



Nanoestruturas para células solares de 3^a geração para a produção de hidrogénio verde

Gabriel Fernandes

Manuel Camelo

Sara Lisboa

Sofia Ramos

Monitores: João Freitas, Sofia Gonçalves

Objetivos

- Conhecer fontes de **energia renováveis** alternativas aos **combustíveis fósseis**
- Compreender o papel das **células fotoeletroquímicas** na produção de **hidrogénio verde**
- Estudar a **hematite** enquanto **semicondutor**, utilizando as técnicas:
 - Curvas j-V (densidade de corrente – potencial)
 - Difração por raios-X (XRD)
 - Microscópio eletrónico de varredura (SEM)

Motivação

- Diminuir o uso de combustíveis fósseis (esgotáveis)
- Não aumentar o efeito de estufa
- Aumentar a produção de energia verde
- Solução para a crise energética
- Combater as alterações climáticas



Figura 1

Semiconductor

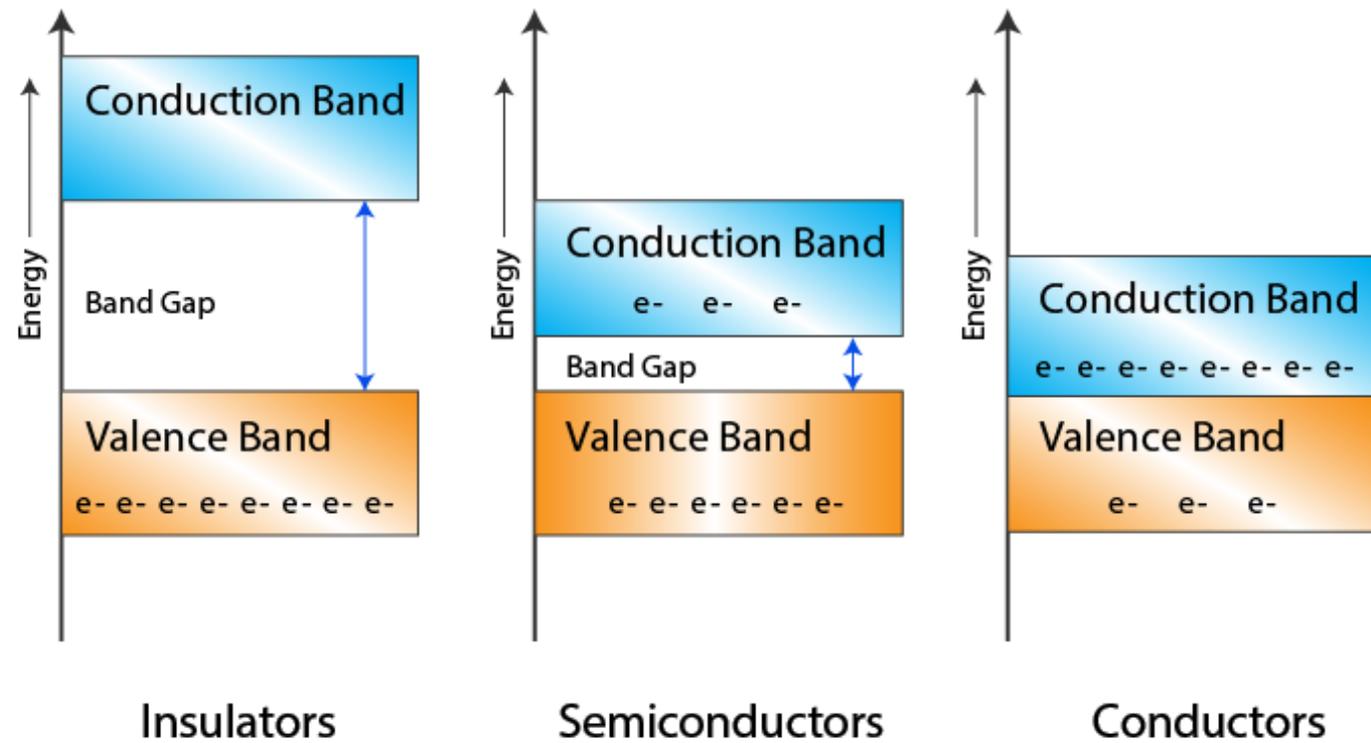


Figura 2 – Esquema de Isoladores, semicondutores e condutores

Hematite

Vantagens

- Band Gap pequena
- Absorve até 40% do espectro solar
- Estabilidade à fotocorrosão
- Abundante na natureza
- Reduzido custo
- Não tóxico

Desvantagens

- Fraca condutividade
- Baixa mobilidade de cargas
- Baixo comprimento de difusão das lacunas
- Elevada recombinação dos elétrons e lacuna

Como culmatar as desvantagens

Nanoestruturação

- Aumento da área de superfície entre o semicondutor e eletrólito
- Aumento da eficiência da coleção de cargas
- Aumento da produção de hidrogénio

Dopagem

- Promove a transferência de cargas

Células fotoeletroquímicas

- i. O sol promove a separação de cargas no semicondutor
- ii. Os e^- vão para o FTO e as h^+ para o eletrólito
- iii. Os e^- são conduzidos para o contra-elétrodo
- iv. Os e^- produzem hidrogénio enquanto as h^+ produzem oxigénio

