SENSORES ELETROQUÍMICOS BASEADOS EM NANOMATERIAIS DE CARBONO PARA DETECÇÃO DE POLUENTES AMBIENTAIS: UMA REVISÃO

GUTIERREZ; Mônica[1], PEDROTTI; Jairo José [2], MASSI; Marcos [3]

RESUMO

O crescente interesse pelo desenvolvimento de sensores tem impulsionado pesquisadores a aprimorar métodos de fabricação e examinar novos materiais capazes de oferecer características inovadoras aos dispositivos. Entre os sensores eletroquímicos, os sensores voltamétricos e amperométricos, são relativamente simples, de baixo custo, oferecem resposta rápida, boa seletividade, elevada sensibilidade, portabilidade e a possibilidade de fazer determinações simultâneas de mais de uma espécie química. Bastante adequados para aplicação em sensores, os nanomateriais de carbono (materiais com dimensões < 100 nm) apresentam elevada área superficial, alta condutividade elétrica, boa estabilidade química, facilidade de transferência de carga, possibilidade de funcionalização e incorporação de nanopartículas e biocompatibilidade com uma série de compostos químicos. Este artigo traz uma breve revisão de literatura no período de 2019 a 2021 sobre sensores eletroquímicos, sua funcionalidade e exemplos de sensores desenvolvidos com nanomateriais de carbono para detecção de compostos de interesse ambiental.

Palavras-chave: Sensores eletroquímicos; Nanomateriais de carbono; Poluentes ambientais.

[1] Discente Universidade Presbiteriana Mackenzie - SP, mo-gutierrez@hotmail.com
[2] Docente Universidade Presbiteriana Mackenzie -SP, jairo.pedrotti@mackenzie.br
[3] Docente Universidade Presbiteriana Mackenzie - SP, marcos.massi@mackenzie.br

ENG MAT CON
CONGRESSO ONLINE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
27 A 30 de abril 2021
ISBN: 978-65-89908-00-5

ABSTRACT

The growing interest in the development of sensors has driven researchers to improve manufacturing methods and examine new materials capable of offering innovative features to devices. Among electrochemical sensors, voltammetric and amperometric sensors are relatively simple, low cost, offer fast response, good selectivity, high sensitivity, portability and the possibility of making simultaneous determinations of more than one chemical species. Very suitable for application in sensors, carbon nanomaterials (materials with dimensions <100 nm) have a high surface area, high electrical conductivity, good chemical stability, ease of charge transfer, possibility of functionalization and incorporation of nanoparticles and biocompatibility with a series chemical compounds. This paper brings a brief literature review in the period from 2019 to 2021 about electrochemical sensors, their functionality and examples of sensors developed with carbon nanomaterials for the detection of compounds of environmental interest.

Key Words: Eletrochemical Sensors; Carbon nanomaterials; Environmental pollutants.

1. INTRODUÇÃO

O significativo aumento populacional mundial nas últimas décadas, as emissões de poluentes nos grandes centros industriais e a crescente demanda da atividade agrícola têm provocado a deterioração da qualidade do ar nos centros urbanos e a contaminação dos recursos hídricos em diversas partes do mundo. A compreensão dos efeitos das atividades antropogênicas sobre a saúde humana e o meio ambiente demanda a investigação científica. Neste contexto, o uso de sensores seletivos, com elevada sensibilidade, mesmo em baixas concentrações, são atrativos para monitorar espécies químicas contaminantes no meio ambiente. Os sensores eletroquímicos são apropriados

ISBN: 978-65-89908-00-5

a este propósito, pois, além destas características citadas anteriormente, têm relativamente baixo custo, oferecem portabilidade, facilidade para miniaturização e automação dos sistemas analíticos [1]. Muitos estudos vêm sido desenvolvidos na área de sensores eletroquímicos com materiais a base de carbono, principalmente os nanomateriais de carbono. Isso se deve ao fato das características destes materiais, como grande área superficial, alta condutividade elétrica, alta capacidade de adsorção e efeito eletrocatalítico [2,3]. Os nanomateriais de carbono quando combinados com outros materiais de interesse agregam propriedades aos dispositivos, de forma que as características dos materiais atuem de forma sinérgica [3,4].

