análise da eficiência da barreira térmica. Fonte: elaborado pelo autor.	66
Figura 28	Diferentes métodos de aquecimento utilizados: (a) aquecimento via condução térmica e (b) aquecimento por radiação térmica. Fonte: elaborado pelo autor.	66
Figura 29	Esquema da caixa de poliuretano utilizada para diminuir influências externas. (a) Corte da secção transversal do aparato e (b) visão de cima da tampa da caixa, onde a amostra é encaixada. Fonte: elaborado pelo autor.	67
Figura 30	Difratograma das amostras de TiO_2 calcinadas a 500 °C em atmosfera oxidante com diferentes rampas de aquecimento: 1 °C/min, 10 °C/min, 20 °C/min e 30 com patamar de 30 minutos. Fonte: elaborado pelo autor.	68
Figura 31	Difratogramas das amostras de TiO_2 calcinadas em atmosfera oxidante a diferentes temperaturas: 500 °C, 700 °C e 900 °C, com rampa de aquecimento de 30 °C/min. Fonte: elaborado pelo autor.	69
Figura 32	Difratogramas das amostras de TiO_2 calcinadas em atmosfera oxidante a diferentes temperaturas: 500 °C, 700 °C e 900 °C, pelo método de choque térmico. Fonte: elaborado pelo autor.	70
Figura 33	Difratograma da amostra de TiO_2 sem tratamento térmico de calcinação. Fonte: elaborado pelo autor.	71
Figura 34	Espectro Raman da amostra não calcinada (a) e da amostra calcinada a 500 °C (b). Fonte: elaborado pelo autor.	72

Figura 35	Espectroscopia FTIR-ATR das amostras de TiO_2 sintetizadas via método sol-gel calcinadas (a), calcinadas a 500 °C em atmosfera oxidante com diferentes rampas de aquecimento (b), calcinadas em atmosfera oxidante com rampa de aquecimento fixa e diferentes temperaturas de calcinação (c) e calcinadas por choque térmico (d). Fonte: elaborado pelo autor.	74
Figura 36	Microscopia eletrônica de varredura de nanopartículas de TiO_2 calcinadas a diferentes temperaturas com rampa de aquecimento de 30 °C/min: não calcinado (a), 500 °C (b), 700 °C (c) e 900 °C (d). Fonte: elaborado pelo autor.	75
Figura 37	Microscopia eletrônica de varredura de nanopartículas de TiO_2 calcinadas a 500 °C com diferentes rampas de aquecimento: 1 °C/min (a), 10 °C/min (b), 20 °C/min (c) e 30 °C/min (d). Fonte: elaborado pelo autor.	76
Figura 38	Microscopia eletrônica de varredura de nanopartículas de TiO_2 calcinadas via choque térmico: 500 °C (a), 700 °C (b) e 900 °C (c). Fonte: elaborado pelo autor.	76
Figura 39	Difratogramas do pó precursor não calcinado (a,b) e da amostra calcinada a 550 °C (c). Fonte: elaborado pelo autor.	77
Figura 40	FTIR-ATR de (a) hidróxido de alumínio e (b) Al_2O_3 . Fonte: elaborado pelo autor.	79
Figura 41	Curvas de TGA e DTG para a decomposição térmica do hidróxido de alumínio em atmosfera oxidante. Fonte: elaborado pelo autor.	80
Figura 42	Curvas de TGA e DTG para a decomposição térmica da dispersão de nanoesferas de PS. Fonte: elaborado pelo autor.	81
Figura 43	Microscopia eletrônica de varredura das amostras de Al_2O_3 sem inserção de nanoesferas de poliestireno (a) e com adição de nanoesferas de poliestireno (b). Fonte: elaborado pelo autor.	82
Figura 44	Espalhamento dinâmico de luz da alumina sintetizada utilizando nanoesferas de poliestireno como agente porogênico. Fonte: elaborado pelo autor.	83
Figura 45	Espectro de infravermelho dos componentes da matriz epóxi (a) e da resina curada e nanoaditivada (b). Fonte: elaborado pelo autor.	84
Figura 46	TGA e DTG da tinta comercial (a), da tinta nanoaditivada com TiO_2 (b) e da tinta aditivada com Al_2O_3 (c). O quadro (e) mostra as curvas DTG de todas as amostras sobrepostas. Todas as análises foram realizadas em atmosfera inerte (N_2) com taxa de aquecimento de 15 °C/min. Fonte: elaborado pelo autor.	85

Figura 47	Comparação entre a temperatura superficial dos recobrimentos e os parâmetros térmicos efetivos estimados a partir de um modelo simplificado baseado na Lei de Fourier. (a) Visão geral de todas as curvas, (b) Ampliação na região das curvas do termopar 1 (T_1) e (c) ampliação da região do termopar 2 (T_2). Fonte: elaborado pelo autor.	87
Figura 48	Modelo de resistências térmicas associadas ao experimento proposto, onde R_{Metal} representa a resistência térmica associada a chapa de metal, $R_{Contato1}$ representa uma resistência térmica de contato entre a chapa de metal e a tinta, R_{Tinta} é a resistência associada a tinta e $R_{Contato2}$ é a resistência associada ao contato entre a tinta e o termopar que está medindo. Fonte: elaborado pelo autor.	88
Figura 49	Curvas de temperatura obtidas utilizando uma lâmpada infravermelha como fonte de aquecimento. (a) Visão geral de todas as curvas, (b) Ampliação na região das curvas do termopar 1 (T_1) e (c) ampliação da região do termopar 2 (T_2). Fonte: desenvolvido pelo autor.	90
Figura 50	Correlação de temperaturas medidas utilizando o sistema desenvolvido (eixo Y) e um termopar da empresa IKA calibrado (Eixo X). Fonte: elaborado pelo autor.	110
Figura 51	Dados da temperatura em função do tempo para a caixa isolante térmica com a tampa aberta e, após 2500 segundos fechada. Fonte: elaborado pelo autor.	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação dos processos de síntese de TiO_2 quanto às suas vantagens, limitações e principais referências.	26
Tabela 2 – Comparação entre modelos de condução térmica considerando características ondulatórias, tratamento de singularidades e efeitos de nano/microescala. Fonte: baseado em (Akbarzadeh; Cui; Chen, 2017; Hua et al., 2019)	38
Tabela 3 – Tamanho de cristalito e microdeformação para TiO_2 em diferentes condições de calcinação. Fonte: elaborado pelo autor.	71
Tabela 4 – Parâmetros térmicos efetivos estimados a partir de modelo baseado na Lei de Fourier. Fonte: elaborado pelo autor.	89

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Princípios da nanotecnologia	18
2.2	Métodos de síntese de nanomateriais	21
2.2.1	Dióxido de titânio (TiO_2)	22
2.2.2	Óxido de alumínio (Al_2O_3)	31
2.3	Nanoaditivação de recobrimentos poliméricos	34
2.4	Transferência de calor	36
2.4.1	Condução	36
2.4.2	Convecção	40
2.4.3	Radiação	41
2.4.4	O conceito de resistência térmica	45
2.5	Compósitos nanoaditivados	48
2.6	Objetivos	52
3	METODOLOGIA	53
3.1	Síntese das nanopartículas	53
3.1.1	Síntese de nanoestruturas de óxido de titânio (TiO_2)	53
3.1.2	Síntese de nanopartículas de óxido de alumínio (Al_2O_3)	54
3.1.3	Nanoaditivação da matriz polimérica	57
3.2	Caracterizações estruturais, químicas e morfológicas	57
3.2.1	Difratometria de raios X	57
3.2.2	Microscopia eletrônica de varredura	60
3.2.3	Espalhamento de Luz Dinâmico	61
3.2.4	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier e Refletância Total Atenuada	63
3.2.5	Termogravimetria	65
3.2.6	Caracterização de barreira térmica	65
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
4.1	Caracterização das nanopartículas	68
4.1.1	Nanoestruturas de óxido de titânio	68
4.1.2	Nanoestruturas de óxido de alumínio	77
4.2	Caracterização da matriz epóxi nanoaditivada	83
4.2.1	Análise composicional da tinta	83

4.2.2	Análise da eficiência da barreira térmica	86
5	CONCLUSÃO	92
	REFERÊNCIAS	94
6	APÊNDICE	110
6.1	Apêndice A - Calibração do sistema	110
	DADOS CURRICULARES	112

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a busca por soluções que promovam a eficiência energética e atenuem os impactos do aquecimento global tem impulsionado pesquisas em diversas áreas (Erdoğan et al., 2025). Além das implicações ambientais, a exposição prolongada ao calor compromete o bem-estar humano, podendo causar desidratação, insolação, fadiga térmica e agravar doenças cardiovasculares e respiratórias (Ioannou et al., 2022; Lin et al., 2024; John; Jha, 2023; Krelling et al., 2024). Esse cenário evidencia a necessidade de tecnologias que contribuam para o conforto térmico e a preservação da saúde em ambientes urbanos e industriais.