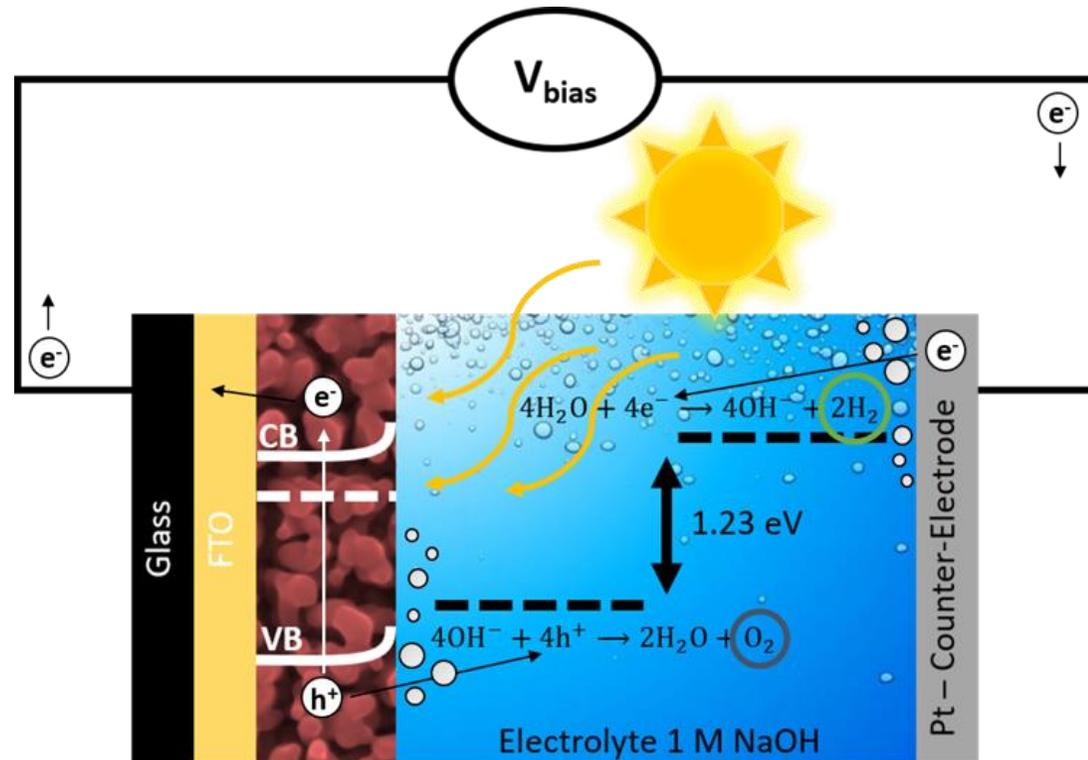


Figura 3 – Funcionamento da célula fotoeletroquímica

Amostras Fabricadas

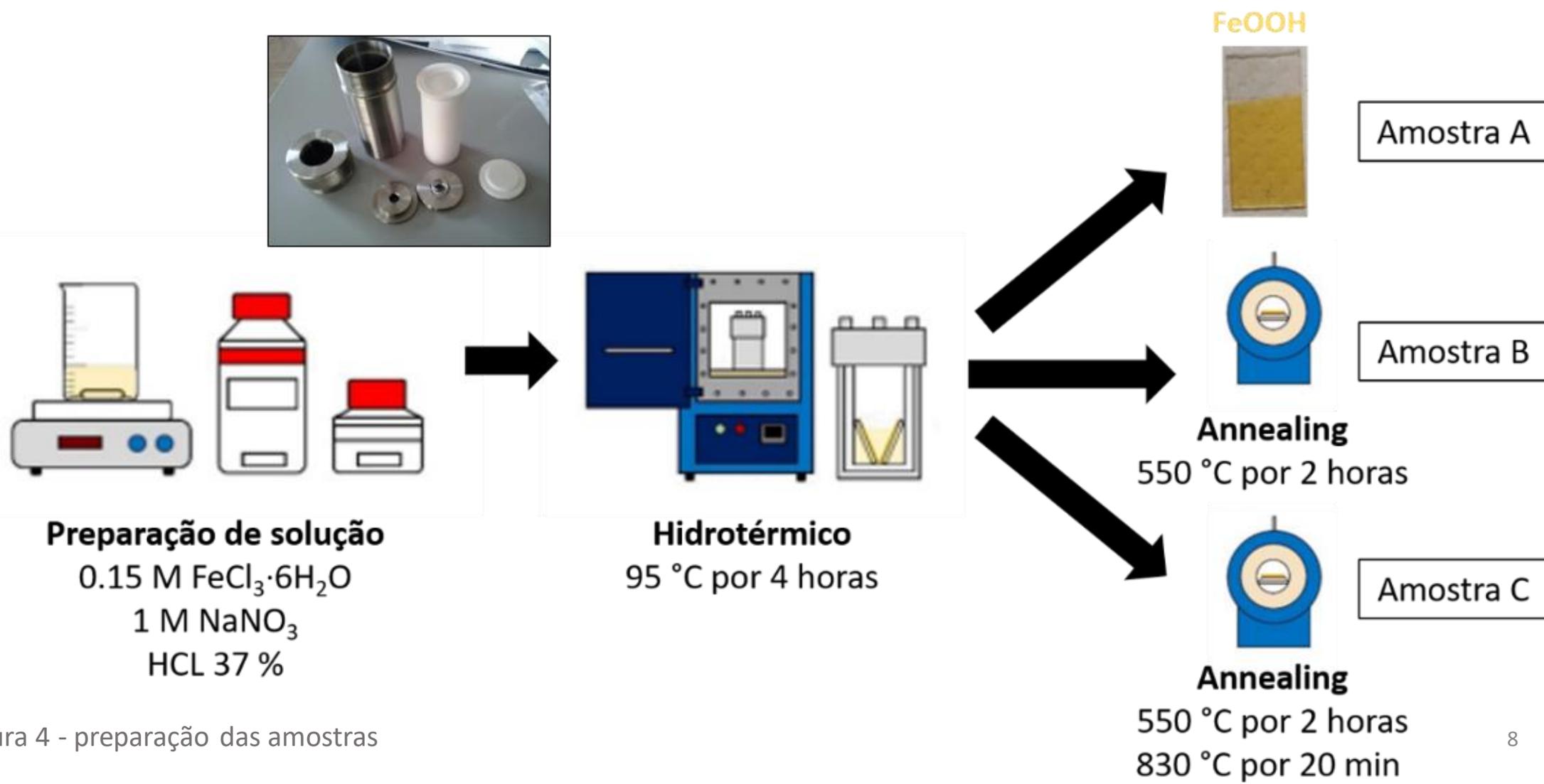
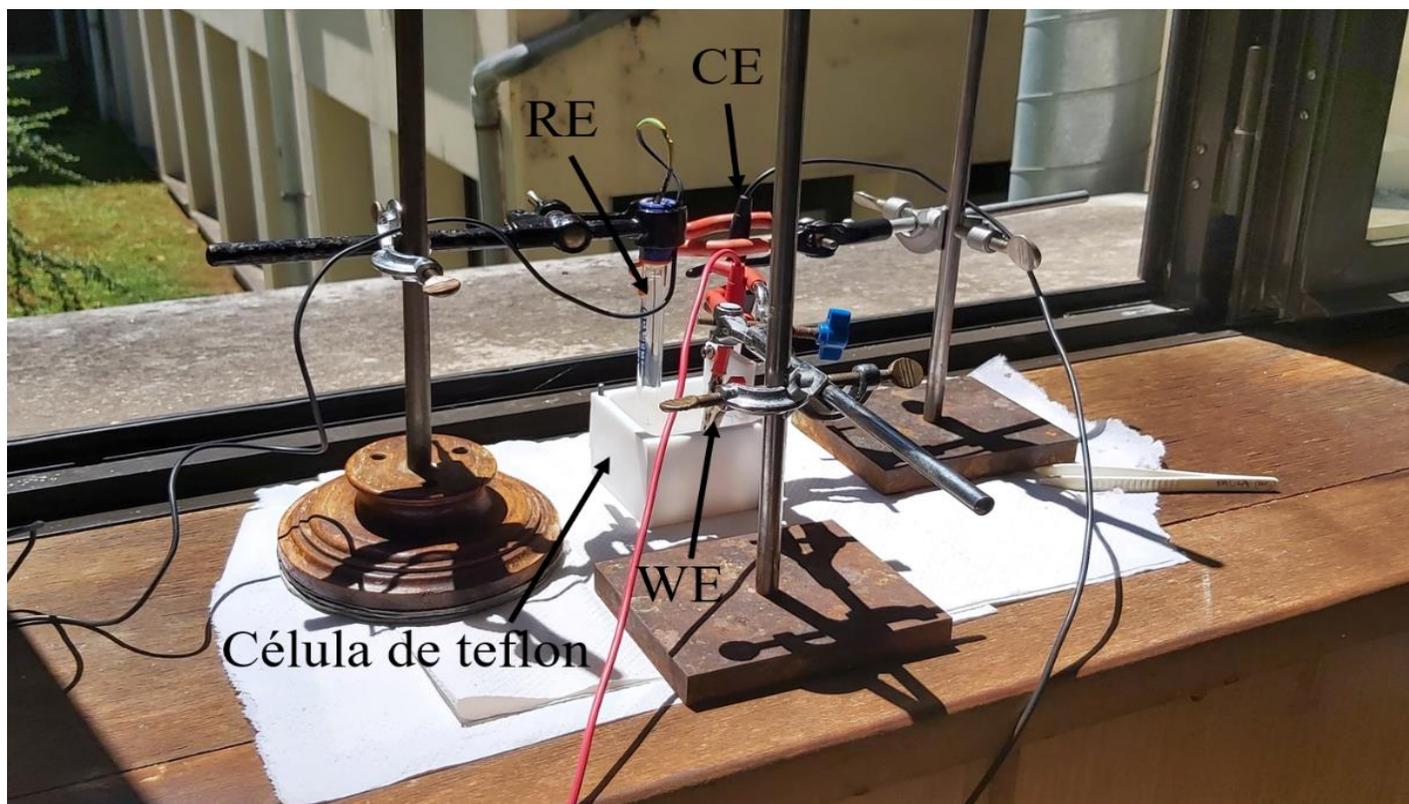


Figura 4 - preparação das amostras

Montagem Experimental



Elérolitose elétrodos utilizados:

- Eletrólito- NaOH
- Elétrodo de referência- Ag/AgCl
- Elétrodo de trabalho- Amostras
- Contra-elétrodo- Pt

