



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
BIOTECNOLOGIA DA AMAZÔNIA LEGAL – REDE BIONORTE



MÉTODO FOTOELETROQUÍMICO UTILIZADO COMO
FERRAMENTA PARA A DETERMINAÇÃO DO ÁCIDO 3,4,5-TRI-
HIDROXIBENZÓICO
E AVALIAÇÃO DA SUA CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

KAYNI CÁSSEA MOREIRA SOARES LIMA

São Luís – MA
2022

KAYNI CÁSSEA MOREIRA SOARES LIMA

**MÉTODO FOTOELETROQUÍMICO UTILIZADO COMO
FERRAMENTA PARA A DETERMINAÇÃO DO ÁCIDO 3,4,5-TRI-
HIDROXIBENZÓICO
E AVALIAÇÃO DA SUA CAPACIDADE ANTIOXIDANTE**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, na Universidade Federal do Maranhão - UFMA, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia Silva Luz

**São Luís – MA
02/2022**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Moreira Soares Lima, Kayni Cassea.

MÉTODO FOTOELETROQUÍMICO UTILIZADO COMO FERRAMENTA PARA
A DETERMINAÇÃO DO ÁCIDO 3,4,5-TRI-HIDROXIBENZÓICO E
AVALIAÇÃO DA SUA CAPACIDADE ANTIOXIDANTE / Kayni Cassea
Moreira Soares Lima. - 2022.

123 f.

Orientador(a): Rita de Cássia Silva Luz.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Rede -
Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia
Legal/ccbs, Universidade Federal do Maranhão, São Luís,
2022.

1. Antioxidantes fenólicos. 2. Atividade
antioxidante. 3. CdS. 4. DPPH. 5. Método
fotoeletroquímico. I. Silva Luz, Rita de Cássia. II.
Título.

KAYNI CÁSSEA MOREIRA SOARES LIMA

**MÉTODO FOTOELETROQUÍMICO UTILIZADO COMO FERRAMENTA PARA
A DETERMINAÇÃO DO ÁCIDO 3,4,5-TRI-HIDROXIBENZÓICO
E AVALIAÇÃO DA SUA CAPACIDADE ANTIOXIDANTE**

Tese de doutorado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Biodiversidade e Biotecnologia da Rede
BIONORTE, na Universidade Federal do
Maranhão - UFMA, como requisito parcial
para obtenção do Título de Doutor em
Biodiversidade e Biotecnologia

Aprovada em 25 / 02 / 2022 .

Banca Examinadora



Documento assinado digitalmente
RITA DE CÁSSIA SILVA LUZ
Data: 29/06/2022 17:00:20-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia Silva Luz (Orientadora)
Departamento de Química – UFMA



Documento assinado digitalmente
Edmar Pereira Marques
Data: 27/02/2022 14:44:09-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Edmar Pereira Marques
Departamento de Química – UFMA



Documento assinado digitalmente
GILMAR SILVERIO DA SILVA
Data: 01/07/2022 12:00:21-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Gilmar Silvério da Silva
Departamento de Química – IFMA



Documento assinado digitalmente
KIANY SIRLEY BRANDAO CAVALCANTE
Data: 28/06/2022 22:12:05-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof^a. Dr^a. Kiany Sirley Brandão Cavalcante
Departamento de Química – IFMA



Documento assinado digitalmente
Roberto Alves de Sousa Luz
Data: 28/06/2022 13:10:59-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Roberto Alves de Sousa Luz
Departamento de Química - UFPI

*Aos meus avós, Cleonice e Raimundo Serpa e
minha mãe, Rita de Cássia Moreira*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, força e proteção, iluminando meus caminhos e me dando forças para prosseguir e realizar meus objetivos.

À Prof. Dra. Rita de Cássia Silva Luz, agradeço com muito carinho pela orientação desde o mestrado sempre com muita paciência e atenção. Agradeço por todo apoio e disposição na condução deste e de todos os trabalhos desenvolvidos, por todos os ensinamentos e conselhos e pelo meu crescimento profissional e pessoal também.

Ao Prof. Dr. Flávio Santos Damos pelas valiosas contribuições e pelos ensinamentos para o desenvolvimento deste trabalho e por toda ajuda dispensada a todos os alunos.

