



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

**Gabriela Chaves de Souza**

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO EM QUÍMICA TECNOLÓGICA:  
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE ÓXIDOS SEMICONDUTORES PARA  
CONVERSÃO DE ENERGIA**

**Belo Horizonte, Janeiro, 2025**



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

**Gabriela Chaves de Souza**

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO EM QUÍMICA TECNOLÓGICA:  
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE ÓXIDOS SEMICONDUTORES PARA  
CONVERSÃO DE ENERGIA**

Estágio realizado no LaBScam - Laboratório  
de Sustentabilidade de Processos e  
Controle Ambiental

Centro Federal de Educação Tecnológica de  
Minas Gerais – Campus Gameleira -  
Endereço: Av. Amazonas, 5855 - Gameleira,  
Belo Horizonte - MG, 30510-000

**Belo Horizonte, Janeiro, 2025**



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO EM QUÍMICA TECNOLÓGICA:  
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE ÓXIDOS SEMICONDUTORES PARA  
CONVERSÃO DE ENERGIA

Gabriela Chaves de Souza

Gabriela Chaves de Souza

Flávio Santos Freitas

Flávio Santos Freitas

Belo Horizonte, Janeiro, 2025



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO EM QUÍMICA TECNOLÓGICA:  
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE ÓXIDOS SEMICONDUTORES PARA  
CONVERSÃO DE ENERGIA**

**DECLARAÇÃO**

Eu, Flávio Santos Freitas, como supervisor do estágio obrigatório, estou ciente deste relatório de estágio supervisionado, redigido pelo estagiário Gabriela Chaves de Souza, concordo com as informações descritas, conforme sua veracidade e aprovo as mesmas. Autorizo a publicação deste relatório no site do curso de Química Tecnológica do CEFET-MG.

Flávio Santos Freitas

Belo Horizonte, Janeiro, 2025

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Semicondutores de óxidos metálicos .....</b>	<b>2</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS (METODOLOGIA): .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Rotina laboratorial.....</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Preparação dos óxidos metálicos semicondutores .....</b>	<b>5</b>
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>5</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>6</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O estágio consiste na realização de atividade que possibilitam a preparação e desenvolvimento de materiais fotoativos e montagem de dispositivos utilizados na conversão de energia solar. A síntese é realizada no laboratório compartilhado LaBScam (Laboratório de Sustentabilidade de Processos e Controle Ambiental), enquanto as caracterizações fotoeletroquímicas são realizadas nos laboratórios do grupo GEMAtE (Grupo de Estudo em Materiais e Armazenamento de Energia), ambos localizados no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Campus Gameleira.

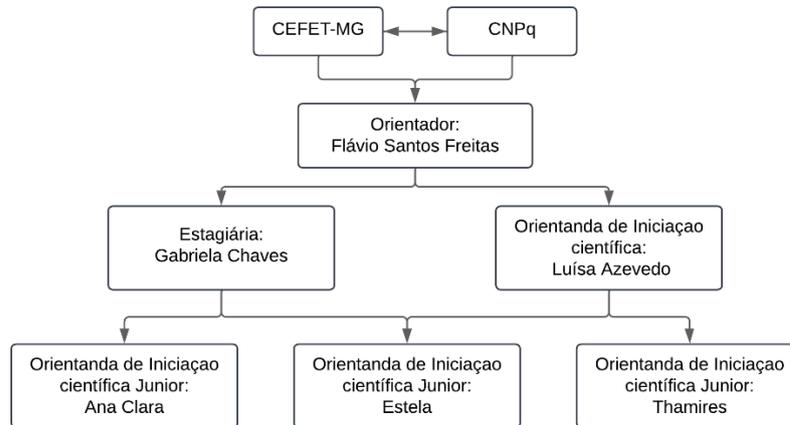
O laboratório do grupo LaBScam contém equipamentos básicos de laboratório como balanças analíticas, vidrarias, chapas, centrífugas, destilador, geladeira, estufa, entre outros. Esse espaço foi destinado para a preparação dos óxidos e montagem dos dispositivos.