Um dos principais desafios está no controle do ganho térmico em superfícies expostas, como fachadas de edifícios e veículos, onde o acúmulo de calor aumenta a demanda por refrigeração artificial. Para mitigar esse problema, diferentes estratégias têm sido adotadas, como o uso de materiais refletivos (Khanyile et al., 2024; Zhang et al., 2025), ampliação de áreas verdes (Duncan et al., 2019; Zuckerman; Shiloah; Lensky, 2025) e a aplicação de soluções baseadas em nanotecnologia (Utsev et al., 2022; Malik; Muhammad; Waheed, 2023). Essas abordagens visam reduzir a absorção de radiação solar e melhorar o desempenho energético das construções. Nesse contexto, revestimentos e tintas desempenham um papel fundamental, pois contribuem significativamente para a diminuição da transferência de calor e, conseqüentemente, do consumo energético (Armstrong et al., 2021; Gregorio, 2024). A incorporação de nanopartículas nesses sistemas tem se mostrado uma estratégia promissora, capaz de melhorar tanto o isolamento térmico quanto a durabilidade e resistência à corrosão (Yang; Wang; Kaloush, 2015; Kadhim et al., 2017; Bonanno; Raimondo; Pinelli, 2019; Pialago et al., 2020).

Nesse cenário, materiais nanoestruturados como aditivos em tintas e revestimentos, como óxidos metálicos, têm atraído atenção devido às suas propriedades, incluindo alta área superficial, estabilidade térmica e química, e características ópticas ajustáveis. Dentre os mais estudados, destacam-se o óxido de titânio (TiO_2), conhecido por sua elevada refletância no infravermelho (Dong et al., 2020) e o óxido de alumínio (Al_2O_3), pela sua excelente estabilidade térmica (Li et al., 2024).

A incorporação desses nanomateriais em matrizes poliméricas, como o epóxi, representa uma alternativa eficaz para a formulação de revestimentos funcionais. Essa combinação permite desenvolver superfícies com maior durabilidade, resistência mecânica e capacidade de isolamento térmico, contribuindo para soluções mais eficientes em controle de temperatura.

Diante desse panorama, este trabalho tem como objetivo geral investigar o impacto da incorporação de nanoestruturas de TiO_2 e Al_2O_3 em sistemas de recobrimento à base de matriz epóxi, avaliando a temperatura em função do tempo em chapas metálicas pintadas com a tinta nanoestruturada, a fim de fazer uma comparação na eficiência de barreira térmica.

Este estudo se justifica pela crescente demanda por materiais inovadores que combinem eficiência energética, sustentabilidade e desempenho técnico, promovendo avanços aplicáveis

tanto na construção civil quanto em setores industriais.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa demonstrou a viabilidade da síntese dos óxidos via rota química, com método sol-gel para TiO_2 e método de precipitação química assistida por *template* de poliestireno para o Al_2O_3 , e aplicação de nanoestruturas cerâmicas como aditivos funcionais em matrizes poliméricas destinadas ao controle térmico, tanto por condução térmica, quanto por radiação térmica. Os resultados obtidos atendem aos objetivos propostos, contemplando a síntese e caracterização das nanoestruturas de TiO_2 e Al_2O_3 , sua incorporação em matriz epóxi e a avaliação do desempenho térmico dos revestimentos obtidos.

A metodologia empregada permitiu crescer tanto partículas submicrométricas para o TiO_2 , onde foi avaliado a evolução da cristalinidade com diferentes tratamentos térmicos, quanto partículas nanométricas para Al_2O_3 . A incorporação de 5% em massa de óxidos metálicos promoveu modificações nas propriedades térmicas da matriz epóxi, sendo a formulação híbrida ($TiO_2 + Al_2O_3$) a que apresentou melhor desempenho na redução da temperatura superficial e na diminuição da condutividade térmica efetiva (cerca de 50% menor do que a tinta comercial), com cerca de 4 °C de redução na temperatura da superfície da tinta, pelo mecanismo de condução térmica, e cerca de 7 °C na superfície inferior do corpo de prova, quando utilizado o mecanismo de radiação térmica.

Esse comportamento está associado ao aumento da resistência térmica efetiva do revestimento, decorrente da presença de estruturas de baixa cristalinidade, e da introdução de interfaces sólido-ar, que dificultam o transporte de calor por condução. Além disso, os resultados indicam que a presença das nanoestruturas contribui para o aumento da emissividade térmica do sistema, favorecendo a dissipação de energia por radiação na região do infravermelho. Além disso, a adição das nanopartículas a tinta alterou as propriedades químicas da matriz, fazendo surgir, possivelmente, novas ligações estères entre as partículas e a resina, o que garante que as partículas estão ligadas quimicamente com a matriz.

Dessa forma, os revestimentos nanoaditivados desenvolvidos neste trabalho apresentam potencial para aplicações relacionadas à mitigação do ganho térmico solar em superfícies expostas, como em tecnologias de “telhados frios”, bem como para a proteção térmica de superfícies industriais aquecidas, contribuindo para estratégias de eficiência energética e segurança operacional.

Como perspectivas futuras, serão realizadas caracterizações adicionais capazes de aprofundar a compreensão dos mecanismos responsáveis pelo desempenho térmico dos recobrimentos nanoaditivados. Entre elas, destacam-se a medida direta da condutividade térmica, a determinação da espessura dos filmes, a análise de refletância solar por UV-Vis-NIR com esfera integradora e a determinação da emissividade no infravermelho. Essas análises permitiriam distinguir com maior precisão as contribuições associadas à condução, reflexão da radiação incidente e dissipação radiativa de calor. Além disso, caracterizações por MEV/EDS em seção transversal, perfilometria, termografia infravermelha e ensaios de aderência poderiam fornecer informações importantes

sobre a homogeneidade da dispersão das nanocargas, rugosidade, integridade do recobrimento e interação com o substrato metálico. Por fim, ensaios de ciclagem térmica, envelhecimento acelerado e resistência à corrosão seriam relevantes para avaliar a estabilidade e a aplicabilidade tecnológica dos recobrimentos em condições próximas às de uso real.

REFERÊNCIAS

- ABDULRAHMAN, S. A. et al. Photocatalytic degradation of ciprofloxacin by uv light using n-doped tio₂ in suspension and coated forms. **Catalysts**, v. 12, p. 1663, 12 2022. ISSN 2073-4344.
- ABIODUN, M.-I. B. et al. Applications of epoxy resin: Adhesives, coatings, and composites. In: _____. [S.l.]: IntechOpen, 2025.
- ADUL-RASOOL, A. A. et al. 0,1,2,3d nanostructures, types of bulk nanostructured materials, and drug nanocrystals: An overview. **Cancer Treatment and Research Communications**, v. 40, p. 100834, 2024. ISSN 24682942.
- AKBARZADEH, A.; CHEN, Z. Heat conduction in one-dimensional functionally graded media based on the dual-phase-lag theory. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science**, v. 227, p. 744–759, 4 2013. ISSN 0954-4062.
- AKBARZADEH, A. H.; CUI, Y.; CHEN, Z. T. Thermal wave: from nonlocal continuum to molecular dynamics. **RSC Advances**, v. 7, p. 13623–13636, 2017.
- AKHOONDI, A. et al. Advances in metal-based vanadate compound photocatalysts: synthesis, properties and applications. **Synthesis and Sintering**, v. 1, p. 151–168, 9 2021. ISSN 2564-0194.
- ALABADA, R. et al. Investigation of effective parameters in the production of alumina gel through the sol-gel method. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 8, p. 100405, 12 2023. ISSN 26660164.
- ALAVI, M.; WEBSTER, T. J. Recent progress and challenges for polymeric microsphere compared to nanosphere drug release systems: Is there a real difference? **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 33, p. 116028, 3 2021. ISSN 09680896.
- ALEXEEV, D. et al. Kapitza resistance between few-layer graphene and water: Liquid layering effects. **Nano Letters**, v. 15, p. 5744–5749, 9 2015. ISSN 1530-6984.
- ANANTHAPADMANABHAN, S. S. et al. Corrosion-resistant hydrophobic thermal barrier composite coating on metal strip: A new dimension to steel strips for roofing segment. **ACS Applied Materials and Interfaces**, American Chemical Society, v. 15, p. 51737–51752, 11 2023. ISSN 19448252.
- ANDERSON, A. C. The kapitza thermal boundary resistance between two solids. In: _____. **Nonequilibrium Superconductivity, Phonons, and Kapitza Boundaries**. [S.l.]: Springer US, 1981. p. 1–30.
- ANSARI, M. J. et al. Synthesis and stability of magnetic nanoparticles. **BioNanoScience**, v. 12, p. 627–638, 6 2022. ISSN 2191-1630.
- ARCANTO, J. P. M. de. **Síntese de partículas ocas de óxido de alumínio e funcionalização de superfície para incorporação em matriz de PVA**. 2023. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Espírito Santo, 2023. Disponível em: https://dspace4.ufes.br/items/ab0e3d9c-dfa0-4a8f-83dc-9e09836a5ef5/full?utm_source=chatgpt.com.

