

Estudos Interdisciplinares: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias 2

Alexandre Igor Azevedo Pereira
(Organizador)

Alexandre Igor Azevedo Pereira
(Organizador)

**Estudos Interdisciplinares: Ciências
Exatas e da Terra e Engenharias
2**

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Geraldo Alves
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	Estudos interdisciplinares: ciências exatas e da terra e engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizador Alexandre Igor Azevedo Pereira. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Estudos Interdisciplinares: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias; v. 2) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-587-7 DOI 10.22533/at.ed.877190309 1. Ciências exatas e da terra. 2. Engenharia. I. Pereira, Alexandre Igor Azevedo. II. Série. CDD 507
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Estudos Interdisciplinares: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias 2*” aborda um considerável acervo técnico-científico de publicação da Atena Editora. Este primeiro volume, apresenta 21 capítulos dedicados às Ciências Exatas. De leitura compreensível, com resultados relevantes envolvendo aplicações teóricas, práticas e atualizadas nas áreas de Matemática, Química e Física, a presente obra configura-se como um conglomerado de estudos que utilizam (não apenas) o raciocínio lógico, cálculos, modelagem e teste de hipóteses fortemente atrelados à área de Ciências Exatas; mas uma proposta contextual mais ampla através da resolução e direcionamento de inovação para manipulação de problemas atuais.

O reconhecimento das Ciências Exatas como de grande utilidade e importância para a humanidade reside no fato dos avanços e inovações tecnológicas terem sido apresentadas desde muito tempo e em escala de descobertas bastante amplas, como no caso da eletricidade, computadores e smartphones, por exemplo; a até as temáticas abordadas na presente obra, sob caráter contemporâneo, como simulação computacional, modelagem, ensino de matemática, biocombustíveis, vulcanização, manipulação de resíduos industriais, ensaios eletroquímicos, química da nutrição, nanofibras, componentes poliméricos, fibras vegetais e suas propriedades mecânicas, educação de jovens e adultos, manipulação química de etanol de segunda geração, empregabilidade de novos componentes químicos sob contextos multidisciplinares e etc.

No meio profissional, os cursos ligados às Ciências Exatas ilustram um futuro promissor no mercado de trabalho devido ao seu amplo espectro funcional. Por isso, desperta o interesse de jovens estudantes, técnicos, profissionais e na sociedade como um todo, pois o ritmo de desenvolvimento atual observado em escala global gera uma robusta, consolidada e pungente demanda por mão-de-obra qualificada na área. Não obstante, as Ciências Exatas estão ganhando cada vez mais projeção, através da sua própria reinvenção frente às suas intrínsecas evoluções e mudanças de paradigmas impulsionadas pelo cenário tecnológico e econômico. Para acompanhar esse ritmo, a humanidade precisa de recursos humanos atentos e que acompanhem esse ritmo através da incorporação imediata de conhecimento com qualidade.

Esperamos que o presente e-book, de publicação da Atena Editora, possa representar como legado, em seu primeiro volume da obra “*Estudos Interdisciplinares: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias 2*”, a oferta de conhecimento para capacitação de mão-de-obra através da aquisição de conhecimentos técnico-científicos de vanguarda praticados por diversas instituições em âmbito nacional; instigando professores, pesquisadores, estudantes, profissionais (envolvidos direta e indiretamente) com as Ciências Exatas e a sociedade (como um todo) frente a construção de pontes de conhecimento de caráter lógico, aplicado e com potencial de transpor o limiar fronteiro do conhecimento, o que - inclusive - sempre caracterizou

as Ciências Exatas ao longo dos tempos.