Ao Prof. Dr. Clenilton Costa dos Santos, coordenador do Laboratório de Espectroscopia Vibracional e Impedância – LEVI, pelas medidas de Raman que nos forneceu informações importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha família, com todo carinho e amor, agradeço pela base e pelo incentivo e apoio de sempre, todo amor e companheirismo a mim dedicados.

Aos amigos do Laboratório de Sensores, Métodos e Dispositivos Analíticos (LabS), agradeço a boa convivência, momentos de descontração e boas conversas, pela amizade, pelo companheirismo e as discussões científicas que muito contribuíram para meu crescimento pessoal e acadêmico.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal – BIONORTE, da UFMA, pelos ensinamentos e experiências compartilhadas.

À Fapema pela bolsa concedida, a CAPES e CNPQ pelo apoio financeiro, e à UFMA, pelo espaço e estrutura, os quais foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Lima, K. C. M. S. **Método fotoeletroquímico utilizado como ferramenta para a determinação do ácido 3,4,5-tris-hidróxibenzóico e avaliação da sua capacidade antioxidante.** Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal – Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2022.

RESUMO

O presente trabalho baseia-se no desenvolvimento e aplicação de um método fotoeletroquímico utilizado como ferramenta para a determinação do antioxidante ácido 3,4,5-trihidróxibenzóico (THBA), um antioxidante fenólico, e avaliação da sua capacidade antioxidante (AA) em diferentes amostras. O método baseia-se na utilização de uma plataforma fotoeletroquímica baseada numa lâmina de vidro revestida com óxido de estanho dopado com flúor (FTO) a qual foi modificada com sulfeto de cádmio (CdS) e poly(D-glucosamine) (p-DG) e submetida a uma fonte de radiação (uma lâmpada LED - do inglês *Light Emitting Diode*). O eletrodo modificado, denominado (p-DG-CdS/FTO), apresentou uma rápida resposta fotoeletroquímica para a detecção do analito. O método fotoeletroquímico utilizado mostrou que houve subsequente diminuição na resposta do sensor à medida em que se aumentava a concentração do antioxidante THBA em solução. Os ensaios fotoeletroquímicos para avaliação da AA foram realizados através do monitoramento da fotocorrente gerada após a adição do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH[•]) à solução e a presença do antioxidante estudado. Sob as condições experimentais otimizadas, o sensor p-DG-CdS/FTO apresentou uma faixa linear de concentração para o analito na ausência de DPPH[•] de 0,2 a 500 $\mu\text{mol L}^{-1}$, com um limite de detecção de 0,1 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Na presença do radical DPPH[•] observou-se uma relação linear na faixa de concentração para o THBA de 0,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ a 8,5 mmol L^{-1} . O sensor p-DG-CdS/FTO foi aplicado em amostras de bebidas como chás, sucos e vinhos tintos. Os resultados obtidos sugerem que a plataforma desenvolvida é uma ferramenta promissora para a quantificação do antioxidante THBA e para avaliação da atividade antioxidante de diferentes amostras de alimentos como sucos, vinhos, chás e extratos de plantas.

Palavras-chave: atividade antioxidante; método fotoeletroquímico; DPPH; CdS; antioxidantes fenólicos.

Lima, K. C. M. S. **Photoelectrochemical method used as a tool for the determination of 3,4,5-trihydroxybenzoic acid and evaluation of its antioxidant capacity**, 2022. Graduate Program in Biodiversity and Biotechnology of the Legal Amazon - Federal University of Maranhão. São Luís, 2022.