ARMSTRONG, M. et al. A recent examination on the nano coating techniques in heat transfer applications. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, p. 7942–7947, 2021. ISSN 22147853.

ATTIL, H. et al. Synthesis and characterization of alumina powders obtained at various temperatures via sol-gel method. **Metallurgical and Materials Engineering**, v. 30, p. 67–79, 11 2024. ISSN 2812-9105.

ATTRI, K. et al. Therapeutic potential of lactoferrin-coated iron oxide nanospheres for targeted hyperthermia in gastric cancer. **Scientific Reports**, v. 13, p. 17875, 10 2023. ISSN 2045-2322.

BA-ABBAD, M. M. et al. Synthesis of Fe_3O_4 nanoparticles with different shapes through a co-precipitation method and their application. **JOM**, v. 74, p. 3531–3539, 9 2022. ISSN 1047-4838.

BABY, O. M. et al. Synthesis and characterization of high NIR reflecting eco-friendly bamboo pigments in scheelite family. **Emergent Materials**, v. 5, p. 1213–1225, 8 2022. ISSN 2522-5731.

BACHA, K. et al. Dendrimers: Synthesis, encapsulation applications and specific interaction with the stratum corneum—a review. **Macromol**, v. 3, p. 343–370, 6 2023. ISSN 2673-6209.

BALACHANDRAN, A. et al. Nanoparticle production via laser ablation synthesis in solution method and printed electronic application - a brief review. **Results in Engineering**, v. 16, p. 100646, 12 2022. ISSN 25901230.

BAO, Y. et al. Sol-gel-controlled synthesis of hollow TiO_2 spheres and their photocatalytic activities and lithium storage properties. **Materials Letters**, v. 214, p. 272–275, 3 2018. ISSN 0167577X.

BARCELOS, D. A.; GONÇALVES, M. C. Daylight photoactive TiO_2 sol-gel nanoparticles: Sustainable environmental contribution. **Materials**, v. 16, p. 2731, 3 2023. ISSN 1996-1944.

BASYOUNI, Y. A.; MAHMOUD, H. Affordable green materials for developed cool roof applications: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 202, p. 114722, 9 2024. ISSN 13640321.

BASZCZUK, A.; JASIORSKI, M.; WINNICKI, M. Low-temperature transformation of amorphous sol-gel TiO_2 powder to anatase during cold spray deposition. **Journal of Thermal Spray Technology**, v. 27, p. 1551–1562, 12 2018. ISSN 1059-9630.

BENITHA, V. S.; JEYASUBRAMANIAN, K.; PRABHIN, V. S. Enhanced near-infrared reflectance and functional characteristics of nano metal oxide embedded alkyd coatings. **Materials Research Express**, v. 9, p. 056404, 5 2022. ISSN 2053-1591.

BENSON, L. L.; MELLOR, I.; JACKSON, M. Direct reduction of synthetic rutile using the HFC process to produce low-cost novel titanium alloys. **Journal of Materials Science**, v. 51, p. 4250–4261, 5 2016. ISSN 0022-2461.

BOKOV, D. et al. Nanomaterial by sol-gel method: Synthesis and application. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2021, 1 2021. ISSN 1687-8434.

BONANNO, A.; RAIMONDO, M.; PINELLI, M. Use of nanostructured coating to improve heat exchanger efficiency. In: _____. [S.l.]: Springer International Publishing, 2019. p. 275–292.

BOTT-NETO, J. L. et al. Controlled electrodeposition of brookite TiO_2 for photoelectroanalysis at printed carbon electrodes. **Applied Surface Science**, v. 640, p. 158316, 12 2023. ISSN 01694332.

BUHLEIER, E.; WEHNER, W.; VöGTLE, F. "cascade- and "nonskid-chain-like"syntheses of molecular cavity topologies. **Synthesis**, v. 1978, p. 155–158, 1978. ISSN 0039-7881.

CAO, Y. C. Synthesis of square gadolinium-oxide nanoplates. **Journal of the American Chemical Society**, v. 126, p. 7456–7457, 6 2004. ISSN 0002-7863.

CARUSO, F.; CARUSO, R. A.; MOHWALD, H. Nanoengineering of inorganic and hybrid hollow spheres by colloidal templating. **Science**, v. 282, p. 1111–1114, 11 1998. ISSN 0036-8075.

CHALLAGULLA, S.; ROY, S. The role of fuel to oxidizer ratio in solution combustion synthesis of TiO_2 and its influence on photocatalysis. **Journal of Materials Research**, v. 32, n. 14, p. 2764–2772, 2017.

CHANDRASEKAR, M. et al. Synthesis and characterization studies of pure and ni doped CuO nanoparticles by hydrothermal method. **Journal of King Saud University - Science**, v. 34, p. 101831, 4 2022. ISSN 10183647.

CHANG, C. et al. Review of the sol–gel method in preparing nano TiO_2 for advanced oxidation process. **Nanotechnology Reviews**, v. 12, 11 2023. ISSN 2191-9097.

CHAUDHURI, R. G.; PARIA, S. Core/shell nanoparticles: Classes, properties, synthesis mechanisms, characterization, and applications. **Chemical Reviews**, v. 112, p. 2373–2433, 4 2012. ISSN 0009-2665.

CHEN, S.; CARROLL, D. L. Synthesis and characterization of truncated triangular silver nanoplates. **Nano Letters**, v. 2, p. 1003–1007, 9 2002. ISSN 1530-6984.

CHEN, X.; MAO, S. S. Titanium dioxide nanomaterials: Synthesis, properties, modifications, and applications. **Chemical Reviews**, v. 107, p. 2891–2959, 7 2007. ISSN 0009-2665.

CHEN, X. et al. Nano- TiO_2 : An efficient and reusable heterogeneous catalyst for ring opening of epoxides under solvent-free conditions. **Synthetic Communications**, v. 42, p. 2440–2452, 8 2012. ISSN 0039-7911.

CHEN, Z. et al. Study on the hydrolysis/precipitation behavior of kegglin Al_{13} and Al_{30} polymers in polyaluminum solutions. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 2831–2840, 6 2009. ISSN 03014797.

CHUTO, G.; CHAUMET-RIFFAUD, P. Les nanoparticules. **Médecine Nucléaire**, v. 34, p. 370–376, 6 2010. ISSN 09281258.

DAS, G. et al. Chemical sensing in two dimensional porous covalent organic nanosheets. **Chemical Science**, v. 6, p. 3931–3939, 2015. ISSN 2041-6520.

DAY, M. K. B.; HILL, V. J. The thermal transformations of the aluminas and their hydrates. **The Journal of Physical Chemistry**, v. 57, p. 946–950, 9 1953. ISSN 0022-3654.

DIEBOLD, U. The surface science of titanium dioxide. **Surface Science Reports**, v. 48, p. 53–229, 1 2003. ISSN 01675729.

DONG, S. et al. Polymer-encapsulated tio 2 for the improvement of nir reflectance and total solar reflectance of cool coatings. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 59, p. 17901–17910, 10 2020. ISSN 0888-5885.