Figura 5 - medição das curvas I-V

Curvas j-V

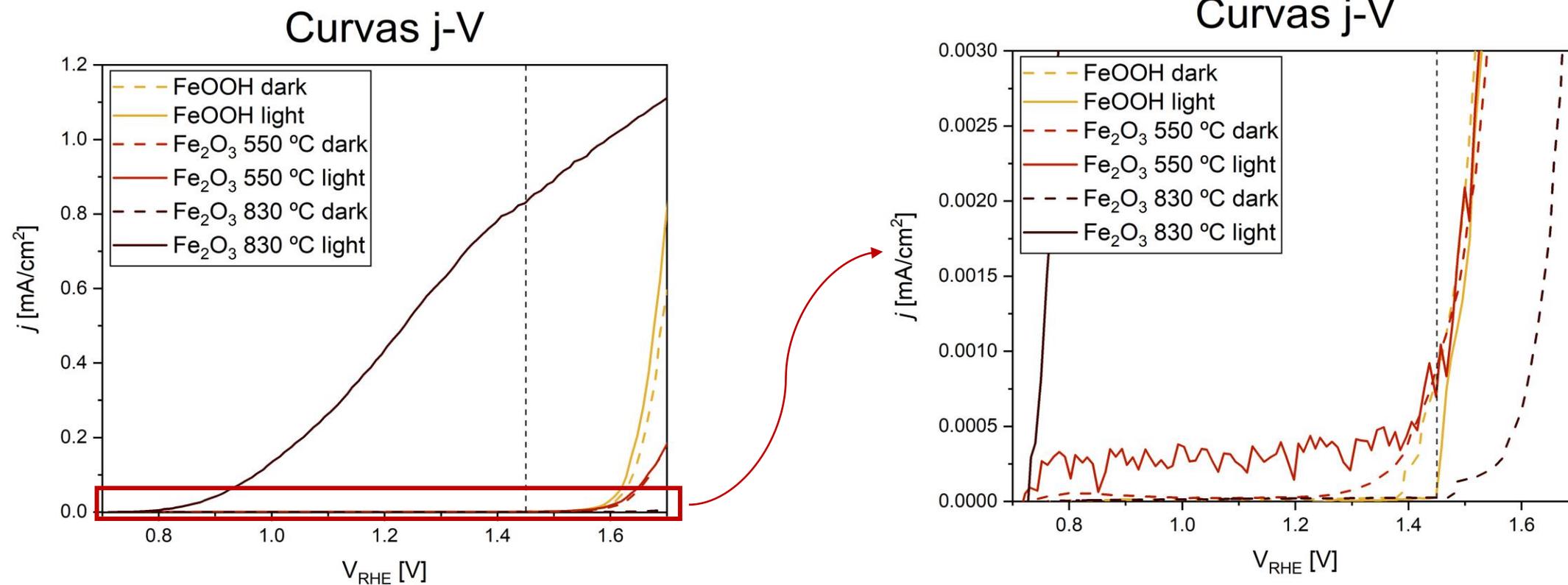


Figura 6- Curvas j-V das amostra A, amostra B e amostra C.

Curvas j-V

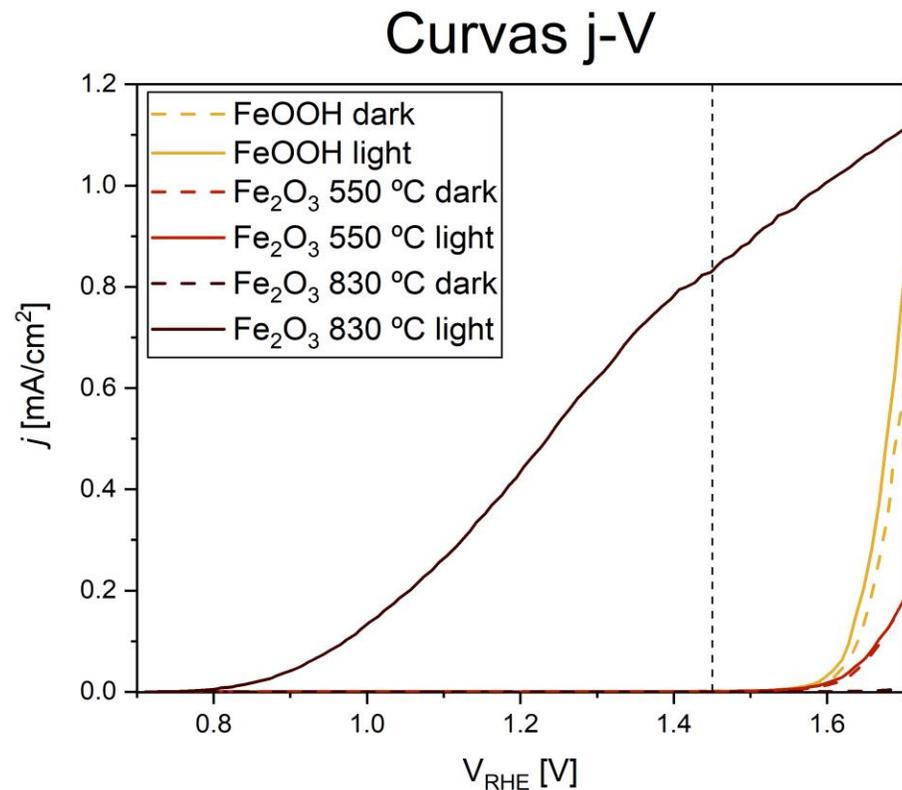


Figura 6- Curvas j-V das amostra A, amostra B e amostra C.