Este trabalho tem caráter bibliográfico, reunindo informações sobre o funcionamento de sensores eletroquímicos voltamétricos e/ou amperométricos, focando na revisão de desenvolvimento destes dispositivos com nanomateriais de carbono aplicados a determinação de poluentes ambientais.

2. METODOLOGIA

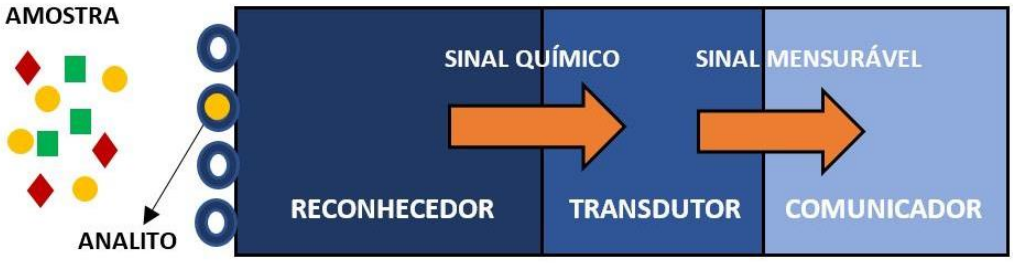
A pesquisa baseia-se em uma revisão bibliográfica, incluindo estudos relevantes dos anos 2019 a 2021 na área de sensores eletroquímicos voltamétricos/amperométricos contendo nanomateriais de carbono para detecção de poluentes ambientais. Artigos científicos e trabalhos completos foram utilizados, sendo extraídos de bases de dados, entre elas Google Scholar, Portal de Periódicos Capes, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Science Direct. Os idiomas utilizados foram português e inglês, com as palavras-chave: sensor eletroquímico; sensor eletroquímico com nanomateriais de carbono; sensor grafeno; sensor óxido de grafeno; sensor óxido de grafeno reduzido; sensor nanotubos de carbono.

ISBN: 978-65-89908-00-5

3. SENSORES ELETROQUÍMICOS

Sensores eletroquímicos transformam o efeito da interação eletroquímica entre analito e eletrodo em um sinal de interesse [5]. Eles contêm duas unidades funcionais básicas, sendo elas um reconhecedor, onde ocorre a interação com o analito e um transdutor, que converte a grandeza físico-química em um sinal mensurável, sendo elétrica a natureza desse sinal [6]. A Figura 1 apresenta de maneira resumida os componentes deste dispositivo.

Figura 1. Esquema representativo dos componentes gerais de um sensor eletroquímico



Fonte: os autores

Os sensores desenvolvidos normalmente passam por uma avaliação de parâmetros para que a garantia da qualidade dos resultados obtidos e o método analítico sejam validados. Entre as figuras de mérito destacam-se a sensibilidade, seletividade, limite de detecção e quantificação, repetibilidade e reprodutibilidade [3].

A utilização de sensores eletroquímicos substitui muitas vezes outros tipos de processos de avaliações eletroquímicas, pois são, em sua grande maioria, econômicos, de fácil reprodutibilidade e manuseamento.

Este tipo de sensor pode funcionar com diferentes modos de detecção, sendo potenciométrico, voltamétrico ou amperométrico, condutométrico e transistor de efeito de campo modificado quimicamente, [7,8,9] os mais populares, porém neste artigo trataremos dos tipos voltamétricos e amperométricos.