DUDINA, D. V.; BOKHONOV, B. B. Materials development using high-energy ball milling: A review dedicated to the memory of m.a. korchagin. **Journal of Composites Science**, v. 6, p. 188, 6 2022. ISSN 2504-477X.

DUNCAN, J. et al. Turning down the heat: An enhanced understanding of the relationship between urban vegetation and surface temperature at the city scale. **Science of The Total Environment**, v. 656, p. 118–128, 3 2019. ISSN 00489697.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles**. 2. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1985. ISBN 978-0471873730.

EKAR, S. et al. Effect of pd-sensitization on poisonous chlorine gas detection ability of tio2: Green synthesis and low-temperature operation. **Sensors**, v. 22, n. 11, 2022. ISSN 1424-8220. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/11/4200>.

EL-DEEN, S. S. et al. Anatase tio2 nanoparticles for lithium-ion batteries. **Ionics**, v. 24, p. 2925–2934, 10 2018. ISSN 0947-7047.

ERDOĞDU, A. et al. Innovative solutions for combating climate change: Advancing sustainable energy and consumption practices for a greener future. **Sustainability**, v. 17, p. 2697, 3 2025. ISSN 2071-1050.

FANG, J.; XUAN, Y.; LI, Q. Preparation of polystyrene spheres in different particle sizes and assembly of the ps colloidal crystals. **Science China Technological Sciences**, v. 53, p. 3088–3093, 11 2010. ISSN 1674-7321.

FARAHMANDJOU, M.; KHODADADI, A.; YAGHOUBI, M. Low concentration iron-doped alumina (fe/al₂o₃) nanoparticles using co-precipitation method. **Journal of Superconductivity and Novel Magnetism**, v. 33, p. 3425–3432, 11 2020. ISSN 1557-1939.

FERREIRA-NETO, E. P. et al. Thermally stable sio 2 @tio 2 core@shell nanoparticles for application in photocatalytic self-cleaning ceramic tiles. **Materials Advances**, v. 2, p. 2085–2096, 2021. ISSN 2633-5409.

FLYNN, J.; WALL, L. Thermogravimetric analysis and differential thermal analysis. **Journal of Research of the National Bureau of Standards Section A: Physics and Chemistry**, v. 70A, n. 6, p. 487–523, 1970.

GABBOTT, P. **Principles and Applications of Thermal Analysis**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2008.

GIORGI, C.; ZULLO, F. **Nonlinear and nonlocal models of heat conduction in continuum thermodynamics**. 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2312.09892>.

GOLDSTEIN, J. I. et al. **Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis**. 3. ed. New York: Springer, 2003.

GONÇALVES, M. C. et al. Photonic band gap and bactericide performance of amorphous sol-gel titania: An alternative to crystalline tio2. **Molecules**, v. 23, p. 1677, 7 2018. ISSN 1420-3049.

GOODHEW, P. J.; HUMPHREYS, F. J.; BEANLAND, R. **Electron Microscopy and Analysis**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001.

GREGORIO, E. D. Temperaturas mais altas demandam adaptações em edifícios. **Revista FAPESP**, p. 75–77, 10 2024.

GRIFFITHS, P. R.; HASETH, J. A. de. **Fourier Transform Infrared Spectrometry**. 2. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2007.

GUPTA, V. et al. Nanoimprint lithography facilitated plasmonic-photonic coupling for enhanced photoconductivity and photocatalysis. **Advanced Functional Materials**, v. 31, 9 2021. ISSN 1616-301X.

GÓMEZ, M. G. et al. Development of superparamagnetic nanoparticles coated with polyacrylic acid and aluminum hydroxide as an efficient contrast agent for multimodal imaging. **Nanomaterials**, v. 9, p. 1626, 11 2019.

HATAKEYAMA, T.; QUINN, F. X. **Thermal Analysis: Fundamentals and Applications to Polymer Science**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1997.

HE, L.; WU, K.; FU, Q. Thermal conductivity modeling beyond the dilute limit using a body-centered cubic framework for densely packed polymer composites. **Nature Communications**, v. 17, p. 327, 12 2025. ISSN 2041-1723.

HELERBROCK, R. **Condução térmica**. 2025.

HOBSON, D. Nanotechnology. In: _____. **Comprehensive Biotechnology**. [S.l.]: Elsevier, 2011. p. 683–697.

HSU, C.-Y. et al. Nano titanium oxide (nano-tio₂): A review of synthesis methods, properties, and applications. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 9, p. 100626, 6 2024. ISSN 26660164.

HUA, C. et al. Generalized fourier's law for nondiffusive thermal transport: Theory and experiment. **Physical Review B**, v. 100, p. 085203, 8 2019. ISSN 2469-9950.

HUAREN-CHEMICAL, F. N. **Acrylic paint vs. epoxy floor paint: What is the difference between them?** 2024. Disponível em: <https://www.gd-huaren.net/newsinfo-acrylic-paint-vs-epoxy-floor-paint-what-is-the-difference-between-them.html>.

HULLA, J.; SAHU, S.; HAYES, A. Nanotechnology. **Human & Experimental Toxicology**, v. 34, p. 1318–1321, 12 2015. ISSN 0960-3271.

IJJIMA, S. Helical microtubules of graphitic carbon. **Nature**, v. 354, p. 56–58, 11 1991. ISSN 0028-0836.

INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 7. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011. ISBN 978-0470501979.

IOANNOU, L. G. et al. Occupational heat strain in outdoor workers: A comprehensive review and meta-analysis. **Temperature**, v. 9, p. 67–102, 1 2022. ISSN 2332-8940.

ISO 20368. **Plastics — Epoxy resins — Determination of degree of crosslinking of crosslinked epoxy resins by Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy**.

JAHANSHAHI, S. et al. Analysis and testing of bisphenol a—free bio-based tannin epoxy-acrylic adhesives. **Polymers**, v. 8, p. 143, 4 2016. ISSN 2073-4360.

JEEVANANDAM, J. et al. Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations. **Beilstein Journal of Nanotechnology**, v. 9, p. 1050–1074, 4 2018. ISSN 2190-4286.

JIANG, Q.; SHI, H.; ZHAO, M. Melting thermodynamics of organic nanocrystals. **Journal of Chemical Physics**, American Institute of Physics Inc., v. 111, n. 5, p. 2176 – 2180, 1999. ISSN 00219606. Cited by: 288. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0000102019&doi=10.1063%2f1.479489&partnerID=40&md5=2cf8a27b716ff714a5b0d44d05921c93>.

JOHN, P.; JHA, V. Heat stress: A hazardous occupational risk for vulnerable workers. **Kidney International Reports**, v. 8, p. 1283–1286, 7 2023. ISSN 24680249.

JR., R. C.; ZEIGLER, S. Y.; BARRON, A. R. Synthesis of silica–ammonium chloride macrofibers generated by anionic surfactant templated nanotubes. **Journal of Materials Chemistry**, v. 18, p. 1911, 2008. ISSN 0959-9428.

JR., W. D. C. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 9th. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2014.

JUNGBLUT, S.; JOSWIG, J.-O.; EYCHMÜLLER, A. Diffusion-limited cluster aggregation: Impact of rotational diffusion. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 123, p. 950–954, 1 2019. ISSN 1932-7447.

KADHIM, M. J. et al. Investigation nano coating for corrosion protection of petroleum pipeline steel type a106 grade b; theoretical and practical study in iraqi petroleum sector. **Engineering and Technology Journal**, v. 35, p. 1042–1051, 10 2017. ISSN 2412-0758.

KASHCHIEV, D. **Nucleation**. [S.l.]: Elsevier, 2000. ISBN 9780750646826.

KATSIAOUNIS, S. et al. G phonon linewidth and phonon-phonon interaction in p-type doped cvd graphene crystals. **Carbon**, v. 215, p. 118449, 11 2023. ISSN 00086223.

KEDZIERSKI, M. et al. Microplastic fouling: A gap in knowledge and a research imperative to improve their study by infrared characterization spectroscopy. **Marine Pollution Bulletin**, v. 185, p. 114306, 12 2022. ISSN 0025326X.

KHANYILE, B. S. et al. Towards room temperature thermochromic coatings with controllable nir-ir modulation for solar heat management & smart windows applications. **Scientific Reports**, v. 14, p. 2818, 2 2024. ISSN 2045-2322.

KITTEL, C. **Introduction to Solid State Physics**. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 1978.

