

Caracterização da eletrodeposição de filmes finos de CdTe sobre Pt em meio ácido

Characterization of electrodeposited CdTe thin films on Pt in acid electrolyte

José Hugo de Aguiar Sousa¹, Paulo Herbert França Maia Junior²,
Álvaro Neuton de Araújo Silva², Francisco Marcone Lima³,
Francisco Wendel Cipriano de Oliveira¹, Rafael Aragão Magalhães⁴,
Francisco Nivaldo Aguiar Freire², Emerson Mariano da Silva¹

¹ Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, CE.

e-mail: profhugoaguiar@gmail.com

e-mail: emeson.mariano@uece.br

e-mail: franciscowendell@gmail.com

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

e-mail: phfmj@yahoo.com.br, e-mail: alvaro_neuton@hotmail.com, e-mail: nivaldo@ufc.com.br

³ Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

e-mail: marconeufc@gmail.com

⁴ Universidade de Fortaleza, Fortaleza, CE. e-mail: rafaelpsmec@gmail.com

RESUMO

A eletrodeposição tem sido empregada para a obtenção de materiais semicondutores; todavia, ainda não estão bem esclarecidos os mecanismos envolvidos neste processo. Neste sentido, este trabalho apresenta a investigação deste processo, evidenciando a caracterização do CdTe eletrodepositado sobre substrato platina em solução ácida. A deposição ocorre a partir de 0,0 V, em relação ao eletrodo Ag/AgCl, KCl_{sat}, com etapas de controle ativado e de difusão. Os filmes finos de CdTe foram eletrodepositados sobre o substrato de platina a temperatura ambiente (~24°C) a partir de uma solução ácida. A influência do potencial aplicado foi investigada utilizando técnicas de caracterização de superfície, como a difração de raios X e Microscopia eletrônica de varredura. A caracterização elétrica foi realizada por medidas de capacitância (*Mott-Schottky*). Os filmes finos de CdTe apresentaram pico de maior intensidade no plano (220), demonstrando ter um crescimento preferencial para esse plano. Os filmes apresentam uma morfologia granular influenciado pelo potencial de deposição e uma condutividade característica de um semicondutor tipo n.

Palavras-chave: Filme finos de CdTe, Eletrodeposição, Platina.

ABSTRACT

The electrodeposition has been used for obtaining semiconductor materials; however, remain unclear the mechanisms involved in this process. Thus, this paper presents the research of this process, showing the characterization of electrodeposited CdTe on platinum substrate in acid solution. The deposition occurs from 0.0 V relative to the electrode Ag/AgCl KCl_{sat} with step activated control and diffusion. The thin film of CdTe was electrodeposited on the platinum substrate at room temperature (~ 24 ° C) from an acidic solution. The influence of the applied potential was investigated using surface characterization techniques such as X-ray diffraction analyses and scanning electron microscopy. The electrical properties of the films were performed capacitance measurements (Mott-Schottky plot). The thin CdTe films presented the prominent (220) planes, showing have a preferential growth in that plane. The films show a granular morphology influenced by deposition potential and property of an n-type semiconductor.

Keywords: CdTe thin film, Electrodeposition, Platinum.

1. INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas houve um grande interesse para o uso de células fotovoltaicas o que acarretou em um aumento nas pesquisas em novos materiais semicondutores para a substituição dos materiais convencionais, como o silício. O semicondutor CdTe (telureto de cádmio) vem se destacando como material para o uso em células fotovoltaicas de filmes finos por apresentar ótimas características tais como: a alta capacidade de conversão da energia solar utilizando apenas uma película fina de material [1].

O CdTe é um semicondutor do grupo II-VI que apresenta um band gap de banda direta de 1,5 eV e um alto coeficiente de absorção, maior que 10^4 cm^{-1} [1,2], é o único semicondutor do seu grupo que pode apresentar condutividade tipo n ou tipo p alterando apenas os seus parâmetros de crescimento [3]. O cristal de CdTe tem sido crescido em uma variedade de técnicas [4-6], como a sublimação de espaço reduzido, deposição por transporte de vapores, deposição por vapores físicos, pulverização catódica, eletrodeposição, deposição química a vapor de organometálicos, pirolise com spray e filme espesso [2, 7,11], a qual vem se destacando é a eletrodeposição [7-13], técnica que apresenta um baixo custo e grande eficiência além da facilidade de controle dos parâmetros envolvidos no processo e na obtenção do semicondutor [2,3].

Levando em consideração essas características, este trabalho tem como objetivo avaliar a deposição do filme fino de CdTe sobre substrato de platina, para este feito foi realizando um estudo através da técnica de voltametria cíclica alterando a solução de estudo (eletrólito), utilizando soluções com espécies ativas de Cd e Te. E a partir desses dados foi realizado um estudo do filme fino de CdTe depositado através das técnicas de caracterização de superfícies, Difração de raios X e Microscopia eletrônica de varredura e caracterização elétrica, medidas de capacitância (*Mott-Schottky*).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a eletrodeposição e para os ensaios voltamétricos foi preparado um eletrólito utilizando uma solução ácida com íons de cádmio (sulfeto de cádmio hidratado, $\text{CdSO}_4(8/3)\text{H}_2\text{O}$, da dinâmica, com grau de pureza de 99%) a $0,25 \text{ mol.L}^{-1}$ e uma fonte de íons telúrio (dióxido de telúrio, TeO_2 da Aldrich Chemicals, com grau de pureza de 97%) a $0,025 \text{ mol.L}^{-1}$. O pH da solução foi mantido a 0,5 com a adição de H_2SO_4 a 1M [3].

Os ensaios voltamétricos e as deposições potencioestáticas foram realizadas em uma célula eletrolítica, constituída de recipiente de vidro Pyrex (Metrohm), com o volume máximo de 150 mL, com uma configuração de três eletrodos a temperatura de 24°C . Foram utilizados como eletrodo de trabalho e contra eletrodo uma placa fina de platina (Aldrich Chemicals, 99,99% de pureza) com área de 1,9 e $3,75 \text{ cm}^2$ respectivamente, nos quais foi realizado um tratamento na sua superfície para a eliminação de impurezas com uma solução de H_2SO_4 P.A durante 30 minutos a temperatura de 100°C , e em seguida em uma solução de NaOH durante 30 minutos a temperatura de 100°C , e como eletrodo de referência um eletrodo de ($\text{Ag}/\text{AgCl}, \text{KCl}_{\text{sat}}$) Orion. As medidas de voltametria cíclica foram realizadas a diferentes velocidades de varredura de potencial e alterando o eletrólito na presença das espécies eletroativas de Cd e Te, e as deposições potencioestáticas foram realizadas nos potenciais encontrados a partir dos estudos de voltametria cíclica. Os ensaios voltamétricos e de deposição foram realizados no Potenciostato /Galvanostato da Omnimetria Instrumentos mod. PG 29, nos quais foram realizados a temperatura $\sim 24^\circ\text{C}$. A formação do filme de CdTe eletrodepositado sobre platina foi investigado utilizando a técnica de difração de raios-X (DRX), utilizando o difratograma da marca *Panalytical* modelo *X'pert Pro MDP* com tudo de Cu com comprimento de onda $K_{\alpha 1} = 1,540562 \text{ \AA}$ e $K_{\alpha 2} = 1,54439 \text{ \AA}$ em modo Bragg-Bretano (θ - 2θ), e a caracterização morfológica através da Microscopia eletrônica de varredura (MEV), no microscópio FEG QUANTA 450.