j a $1.45 V_{RHE}$

A – $j = 2,786 \times 10^{-5} \text{ mA/cm}^2$

B – $j = 6,964 \times 10^{-4} \text{ mA/cm}^2$

C – $j = 0,843 \text{ mA/cm}^2$



V_{onset}

A – $V_{onset} = 1,56 \text{ V}$

B – $V_{onset} = 1,56 \text{ V}$

C – $V_{onset} = 0,80 \text{ V}$

O annealing e a dopagem fazem aumentar a fotocorrente e diminuir o V_{onset}

Difração de Raios-X (XRD)

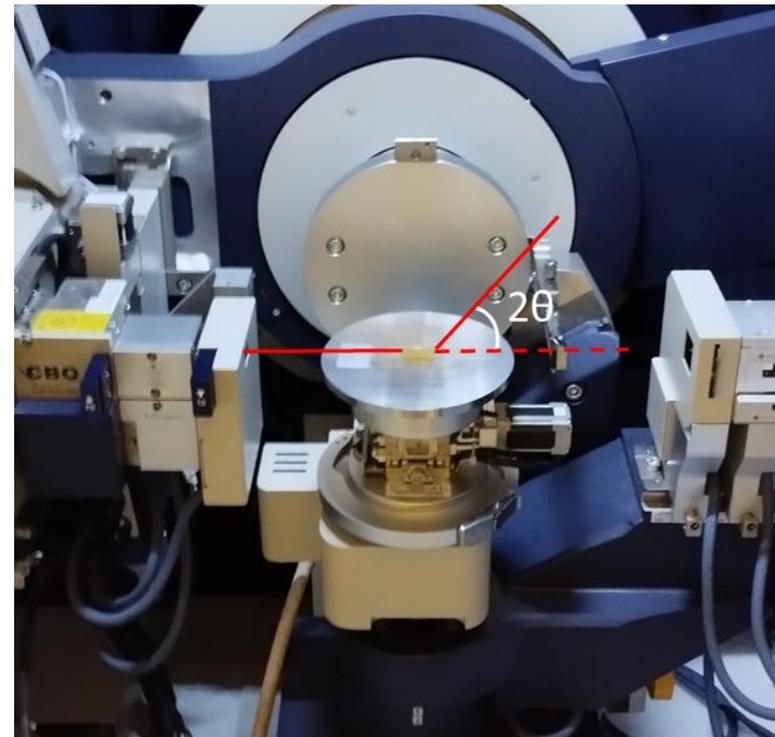
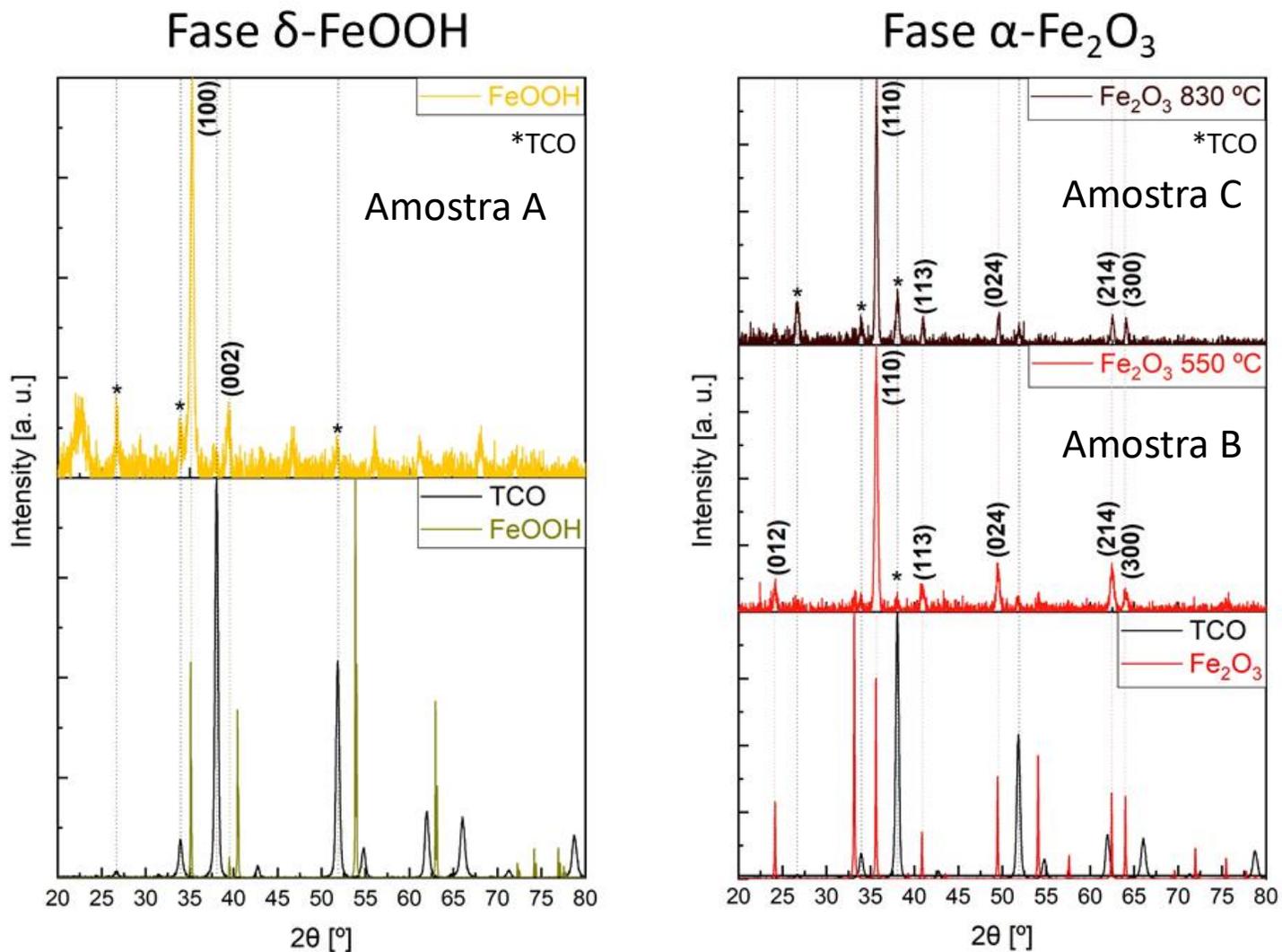