KRELLING, A. F. et al. Defining weather scenarios for simulation-based assessment of thermal resilience of buildings under current and future climates: A case study in brazil. **Sustainable Cities and Society**, v. 107, p. 105460, 7 2024. ISSN 22106707.

KWON, H. et al. Effect of tio 2 on mechanical and thermal properties of al 2 o 3 -based coating via atmospheric plasma spraying. **Journal of Asian Ceramic Societies**, v. 11, p. 282–290, 4 2023. ISSN 2187-0764.

LAC-FABRICATION. **Epoxy vs. Enamel Paint**. 2020. Disponível em: <https://roosterfab.com/epoxy-vs-enamel-paint/>.

LAHIRI, A. Diffraction and scattering. In: _____. **Basic Optics**. [S.l.]: Elsevier, 2016. p. 385–537.

LEPRI, S. Thermal conduction in classical low-dimensional lattices. **Physics Reports**, v. 377, p. 1–80, 4 2003. ISSN 03701573.

LEZZI, G. et al. **Matemática: ciência e aplicações**. 9. ed. [S.l.]: Saraiva, 2016. v. 2.

LI, D. et al. Experimental investigation on thermal properties of al₂o₃ nanoparticles dispersed paraffin for thermal energy storage applications. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 46, p. 8190–8200, 12 2024. ISSN 1556-7036.

LI, L. et al. Synthesis of hollow tio₂@sio₂ spheres via a recycling template method for solar heat protection coating. **Ceramics International**, Elsevier Ltd, v. 47, p. 2678–2685, 1 2021. ISSN 02728842.

LI, L. et al. Black phosphorus field-effect transistors. **Nature Nanotechnology**, v. 9, p. 372–377, 5 2014. ISSN 1748-3387.

LI, P. et al. Recent advances in focused ion beam nanofabrication for nanostructures and devices: fundamentals and applications. **Nanoscale**, v. 13, p. 1529–1565, 2021. ISSN 2040-3364.

LI, X. et al. Ultrawhite baso 4 paints and films for remarkable daytime subambient radiative cooling. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 13, p. 21733–21739, 5 2021. ISSN 1944-8244.

LIMA, F. d. S. e. a. **Fundamentos de Física Moderna**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

LIN, K. et al. Nanoparticle-polymer hybrid dual-layer coating with broadband solar reflection for high-performance daytime passive radiative cooling. **Energy and Buildings**, v. 276, p. 112507, 12 2022. ISSN 03787788.

LIN, N. W. et al. Risk factors for heat-related illness resulting in death or hospitalization in the oil and gas extraction industry. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 21, p. 58–67, 1 2024. ISSN 1545-9624.

LIU, C. et al. Dechlorinating transformation of propachlor through nucleophilic substitution by dithionite on the surface of alumina. v. 12, n. 5, p. 724–733, 2012. ISSN 1614-7480. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0506-0>.

LIU, J.; SUN, Y.; YANG, T. Synthesis of silicon dioxide (sio₂) nanowires via a polyethylene glycol-based emulsion template method in isopropanol. **Nanomaterials**, v. 15, p. 326, 2 2025. ISSN 2079-4991.

LIU, S. et al. Two-dimensional porous γ -al₂o₃ and γ -al₂o₃ nanosheets: hydrothermal synthesis, formation mechanism and catalytic performance. **RSC Advances**, v. 5, p. 71728–71734, 2015. ISSN 2046-2069.

LIU, X. et al. Conducting polymer-based nanostructures for gas sensors. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 462, p. 214517, 7 2022. ISSN 00108545.

LIU, Y. et al. Deep-learning molecular dynamics simulation of pressure-driven transformation for bulk tio₂. **Ceramics International**, v. 50, p. 37900–37907, 10 2024. ISSN 02728842.

LOIOLA, A. R. **Materiais hierarquicamente estruturados com fase cúbica mesoporosa: síntese, caracterização e uso como suporte na imobilização da enzima HRP**. 2009. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Ceará, 2009.

LONG, J. et al. Controlled tio₂ coating on hollow glass microspheres and their reflective thermal insulation properties. **Particuology**, v. 49, p. 33–39, 4 2020. ISSN 16742001.

LU, X. et al. Solvent effects on the heterogeneous growth of tio₂ nanostructure arrays by solvothermal synthesis. **Catalysis Today**, v. 360, p. 275–283, 1 2021. ISSN 09205861.

LU, Y. et al. Braiding ultrathin au nanowires into ropes. **Journal of the American Chemical Society**, v. 142, p. 10629–10633, 6 2020. ISSN 0002-7863.

LUDWIG, B. Infrared spectroscopy studies of aluminum oxide and metallic aluminum powders, part II: Adsorption reactions of organofunctional silanes. v. 1, n. 2, p. 75–87, 2022. ISSN 2674-0516. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2674-0516/1/2/7>.

MA, S. et al. Toughening of epoxy resin system using a novel dendritic polysiloxane. **Macromolecular Research**, v. 18, p. 392–398, 4 2010. ISSN 1598-5032.

MACINTYRE, H.; HEAVISIDE, C. Potential benefits of cool roofs in reducing heat-related mortality during heatwaves in a european city. **Environment International**, v. 127, p. 430–441, 6 2019. ISSN 01604120.

MACÊDO, M. I. F.; BERTRAN, C. A.; OSAWA, C. C. Kinetics of the $\gamma \rightarrow \alpha$ -alumina phase transformation by quantitative x-ray diffraction. v. 42, n. 8, p. 2830–2836, 2007. ISSN 0022-2461, 1573-4803. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10853-006-1364-1>.

MAGDALANE, C. M. et al. Synthesis and characterization of tio₂ doped cobalt ferrite nanoparticles via microwave method: Investigation of photocatalytic performance of congo red degradation dye. **Surfaces and Interfaces**, v. 25, p. 101296, 2021. ISSN 2468-0230. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468023021003734>.

MAHARJAN, S. et al. Highly effective hydrophobic solar reflective coating for building materials: Increasing total solar reflectance via functionalized anatase immobilization in an organosiloxane matrix. **Construction and Building Materials**, v. 243, p. 118189, 5 2020. ISSN 09500618.

MAHMOUD, Z. H. et al. Organic chemical nano sensors: synthesis, properties, and applications. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, 2024. ISSN 1678-4375.

MAHY, J. G. et al. Eco-friendly colloidal aqueous sol-gel process for tio₂ synthesis: The peptization method to obtain crystalline and photoactive materials at low temperature. **Catalysts**, v. 11, p. 768, 6 2021. ISSN 2073-4344.

MALIK, M. et al. Biosynthesis of silver nanoparticles for biomedical applications: A mini review. **Inorganic Chemistry Communications**, v. 145, p. 109980, 11 2022. ISSN 13877003.

MALIK, S.; MUHAMMAD, K.; WAHEED, Y. Nanotechnology: A revolution in modern industry. **Molecules**, v. 28, p. 661, 1 2023. ISSN 1420-3049.

MAMAGHANI, A. H.; HAGHIGHAT, F.; LEE, C.-S. Hydrothermal/solvothermal synthesis and treatment of tio₂ for photocatalytic degradation of air pollutants: Preparation, characterization, properties, and performance. **Chemosphere**, v. 219, p. 804–825, 3 2019. ISSN 00456535.

MARCUS, P.; PROTOPOPOFF Élie; MAURICE, V. Surface chemistry and passivation of metals and alloys. In: _____. **Mechanics - Microstructure - Corrosion Coupling**. [S.l.]: Elsevier, 2019. p. 91–120.

MARINESCU, L. et al. Comparative antimicrobial activity of silver nanoparticles obtained by wet chemical reduction and solvothermal methods. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, p. 5982, 5 2022. ISSN 1422-0067.

MARTINS, A. C. et al. Sol-gel synthesis of new tio₂ /activated carbon photocatalyst and its application for degradation of tetracycline. **Ceramics International**, v. 43, p. 4411–4418, 4 2017. ISSN 02728842.

MEI, Z.-G. et al. First principles study of the mechanical properties and phase stability of tio₂. **Computational Materials Science**, v. 83, 2 2014. ISSN 09270256.

MISHRA, B. R.; SUNDARAM, S.; SASIHITHLU, K. Design of radiative cooling paint coating and insights into its sub-ambient cooling behaviour. **Arxiv**, 1 2024.

MITRA, S. et al. Targeted drug delivery in covalent organic nanosheets (cons) via sequential postsynthetic modification. **Journal of the American Chemical Society**, v. 139, p. 4513–4520, 3 2017. ISSN 0002-7863.