ISBN: 978-65-89908-00-5

3.1 SENSORES VOLTAMÉTRICOS E AMPEROMÉTRICOS E MEDIDAS ELETROQUÍMICAS

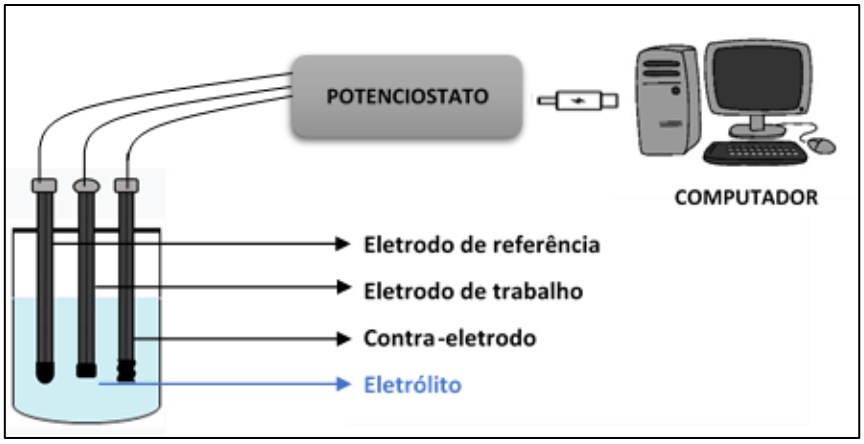
Os sensores voltamétricos se baseiam na resposta de uma corrente elétrica resultante de uma reação eletroquímica entre o analito e a área ativa do eletrodo de trabalho submetido a valor do potencial, medido em relação a um eletrodo de referência. Usualmente, a resposta do sensor é linear com a concentração do analito [5,7,10].

Os sensores amperométricos são uma subclasse dos sensores voltamétricos, que podem incluir sensores baseados em eletrodos quimicamente inertes, eletrodos quimicamente ativos e eletrodos modificados. Esses sensores medem o sinal de corrente em função de um potencial aplicado fixo [5,7,10].

A relação entre estes dois sensores é que o voltamétrico registra vários pontos em uma curva corrente-potencial, enquanto o amperométrico registra apenas um ponto [7].

O sistema mais comum utilizado nas medidas eletroquímicas é formado por uma célula eletroquímica composta por três eletrodos, conforme Figura 2, onde se tem o eletrodo de referência, eletrodo de trabalho e o contra-eletrodo ou eletrodo auxiliar.

Figura 2. Esquema de célula com 3 eletrodos



Fonte: os autores

ISBN: 978-65-89908-00-5

Entre as técnicas voltamétricas mais comuns nos estudos iniciais de caracterização do comportamento eletroquímico de analitos destacamse a voltametria cíclica. Esta técnica baseia-se na variação do potencial aplicado ao eletrodo de trabalho na direção anódica e catódica, enquanto mede-se o sinal de corrente correspondente. Através destas medições, se obtém informações sobre o número de elétrons envolvidos, coeficiente de transferência de carga, coeficiente de difusão da espécie eletroativa e a reversibilidade do sistema químico [10,11]. Outra técnica utilizada nas caracterizações é a espectroscopia de impedância eletroquímica, que fornece detalhes das características elétricas na interface do eletrodosolução [12].

Na etapa de detecção, as técnicas voltamétricas de pulso, incluindo a voltametria de pulso normal, pulso diferencial e a voltametria de onda quadrada são as mais utilizadas devido a maior sensibilidade oferecida em relação a voltametria cíclica. Isto decorre da minimização da contribuição da corrente capacitiva nas técnicas de pulso durante etapa de amostragem de corrente, devido ao incremento na relação corrente faradaica/corrente capacitiva [10,11].

3.2 NANOMATERIAIS DE CARBONO E APLICAÇÕES EM SENSORES

O grafeno é um material bidimensional formado por hexágonos de átomos de carbono organizados de forma sp^2 com características únicas, que reúnem alta condutividade elétrica e térmica, propriedades mecânicas com grande força intrínseca, excelentes propriedades físico-químicas e ópticas, grande área superficial e leveza [3,13].