Alexandre Igor de Azevedo Pereira

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ONDULAÇÃO GEOIDAL NA MEDIÇÃO DE PONTOS SOBRE A SUPERFÍCIE FÍSICA	
Plinio Temba Júlia Couto Nogueira Vitoria Ellen da Silva Oliveira Marcelo Antonio Nero Marcos Antonio Timbó Elmiro Sandra Cristina Deodoro Daniel Henrique Carneiro Salim	
DOI 10.22533/at.ed.8771903091	
CAPÍTULO 2	14
INTERVENÇÃO DIDÁTICA NAS AULAS DE FÍSICA: EXPERIMENTO SOBRE ESPELHOS PLANOS E ÓPTICA GEOMÉTRICA	
Adriane Beatriz Liscano Janisch Karin Ritter Jelinek Alana Amaral Rotter	
DOI 10.22533/at.ed.8771903092	
CAPÍTULO 3	19
A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE STELLARIUM COMO RECURSO DIDÁTICO PARA O ENSINO DE ECLIPSES E ESTAÇÕES DO ANO NO ENSINO MÉDIO	
Arilson Paganotti Marcos Rincon Voelzke Graciene Carvalho Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.8771903093	
CAPÍTULO 4	29
AS NOÇÕES BÁSICAS DE GEOMETRIA ESPACIAL X ORIGAMIS MODULARES VISTOS SOBRE O CONTEXTO DA SALA DE AULA DE TEMPO INTEGRAL	
José Erildo Lopes Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.8771903094	
CAPÍTULO 5	41
O ENSINO DE MATEMÁTICA NA EJA: A FORMAÇÃO DE PROFESSORES E AS PRÁTICAS	
Janaina da Conceição Martins Silva Cibele Paula Silva Marta Aparecida Quintiliano Rabelo Vânia Lúcia Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.8771903095	
CAPÍTULO 6	51
PROPORÇÕES ENTRE PRODUTOS EXPONENCIAIS	
Guilherme Cavichiolo Moreira Barbosa	
DOI 10.22533/at.ed.8771903096	

CAPÍTULO 7 63

ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE DISSIPADORES DE CALOR PARA FONTES LED RGB POR MEIO DE MODELAGEM E SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Thiago Lopes Quevedo
Filipe Melo Aguiar

DOI 10.22533/at.ed.8771903097

CAPÍTULO 8 76

CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DAS HIDROTALCITAS DE MAGNÉSIO E ALUMÍNIO MODIFICADAS COM FERRO (III) E CRÔMIO (III) SINTETIZADAS PELO MÉTODO DA PRECIPITAÇÃO POR HIDRÓXIDOS

Graciele Vieira Barbosa
Cintia Hisano
Rafael Aparecido Ciola Amoresi
Maria Aparecida Zaghete Bertochi
Jusinei Meireles Stropa
Lincoln Carlos Silva de Oliveira
Alberto Adriano Cavalheiro

DOI 10.22533/at.ed.8771903098

CAPÍTULO 9 88

CATALISADORES DE ARGILA BENTONÍTICA NA35 PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Alan Gabriel Adamczewski
Edson Cezar Grzebielucka
Eder Carlos Ferreira de Souza
Maria Elena Payret Arrúa
André Vitor Chaves de Andrade
Sandra Regina Masetto Antunes

DOI 10.22533/at.ed.8771903099

CAPÍTULO 10 101

EMBALAGENS: UM ESTUDO DE CASO DA SUA APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO DE SABONETES

Caroline de Souza Rodrigues
Carolina Laguna Pimenta
Laís Cabrerizo Vargas de Almeida
Marcos Vinícius Pereira da Costa
Sara Rudek
Raquel Teixeira Campos

DOI 10.22533/at.ed.87719030910

CAPÍTULO 11 108

ESTUDOS DOS PROCESSOS CORROSIVOS DO ALUMÍNIO AA 3003 EM MEIO DE ETANOL E GASOLINA

Mayara Soares
Carine Vieira
Cynthia Beatriz Fürstenberger
Danielle Borges
Danielle Cristina Silva Olizeski
Felipe Staciaki da Luz
Everson do Prado Banczek

DOI 10.22533/at.ed.87719030911

CAPÍTULO 12 120

EXTRAÇÃO, ANÁLISE E ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE OBTENÇÃO DE ERGOSTEROL EM RESÍDUOS DE *Ganoderma lucidum* (FR.) KRAST (GANODERMATACEAE)