MOHAMMADI, Z.; JAFARI, S. M. Detection of food spoilage and adulteration by novel nanomaterial-based sensors. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 286, p. 102297, 12 2020. ISSN 00018686.

MUNIZ-GäAL, L. P. et al. Eficiência térmica de materiais de cobertura. **Ambiente Construído**, v. 18, p. 503–518, 3 2018. ISSN 1678-8621.

NARANGARI, P. R. et al. Surface-tailored inp nanowires via self-assembled au nanodots for efficient and stable photoelectrochemical hydrogen evolution. **Nano Letters**, v. 21, p. 6967–6974, 8 2021. ISSN 1530-6984.

NASI, R. et al. Application of reverse micelle sol–gel synthesis for bulk doping and heteroatoms surface enrichment in mo-doped tio₂ nanoparticles. **Materials**, v. 12, p. 937, 3 2019. ISSN 1996-1944.

NGUYEN, T. A. et al. Effect of nanoparticles on the thermal and mechanical properties of epoxy coatings. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 16, p. 9874–9881, 9 2016. ISSN 15334880.

NGUYEN, T. V. et al. Effects of nano-tio₂ and nano-sio₂ particles on the reflectance and weathering durability of solar heat reflectance coating. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 442, p. 114752, 8 2023. ISSN 10106030.

NIE, X. et al. Doping of tio₂ polymorphs for altered optical and photocatalytic properties. **International Journal of Photoenergy**, v. 2009, 1 2009. ISSN 1110-662X.

NIU, M.; CHENG, D.; CAO, D. Fluorite tio 2 (111) surface phase for enhanced visible-light solar energy conversion. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 118, p. 20107–20111, 9 2014. ISSN 1932-7447.

NORIEGA-LUNA, B. et al. Corrigendum to “applications of dendrimers in drug delivery agents, diagnosis, therapy, and detection”. **Journal of Nanomaterials**, v. 2020, p. 1–7, 1 2020. ISSN 1687-4110.

NORTON, A. M. et al. Direct speciation methods to quantify catalytically active species of alcl 3 in glucose isomerization. **RSC Advances**, v. 8, p. 17101–17109, 2018. ISSN 2046-2069.

NOVO, M. M. M. et al. Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade. **Cerâmica**, v. 60, p. 22–33, 3 2014. ISSN 0366-6913.

NOVOSELOV, K. S. et al. Electric field effect in atomically thin carbon films. **Science**, v. 306, p. 666–669, 10 2004. ISSN 0036-8075.

NUNES, C.; MAHENDRASINGAM, A.; SURYANARAYANAN, R. Quantification of crystallinity in substantially amorphous materials by synchrotron x-ray powder diffractometry. **Pharmaceutical Research**, v. 22, p. 1942–1953, 11 2005. ISSN 0724-8741.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica – Volume 2: Fluidos, Termodinâmica e Ondas**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

OLEIWI, H. F. et al. Comparative study of sol-gel and green synthesis technique using orange peel extract to prepare tio2 nanoparticles. **Baghdad Science Journal**, v. 21, p. 1702, 5 2024. ISSN 2411-7986.

PAGNINI, G.; SAXENA, R. K. **A note on the Voigt profile function**. 2008. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/0805.2274>.

PARADISI, E. et al. Crucible effect on phase transition temperature during microwave calcination of a n-doped tio 2 precursor: Implications for the preparation of tio 2 nanophotocatalysts. **ACS Applied Nano Materials**, v. 6, p. 5448–5459, 4 2023. ISSN 2574-0970.

PARK, C. et al. Hybrid emitters with raspberry-like hollow sio2 spheres for passive daytime radiative cooling. **Chemical Engineering Journal**, Elsevier B.V., v. 459, 3 2023. ISSN 13858947.

PARK, C. et al. Hybrid emitters with raspberry-like hollow sio2 spheres for passive daytime radiative cooling. **Chemical Engineering Journal**, Elsevier B.V., v. 459, 3 2023. ISSN 13858947.

PERERA-MERCADO, Y.; CASTRUITA, G.; SAUCEDO, E. **Síntesis y Caracterización de Alúmina-Alfa vía Sol-Gel: A partir de sistemas acuosos y empleando como precursores Sales de Aluminio**. [S.l.]: LAMPERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. ISBN 978-3-659-01576-2.

PIALAGO, E. J. T. et al. Experimental investigation of the heat transfer performance of capillary-assisted horizontal evaporator tubes with sintered porous hydrophilic copper-carbon nanotube-titanium dioxide (cu-cnt-tio2) composite coatings for adsorption chiller. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 147, p. 118958, 2 2020. ISSN 00179310.

- PIMPINELLI, A.; VILLAIN, J. **Physics of Crystal Growth**. Cambridge University Press, 2010. (Collection Alea-Saclay: Monographs and Texts in Statistical Physics). ISBN 978-0-511-62252-6. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=ruijQgAACAAJ>.
- PINTO, O. M. et al. Advances and challenges in WO_3 nanostructures' synthesis. **Processes**, v. 12, p. 2605, 11 2024. ISSN 2227-9717.
- POPOV, V. Carbon nanotubes: properties and application. **Materials Science and Engineering: R: Reports**, v. 43, p. 61–102, 1 2004. ISSN 0927796X.
- POURAN, H. M. Engineered nanomaterials in the environment, their potential fate and behaviour and emerging techniques to measure them. In: _____. **Handbook of Environmental Materials Management**. [S.l.]: Springer International Publishing, 2019. p. 1–15.
- PRABAKARAN, S.; RAJAN, M. Biosynthesis of nanoparticles and their roles in numerous areas. In: _____. [S.l.]: Elsevier, 2021. p. 1–47.
- PRINS, R. Location of the spinel vacancies in $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 58, p. 15548–15552, 10 2019. ISSN 1433-7851.
- PRINS, R. On the structure of $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. **Journal of Catalysis**, v. 392, p. 336–346, 12 2020. ISSN 00219517.
- QAMAR, O. A. et al. Advances in synthesis of TiO_2 nanoparticles and their application to biodiesel production: A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 460, p. 141734, 3 2023. ISSN 13858947.
- RAJAN, A. S.; SAMPATH, S.; SHUKLA, A. K. An in situ carbon-grafted alkaline iron electrode for iron-based accumulators. **Energy & Environmental Science**, v. 7, p. 1110, 2014. ISSN 1754-5692.
- RASUL, M. G. et al. 2d boron nitride nanosheets for polymer composite materials. **npj 2D Materials and Applications**, v. 5, p. 56, 5 2021. ISSN 2397-7132.
- REIMER, L. **Scanning Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis**. Berlin: Springer Science & Business Media, 1993.
- RESENDE, S. F. **Síntese de materiais compostos $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ via sol-gel para adsorção de água**. 2014. Dissertação (Dissertação (Mestrado)) — Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, MG, 2014. Orientador: Wander Luiz Vasconcelos; Co-orientador: Manuel Houmard; xviii, 115 f., enc.: il.; inclui bibliografias.
- RIM, G. et al. Support pore structure and composition strongly influence the direct air capture of CO_2 on supported amines. **Journal of the American Chemical Society**, v. 145, p. 7190–7204, 4 2023. ISSN 0002-7863.
- RODRIGUEZ-LOYA, J.; LERMA, M.; GARDEA-TORRESDEY, J. L. Dynamic light scattering and its application to control nanoparticle aggregation in colloidal systems: A review. **Micromachines**, v. 15, p. 24, 12 2023. ISSN 2072-666X.
- RODRÍGUEZ-SAN-MIGUEL, D.; MONTORO, C.; ZAMORA, F. Covalent organic framework nanosheets: preparation, properties and applications. **Chemical Society Reviews**, v. 49, p. 2291–2302, 2020. ISSN 0306-0012.