O GEMAtE conta com dois laboratórios, sendo o primeiro de via úmida que contém equipamentos básicos de laboratório, como vidrarias, chapas, capela, entre outros, destinados principalmente a síntese, manipulação e preparação de amostras. O segundo (instrumental) contém equipamentos como potenciostatos e cicladores multicanais, voltados para a caracterização completa de sistemas eletroquímicos.

O campus abriga diferentes laboratórios de pesquisa com foco nas áreas da química orgânica, inorgânica, físico-química, química analítica, química ambiental além do desenvolvimento de produtos e processos. Os projetos de pesquisa desenvolvidos no campus são realizados por grupos de pesquisa constituídos por membros da pós-graduação (mestrado e doutorado em química – PPGMQ e mestrado em tecnologia de produtos e processos – TPP), assim como alunos de cursos de graduação e cursos técnicos, por meio de projetos de iniciação científica e estágios.

A equipe responsável pelo desenvolvimento do projeto “compósitos de óxidos duplos de zinco e alumínio e pentóxido de nióbio para conversão de energia” é constituída pelo coordenador do projeto de pesquisa, uma aluna de iniciação científica uma estagiária e três alunas de iniciação científica júnior como observado no organograma a seguir.

Figura 1 – Organograma da equipe do projeto



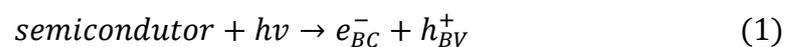
Fonte: Autoria própria, 2024

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Semicondutores de óxidos metálicos

Os filmes de óxidos metálicos são camadas finas desses materiais depositados em superfícies sólidas, comumente utilizados os FTO's (vidro condutor com uma camada de óxido de estanho dopado com flúor). Os óxidos metálicos mais comuns de serem utilizados são os compostos por metais de transição, como o dióxido de titânio, pentóxido de nióbio, óxido de zinco e o óxido de estanho (Rathnayakage et al., 2023).

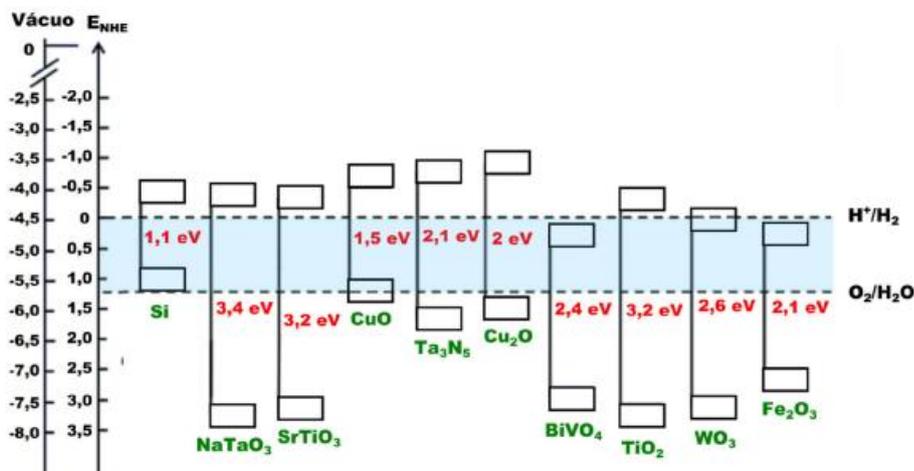
Semicondutores de óxidos metálicos são materiais que apresentam uma descontinuidade de energia entre a banda de valência e a banda de condução (band-gap). Quando a energia irradiada supera a energia do band-gap, o material adquire a capacidade de promover a locomoção dos elétrons entre as camadas de valência e de condução por meio da absorção de luz (Prakruthi et al., 2022).



Ao promover a transição do elétron ( $e_{BC}^-$ ) da banda de valência (BV) para a de condução (BC) há a geração de buracos na camada de valência ( $h_{BV}^+$ ), o que origina um par elétron-buraco que podem ser recombinados diretamente ou migrar para a superfície do material, possibilitando a indução de reações de oxirredução (F. Vitoreti et al., 2017). A partir desse mecanismo, diferentes aplicações podem ser desenvolvidas, entre elas a utilização desses materiais como fotocatalisadores, aplicações optoeletrônicas, assim como aplicações na área ambiental e da saúde (Nesheva, 2023).