As medidas de capacitância foram realizadas nos filmes finos de CdTe depositados sobre o substrato de Pt nos diferentes potenciais de estudo, na de frequência de 50 kHz, frequência esta escolhida de acordo com a literatura [22], frequências baixas como 1 kHz as capacitâncias medidas é do estado quase estacionário e em frequências muito altas como 100 kHz não há mais resposta do sinal de perturbação, assim a resposta em altas frequências vem apenas do esgotamento da camada de depleção [22], utilizando uma solução tampão de 1M de NaCl. Utilizando uma configuração de três eletrodos, em que o eletrodo de trabalho o filme de CdTe sobre Pt, eletrodo de referência eletrodo de ($\text{Ag}/\text{AgCl}, \text{KCl}_{\text{sat}}$) Orion e contra-eletrodo um eletrodo uma folha fina de platina. As medidas foram realizadas no Ponteciostato/Galvanostato Autolab modelo PGS-TAT30.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é apresentado o perfil voltamétrico de deposição-dissolução do CdTe obtido a diferentes velocidades de potencial sobre o substrato de Pt a temperatura de 24°C. O potencial foi varrido entre -0,6 e +0,6V (em relação ao eletrodo Ag/AgCl,KCl_{sat}). O lado esquerdo do gráfico (c₁) representa a região catódica, região onde ocorre a redução das espécies eletroativas. É verificado que a deposição do CdTe ocorre a partir 0,0 V. No perfil voltametrico ocorrem picos e patamares de corrente, os quais se tornam mais visíveis a medida que se aumenta a velocidade de varredura. Os patamares de corrente observados sugerem que a reação global de deposição do CdTe tem etapas controladas por difusão eletroativa. O lado direito do gráfico (a₁) representa a região anódica, região onde ocorreu a dissolução do eletrodepositado formado pela região catódica. O pico catódico (c₁), representa a existência de controle misto da deposição do material. O pico anódico (a₁), representa que ocorreu a dissolução do material, pois sua corrente decresce bruscamente até atingir um valor próximo à zero [14].

A Tabela 1 apresenta os parâmetros extraídos do voltamograma representado na Figura 1, onde é apresentado o potencial de pico catódico E_{pc} e a corrente de pico catódico i_{pc}, onde aumentam com a velocidade de varredura v.

Os valores de corrente e potencial de pico catódico dependem da velocidade de redução das espécies eletroativas e a diminuição da concentração de íons na região próxima ao eletrodo. Foi observado um aumento de potencial e de pico catódico com o aumento das velocidades de varredura como apresentado na Figura 1. Para velocidades de varreduras baixas ocorre a deposição do CdTe no eletrodo de trabalho, recobrando a superfície do eletrodo de trabalho (Pt), verificou-se assim que o processo foi controlado por ativação. Já em velocidades de varredura maiores, o processo controlado por difusão, visto que as espécies eletroativas precisaram migrar do meio da solução para a região mais próxima do eletrodo [14].

Tabela 1: Valores de potencial de pico catódico e de corrente de pico catódica para as diferentes velocidades de varredura.

| v/mV.s ⁻¹ | E _{pc} /mV | I _{pc} .10 ⁻² /mA |
|----------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 1 | - 111,8 | - 2,17 |
| 10 | - 171,3 | - 2,85 |
| 50 | - 206,0 | - 3,44 |
| 100 | - 230,7 | - 5,56 |

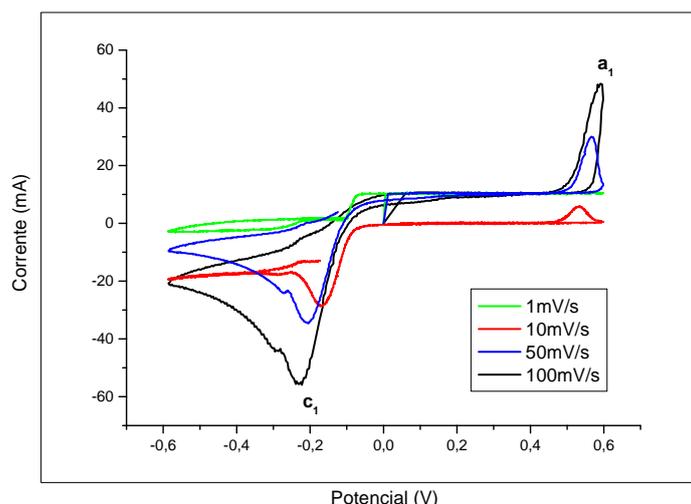


Figura 1: Voltamogramas da deposição-dissolução do CdTe a diferentes velocidades de varredura a 24°C.

De acordo com a literatura [1,7,14,15,16], o mecanismo de deposição do CdTe ocorre de acordo com as seguintes etapas. Primeiramente, o Te é eletrodepositado no substrato em uma reação eletroquímica de Te com íons H⁺ (equação 1), pois o telúrio apresenta um potencial mais positivo do que o cádmio. Posteriormente,

te, a reação química envolvendo o Te com íons Cd^{2+} (equação 2), presente em grande quantidade na solução. A reação global de deposição pode ser descrita pelas seguintes equações:



A eletrodeposição do Te inicia-se com um processo de quatro elétrons. O eletrodo fica coberto de Te, inicia-se a formação de H_2Te nas vizinhanças do eletrodo. A partir daí a deposição do Te pode ocorrer por diversas maneiras de tal forma que o processo final é uma reação que relaciona carga-massa numa proporção de dois elétrons [1].

Foram realizadas varreduras a diferentes potenciais em condição de concentração de espécie eletroativa. Figura 2 representa o voltamograma cíclico da solução contendo íons de Cd e Te, Figura 3 e 4 representa o voltamograma cíclico da solução contendo apenas íons de Cd e Te respectivamente. Este procedimento permite avaliar qualitativamente as reações químicas e eletroquímicas inerentes ao íon metálico. As curvas voltamétricas foram realizadas variando a velocidade de varredura entre os potenciais de -0,8 a 1,0 V.

Foram observados picos e patamares de corrente característicos da deposição do CdTe (Figura 2), como também, os voltamogramas obtidos na presença de íons de Cd e Te foram semelhantes (Figuras 3 e 4), alterando-se os valores de corrente. Este fato indica que as reações das espécies eletroativas ocorrem e que a sua velocidade está associada à concentração das mesmas.