Bianca de Araujo Ribeiro Rodrigues
Marcelo Telascrêa
Raquel Teixeira Campos
Oswaldo Luiz Gonçalves da Cunha
Márcia Ortiz Mayo Marques

DOI 10.22533/at.ed.87719030912

CAPÍTULO 13 132

FABRICAÇÃO DE SENSOR DE GÁS AMÔNIA ATRAVÉS DA TÉCNICA DE ELETROFIAÇÃO DE POLÍMEROS CONDUTORES EM MATRIZES ISOLANTES

Deuber Lincon da Silva Agostini
André Antunes da Silva
Bruno Henrique de Santana Gois
Jessyka Carolina Bittencourt
Clarissa de Almeida Olivati
Pedro Leonardo Silva
Vagner dos Santos
Wilson Silva Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.87719030913

CAPÍTULO 14 142

INVESTIGAÇÃO DO DIÓXIDO DE TITÂNIO ESTABILIZADO COM ZIRCÔNIO E SILÍCIO COMO MATRIZ PARA NOVOS DOPANTES

Natali Amarante da Cruz
Rafael Aparecido Ciola Amoresi
Maria Aparecida Zaghete Bertochi
Silvanice Aparecida Lopes dos Santos
Lincoln Carlos Silva de Oliveira
Alberto Adriano Cavalheiro

DOI 10.22533/at.ed.87719030914

CAPÍTULO 15 154

MATERIAIS COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER E FIBRA DE CAPIM CAPETA: RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Douglas Santos Silva
Igor dos Santos Gomes
Edil Silva de Vilhena
Edielson Silva de Vilhena
Rodrigo da Silva Magalhães Dias
Maurício Maia Ribeiro
Roberto Tetsuo Fujiyama

DOI 10.22533/at.ed.87719030915

CAPÍTULO 16 167

MICROBALANÇA DE CRISTAL DE QUARTZO NO MONITORAMENTO DE REAÇÕES EM TEMPO-REAL

Cesar Augusto Tischer
Gina Alejandra Gil Giraldo

DOI 10.22533/at.ed.87719030916

CAPÍTULO 17 180

PRODUÇÃO DE ETANOL ATRAVÉS DE UMA PLANTA INTEGRADA DE PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO

Rafael Rodrigues Gomes
Diego Martinez Prata
Lizandro de Sousa Santos

DOI 10.22533/at.ed.87719030917

CAPÍTULO 18 193

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE BLENDA DE POLI(CAPROLACTONA) E ACETATO DE CELULOSE CONTENDO ÁCIDO ASCÓRBICO

Sthefany Ananda Bruna Almeida Mendes
Maria Oneide Silva de Moraes
Tainah Vasconcelos Pessoa
Taisa Lorene Sampaio Farias
Catarina Barbosa Levy
Ivanei Ferreira Pinheiro
Walter Ricardo Brito
João de Deus Pereira de Moraes Segundo

DOI 10.22533/at.ed.87719030918

CAPÍTULO 19 202

SÍNTESE DA ESTRUTURA PEROVSKITA DE TITANATO DE CÁLCIO E COBRE EM BAIXA TEMPERATURA PELO MÉTODO SOL-GEL

Eliane Kujat Fischer
Vinícius Moreira Alves
Rafael Aparecido Ciola Amoresi
Maria Aparecida Zaghete Bertochi
Graciele Vieira Barbosa
Cintia Hisano
Silvanice Lopes dos Santos
Lincoln Carlos Silva de Oliveira
Alberto Adriano Cavalheiro

DOI 10.22533/at.ed.87719030919

CAPÍTULO 20 214

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE HIDROTALCITAS FOSFATADAS DE MAGNÉSIO E ALUMÍNIO POR COPRECIPITAÇÃO

Alberto Adriano Cavalheiro
Sabrina Vitor Gonçalves
Creuza Kimito Caceres Kawahara
Rafael Aparecido Ciola Amoresi
Graciele Vieira Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.87719030920

CAPÍTULO 21 225

COMPÓSITO DE BORRACHA NATURAL REFORÇADO COM BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR: EFEITOS MECÂNICOS DO TRATAMENTO ALCALINO