ABSTRACT

The present work is based on the development and application of a photoelectrochemical method used as a tool for the determination of the antioxidant 3,4,5-trihydroxybenzoic acid (THBA), a phenolic antioxidant, and evaluation of its antioxidant capacity (AA) in different samples. The method is based on the use of a photoelectrochemical platform based on a fluorine doped tin oxide (FTO) coated glass slide which has been modified with cadmium sulfide (CdS) and poly (D-glucosamine) (p-DG) and subjected to a radiation source (an LED light emitting diode). The modified electrode was denoted as FTO/CdS/p-DG, showed a fast photoelectrochemical response for analyte detection. The photoelectrochemical method used showed that there was subsequent decrease in the sensor response as the concentration of antioxidant THBA in solution was increased. The photoelectrochemical assays for AA evaluation were performed by monitoring the photocurrent generated after the addition of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazide (DPPH[•]) to the solution and the presence of the antioxidant studied. Under optimized experimental and operational conditions, the FTO/CdS-p-DG sensor showed a linear concentration range for the analyte in the absence of DPPH[•] from 0.2 to 500 $\mu\text{mol L}^{-1}$, with a detection limit of 0.1 $\mu\text{mol L}^{-1}$. In the presence of the DPPH[•] radical a concentration range for THBA from 0.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ a 8.5 mmol L^{-1} was observed. The p-DG-CdS/FTO sensor was applied to samples of beverages such teas, juices and red wines. The obtained results suggest that the developed platform is a promising tool for the quantification of the antioxidant THBA and for the evaluation of the antioxidant activity of different food samples such as juices, wines, teas and plant extracts.

Keywords: antioxidant activity; photoelectrochemical method; DPPH; CdS; phenolic antioxidants

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação da reação entre o radical DPPH• e um antioxidante através da transferência de um átomo de hidrogênio.....	28
Figura 2. Estrutura química do THBA	32
Figura 3. Transferência eletrônica e formação do par e^-/h^+ em um semicondutor. (FONTE: Adaptado de BARD, 1980).	36
Figura 4. Representação da geração de fotocorrentes anódicas (a) e fotocorrentes catódicas (b). (FONTE: Adaptado de WANG et al., 2009).	38
Figura 5. Representação do sistema fotoeletroquímico utilizado.	43
Figura 6. Imagens MEV para o eletrodo de FTO não modificado (Fig. 6a) e o eletrodo de FTO modificado com CdS (Fig. 6b). Espectros EDX referentes às Figs. 6a e 6b, respectivamente (Figs. 6c and 6d).	50
Figura 7. Espectros Raman referentes ao eletrodo de FTO modificado com CdS/p-DG (espectro azul), ao eletrodo de FTO modificado apenas com CdS e (espectro vermelho) e ao FTO (espectro preto).	51
Figura 8. Imagens SECM de p-DG-CdS / FTO na presença (a) e ausência de luz LED visível (b) obtidas em solução aquosa de KCl 0,1 mol L ⁻¹ contendo 5 mmol L ⁻¹ [Fe (CN) 6] ³⁻ . (c) Diagrama esquemático dos experimentos SECM. A ponta foi polarizada em -200 mV vs. Ag/AgCl.	52
Figura 9. Voltamogramas referentes à eletrodeposição do CdS sobre o eletrodo FTO, obtidos na faixa de potencial de -1,0 V a 0,6 V vs Ag/AgCl e velocidade de 0,1 V s ⁻¹ . Inserção: ampliação da faixa de varredura de -0,3 a -1,0 V para o 1º ao 10º ciclo.....	54
Figura 10. Gráficos de Nyquist para os eletrodos (a) p-DGCdS/FTO, (b) CdS/FTO em solução de 0,1 mol L ⁻¹ de KCl contendo 5 mmol L ⁻¹ de K ₃ [Fe (CN) ₆] obtido à temperatura ambiente e sob condições de potencial de circuito aberto na ausência e presença de luz.	55
Figura 11. (a) Amperogramas do fotossensor CdS/p-DG/FTO na ausência e presença de diferentes concentrações do analito (0; 20; 30; 60; 200 µmol L ⁻¹) em 0,1 mol L ⁻¹ de solução TF, pH 7,0. (b) Gráfico da variação da fotocorrente versus a [THBA]. (c) Representação esquemática do mecanismo proposto para a detecção fotoeletroquímica de THBA com o sensor p-DG-CdS/FTO PEC. E _{apl} = 0,3 V vs. Ag/AgCl _{sat}	58
Figura 12. Influência do pH sobre a resposta fotoeletroquímica do sensor p-DG-CdS/FTO em 0,1 mol L ⁻¹ de solução TF contendo 50µmol L ⁻¹ THBA. E _{apl} = 0,3 V.	60
Figura 13. Influência da solução tampão (0,1 mol L ⁻¹) sobre a resposta fotoeletroquímica do sensor p-DG-CdS/FTO contendo 50 µmol L ⁻¹ THBA. E _{apl} = 0,3 V.	61