A reação de evolução do hidrogênio ocorre para potenciais menores que -0,7 V e, ao reverter a varredura para o sentido anódico, aparece um pico que corrente a_1 em -0,65 V, associado a dissolução de Cd depositado (Figura 3). Este aspecto também é observado quando na presença de íons Cd e Te (Figura 2).

Na Figura 4 é apresentado os voltamogramas de deposição de Te sobre Pt, em que é observado picos catódicos c_1 e c_2 e pico anódico a_1 que aumentam com a velocidade de varredura. Em que em algumas velocidades de varredura há um aumento da sua corrente de pico, o que mostra que Te tem um comportamento importante na regulação da corrente do sistema, mostrando que as reações químicas são influenciadas pela velocidade de varredura. Os picos catódicos c_1 e c_2 representam a redução do Te, enquanto o pico anódico a_1 representa a dissolução do Te depositado, como é relatado na literatura, [1,15,17].

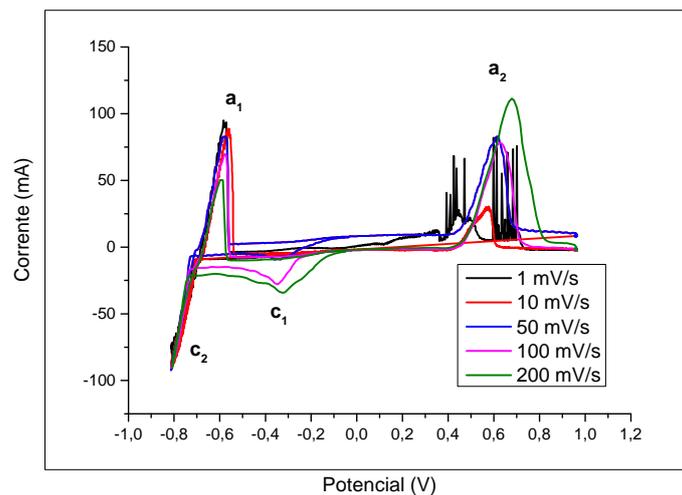


Figura 2: Voltamograma cíclico de CdTe sobre Pt a temperatura de 24°C entre os potenciais de -0,8 a 1,0 V.

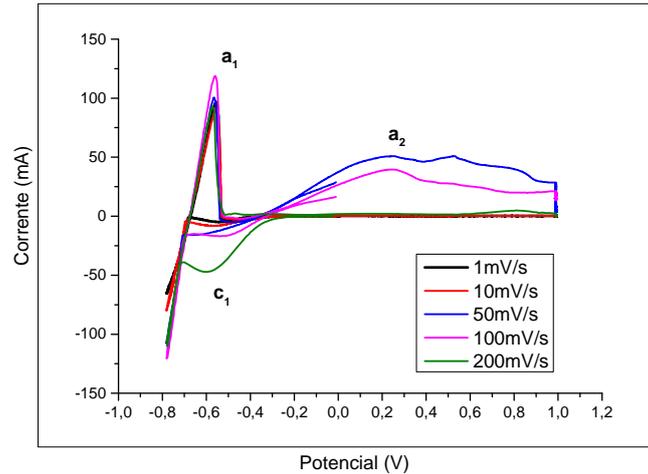


Figura 3: Voltamograma cíclico de Cd sobre Pt a temperatura de 24°C entre os potenciais de -0,8 a 1,0 V.

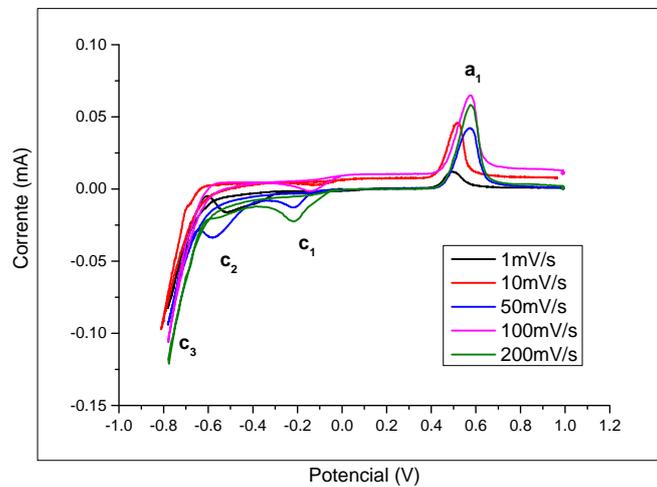


Figura 4: Voltamograma cíclico de Te sobre Pt a temperatura de 24°C entre os potenciais de -0,8 a 1,0 V.

Para a deposição potenciostática foram escolhidos potenciais de acordo com a análise do voltamograma obtido para a deposição do CdTe sobre Pt na velocidade de varredura de $50 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$ (Figura 1). Cada um dos cinco potenciais, indicados na Figura 5 sugere distintas etapas do processo de eletrodeposição. E_1 é o potencial onde está ocorrendo o início do processo, iniciando a nucleação e o crescimento do filme fino CdTe; E_2 é o potencial em que as etapas de ativação e controle de difusional estão operantes; E_3 é o potencial de pico de corrente catódica; E_4 é o potencial próximo ao patamar de corrente e E_5 é o potencial de patamar de corrente.

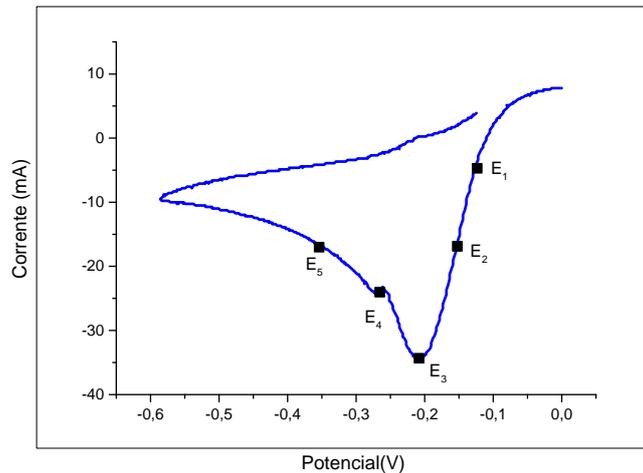


Figura 5: Voltamograma detalhado da deposição do CdTe para a velocidade de $50\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$.

Na Figura 6 são ilustradas as curvas de deposição potenciostáticas, transientes de corrente, para os potenciais de -114, -151, -205, -271 e -352 mV, que se referem a E₁, E₂, E₃, E₄ e E₅, respectivamente, como colocado na Figura 5. As curvas representam a variação de corrente durante a eletrodeposição. É observado um aumento de corrente que após 40 segundos do início da deposição, se estabiliza, definindo um patamar de curva potenciostática. Esse valor de corrente é chamado de corrente de estado estacionário (i_{ss}). O surgimento do patamar de corrente indica que a fase eletroquímica de formação de um mecanismo de crescimento e nucleação do filme depositado [21].