Fábio Friol Guedes de Paiva

Vitor Peixoto Klienchen de Maria
Giovani Barrera Torres
Guilherme Dognani
Renivaldo José dos Santos
Flávio Camargo Cabrera
Aldo Eloizo Job

DOI 10.22533/at.ed.87719030921

SOBRE O ORGANIZADOR.....	235
ÍNDICE REMISSIVO	236

MICROBALANÇA DE CRISTAL DE QUARTZO NO MONITORAMENTO DE REAÇÕES EM TEMPO-REAL

Cesar Augusto Tischer

Universidade estadual de Londrina - UEL,
Departamento de Bioquímica e Biotecnologia -
DBBTEC
Londrina – Paraná BR

Gina Alejandra Gil Giraldo

Universidade estadual de Londrina - UEL,
Departamento de Bioquímica e Biotecnologia -
DBBTEC
Londrina – Paraná BR

RESUMO: A Microbalança de Quartzo, ou (QCM) é provavelmente, a técnica mais utilizada na avaliação *in-situ* do processo de construção de filmes e agregação de compostos. Por meio desta técnica é possível relacionar a variação de frequência na oscilação no cristal de quartzo e a variação de massa na superfície do mesmo, permitindo acompanhar continuamente a quantidade de massa depositada sobre o cristal de quartzo em cada passo do processo, através da variação da frequência de vibração desse cristal ao longo da deposição de cada camada. O cristal de quartzo vibra com uma determinada frequência, em resposta à aplicação de um campo elétrico. Com a deposição de material na superfície do cristal, a sua frequência de vibração é alterada, podendo relacionar-se a variação da frequência de vibração do cristal com a massa de material depositado

através da equação de Sauerbrey. Processos biológicos fundamentados na interação entre moléculas podem ser medidos no momento em que ocorrem, como na formação de filmes orgânicos, monocamadas auto-organizadas, filmes protéicos e de polímeros condutores, são processos que ocorrem numa escala de tempo mensurável pela técnica da QCM. Neste capítulo serão revisados os conceitos teóricos básicos bem como as aplicações desta técnica no monitoramento da formação de filmes por agregação, quer seja por interação iônica, polar ou bipolo induzida, bem como exemplos de medidas por ligação covalente.

PALAVRAS-CHAVE: QCM, avaliação *in-situ*, filmes

ABSTRACT: Quartz Crystal Microbalance (QCM) is probably the most used technique in *in-situ* evaluation for the film-building process and compound aggregation. By this technique it is possible to relate the frequency variation in the oscillation on the quartz crystal and the mass variation in the surface of it, allowing to continuously monitor the amount of mass deposited on the quartz crystal in each step of the process, through the variation of the frequency of this crystal throughout the deposition of each layer. Quartz crystal vibrates with a certain frequency, in response to the application of an electric field. With the deposition of material on

the surface of the crystal, its frequency of vibration is altered, and may be related the vibration frequency variation of the crystal with the mass of material deposited through the Sauerbrey equation. Biological processes based on the interaction between molecules can be measured at the time they occur, such as in the formation of organic films, self-organized monolayers, protein films and conductive polymers, processes that occur on a time scale measurable by the QCM technique. In this chapter the basic theoretical concepts will be review as well the applications of this technique in the monitoring of the formation of films by aggregation, either by ionic interaction, polar or bipolar induced, as well as examples of measurements by covalent bond.

KEYWORDS: QCM, *in-situ* evaluation, films.

1 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de dispositivos piezoelétricos sensíveis à massa baseia-se no deslocamento da frequência de ressonância proporcional à massa depositada, técnica importante em estudos de interações de moléculas biológicas. A tecnologia de Microbalança de Cristais de Quartzo (QCM), permite a leitura ultra-sensível e em tempo real de eventos de ligação medindo mudanças de frequência ressonante, e tem sido amplamente utilizada para a medição de átomos e moléculas de baixo a médio peso molecular, cerca de poucos kilodaltons (MADABOOSI et al., 2017).