- ROSATI, A.; FEDEL, M.; ROSSI, S. Laboratory scale characterization of cool roof paints: Comparison among different artificial radiation sources. **Progress in Organic Coatings**, v. 161, p. 106464, 12 2021. ISSN 03009440.
- RUDOLPH, M. et al. Thermally induced formation of transition aluminas from boehmite. **Advanced Engineering Materials**, v. 19, 9 2017. ISSN 1438-1656.
- RZAIJ, J. M.; ABASS, A. M. Review on: Tio₂ thin film as a metal oxide gas sensor. **Journal of Chemical Reviews**, v. 2, p. 114–121, 3 2020. ISSN 26766868.
- S, G. K. V.; MAHESHA, M. G. Spectroscopic valuation of phonon lifetime and surface characteristics of zn_{0.96}mg_{0.04}s thin film. **The Journal of Chemical Physics**, v. 157, 7 2022. ISSN 0021-9606.
- SAHMETLIOGLU, E. et al. Synthesis and characterization of oligosalicylaldehyde-based epoxy resins. **Chemical Papers**, v. 60, 1 2006. ISSN 1336-9075.
- SALAZAR, A. n. On thermal diffusivity. **European Journal of Physics**, v. 24, p. 351–358, 7 2003. ISSN 0143-0807.
- SANTOS, P. S.; SANTOS, H. S.; TOLEDO, S. Standard transition aluminas. electron microscopy studies. **Materials Research**, v. 3, p. 104–114, 10 2000. ISSN 1516-1439.
- SCARPELLI, F. et al. Mesoporous tio₂ thin films: State of the art. In: _____. **Titanium Dioxide - Material for a Sustainable Environment**. [S.l.]: InTech, 2018.
- SCHERRER, P. et al. Nachrichten von der gesellschaft der wissenschaften zu göttingen. **Mathematisch-Physikalische Klasse**, v. 2, p. 98–100, 1918.
- SCOTT, A. C. et al. Thermal conductivity of air in the range 312 to 373 k and 0.1 to 24 mpa. **International Journal of Thermophysics**, v. 2, p. 103–114, 6 1981. ISSN 0195-928X.
- SHAH, V. et al. Room-temperature chemiresistive gas sensing of sno₂ nanowires: A review. **Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials**, v. 32, p. 741–772, 3 2022. ISSN 1574-1443.
- SHAMSUTDINOV, N.; BÖTTGER, A.; THIJSSE, B. Grain coalescence and its effect on stress and elasticity in nanocrystalline metal films. **Acta Materialia**, v. 55, p. 777–784, 2 2007. ISSN 13596454.
- SHARMA, N. et al. A review of silver nanowire-based composites for flexible electronic applications. **Flexible and Printed Electronics**, v. 7, p. 014009, 3 2022. ISSN 2058-8585.
- SHOUKAT, R.; KHAN, M. I. Carbon nanotubes: a review on properties, synthesis methods and applications in micro and nanotechnology. **Microsystem Technologies**, v. 27, p. 4183–4192, 12 2021. ISSN 0946-7076.
- SILVERSTEIN, R. et al. **Spectrometric Identification of Organic Compounds**. [S.l.]: Wiley, 2014.
- SMAISIM, G. F. et al. Properties and application of nanostructure in liquid crystals: Review. **BioNanoScience**, v. 13, p. 819–839, 6 2023. ISSN 2191-1630.

- SMITH, B. C. **Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy**. [S.l.]: CRC Press, 2011.
- SMITH, D. S. et al. Thermal conductivity of porous materials. **Journal of Materials Research**, v. 28, p. 2260–2272, 9 2013. ISSN 0884-2914.
- SOCRATES, G. Infrared and raman characteristic group frequencies: tables and charts. **Journal of the American Chemical Society**, v. 124, p. 1830–1830, 2 2002. ISSN 0002-7863.
- SPECAC. **The Basics of ATR-FTIR spectroscopy**. 2025.
- STANLEY, C. M. **Heat flow and Kapitza resistance across a Si/SiO₂ interface: A first principles study**. 5 2018. Tese (Doutorado) — Texas Tech University, 5 2018.
- STETEFELD, J.; MCKENNA, S. A.; PATEL, T. R. Dynamic light scattering: a practical guide and applications in biomedical sciences. **Biophysical Reviews**, v. 8, p. 409–427, 12 2016. ISSN 1867-2450.
- STUART, B. H. **Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2004.
- SUBRAMANI, M.; UMAMAHESWARI, S. Ftir analysis of bacterial mediated chemical changes in polystyrene foam. **Meenashi Subramani and Umamaheswari Sepperumal**, v. 7, p. 55–61, 06 2016.
- Swabian Instruments. **Dynamic Light Scattering (DLS)**. 2025. Acesso em: 30 mar. 2026. Disponível em: <https://www.swabianinstruments.com/applications/dynamic-light-scattering/>.
- TALONI, A. et al. Size effects on the fracture of microscale and nanoscale materials. **Nature Reviews Materials**, v. 3, p. 211–224, 7 2018. ISSN 2058-8437.
- TATARCHUK, T. et al. Photocatalytic degradation of dyes using rutile tio₂ synthesized by reverse micelle and low temperature methods: real-time monitoring of the degradation kinetics. **Journal of Molecular Liquids**, v. 342, p. 117407, 11 2021. ISSN 01677322.
- TERMENTZIDIS, K. Thermal conductivity anisotropy in nanostructures and nanostructured materials. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 51, p. 094003, 3 2018. ISSN 0022-3727.
- THEJUS, P.; KRISHNAPRIYA, K.; NISHANTH, K. Nir reflective, anticorrosive magenta pigment for energy saving sustainable building coatings. **Solar Energy**, v. 222, p. 103–114, 7 2021. ISSN 0038092X.
- TIAN, D.; ZHANG, J.; GAO, Z. The advancement of research in cool roof: Super cool roof, temperature-adaptive roof and crucial issues of application in cities. **Energy and Buildings**, v. 291, p. 113131, 7 2023. ISSN 03787788.
- TOLEDO, R. R. et al. Study of arsenic (v) removal of water by using agglomerated alumina. **Nova Scientia**, v. 11, p. 01–25, 11 2019. ISSN 2007-0705.
- TOLEDO, R. R. et al. Effect of aluminum precursor on physicochemical properties of al₂o₃ by hydrolysis/precipitation method. **Nova Scientia**, v. 10, p. 83–99, 5 2018. ISSN 2007-0705.
- TSELIKOV, G. I. et al. Transition metal dichalcogenide nanospheres for high-refractive-index nanophotonics and biomedical theranostics. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 119, 9 2022. ISSN 0027-8424.

- TSUJI, M. et al. Preparation of gold nanoplates by a microwave-polyol method. **Chemistry Letters**, v. 32, p. 1114–1115, 12 2003. ISSN 0366-7022.
- TZOU, D. Y. **Macro- to Microscale Heat Transfer**. [S.l.]: Wiley, 2014. ISBN 9781118818220.
- ULLAH, R.; AHMAD, I.; ZHENG, Y. Fourier transform infrared spectroscopy of “bisphenol a”. **Journal of Spectroscopy**, v. 2016, p. 1–5, 2016. ISSN 2314-4920.
- ULUSOY, U. A review of particle shape effects on material properties for various engineering applications: From macro to nanoscale. **Minerals**, v. 13, p. 91, 1 2023. ISSN 2075-163X.
- UTSEV, T. et al. Application of nanomaterials in civil engineering. **Materials Today: Proceedings**, v. 62, p. 5140–5146, 2022. ISSN 22147853.
- VELOSO, R. C. et al. Nanomaterials with high solar reflectance as an emerging path towards energy-efficient envelope systems: a review. **Journal of Materials Science**, v. 56, p. 19791–19839, 12 2021. ISSN 0022-2461.
- VERNOTTE, P. Les paradoxes de la theorie continue de l'equation de la chaleur. **Comptes rendus**, v. 246, p. 3154, 1958.
- VIDAL, B. de C.; MELLO, M. L. S. Collagen type i amide i band infrared spectroscopy. **Micron**, v. 42, p. 283–289, 4 2011. ISSN 09684328.
- VISHWAKARMA, A. K.; YADAVA, L. Fabrication and characterization of nano-tio₂ thin film using physical vapor deposition method. **Advanced Science, Engineering and Medicine**, v. 10, n. 6-7, p. 726–726, 2018.
- VOORHEES, P. W. The theory of ostwald ripening. **Journal of Statistical Physics**, v. 38, p. 231–252, 1 1985. ISSN 0022-4715.
- VOROBJOVA, A. et al. The influence of the synthesis conditions on the magnetic behaviour of the densely packed arrays of ni nanowires in porous anodic alumina membranes. **RSC Advances**, v. 11, p. 3952–3962, 2021. ISSN 2046-2069.
- WAGNER, R. S.; ELLIS, W. C. Vapor-liquid-solid mechanism of single crystal growth. **Applied Physics Letters**, v. 4, p. 89–90, 3 1964. ISSN 0003-6951.
- WANG, H. et al. Nanoparticles-modified polymer-based solar-reflective coating as a cooling overlay for asphalt pavement. **International Journal of Smart and Nano Materials**, v. 4, p. 102–111, 6 2013. ISSN 1947-5411.
- WANG, L.; YU, J. Principles of photocatalysis. In: _____. [S.l.]: Elsevier, 2023. p. 1–52.
- WANG, N.; CAI, Y.; ZHANG, R. Growth of nanowires. **Materials Science and Engineering: R: Reports**, v. 60, p. 1–51, 3 2008. ISSN 0927796X.
- WANG, W.-X. et al. Theoretical study on martensitic-type transformation of rutile, columbite, and baddeleyite phase of tio₂. **EPL (Europhysics Letters)**, v. 134, p. 46001, 5 2021. ISSN 0295-5075.
- WANG, X.; DONG, P.; CHEN, S. Preparation of macroporous al₂o₃ by template method. **Acta Physico-Chimica Sinica**, v. 22, p. 831–835, 7 2006. ISSN 18721508.