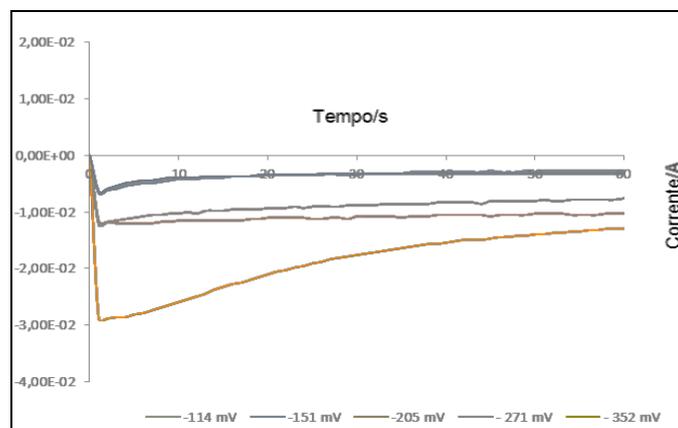


Figura 6: Curvas de deposição potenciostáticas de CdTe para diferentes potenciais.

A difração de raios X identifica as fases a partir de sua estrutura cristalina. Isso permite utilizar a técnica para caracterizar o filme de CdTe, pois é uma técnica muito utilizada e eficaz para a determinação da de estrutura cristalina do CdTe [18]. Assim, as amostras depositadas a diferentes potenciais foram caracterizadas utilizando a técnica de difração de raios X. As Figuras de 7 a 11, exibem os difratogramas dos filmes depositados a -114, -151, 205, 271 e -352 mV respectivamente.

Analisando os resultados foram observados a presença de picos de CdTe de acordo com a base de dados JCPDS 03-065-0440, correspondente a fase cúbica, e Pt (substrato), base de dados JCPDS 00-004-0802, como era esperado pelo fato do filme ser fino. Após a determinação de fases foi feita a determinação dos índices de Miller por comparação com os padrões JCPDS. Também, a comparação dos padrões mostrados nas Figuras 7 a 11 com a microficha JCPDS 03-065-0440 permitiu concluir que os filmes de CdTe depositados sobre Pt tendem crescimento na orientação preferencial no plano (222). O CdTe apresentou pico de maior intensidade no plano (220), demonstrando um possível crescimento preferencial nessa posição, e demais pi-

cos nos planos (200), (311), (622) e (640), também observados na literatura, correspondendo a fase cúbica do CdTe [1,11,17]. O substrato, platina, apresentou picos nos planos (220), (311) e (222).

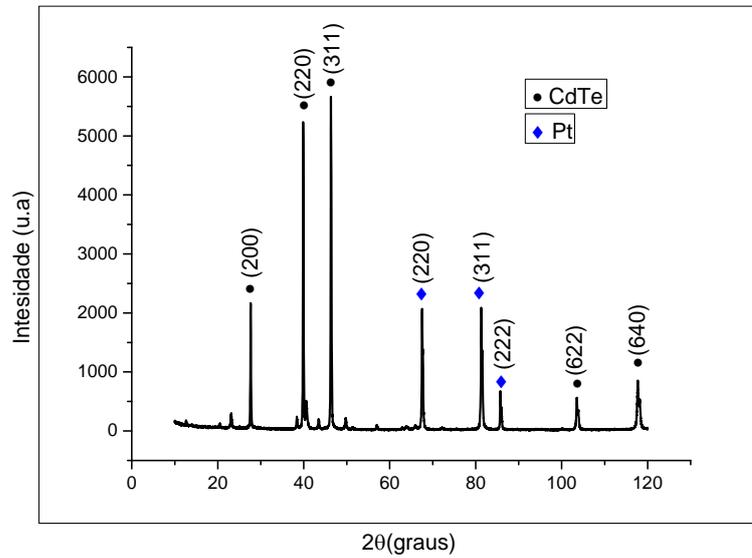


Figura 7: Difratoograma do filme de CdTe depositado sobre Pt a -114 mV.

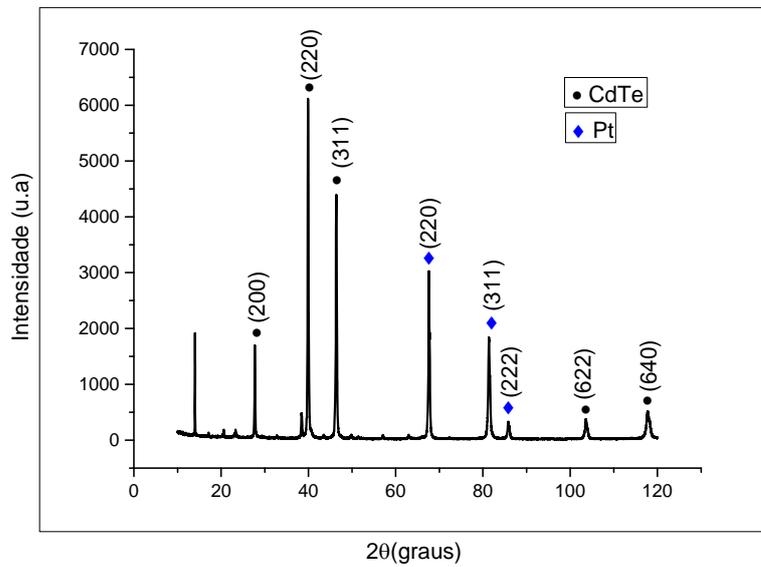


Figura 8: Difratoograma do filme de CdTe depositado sobre Pt a -151 mV.

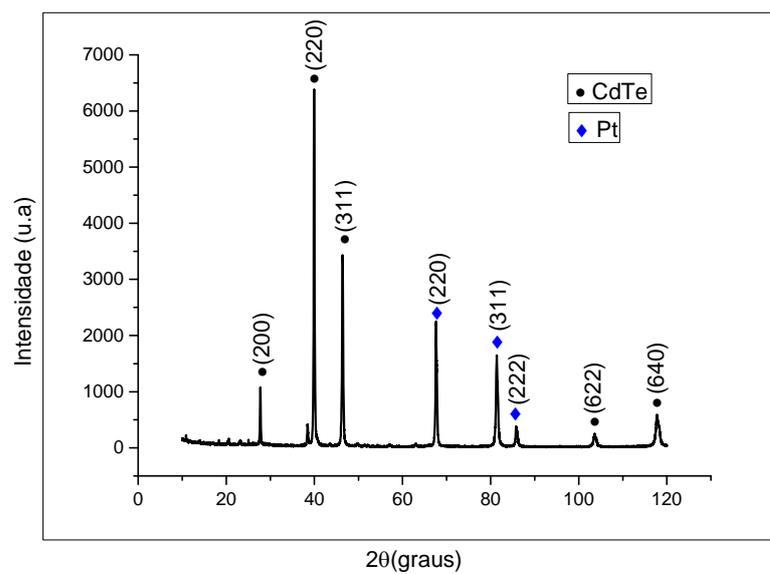


Figura 9: Difratoograma do filme de CdTe depositado sobre Pt a -205 mV.