A interação com a amostra resulta em uma mudança na massa do cristal que afeta a frequência com que o cristal oscila. As oscilações induzidas são dependentes de vários fatores, tais como temperatura, viscosidade ou densidade do meio circundante. Esta coerência entre frequência de ressonância e mudanças de massa na superfície de um cristal piezoelétrico, causadas pela adsorção específica de moléculas alvo, constrói a base fundamental da metodologia da QCM (MECEA, 2006; ZAMPETTI et al., 2008; NEUMANN et al., 2018).

Além de sua sensibilidade sub-nanograma, uma vantagem possível dos sensores QCM em análise de líquidos, é que o mesmo dispositivo pode ser usado para obter simultaneamente mudanças de massa e sinais eletroquímicos (GARCIA-HERNANDEZ et al., 2015). A QCM é capaz de monitorar de forma não invasiva a interface entre o sensor e o meio circundante, detalhando a deposição de massa interfacial, evolução conformacional e viscoelasticidade.

Este método tem sido amplamente adotado para estudos de construção de filmes ultrafinos pela imersão alternada em soluções de polímeros interativos, interações eletrostáticas entre polímeros de carga oposta, interação de ligação de hidrogênio entre um doador de hidrogênio e um aceptor, interação de transferência de carga e interações mais fracas de van der Waals (OGAWA et al., 2008), estudos de deposição de nanopartículas, fusão de vesículas, ligação interfacial e adsorção, transição de fase e cinética de reação (MARX, 2003; HANNINEN; ORELMA; LAINE, 2015; SATAM et al., 2018).

Dentro deste contexto, a proposta deste capítulo é revisar os conceitos teóricos básicos da QCM bem como as aplicações desta técnica no monitoramento da formação de filmes por agregação.

2 | MICROBALANÇA DE CRISTAL DE QUARTZO

A microbalança de cristal de quartzo (QCM) é uma ferramenta analítica baseada na medição de pequenas mudanças de massa na superfície do sensor, utilizado para medições de frequência ultraestáveis. O aumento de peso na superfície de ouro, associado com a reação de união, resulta em uma diminuição da frequência de oscilação. Os sensores QCM são ferramentas de monitoramento práticas e convenientes devido a sua especificidade, alta precisão, estabilidade e reprodutibilidade, fácil de usar e rápida, que se adaptou favoravelmente para a aplicação analítica devido a sua extrema sensibilidade ao nível de nanogramas (LIU et al., 2006; YANG; ZHANG, 2009; DILTEMIZ et al., 2017).

A QCM é uma técnica de sensoriamento baseada no fenômeno da piezoelectricidade que consiste na capacidade que têm alguns cristais em gerar um campo elétrico quando os mesmos sofrem algum estímulo, que podem ser mediante alteração nas condições elétricas do circuito, e também por alterações mecânicas do cristal. O material mais comumente utilizado e que possui essa propriedade piezoelétrica é o quartzo, uma forma cristalina específica do dióxido de silício (SiO_2), insolúvel em água e resistente a altas temperaturas. Estes cristais não possuem um centro de simetria em sua estrutura cristalina, aparecendo dipolos elétricos. Quando a compressão sobre um material dielétrico deforma o entrelaçamento cristalino, surge o efeito piezoelétrico, causando uma separação dos centros de gravidade de espécies opostamente carregadas, o que provoca um momento dipolar em cada molécula (DAMOS et al., 2004). A intensidade da carga elétrica gerada vai ser dependente da intensidade da força aplicada no material.

O efeito piezoelétrico em cristais de quartzo ou também conhecido como mecanismo de transdução de sinais foi descoberto em 1880 pelos irmãos Jacques e Pierre Curie, através de uma pressão mecânica feita sobre o quartzo gerando um potencial elétrico nas faces opostas, proporcional à força aplicada, surgindo o termo piezoelectricidade, derivado do grego (piezo) que significa pressão (CURIE; CURIE, 1889; FARIA, 2000). Na década de 1980, o QCM baseado em solução para detecção de massa, se desenvolveu como uma nova tecnologia de oscilador avançada para medir mudanças na frequência que poderiam estar relacionadas às mudanças na viscosidade e densidade em meios líquidos (KUROSAWA 1990). O desenvolvimento de sistemas QCM para uso em fluidos abriu um novo mundo de aplicações, incluindo eletroquímica e microreologia. O sucesso da técnica é devido à sua capacidade de medir sensivelmente as alterações de massa associadas a fenômenos interfaciais

líquido-sólido, bem como caracterizar o comportamento dissipativo ou viscoelástico da massa depositada na superfície do eletrodo de metal do cristal de quartzo (HUANG; LIN; WU, 2010).