A diferença de energia do band gap para diferentes semicondutores pode ser observadas na figura 2, a qual compara as o band gap dos óxidos com eletrodo padrão de hidrogênio ( $E_{NHE}$ ).

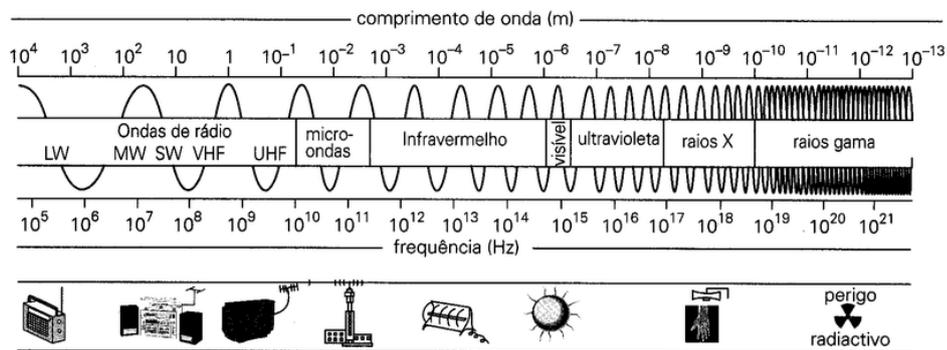
Figura 2 – Comparação dos diferentes band-gaps dos óxidos semicondutores em relação ao potencial redox da água



Fonte: Machado et al., 2023

Cada óxido apresenta um valor de energia de band-gap diferente, fator que determina a quantidade de energia necessária para realizar a excitação do elétron e, conseqüentemente, a faixa do espectro eletromagnético em que o semicondutor deverá estar exposto para promover esse mecanismo no material (Machado et al., 2023).

Figura 3 – Espectro eletromagnético



Fonte: Leite, D.; Prado R., 2012

De acordo com a relação de Planck,  $E = h\nu$  onde  $E$  é a energia da onda eletromagnética,  $h$  é a constante de Planck e  $\nu$  é a frequência da onda. Pela interpretação da equação, a energia da onda eletromagnética, é diretamente proporcional com a frequência (D.F. Shriver; C. H. Langford, 2008). Considerando que o semicondutor absorverá a energia fornecida pela onda eletromagnética para promover a excitação do elétron, quanto maior a energia do band-gap do material, menor será a faixa do espectro eletromagnético aproveitado para conversão de energia, fator que está diretamente relacionado com a eficiência dos dispositivos fotovoltaicos gerados (Baccaro; Gutz, 2017).

Os óxidos metálicos semicondutores são materiais muito versáteis tendo importantes aplicações em sistemas fotovoltaicos como eletrodos e contraeletrodos em células fotoeletroquímicas (Baccaro; Gutz, 2017). Por conta disso, esse tipo de material se tornou um importante objeto de estudo, por se tornar uma importante alternativa para a utilização na geração de energia renovável, reduzindo a demanda de combustíveis fósseis. O projeto também promove o alcance de alguns dos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) da agenda 2030 da ONU (Organização das Nações Unidas), de modo específico os objetivos 7, energia limpa e acessível e 13, ação conta a mudança global do clima (Organização das Nações Unidas, 2025).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS (METODOLOGIA):**

#### **3.1 Rotina laboratorial**

O estagiário ficou responsável pela calibração de equipamentos do laboratório como balanças analíticas e pHmetros, assim como pela organização do ambiente de trabalho, além de realizar cotações de reagentes e equipamentos diários.

#### **3.2 Preparação dos óxidos metálicos semicondutores**

Foram realizados planejamentos de rotas de síntese e o desenvolvimento de técnicas de preparação de soluções precursoras dos óxidos metálicos semicondutores utilizando o método de sol-gel. A solução precursora foi preparada utilizando uma chapa de aquecimento com agitação magnética para promover o aquecimento e homogeneização da solução e a temperatura do meio reacional foi monitorada utilizando um termômetro.