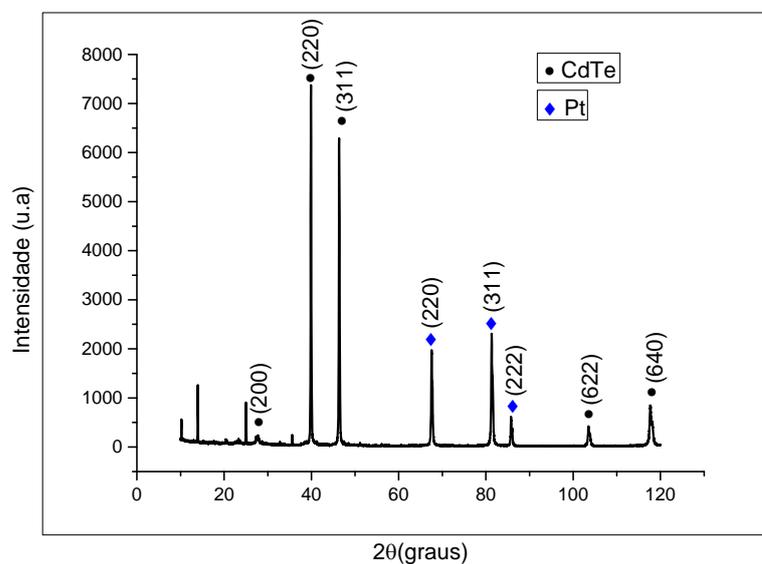


Figura 10: Difratoograma do filme de CdTe depositado sobre Pt a -271 mV.

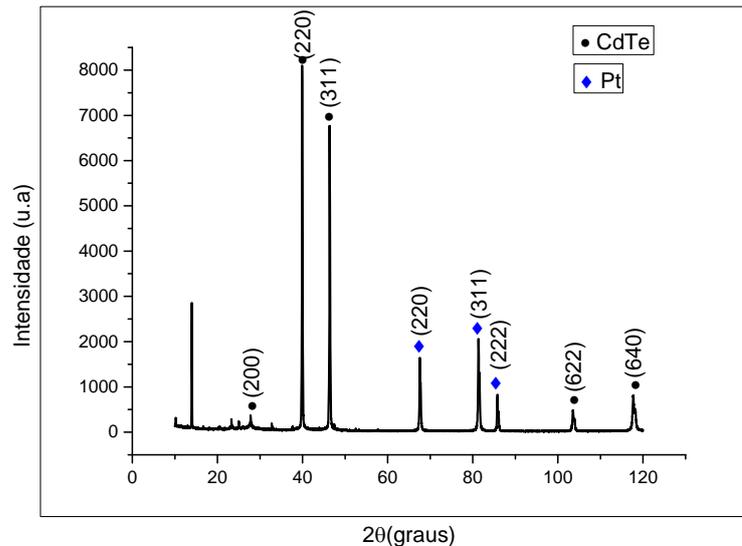


Figura 11: Difratoograma do filme de CdTe depositado sobre Pt a -352 mV

Para a caracterização da morfologia do eletrodepositado de CdTe foi utilizada a técnica de microscopia eletrônica de varredura, nas Figuras 12, 13, 14, 15 e 16 é ilustrado as imagens dos filmes de CdTe na magnificação de 15.000 X nos potencias de estudo.

Na Figura 12 é ilustrado a microscopia do filme de CdTe depositado a – 114 mV, observa-se que a superfície do substrato foi totalmente recoberta. Foi observado uma morfologia formada por pequenos grãos de tamanhos variados e formatos não definidos.

Na figura 13 é ilustrado as micrografias do deposito de CdTe crescido no potencial de deposição de – 151 mV. Foi observado um crescimento preferencial dos grãos nas ranhuras do substrato e aparecimento de grãos mais uniformes e crescidos formando coalescência entre eles, decorrente do aumento do potencial de deposição. Foi observado uma morfologia granular com grãos com formas esféricas como é observado na literatura, [1,11,17].

A Figura 14 exibe as micrografias do filme depositado no potencial de – 205 mV, o potencial de pico catódico. É observado que a superfície do substrato se encontra toda coberta pelo filme de CdTe, com uma morfologia semelhante com a Figura 13, mas com os grãos em formato esféricos coalescendo entre eles tendendo a formar um filme contínuo, característica essa pelo fato do aumento do potencial de deposição.

Na Figura 15 é ilustrado as micrografias do filme de CdTe depositado a – 271 mV. Observa-se a superfície do eletrodo toda recoberta com o filme de CdTe, com a formação de pequenos grãos, formando um filme quase contínuo em toda a superfície do eletrodo de platina. A morfologia do filme de padrão granular, com pequenos grãos de forma esférica [1,11,17].

Na Figura 16 é ilustrado as micrografias do filme de CdTe depositado no potencial de – 352 mV, potencial de patamar de corrente. É observado um crescimento seguindo a orientação das ranhuras do substrato com a formação de pequenos grãos, coalescendo entre eles, formando um filme contínuo constituídos de pequenos grãos esféricos [1,11,17].

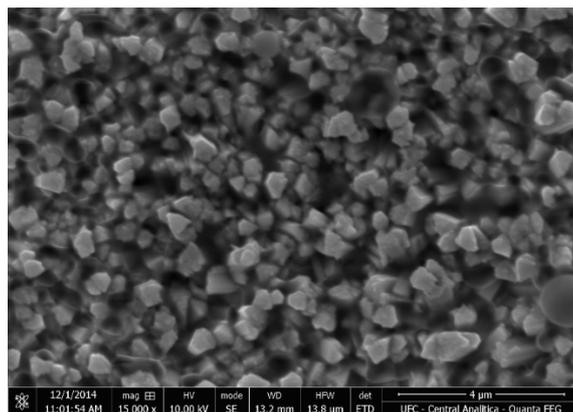


Figura 12: Micrografia do filme de CdTe no potencial de - 114 mV na Magnificação de 15.000X.

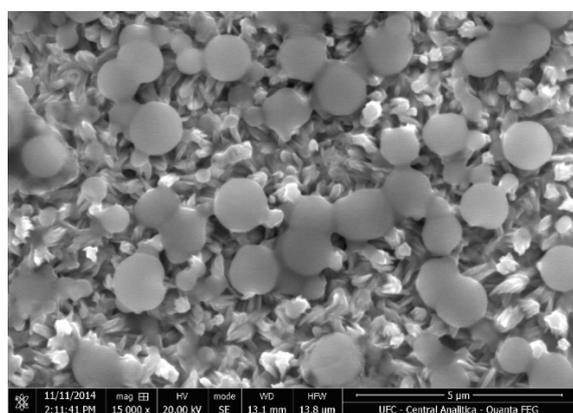


Figura 13: Micrografia do filme de CdTe no potencial de - 151 mV na Magnificação de 15.000X.