O óxido de grafeno (GO) pode ser produzido por meio da oxidação do grafite. O GO não possui homogeneidade em sua estrutura, pois os defeitos estão relacionados com o grau de oxidação, que depende do seu processo de produção. A grande diferença entre o grafeno e o GO é a condutividade, pois enquanto o primeiro, em sua forma cristalina, possui alta condutividade, o segundo é um isolante, devido aos defeitos que introduzem

ISBN: 978-65-89908-00-5

ligações do tipo sp^3, o que diminui a mobilidade eletrônica. Para diminuir seus defeitos e restaurar partes de sua estrutura é possível reduzir o GO, tornando-o um óxido de grafeno reduzido (rGO), que possui características próximas ao grafeno, porém com a presença de alguns grupos oxigenados [7,13,14].

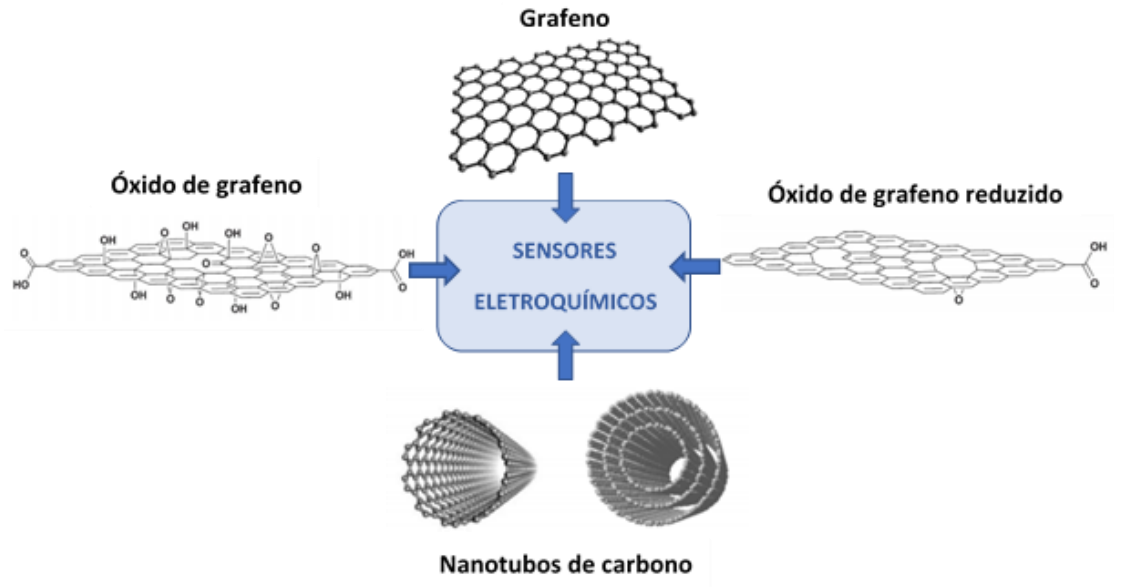
O grafeno, GO e rGO se destacam no desenvolvimento de sensores eletroquímicos, pois permitem a detecção de eletroativos sem sobreposição de picos, o que é comum acontecer em outros compostos utilizados na eletroquímica [15]. Devido a mudança de condutância como uma função de extensão de adsorção superficial e grande área superficial específica, são capazes de detectar variedades de moléculas e podem ser utilizados em sensores de detecção de agentes químicos de guerra e explosivos, pois alcançam sensibilidades em níveis de partes por bilhão [13].

Os nanotubos de carbono (CNT) podem ser divididos em duas classes principais, sendo os nanotubos de parede única (SWCNT) e os nanotubos de paredes múltiplas (MWCNT). Ambos possuem a estrutura de uma folha de grafeno enrolada em forma de tubo [3,4]. Eles ganham destaque no desenvolvimento de sensores devido suas características como alta área superficial, alta velocidade na transferência de carga, estabilidade química e térmica, além de ser possível realizar modificações em sua estrutura com outros tipos de espécies, tornando suas propriedades excepcionais [2,9,16]. Aplicações que combinam a condução elétrica do material com a resistência mecânica têm muita relevância [4].