Figura 7- Difratorômetro de Raio-X

Difração de Raios-X (XRD)



- Reduziu-se a influência do substrato.
- Determinou-se as fases das amostras.
- Identificou-se a direção preferencial do crescimento das estruturas.

Figura 8 – difractogramas de raio-X das amostras A B e C

Microscopia de Varrimento de Eletrões (SEM)

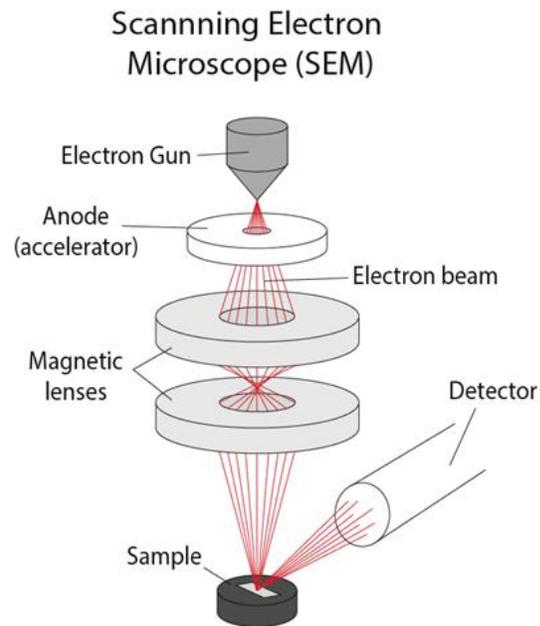


Figura 9 – Microscópio de Varrimento de Eletrões (SEM)

- Tipos radiação detetada:
 - **Eletrões Secundários** (sofrem excitação e “escapam” da superfície da amostra semicondutora e não húmida);
 - Eletrões Retrodifundidos;
 - Raios X de fluorescência.

Microscopia de Varrimento de Eletrões (SEM)