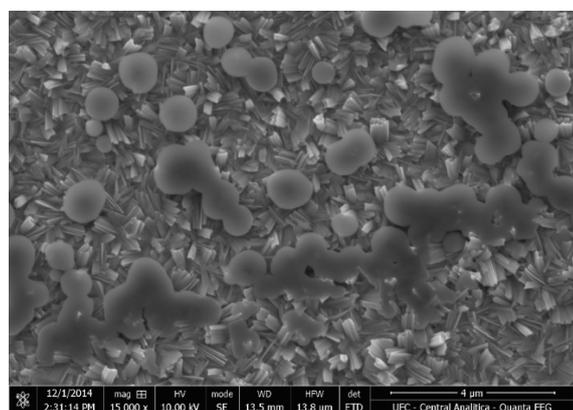


Figura 14: Micrografia do filme de CdTe no potencial de - 205 mV na Magnificação de 15.000X.

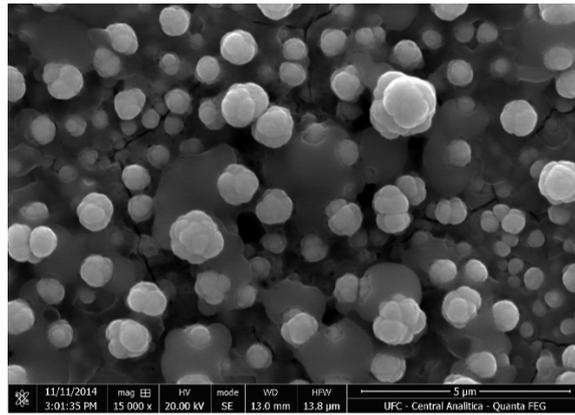


Figura 15: Micrografia do filme de CdTe no potencial de - 271 mV na Magnificação de 15.000X.

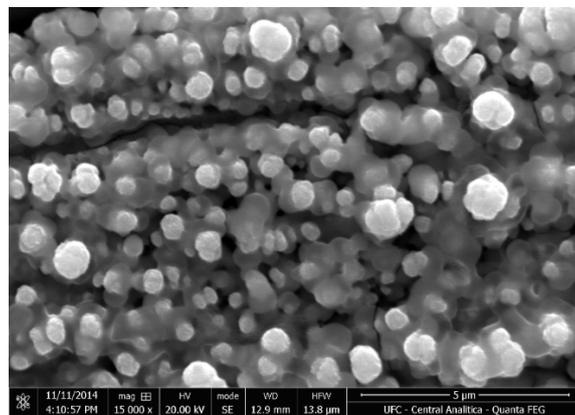


Figura 16: Micrografia do filme de CdTe no potencial de - 352 mV na Magnificação de 15.000X.

Com o objetivo de determinar o potencial de banda plana (E_{BP}) e o número de portadores do filme fino de CdTe eletrodepositado e com isso determinar a condutividade do filme, utilizou-se as medidas de capacitância. A relação entre a capacitância e o potencial aplicado em um semiconductor é dado pela equação 3 conhecida como equação de *Mott-Schottky* [14,19,20,22].

$$1/C^2 = (2/e\epsilon_0\epsilon N)(V - V_{fb} - kT/e) \quad (3)$$

onde C é a capacitância da camada de carga espacial (semiconductor-eletrólito), V é o potencial aplicado, V_{fb} é o potencial de banda plana do semiconductor, ϵ_0 é a permissividade, ϵ é a constante dielétrica do material, N o número de portadores, e a carga elétrica, k é a constante de Boltzmann e T a temperatura absoluta [14,19,20,22].

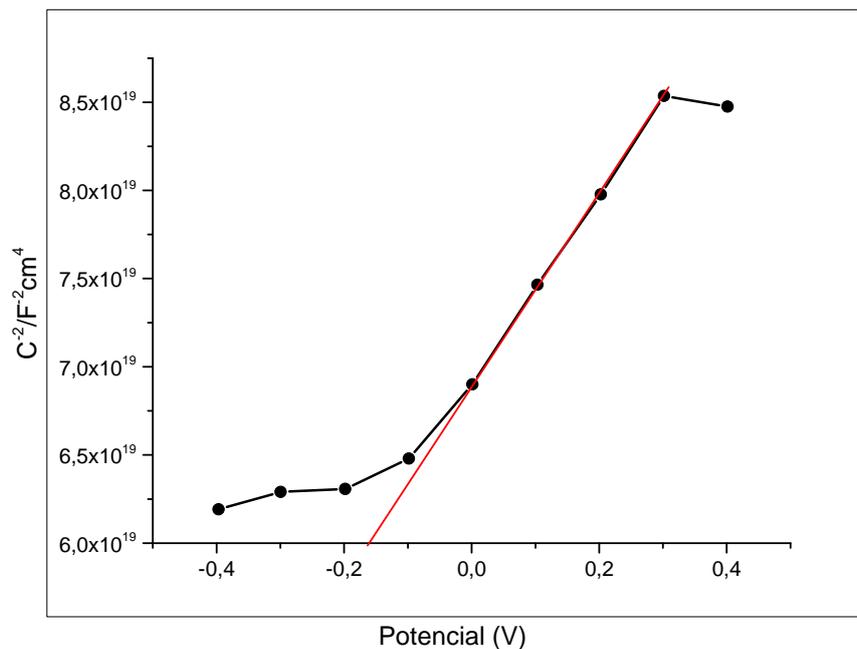


Figura 17: Gráfico de $1/C^2$ vs. V do filme de CdTe depositado a - 114mV.

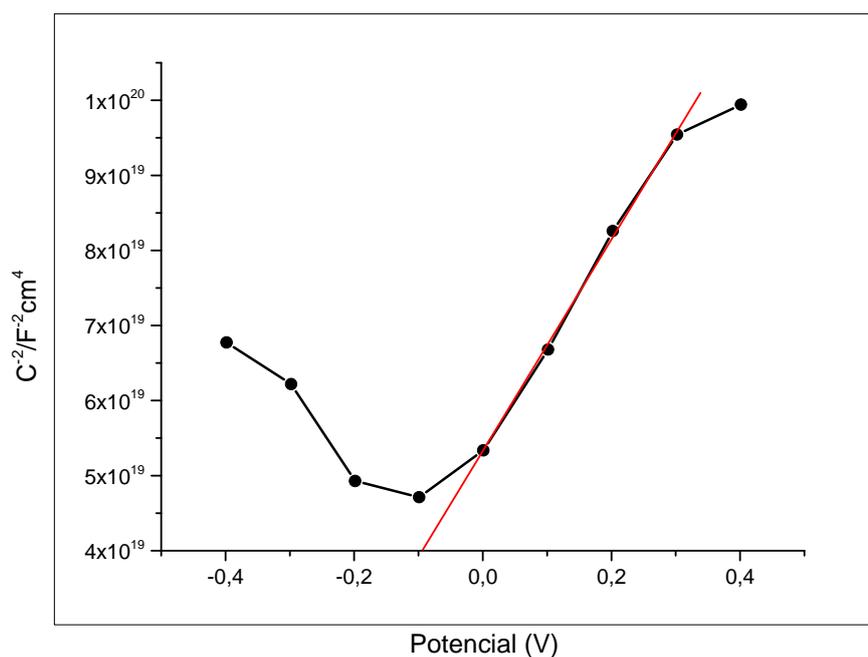


Figura 18: Gráfico de $1/C^2$ vs. V do filme de CdTe depositado a - 151mV.