A Figura 3 ilustra as estruturas destes nanomateriais utilizados em sensores eletroquímicos.

ISBN: 978-65-89908-00-5

Figura 3. Principais nanomateriais de carbono utilizados em sensores eletroquímicos



Fonte: os autores, adaptado de 4 e 7

As diversas estruturas destes nanomateriais possibilita a eles interações não covalentes com moléculas orgânicas via interação π-π, ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas, forças de van der Waals e forças eletrostáticas. Estas interações e as diferentes geometrias destes materiais de dimensões nanométricas os tornam excelentes candidatos para aplicações analíticas [17].

A seguir são apresentadas algumas aplicações na área ambiental de sensores eletroquímicos com nanomateriais de carbono. Focaremos em grafeno e seus derivados e os nanotubos de carbono, pois as pesquisas atuais retornam mais resultados com estes materiais. Há exemplos de dispositivos somente com nanomateriais de carbono e destes com outros componentes, determinando que, dependendo da aplicação deste sensor, a junção de dois ou mais materiais resulta em vantagens, onde estes derivados de carbono demonstram agregar valor quando incorporado aos eletrodos.

ISBN: 978-65-89908-00-5

3.2.1 SENSORES ELETROQUÍMICOS DESENVOLVIDOS COM GRAFENO E SEUS DERIVADOS PARA DETECÇÃO DE POLUENTES AMBIENTAIS

A versatilidade do grafeno e seus derivados, estabilidade e possibilidade de serem modificados com outros compostos são pontos relevantes na aplicação eletroanalítica. A Tabela 1 traz estudos, de forma resumida, que obtiveram sucesso envolvendo poluentes ambientais, onde o sensor elaborado com estes nanomateriais demonstrou melhor desempenho do que o eletrodo limpo, normalmente composto por carbono vítreo e/ou poliméricos.

Tabela 1. Sensores eletroquímicos de poluentes ambientais com grafeno e seus derivados encontrados na literatura recente

Analito	**Amostra**	**Eletrodo**	**Faixa de concentração ($\mu mol.L^{-1}$)**	**Limite de Detecção ($mol.L^{-1}$)**	**Ref**
p-benzoquinona Resorcinol	Solo e água de postos de combustíveis e água do mar	**rGO**/carbono vítreo	12 a 100	$3,7 \times 10^{-7}$ $8,1 \times 10^{-7}$	**14**
Cádmio (II) Chumbo (II) Cobre (II) Mercúrio (II)	Água de torneira	**rGO**/ nanopartículas de antimônio/ carbono vítreo	0,1 a 4,5	$7,7 \times 10^{-9}$ $3,0 \times 10^{-9}$ $4,7 \times 10^{-9}$ $9,6 \times 10^{-9}$	**18**
Bisfenol A	Água mineral, água de torneira e plásticos	**Grafeno**/Folha de poli-imida flexível/ polímeros com impressão molecular	0,05 a 20	$8,0 \times 10^{-9}$	**19**
Trinitrotolueno (TNT)	Superfície metálica, granito e luvas	Filamento de ácido poliláctico dopado com **grafeno** impresso em 3D	1 a 870	$4,0 \times 10^{-7}$	**20**

ISBN: 978-65-89908-00-5

Chumbo (II) Cádmio (II)	Água de torneira	**rGO**/Polianilina /glicina/Carbono vítreo	0,0001 a 1	$7,2 \times 10^{-11}$ $7,0 \times 10^{-11}$	**21**
Cobre (II) Cádmio (II) Mercúrio (II)	Água de lago	**GO**/poli (L-ácido glutâmico)/ Carbono vítreo	0,25 a 5,5	$2,4 \times 10^{-8}$ $1,5 \times 10^{-8}$ $3,2 \times 10^{-8}$	**22**
Paraquat (Gramoxone 200)	Água natural	**GO**/8-aminoquinolina/ nanopartículas de ouro/ Carbono vítreo	0,02 a 24	$6,0 \times 10^{-9}$	**23**

Fonte: os autores

Observa-se a variedade de aplicações em sensoriamento de analitos orgânicos e inorgânicos, com uma ampla faixa de concentração na maioria dos casos e com limites de detecção extremamente baixos, concluindo-se que estes nanomateriais são muito promissores para análise de variadas espécimes de contaminantes.