A preparação dos filmes dos óxidos semicondutores a partir da deposição da solução precursora, consiste na deposição da solução diretamente ao vidro condutor limpo. Para realizar esse procedimento, inicialmente a área de deposição é delimitada por meio de uma fita, o comprimento e a largura do filme são medidos utilizando uma régua e a área ativa total é calculada. Após o preparo do vidro condutor, a solução precursora é depositada com o auxílio de uma espátula e dispersada utilizando um bastão de vidro.

### **4 RESULTADOS**

Para a execução do projeto, inicialmente são realizados estudos bibliográficos para a determinação dos parâmetros necessários para o preparo dos materiais. A rotina diária consiste em montagens de filmes finos utilizando soluções precursoras dos óxidos metálicos que são depositadas posteriormente em vidros condutores.

Os filmes obtidos foram expostos a diferentes condições externas mudando as condições de temperatura umidade relativa, tratamento térmico, entre outros, para

determinação dos parâmetros fundamentais para a formação dos filmes dos óxidos trabalhados. Os melhores resultados de preparo, ou seja, as amostras que apresentaram homogeneidade nos filmes formados, são separados e os parâmetros que são necessários para a formação são tabelados e as amostras obtidas com sucesso utilizadas para a montagem dos dispositivos fotovoltaicos.

Os dispositivos obtidos são armazenados longe de fontes de calor e umidade para posteriores análises fotoeletroquímicas, como voltametria cíclica e impedância, para determinação de fotoatividade dos materiais. Caracterizações por microscopia eletrônica de varredura e difratometria de raios X são utilizadas para determinar as características estruturais do material e elucidação das fases cristalinas presentes em cada amostra.

## 5 CONCLUSÃO

Por meio do estágio foi possível elucidar importantes conceitos relacionados aos eixos de físico-química e química inorgânica. Os principais conceitos envolvidos no projeto constituíram na produção de semicondutores e desenvolvimento de dispositivos fotoeletroquímicos além de promover a prática de atividades rotineiras de um laboratório de química.

## REFERÊNCIAS

BACCARO, A.; GUTZ, I. FOTOELETROCATÁLISE EM SEMICONDUCTORES: DOS PRINCÍPIOS BÁSICOS ATÉ SUA CONFORMAÇÃO À NANOESCALA. **Química Nova**, 2017.

C. S. MACHADO, L. E. et al. Solar Light as the Energy Source for the Generation of Clean and Renewable Fuel: A View on the Photoelectrocatalytic Water Splitting. **Revista Virtual de Química**, v. 15, n. 5, p. 1028–1042, 2023.

D.F. SHRIVER, P. W. A.; C. H. LANGFORD. **Química inorgânica**. 3ª ed. [s.l.: s.n.].

F. VITORETI, A. B. et al. Titanium dioxide application in solar cells. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 4, p. 1481–1510, 2017.

KANANKE UDUBOKKE RATHNAYAKAGE, R. S. R. et al. Fluorine-Doped Tin Oxide Thin Films with High Surface Conductance and Low Transparency for Boosting Performance in Dye-Sensitized Solar Cell Applications. **ACS Applied Energy Materials**, v. 6, n. 16, p. 8336–8348, 28 ago. 2023.

Leite, Diego; Prado, Rogerio. (2012). Infrared spectroscopy: A presentation for high school students. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. 34. 1-9. 10.1590/S1806-11172012000200015.

NESHEVA, D. Electron and Neutron Beam Irradiation Effects in Homogeneous and Nanostructured Oxides. **ACS Omega**, v. 8, n. 14, p. 12603–12612, 11 abr. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (Brasil). Nações Unidas Brasil. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil: Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília, DF, Brasil, 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 30 jan. 2025.

PRAKRUTHI, K. et al. Recent advances in photocatalytic remediation of emerging organic pollutants using semiconducting metal oxides: an overview. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 4, p. 4930–4957, jan. 2022.