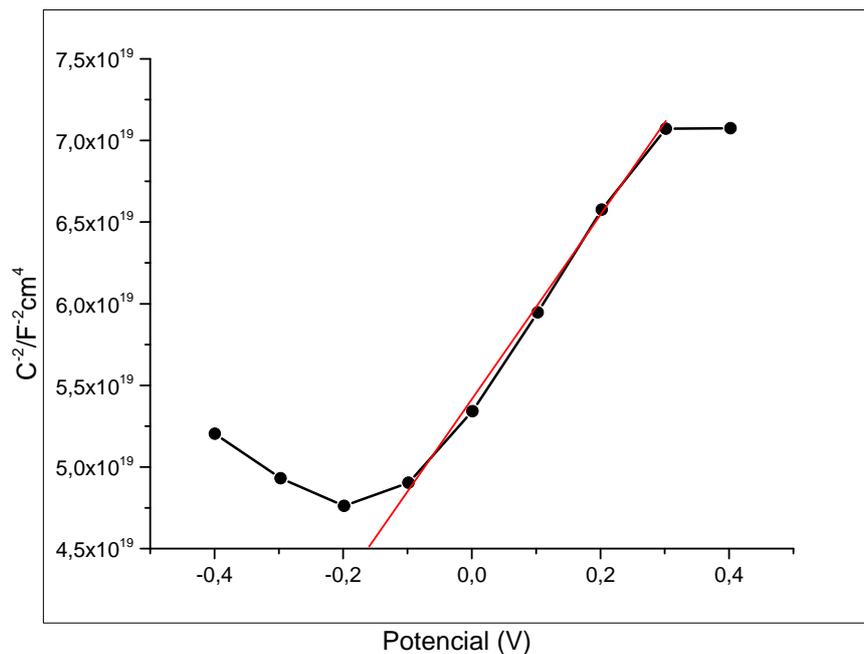


Figura 19: Gráfico de $1/C^2$ vs. V do filme de CdTe depositado a -205mV.

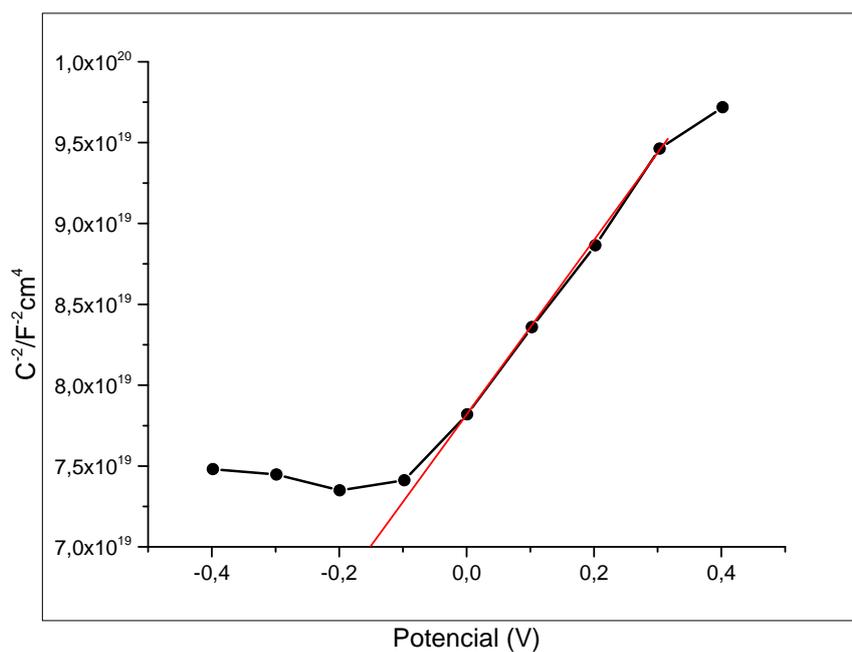


Figura 20: Gráfico de $1/C^2$ vs. V do filme de CdTe depositado a -271 mV.

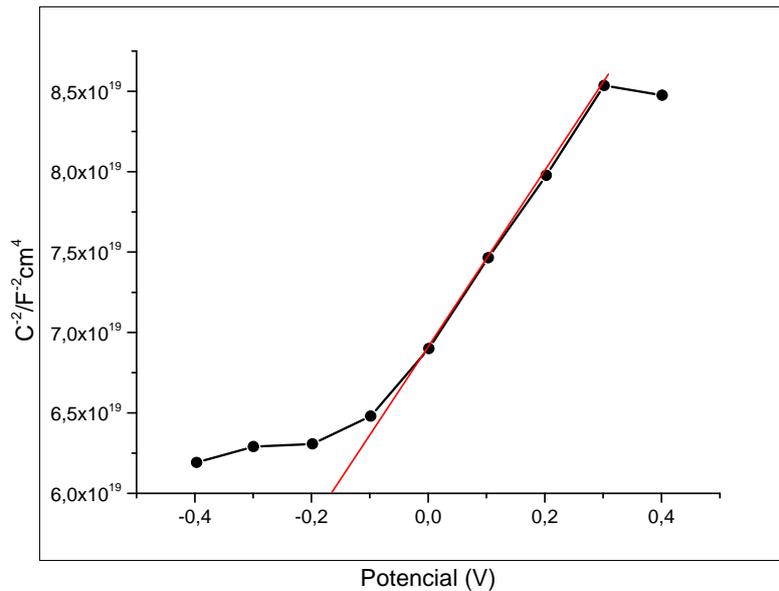


Figura 21: Gráfico de $1/C^2$ vs. V do filme de CdTe depositado a - 352mV.

A Tabela 2 informa o valor de potencial de banda plana (E_{BP}) para os filmes finos de CdTe e o número de portadores de carga. Segundo a literatura [19,20,22], os filmes de CdTe possuem condutividade tipo n, de acordo com a sua interseção da reta no ponto $1/C^2 = 0$, e o número de portadores é determinado através da inclinação da reta [20]. Em outras palavras a inclinação da reta positiva para *Mott-Schottky* corresponde a condutividade tipo n e a inclinação da reta negativa corresponde a condutividade tipo p [20]. O que é demonstrado analisando os resultados encontrados. Como é comprovado analisando os resultados obtidos através das Figuras 17 a 21.