3.2.2 SENSORES ELETROQUÍMICOS DESENVOLVIDOS COM NANOTUBOS DE CARBONO PARA DETECÇÃO DE POLUENTES AMBIENTAIS

A Tabela 2 traz algumas pesquisas de sensores eletroquímicos, agora com nanotubos de carbono, que também obtiveram melhores resultados eletroanalíticos em comparação com os eletrodos limpos.

ENG MAT CON
CONGRESSO ONLINE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
27 A 30 de abril 2021
ISBN: 978-65-89908-00-5

Tabela 2. Sensores eletroquímicos de poluentes ambientais com nanotubos de carbono encontrados na literatura recente

Analito	**Amostra**	**Eletrodo**	**Faixa de concentração ($\mu mol.L^{-1}$)**	**Limite de Detecção ($mol.L^{-1}$)**	**Ref**
Hidrazina	Amostras reais de água	**CNT** com sulfeto de cobalto/líquido iônico/derivado de ferroceno/pasta de carbono	0,03 a 500	$1,5 \times 10^{-8}$	**24**
Bisfenol A	Lago e água de torneira	**MWCNT**/β-cicliodextrina	0,125 a 2 e 2 a 30	$1,4 \times 10^{-8}$	**25**
Cobre (II)	Água de torneira	**MWCNT** funcionalizados com ácido batocuproinos-sulfônico/ Carbono vítreo	0,5 a 6	$1,5 \times 10^{-7}$	**26**
Hidroquinona Catecol Resorcinol	Amostras reais de água	**MWCNT**/poli-hidroquinona/ aspidinol/ Carbono vítreo	0,03 a 100 0,01 a 100 0,05 a 100	$1,6 \times 10^{-10}$ $1,2 \times 10^{-10}$ $4,3 \times 10^{-10}$	**27**
Hidrazina	Águas residuais	**CNT**/nano-perovskita dopado com ouro/carbono vítreo	0,007 a 90	$2,6 \times 10^{-10}$	**28**
Cádmio (II) Chumbo (II) Cobre (II) Mercúrio (II)	Águas de rio e soja	**MWCNT fluorados**/ nanopartículas de Fe_3O_4/ Carbono vítreo	0,5 a 30 0,5 a 30 0,5 a 30 0,5 a 20	$5,0 \times 10^{-11}$ $8,0 \times 10^{-11}$ $2,0 \times 10^{-11}$ $5,0 \times 10^{-11}$	**29**

ISBN: 978-65-89908-00-5

Cromo (VI) Vanádio (V)	Amostras reais de água	**MWCNT neutro**/ nanopartículas de ouro vermelho/ carbono impresso em tela	0,4 a 80 3 a 200	$2,5 \times 10^{-8}$ $4,2 \times 10^{-7}$	**30**