Figura 14. Influência do potencial aplicado sobre a resposta fotoeletroquímica do sensor p-DG-CdS/FTO em $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de solução TF contendo $50 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de THBA. 62

Figura 15. (a) Amperogramas do fotossensor p-DG/CdS/FTO na ausência e presença de diferentes concentrações do analito ($0,2$ a $500 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$) em $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de solução TF, pH 7,0; (b) Gráfico da variação da fotocorrente ΔI versus a [THBA]; (c) Curva analítica obtida a partir da variação de fotocorrente ΔI versus $\log [\text{THBA}]$. $E_{\text{apl}} = 0 \text{ V vs. Ag/AgCl}_{\text{sat}}$ 63

Figura 16. (a) Avaliação da repetibilidade entre as medidas realizadas no mesmo dia (a) e no preparo do sensor em dias diferentes (b) empregando-se o sensor fotoeletroquímico p-DG-CdS/FTO em $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de solução TF. $E_{\text{appl.}} = 0,0 \text{ V vs. Ag/AgCl}$ 66

Figura 17. Influência de possíveis interferências na fotocorrente de THBA, THBA + Glicose (GLU), THBA + Sacarose (SC), THBA + Catecol (CT) e THBA + Ácido Caféico (CA). Os experimentos foram conduzidos em $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de solução TF, pH 7,0. $E_{\text{apl}} = 0,0 \text{ V vs Ag/AgCl}_{\text{sat}}$ 68

Figura 18. Respostas amperométricas do sensor CdS/p-DG/FTO: na ausência de DPPH (amperograma preto), na presença do DPPH (amperograma vermelho), na presença de $200 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de DPPH e $50 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de THBA (amperograma azul). Experimentos realizados em $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de solução TF (pH 7,0). $E_{\text{apl}} = 0,0 \text{ V vs. Ag/AgCl}_{\text{sat}}$. $T = 30 \text{ min}$ 70

Figura 19. (a) Voltamogramas cíclicos referentes ao p-DG-CdS/ECV na ausência (VC preto) e presença de $200 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de DPPH na ausência de luz (voltamograma azul) e na presença de DPPH na presença de luz (voltamograma vermelho). (b) VCs referentes à diferentes concentrações de THBA. Experimentos conduzidos em $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de solução TF, pH 7,0. Velocidade de varredura $= 0,05 \text{ V s}^{-1}$. $t = 30 \text{ min}$ 72

Figura 20. Mecanismos de reação entre o radical DPPH• e um antioxidante através da transferência de um átomo de hidrogênio. 73

Figura 21. Resposta de fotocorrente do fotossensor p-DG-CdS/FTO na presença de diferentes concentrações de DPPH ($0, 50, 100, 200$ e $300 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$) em $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de solução TF (pH 7,0). $E_{\text{apl}} = 0,0 \text{ V vs. Ag/AgCl}_{\text{sat}}$. $t = 30 \text{ min}$ 75

Figura 22. Gráfico de variação de fotocorrente ΔI versus tempo de interação. Fotocorrentes do fotossensor p-DG-CdS/FTO na presença de diferentes tempos de interação de THBA ($0, 10, 20, 30, 40, 50$ e 60 minutos) em $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de solução TF (pH 7,0). $[\text{THBA}] = 50 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$. $E_{\text{apl}} = 0,0 \text{ V vs. Ag/AgCl}_{\text{sat}}$ 77

Figura 23. Influência do pH da solução sobre a resposta do fotossensor para inibição de $50 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de THBA. $E_{\text{apl}} = 0,0 \text{ V vs Ag/AgCl}_{\text{sat}}$. $T_{\text{reação}} = 30 \text{ min}$ 78