A técnica do QCM possui um amplo intervalo de detecção. Na extremidade inferior, pode detectar a cobertura da superfície da massa em monocamada por pequenas moléculas ou filmes poliméricos. Na extremidade superior, é capaz de detectar massas muito maiores ligadas à superfície (arranjos complexos de biopolímeros) (MARX, 2003).

O equipamento consiste em um disco elaborado em cristal piezoelétrico de quartzo revestido nas faces superior e posterior por um depósito metálico, como apresentado na Figura 1. Acoplado a um circuito oscilador, o qual é responsável pela aplicação do campo elétrico no cristal, com o propósito de provocar uma oscilação. O contador de frequência está diretamente ligado ao circuito oscilador, que realiza o monitoramento das variações na frequência e a um computador para a obtenção dos dados (O'SULLIVAN; GILBAULT, 1999), como apresentado na Figura 2. Os movimentos vibracionais se dão pela aplicação do potencial elétrico promovendo uma onda acústica através do cristal.

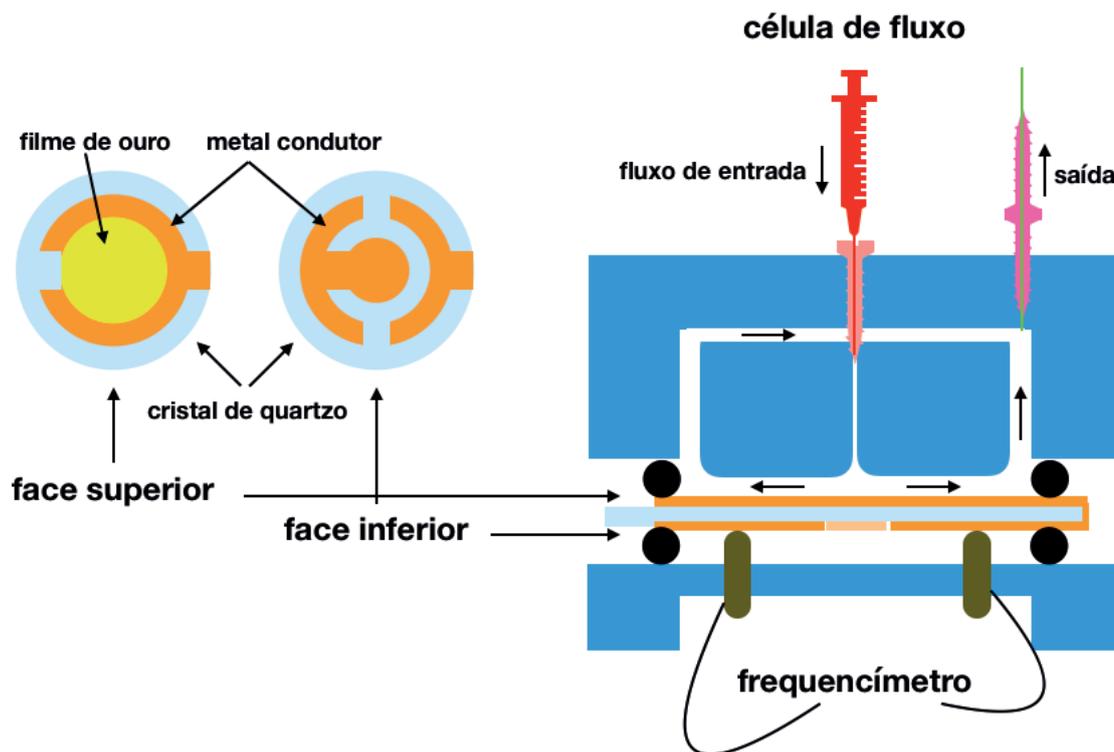


Figura 1 - Descrição do equipamento de QCM

Fonte: Desenho esquemático da vista superior e inferior de um cristal de quartzo com depósitos metálicos em ambos os lados; e a direita o esquema ilustrativo de uma célula de fluxo para operação de cristais piezoelétricos em meios líquidos, incluindo o sistema oscilador e o frequencímetro