Fonte: os autores

Os nanotubos de carbono quando utilizados nestes dispositivos possuem bons limites de detecção e faixas de concentração extensas, ainda sendo possível funcionalizá-los com outros tipos de materiais a fim de amplificar seus resultados. Na literatura, o uso destes nanomateriais se destaca na área de compostos orgânicos/biológicos e medicamentos devido à essa possibilidade de funcionalização, porém eles também são encontrados em determinações de produtos químicos e tóxicos, tanto orgânicos quanto inorgânicos, o que indica um uso multidisciplinar de suas características.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Metais pesados e contaminantes orgânicos e inorgânicos são emitidos e descartados no meio ambiente e muitos destes compostos são acumulativos e/ou têm efeitos adversos à fauna e flora. Portanto, o monitoramento destes contaminantes tem um papel importante, mesmo quando em concentrações na faixa de ppb ou ppt. Os nanomateriais de carbono, isolados ou combinados com outros materiais, mostram propriedades únicas para a detecção de substâncias, sendo muito favoráveis na área ambiental e na resolução de problemas. As pesquisas revelam que o uso de nanomateriais de carbono em sensores eletroquímicos traz melhoras significativas em relação aos sem esses nanomateriais, seja em resultados quantitativos ou qualitativos, tornando este tipo de sensor eletroquímico uma área em crescente demanda e desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

[1] LOWINSOHN, D.; BERTOTTI, M. Sensores eletroquímicos: considerações sobre mecanismos de funcionamento e aplicações no monitoramento de espécies químicas em ambientes microscópicos. Química Nova, São Paulo, v. 29, n. 6, p. 1318-1325, 2006.

[2] MORAES, F. C. Nanotubos de carbono no desenvolvimento de sensores eletroquímicos. 2010. 144 f. Tese - Curso de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

[3] PORTO, L. S. Emprego de nanomateriais de carbono para utilização em sensores eletroquímicos na determinação de fármacos e compostos de interesse clínico. 2017. 37 f. TCC - Curso de Química, Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2017.

[4] CAVA, C. E. Sensores de gases utilizando nanotubos de carbono e o estudo estrutural do óxido de ferro hematita. 2012. 119 f. Tese - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

[5] HULANICKI, A.; GLAB, S.; INGMAN, F. Chemical sensors: definitions and classification. International Union Pure and Applied Chemistry, Great Britain, v. 63, n. 9, p. 1247-1250, 1991.

[6] ARAÚJO, C. L. Desenvolvimento de sensor potenciométrico baseado em eletrodos de carbono grafite para determinação de ácido cítrico em bebidas. 2009. 76 f. Dissertação - Curso de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

[7] ATAIDE, V. N. Desenvolvimento de sensores eletroquímicos de carbono visando à detecção de furosemida em amostras farmacêuticas e clínicas. 2018. 109 f. Dissertação - Curso de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

ISBN: 978-65-89908-00-5

[8] BRETT, C. M. A. Electrochemical sensors for environmental monitoring. Strategy and examples. International Union Pure and Applied Chemistry, Coimbra, v. 73, n. 12, p. 1969-1977, 2001.

[9] SIQUEIRA JUNIOR, J. R. Filmes automontados de nanotubos de carbono aplicados em sensores. 2010. 116 f. Tese - Curso de Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

[10] BRETT, A. M. O.; BRETT, C. M. A. Eletroquímica princípios, métodos e aplicações. Coimbra Almedina, 1996.

[11] PACHECO, W. F.; et al. Voltametrias: uma breve revisão sobre os conceitos. Revista Virtual de Química, v. 5, n. 4, p. 516-537, 2013.

[12] CARVALHO, L. A.; ANDRADE, A. R.; BUENO, P. R. Espectroscopia de impedância eletroquímica aplicada ao estudo das reações heterogêneas em ânodos dimensionalmente estáveis. Química Nova, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 796-804, 2006.

[13] ZHU, Y.; et al. Graphene and Graphene Oxide: synthesis, properties, and applications. Advanced Materials, Weinheim, v. 22, n. 35, p. 3906- 3924, 2010.

[14] OLIVEIRA, E. S. Sensor eletroquímico a base de óxido de grafeno reduzido para análise simultânea de p-benzoquinona e resorcinol em amostras ambientais. 2021. 81 f. Dissertação - Curso de Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

[15] NUNES, L. O. Síntese, caracterização e aplicação do óxido de grafite e grafeno em estudos eletroquímicos envolvendo ácido ascórbico, ácido úrico, dopamina e epinefrina. 2013. 104 f. Dissertação - Curso de Química, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2013.