Figura 24. Influência do tipo de solução tampão na resposta do fotossensor p-DG-CdS/FTO para 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de solução de THBA. [DPPH]= 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$. $E_{\text{apl.}} = 0,0 \text{ V}$ vs $\text{Ag/AgCl}_{\text{sat}}$	80
Figura 25. Influência do potencial aplicado na resposta do fotossensor p-DG-CdS/FTO para 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de solução de THBA. [DPPH] = 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Experimentos conduzidos em 0,1 mol L^{-1} de solução TF, pH 7,0.....	81
Figura 26. (a) Amperogramas referentes à resposta do sensor p-DG/CdS/FTO na presença de DPPH (I_0) e na presença de DPPH com diferentes concentrações de THBA (demais amperogramas) sob condições otimizadas. (b) Gráfico da inibição em função de [THBA] e (c) Gráfico da percentagem de inibição em função do logaritmo da [THBA]. [DPPH] = 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e [THBA] = 0,5; 5; 10; 50; 250; 850; 2500 e 8500 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (ou 0,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ a 8,5 mmol L^{-1}).	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparação de características analíticas de diferentes técnicas reportadas na literatura para a determinação de THBA.....	65
Tabela 2. Dados referentes às amostras analisadas com o método proposto..	69
Tabela 3. Atividade antioxidante de amostras naturais em relação ao ensaio de DPPH.	84
Tabela 4. Fotocorrentes das amostras naturais em relação ao ensaio de DPPH	85

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A [•]	Radical antioxidante
AH	Antioxidante
AA	Atividade antioxidante
ABTS	2,2'-azino-bis (3-etilbenzoiltiazolina-6-sulfônico)
BC	Banda de condução
BHA	butil-hidroxi-anisol
BHT	butil-hidroxi-tolueno
BV	Banda de valência
BR	Britton Robinson Buffer
CdS	Sulfeto de cádmio
DPPH [•]	2,2 – difenil-1-picril-hidrazil
ΔE	Intervalo de potencial
ΔI	Variação de fotocorrente (μA)
E	Potencial em volts (V)
EC ₅₀	Concentração eficiente
E _g	Energia do <i>bandgap</i>
EROS	Espécies reativas de oxigênio
ERNS	Espécies reativas de nitrogênio
FRAP	<i>Ferric Reducing Ability of Plasma</i>
FTO	' <i>Fluorine-doped Tin Oxid</i> ' – Óxido de estanho dopado com flúor
GP	Galato de Propila
HEPES	2-[4-(2-hidroxietil)piperazina-N'-(2-ácido etanosulfônico)]
HOMO	' <i>highest occupied molecular orbital</i> ' - Orbital molecular ocupado mais alto
HPLC	' <i>High Performance liquid Chromatography</i> ' – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
LD	Limite de detecção
LED	' <i>light emission diode</i> ' – Diodo de emissão de luz
LQ	Limite de quantificação
LUMO	' <i>lowest unoccupied molecular orbital</i> ' - Orbital molecular não ocupado mais baixo

MCV	Mcllvaine Buffer
ORAC	<i>Oxygen Radical Absorbance Capacity</i>
PBS	' <i>Phosphate Buffered Saline</i> ' – Tampão fosfato salino
P-DG	"Poly D-glucosamine" - Quitosana
PEC	' <i>Photoelectrochemical Process</i> ' – Processo Fotoeletroquímico
pH	Potencial Hidrogeniônico
QDs	Quantum dots' – Pontos Quânticos
TBHQ	<i>tert</i> -butil-hidroxi-quinona
TF	Tampão Fosfato
THBA	ácido 3,4,5-Tri-Hidroxibenzóico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	21
1.2	OBJETIVO GERAL	21
1.2.1	Objetivos Específicos	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	OS RADICAIS LIVRES E SUA RELAÇÃO COM O ESTRESSE OXIDATIVO	22
2.2	ANTIOXIDANTES	24
2.3	ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	26
2.4	ENSAIO DE SEQUESTRO DE RADICAIS LIVRES COM DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)	28
2.5	IMPORTÂNCIA DE ANTIOXIDANTES NA DIETA ALIMENTAR	29
2.6	COMPOSTOS POLIFENÓLICOS	30
2.7	ÁCIDO 3,4,5-TRI-HIDROXIBENZÓICO	31
2.8	O ESTADO DA ARTE DE SISTEMAS FOTOELETROQUÍMICOS	34
2.9	MATERIAIS FOTOELETRICAMENTE ATIVOS	38
3	MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1	REAGENTES E SOLUÇÕES	42
3.2	INSTRUMENTAÇÃO	42
3.3	CONSTRUÇÃO DO SENSOR FOTOELETROQUÍMICO p-DG-CdS/FTO	43
3.4	CARACTERIZAÇÃO DOS SENSORES CdS/FTO e p-DG-CdS/FTO POR ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA (EIE), MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV), ESPECTROSCOPIA RAMAN e MICROSCOPIA ELETROQUÍMICA DE VARREDURA (SECM).	44