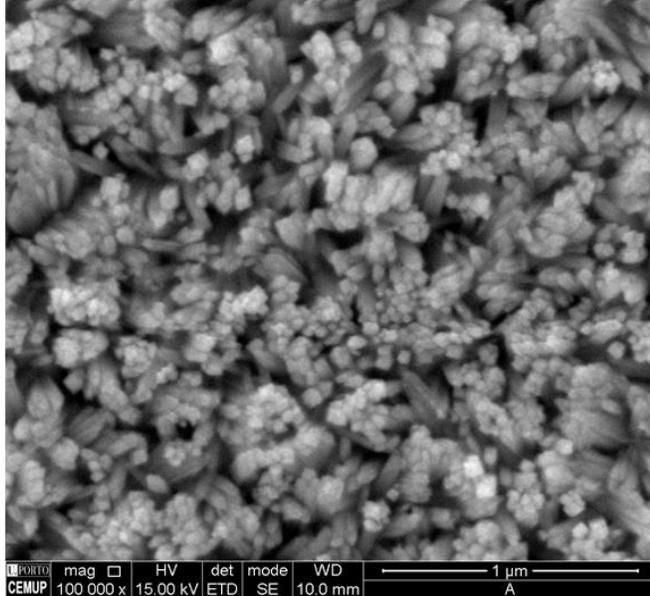


Figura 10 - FeOOH

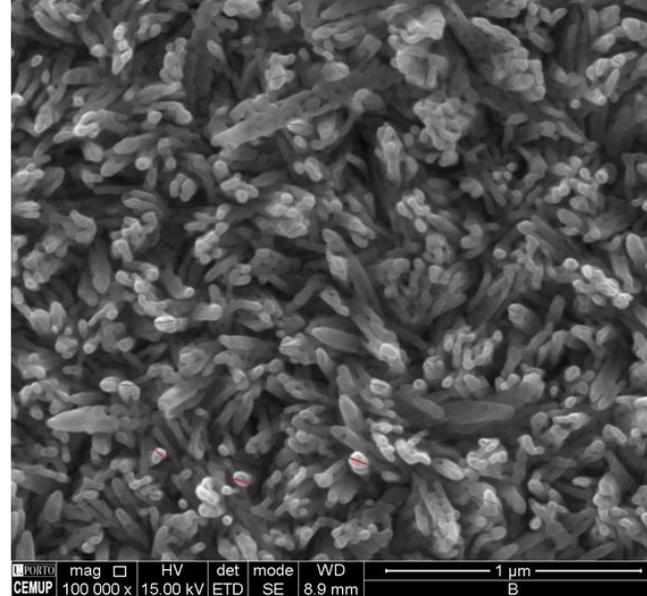


Figura 11 - Fe₂O₃ 550° C

$$D_B = (55,8 \pm 14,7) \text{ nm}$$

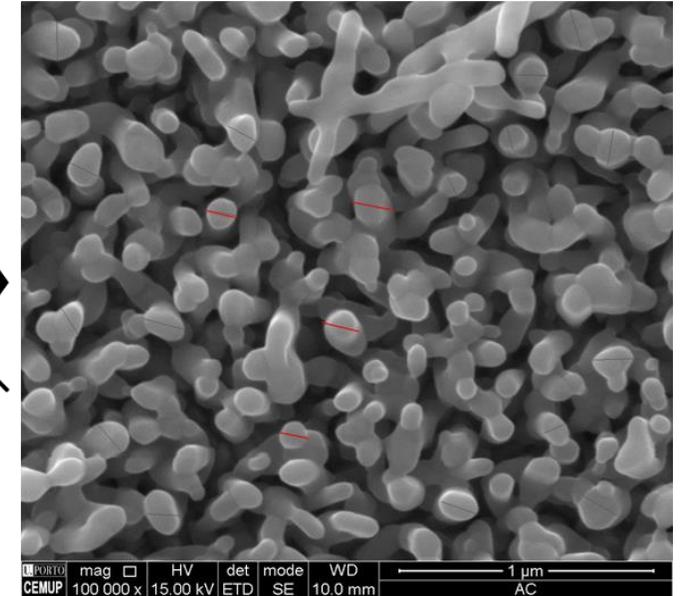


Figura 12 - Fe₂O₃ 830° C

$$D_C = (128,5 \pm 24,1) \text{ nm}$$

- Tratamento térmico (“annealing”) promove uma estrutura mais organizada.
- Facilita a incursão do eletrólito na amostra → aumenta área de superfície

Microscopia de Varrimento de Eletrões (SEM)

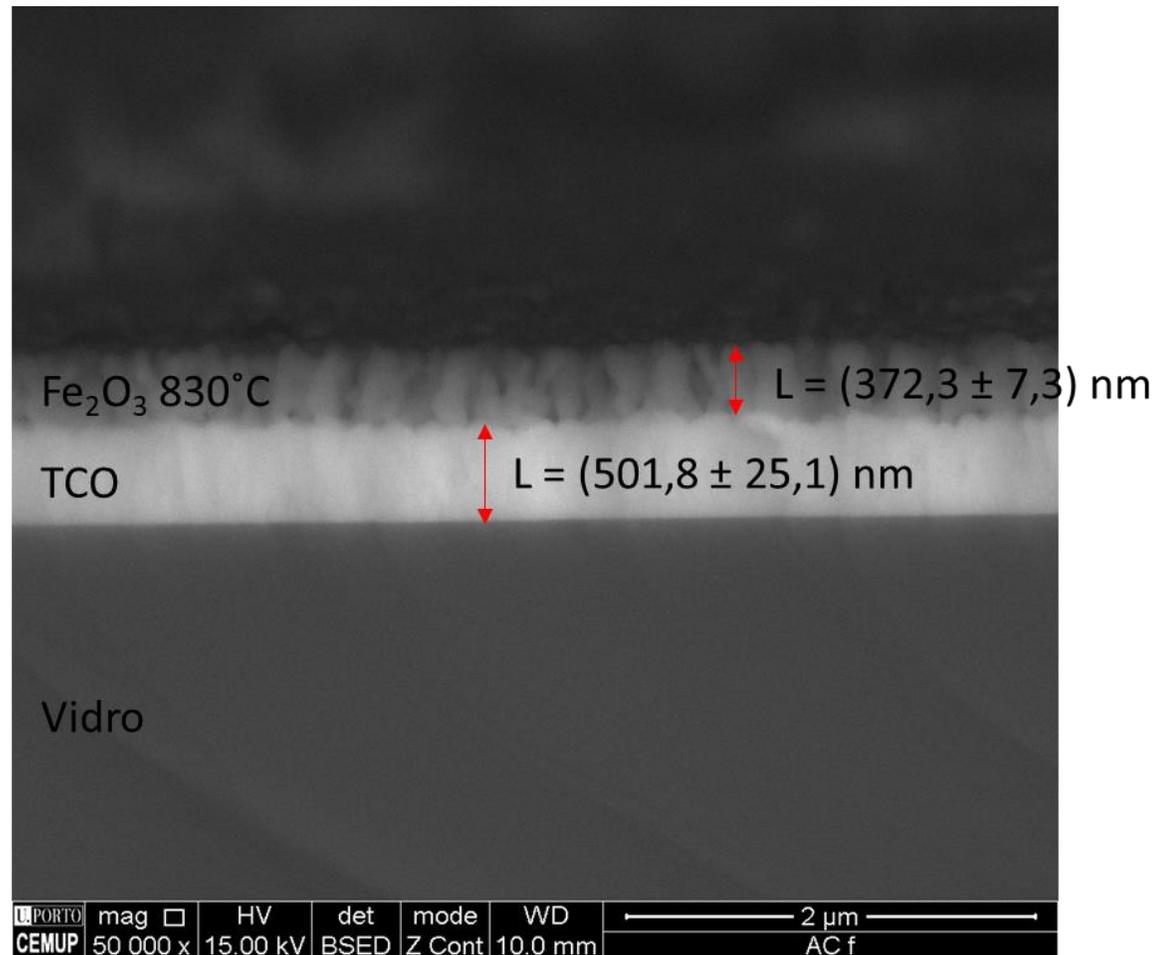


Figura 13 – Imagem lateral da amostra C

- Cálculo do comprimento dos nanofios
- Eletrões retrodifundidos permitem a distinção de elementos
- Maior Z → Maior retrodispersão → Maior energia → Mais brilho
 $Z_{\text{Si}} = 14 < Z_{\text{Fe}} = 26 < Z_{\text{Sn}} = 50$