[16] OLIVEIRA, D. P. C; et al. Biossensor eletroquímico baseado na enzima tirosinase para a determinação de fenol em efluentes. Química Nova, v. 38, n. 7, p. 924-931, 2015.

ISBN: 978-65-89908-00-5

[17] SCIDA, K.; et al. Recent applications of carbon-based nanomaterials in analytical chemistry: critical review. Analytica Chimica Acta, v. 691, n. 1-2, p. 6-17, 2011.

[18] SILVA, M. K. L. Desenvolvimento de sensores eletroquímicos para a detecção de metais pesados. 2019. 74 f. Dissertação - Curso de Biotecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2019.

[19] BEDUK, T.; et al. One-step electrosynthesized molecularly imprinted polymer on laser scribed graphene bisphenol a sensor. Sensors and Actuators B: Chemical, v. 314, p. 128026, 2020.

[20] CARDOSO, R. M.; et al. 3D-printed flexible device combining sampling and detection of explosives. Sensors and Actuators B: Chemical, v. 292, p. 308-313, 2019.

[21] HANIF, F.; et al. Ultra-selective detection of Cd2+ and Pb2+ using glycine functionalized reduced graphene oxide/polyaniline nanocomposite electrode. Synthetic Metals, v. 257, p. 116185, 2019.

[22] YI, W.; et al. Sensitive electrochemical sensor based on poly(lglutamic acid)/graphene oxide composite material for simultaneous detection of heavy metal ions. RSC Advances, v. 9, n. 30, p. 17325- 17334, 2019.

[23] KONG, F.-Y.; et al. A novel electrochemical sensor based on Au nanoparticles/8-aminoquinoline functionalized graphene oxide nanocomposite for paraquat detection. Nanotechnology, v. 30, n. 28, p. 285502, 2019.

[24] TAJIK, S.; et al. Electrochemical Detection of Hydrazine by Carbon Paste Electrode Modified with Ferrocene Derivatives, Ionic Liquid, and CoS2-Carbon Nanotube Nanocomposite. ACS Omega, v. 6, n. 7, p. 4641- 4648, 2021.

[25] ALI, M. Y.; ALAM, A. U.; HOWLADER, M. M. R. Fabrication of highly sensitive Bisphenol A electrochemical sensor amplified with chemically modified multiwall

ISBN: 978-65-89908-00-5

carbon nanotubes and β -cyclodextrin. Sensors and Actuators B: Chemical, v. 320, p. 128319, 2020.

[26] SALDAÑA, J.; et al. Multi-walled carbon nanotubes functionalized with bathocuproinedisulfonic acid: analytical applications for the quantification of Cu(II). Analytical and Bioanalytical Chemistry, v. 412, n. 21, p. 5089-5096, 2020.

[27] ATTA, N. F.; GALAL, A.; EL-GOHARY, A. R. M. New insight for simultaneous determination of hazardous di-hydroxybenzene isomers at crown ether modified polymer/carbon nanotubes composite sensor. Journal of Hazardous Materials, v. 388, p. 122038, 2020.

[28] ATTA, N. F.; GALAL, A.; EL-GOHARY, A. R. M. Gold-doped nanoperovskite-decorated carbon nanotubes for electrochemical sensing of hazardous hydrazine with application in wastewater sample. Sensors and Actuators B: Chemical, v. 327, p. 128879, 2021.

[29] WU, W.; et al. Sensitive, selective and simultaneous electrochemical detection of multiple heavy metals in environment and food using a lowcost Fe3O4 nanoparticles/fluorinated multi-walled carbon nanotubes sensor. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 175, p. 243-250, 2019.

[30] FILIK, H.; AVAN, A. A. Neutral red interlinked gold nanoparticles/multiwalled carbon nanotubes modified electrochemical sensor for simultaneous speciation and detection of chromium (VI) and vanadium (V) in water samples. Microchemical Journal, v. 158, p. 105242, 2020.