3.5	ESTUDOS SOBRE O COMPORTAMENTO ELETROQUÍMICO DO SENSOR p-DG-CdS/FTO.....	45
3.6	OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS EXPERIMENTAIS DO SISTEMA FOTOELETROQUÍMICO.....	46
3.6.1	Estudo de pH do eletrólito suporte sobre a resposta do fotosensor p-DG-CdS/FTO.....	46
3.6.2	Estudo de solução tampão sobre a resposta do fotosensor p-DG-CdS/FTO.....	46
3.6.3	Estudo de potencial aplicado sobre a resposta do fotosensor p-DG-CdS/FTO.....	46
3.7	CARACTERIZAÇÃO ANALÍTICA DO SENSOR p-DG-CdS/FTO PARA DETERMINAÇÃO DE THBA	47
3.7.1	Influência do efeito da concentração de DPPH sobre a resposta do antioxidante	47
3.7.2	Estudo do tempo de interação entre o THBA e o DPPH sobre a superfície do fotosensor p-DG-CdS/FTO.....	47
3.8	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA APLICAÇÃO DO SENSOR FOTOELETROQUÍMICO p-DG-CdS/FTO e DETERMINAÇÃO DE THBA APLICANDO-SE TESTE DE ADIÇÃO DE PADRÃO E ESTUDOS DE RECUPERAÇÃO	48
3.9	ESTUDO DE INTERFERENTES	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS MATERIAIS QUE COMPÕEM A PLATAFORMA.....	49
4.2	ELETRODEPOSIÇÃO VOLTAMÉTRICA DO SULFETO DE CÁDMIO (CdS) SOBRE O ELETRODO DE FTO e CARACTERIZAÇÃO ELETROQUÍMICA DA PLATAFORMA p-DG-CdS/FTO	53
4.3	ESTUDO DO COMPORTAMENTO ELETROQUÍMICO DO SENSOR p-DG-CdS/FTO NA PRESENÇA DE THBA.....	56
4.4	ESTUDO DAS MELHORES CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS DO SENSOR p-DG-CdS/FTO PARA A DETERMINAÇÃO DE THBA	59
4.5	CARACTERIZAÇÃO ANALÍTICA DO SENSOR p-DG-CdS/FTO PARA A DETERMINAÇÃO DE THBA	62

4.6	AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DO SENSOR p-DG-CdS/FTO.....	66
4.7	ESTUDO DE INTERFERENTES	67
4.8	DETERMINAÇÃO DE THBA EM AMOSTRAS DE BEBIDAS COMERCIAIS E ESTUDO DE ADIÇÃO E RECUPERAÇÃO.....	68
4.9	ESTUDO DO COMPORTAMENTO ELETROQUÍMICO DO SENSOR p- DG-CdS/FTO FRENTE ao THBA e DPPH	69
4.10	INFLUÊNCIA DO EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE DPPH SOBRE A RESPOSTA DE THBA.....	74
4.11	ESTUDO DO TEMPO DE INTERAÇÃO ENTRE O ANTIOXIDANTE E O DPPH SOBRE O FOTOSENSOR CdS/p-DG/FTO.....	76
4.12	ESTUDO DE pH DO ELETRÓLITO SUPORTE SOBRE A RESPOSTA DO ANTIOXIDANTE E DPPH.....	78
4.13	ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE SOLUÇÃO TAMPÃO SOBRE A RESPOSTA DO ANTIOXIDANTE NA PRESENÇA DE DPPH.....	79
4.14	ESTUDO DO POTENCIAL APLICADO SOBRE A RESPOSTA DO ANTIOXIDANTE NA PRESENÇA DE DPPH.....	80
5	CARACTERIZAÇÃO ANALÍTICA DO SENSOR p-DG-CdS/FTO E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE THBA	82
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
	ANEXOS	110