Análise de Raios-X dispersivos de energia (EDX)

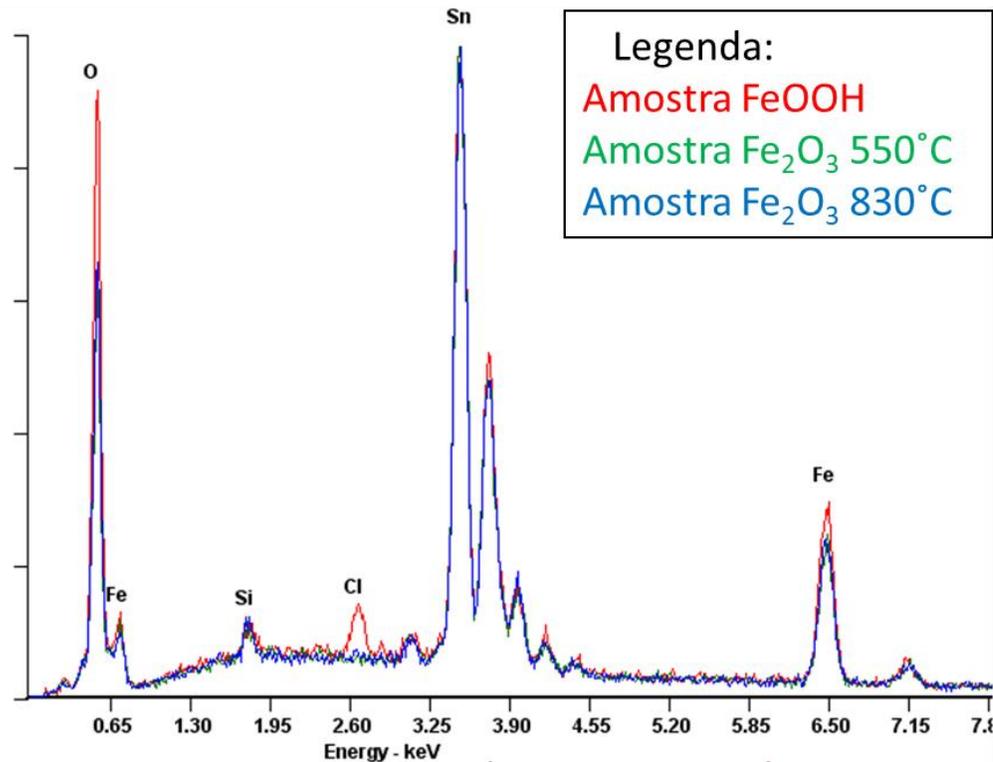
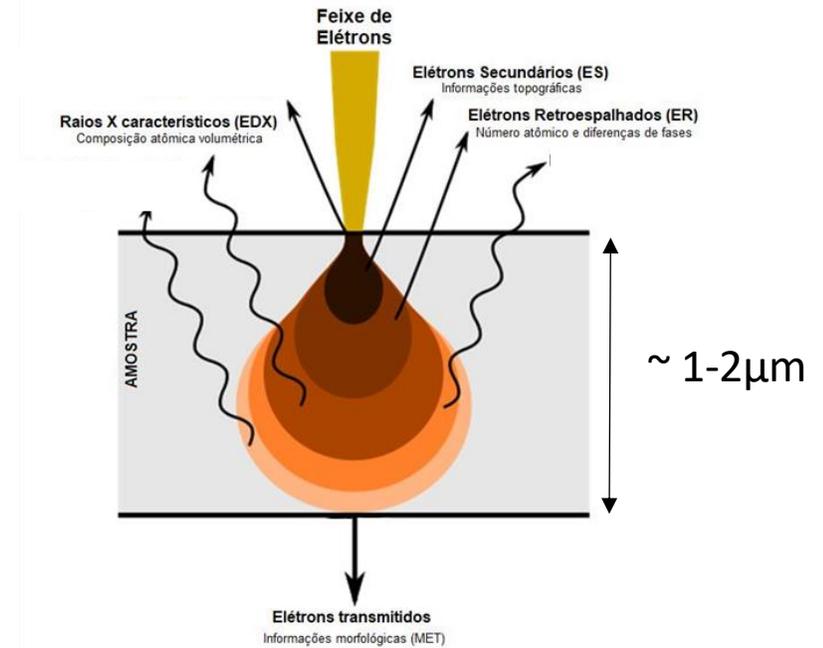


Figura 14 – EDS das amostras A,B e C.



<https://docplayer.com.br/docs-images/102/153815617/images/15-0.jpg>

- Amostra FeOOH possui sub-produtos do método hidrotérmico (ex.: Cl)
- Annealing elimina estes sub-produtos

Conclusão

As células fotoeletroquímicas são o futuro e revolucionárias!

A nanoestruturação, o annealing e a dopagem contribuem para o aumento da eficiência destas células.



Escalável

Baixo custo

Estabilidade

Não tóxico

Eficiência