Tabela 2: Valores de potencial de banda plana e número de portadores de cargas.

| | - 114 mV | - 151 mV | - 205 mV | - 271 mV | - 352 mV |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| E_{BP} (V) | - 0,16 | - 0,10 | - 0,15 | - 0,15 | - 0,16 |
| N (cm ³) x 10 ¹⁹ | 1,42 | 1,66 | 1,53 | 1,48 | 1,42 |

4. CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos dos voltamogramas da deposição do CdTe sobre o substrato de Pt foi possível observar que o surgimento do pico catódico e patamar de corrente sugerem que está ocorrendo o controle misto no processo de deposição do filme de CdTe, sejam estes, controle por ativação e controle por transporte de massa. Os filmes depositados apresentaram formas arredondadas bem definidas no padrão granular, em que o tamanho dos grãos diminua com o aumento do potencial de deposição aplicado. Os resultados de DRX indicaram que a direção [22] apresentou pico de maior intensidade sugerindo um crescimento preferencial nessa posição. As medidas de capacitância, usando *Mott-Schottky* mostram que os filmes depositados apresentaram condutividade tipo n, com isso concluímos que a metodologia utilizada obtém-se filmes finos de CdTe com característica de um semiconductor tipo n.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas pelo apoio institucional, ao Laboratório de raios X, do departamento de Física da Universidade Federal do Ceará, pela realização dos ensaios de raios X, a Central Analítica do departamento de Física da Universidade Federal do Ceará pela realização dos ensaios de microscopia eletrônica de varredura. Ao Laboratório de Filme Finos em Energias Renováveis (LAFFER) pelo apoio para a conclusão dessa pesquisa. O autor José Hugo de Aguiar Sousa deseja expressar os sinceros agradecimentos a CAPES, por apoiar esse estudo. Ao Professor Dr. Rui Carlos Barros da Silva *in memoriam*, um exemplo de professor, pesquisador e grande idealizador desse projeto, obrigado

Professor.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] YANG, Y. S., CHOU, C. J., UENG, Y. H., *et al.*, “Influence of electrodeposition potential and heat treatment on structural properties of CdTe films”, *Thin solid films*, v. 518, pp 4197 – 4202, Dec. 2009.
- [2] BANG, D., PERDUE, B., STICKNEY, J., *et al.*, “Electrodeposition of a PbTe/CdTe superlattice by electrochemical atomic layer deposition (E-ALD)”, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, v.716,pp 129 – 135, Mar.2014.
- [3] CHEN, J. H., WAN, C.C, “Dependence of the composition of CdTe semiconductor on conditions of electrodeposition”, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, v. 365, pp 87 – 95, May 1993.
- [4] BOSIO, A., ROMEO, N., MAZZAMUTO, S., *et al.*, “Polycrystalline CdTe thin films for photovoltaic applications”, *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, v. 52, pp. 247-279, Dec. 2006.
- [5] QUADROS, J., PINTO, A.L., MOUTINHO, H.R., *et al.*, “Microtexture of chloride treated CdTe thin films deposited by CSS technique”, *Journal of Materials Science*, v. 43, pp. 573-579, Jan. 2008.
- [6] SESTAK, M.N., LI, J., CHEN, J., *et al.*, “Effects of as-deposited CdTe microstructure on solar cell performance”, In: *Proceedings of the 35th Photovoltaic Specialists Conference*, pp. 873-877, Honolulu, Hi, Nov. 2010.
- [7] BASOL, B.M., “Electrodeposited CdTe and HgCdTe solar cells”, *Solar Cells*, v. 23, pp. 69-88, Feb.1988.
- [8] KOKATE, A.V., ASABE, M.R., HANKARE, P.P., *et al.*, “Effect of annealing on properties of electrochemically deposited CdTe thin films”, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, v. 68, pp. 53-58, Jan. 2007.
- [9] SELLA, C., BONCORPS, P., VEDEL, J., “The electrodeposition mechanism of CdTe from acidic aqueous solutions”, *Journal of the Electrochemical Society*, v. 133, n. 10, pp. 2043-2047, Oct. 1986.
- [10] MAMEDOV, M.N., ALIEV, A.S., “Electrical properties of electrodeposited CdTe thin films”, *Inorganic Materials*, v. 44, no. 8, pp. 804-806, 2008.
- [11] SOLIMAN, M., KASHYOUT, A.B., SHABANA, M., *et al.*, “Preparation and characterization of thin films of electrodeposited CdTe semiconductors”, *Renewable Energy*, v. 23, pp. 471-481, 2001.
- [12] DUTTA, J., BHATTACHARYYA, D., MAITI, A.B., *et al.*, “Studies of grain boundary effect in electrodeposited cadmium telluride films from optical measurements”, *Vacuum*, v. 46, no.1, pp.17-22, 1995.
- [13] PANICKER, M.P.R, KNASTER, M., KROGER, F.A., “Cathodic deposition of CdTe from aqueous electrolytes”, *Journal Electrochemical Society*, v. 125, pp. 566-572, 1978.
- [14] BARD, J. A., FAULKNER, L. R., *Electrochemical Methods. Fundamentals and Applications*. New York, John Wiley&Sons, 1980.
- [15] KIM, S. H., HAN, W. K., LEE, J.H., *et al.*, “Electrochemical characterization of CdSe and CdTe thin films using cyclic voltammetry”, *Current Applied Physics*, v.10, pp S481–S483, Mar. 2010.
- [16] CRUZ, L.R.,SAN MIGUEL, Q.G.S., “Propriedades óticas e microestruturais de filmes finos eletrodepositados de CdTe”, *Revista Matéria*, v.17, pp. 961 – 972, 2012.
- [17] LI, Q, CHIN, K, YANG, H, SUN, M, FU, W, “Electrochemical growth and characterization of CdTe nanorod arrays”, *Applied Surface Science*, v 270, pp 707-711, jan. 2013.
- [18] CULLITY, B.D., *Elements of X-Ray Diffraction*, 2 ed., Boston, Addison-Wesley Publishing Company, 1978.
- [19] PANTOJA, J, MOREIRA, J, SEBASTIÁN, P. J, *et al.*, “Photoelectrochemical characterization of CdTe in Nafion electrolyte”, *International Journal of Hydrogen Energy*, v 28, pp 641- 643, Mar. 2002.
- [20] GAMBOA, S. A, SABASTIAN, P. J, MATHEW, X, *et al.*, “A CdTe/PMeT photovoltaic structure formed by electrodeposition and processing”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, v 59, pp 115- 124, Sep, 1999.

[21] BOCKRIS, J. O' M., RAZUMNEY, G. A., Fundamental aspects of electrocrystallization. New York: Plenum Press, *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, v.18, pp 207-208, Jul. 1968.

[22] MAHÉ, E., ROUELLE, F., DAROLLES, I. , et al., “Electrochemical characterization of silicon electrodes: Part 1: Capacitance-Voltage Method”, *Journal of New Materials for Electrochemical Systems*, v.9, pp 257-268, May, 2006.