WANG, X. et al. Zeolite nanosheets for catalysis. **Chemical Society Reviews**, v. 51, p. 2431–2443, 2022. ISSN 0306-0012.

WARZOHA, R. J. et al. Nanoscale thermal transport in amorphous and crystalline gete thin-films. **Applied Physics Letters**, v. 115, 7 2019. ISSN 0003-6951.

WEN, B. et al. Top-down fabrication of ordered nanophotonic structures for biomedical applications. **Advanced Materials Interfaces**, v. 11, 2 2024. ISSN 2196-7350.

Wikipedia contributors. **Planck's law — Wikipedia, The Free Encyclopedia**. 2025. [Online; accessed 30-March-2025]. Disponível em: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Planck%27s_law&oldid=1280110662.

WILLIAMSON, G.; HALL, W. X-ray line broadening from filed aluminium and wolfram. **Acta Metallurgica**, v. 1, p. 22–31, 1 1953. ISSN 00016160.

XIE, Y. et al. The effect of novel synthetic methods and parameters control on morphology of nano-alumina particles. **Nanoscale Research Letters**, v. 11, p. 259, 12 2016. ISSN 1931-7573.

YANG, C. C.; MAI, Y.-W. Thermodynamics at the nanoscale: A new approach to the investigation of unique physicochemical properties of nanomaterials. **Materials Science and Engineering: R: Reports**, v. 79, p. 1–40, 2014. ISSN 0927-796X. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927796X14000242>.

YANG, J.; WANG, Z.-H.; KALOUSH, K. E. Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a 'silver bullet' for mitigating urban heat island? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 830–843, 7 2015. ISSN 13640321.

YANG, L. et al. High thermoelectric figure of merit of porous si nanowires from 300 to 700 k. **Nature Communications**, v. 12, p. 3926, 6 2021. ISSN 2041-1723.

YOUNGBLOOD, G. et al. The transverse thermal conductivity of 2d-sicf/sic composites. **Composites Science and Technology**, v. 62, p. 1127–1139, 7 2002. ISSN 02663538.

ZAKIR, O. et al. A review on tio2 nanotubes: synthesis strategies, modifications, and applications. **Journal of Solid State Electrochemistry**, v. 27, p. 2289–2307, 9 2023. ISSN 1432-8488.

ZHAI, X. et al. Strain-induced structural phase transition, ferromagnetic and optical properties of bi 1- x tb x feo 3 thin films. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 48, p. 385002, 9 2015. ISSN 0022-3727.

ZHANG, A.; LI, Y. Thermal conductivity of aluminum alloys—a review. **Materials**, v. 16, p. 2972, 4 2023. ISSN 1996-1944.

ZHANG, P. et al. Sub-10 nm corrugated tio 2 nanowire arrays by monomicelle-directed assembly for efficient hole extraction. **Journal of the American Chemical Society**, v. 144, p. 20964–20974, 11 2022. ISSN 0002-7863.

ZHANG, X. et al. Facile fabrication of sio2 nanotubes coated with nitrogen-doped carbon layers as high-performance anodes for lithium-ion batteries. **Ceramics International**, v. 47, p. 1373–1380, 1 2021. ISSN 02728842.

ZHANG, Y. et al. A review on reflective materials for cementitious composites. **Journal of Building Engineering**, v. 101, p. 111877, 5 2025. ISSN 23527102.

ZHANG, Z.; LI, J. C.; JIANG, Q. Modelling for size-dependent and dimension-dependent melting of nanocrystals. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 33, n. 20, p. 2653, oct 2000. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1088/0022-3727/33/20/318>.

ZHAO, J. et al. Al₂O₃ hollow nanospheres prepared by fluidized bed chemical vapor deposition and further heat treatment. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 102, p. 6463–6468, 11 2019. ISSN 0002-7820.

ZHAO, S.; HAI, G.; ZHANG, X. An analysis of the influence of cool roof thermal parameters on building energy consumption based on orthogonal design. **Buildings**, v. 14, p. 28, 12 2023. ISSN 2075-5309.

ZHOU, B. et al. GaN nanowires/si photocathodes for CO₂ reduction towards solar fuels and chemicals: advances, challenges, and prospects. **Science China Chemistry**, 2 2023. ISSN 1674-7291.

ZHOU, W. et al. Thermal conductivity of amorphous materials. **Advanced Functional Materials**, v. 30, 2 2020. ISSN 1616-301X.

ZIVA, A. Z. et al. Recent progress on the production of aluminum oxide (Al₂O₃) nanoparticles: A review. **Mechanical Engineering for Society and Industry**, v. 1, p. 54–77, 9 2021. ISSN 2798-5245.

ZOU, C. et al. Template-free fabrication of hierarchical porous carbon by constructing carbonyl crosslinking bridges between polystyrene chains. **J. Mater. Chem.**, v. 20, p. 731–735, 2010. ISSN 0959-9428.

ZUCKERMAN, N.; SHILOAH, N.; LENSKY, I. M. Quantifying the impact of vertical greenery systems (vgs) on mediterranean urban microclimate during heat wave events. **Building and Environment**, v. 267, p. 112151, 1 2025. ISSN 03601323.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications**. 5th. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015. ISBN 978-0073398181.

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO

Nome	Odeilson Moraes Pinto
Data de nascimento	04/06/2001
Nacionalidade	Brasileiro
Nome em citações bibliográficas	PINTO, O. M.
Curriculo Lattes	http://lattes.cnpq.br/2980830867244610
ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9025-743X
ResearchGate	https://www.researchgate.net/profile/Odeilson-Pinto

FORMAÇÃO ACADÊMICA

2020–2024	Graduação em Física (Licenciatura). Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Campus Januária.
------------------	---

PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA

PINTO, O. M.; HEREDIA, J. R.; GONÇALVES, R. A. Simulações em Python: uma alternativa para o ensino de física. *Revista Delos*, v. 17, n. 60, p. e2349, 23 out. 2024.

PINTO, O. M.; TOLEDO, R. P.; EMATNE, H.; GONÇALVES, R. A.; NUNES, R. S.; JOSHI, N.; BERENGUE, O. M. Advances and Challenges in WO₃ Nanostructures' Synthesis. *Processes*, v. 12, n. 11, p. 2605, 20 nov. 2024.

PINTO, O. M.; ACERO, G.; AGUIAR, E. C.; BERENGUE, O. M.; SIMÕES, A. Z. Monitoring the sensing response towards CO detection of ferroelectric La-doped BiFeO₃-based semiconductors. *Ceramics International*, set. 2025.

SILVA, E. B.; SANTOS M. F. R.; PINTO, O. M.; GONÇALVES, R. A. Germinação de sementes de quiabo: análise de propriedades termodinâmicas. *Revista Agronomia Brasileira*, dez. 2025.

PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS

III Workshop da Pós-Graduação em Física e Astronomia. Síntese e caracterização de TiO₂. 2024. UNESP – Guaratinguetá/SP (Workshop).

IV Workshop da Pós-Graduação em Física e Astronomia. Síntese de alumina porosa via precipitação química com *template* de poliestireno. 2025. UNESP – Guaratinguetá/SP (Workshop).

Introdução à Microscopia Eletrônica de Transmissão e Microanálise. 2025. UFSCar – São Carlos/SP (Minicurso).