Quando o material a ser estudado é depositado sobre o disco ocorre uma diminuição no movimento de oscilação, o que resulta em uma redução da frequência (f), a traves deste monitoramento constante é possível identificar os fenômenos

interfaciais e superficiais, como apresentado na Figura 2. A frequência da oscilação mudará dependendo da quantidade de material depositado no cristal de quartzo (CASTNER; RATNER 2019) Portanto, que a adição de massa no cristal de quartzo corresponde a uma diminuição na frequência de oscilação, e a remoção, aumento na frequência, permitindo o análises dos dados em tempo real dos processos ocorridos.

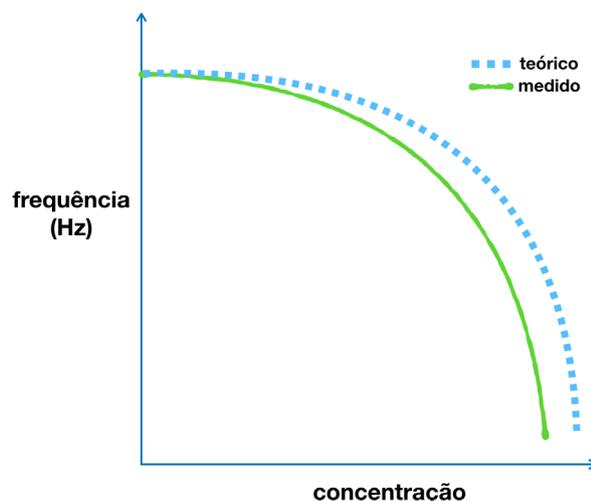


Figura 2 – Influência da concentração de matéria sobre o disco na frequência de vibração do cristal de quartzo.

Os cristais do sensor QCM podem ser revestidos com qualquer material contanto que possa ser depositado em uma camada suficientemente fina, uniforme e bem unida. Espessuras de camada normalmente variam de ângstrons a alguns micrômetros. Pela QCM pode ser possível monitorar a deposição em massa pelas ligações covalentes entre moléculas orgânicas, presentes em solução líquida, e a superfície do material depositado no disco de quartzo. Os grupos funcionais livres que permitem as ligações, correspondem as extremidades do material estudado, podendo ser grupamentos carboxila (-COOH), amina (-NH₂), hidroxila (-OH) ou uma mistura dos mesmos (EDVARDSSON et al., 2005; SANTOS, 2012).

Quando uma interação ocorre sobre a massa total da superfície do cristal sua frequência de oscilação diminui de maneira proporcional, podendo relacionar-se a variação da frequência de vibração do cristal com a massa de material depositado, através da equação de Sauerbrey (Equação 1) que foi desenvolvida para aplicação da microbalança na análise de filmes sólidos no vácuo. Sauerbrey, foi o primeiro a reconhecer a utilidade potencial da tecnologia da QCM e demonstrar a natureza extremamente sensível desse dispositivo piezelétrico em relação às mudanças de massa na superfície dos eletrodos. Os resultados de seu trabalho relacionam a mudança de massa por unidade de área na superfície do eletrodo da QCM com a mudança observada na frequência de oscilação do cristal (SAUERBREY, 1959).

$$\Delta f' = -\frac{f_0^2}{F_q P_q A_{el}} \Delta m$$

Equação 1

Na Equação 1, temos que Δf é a variação da frequência, f_0 é a frequência fundamental do cristal de quartzo, Δm é a variação da massa sobre o eletrodo, P_q é a densidade do cristal de quartzo, F_q é a constante de frequência ($F_q = f_0 d_q$, sendo que d_q é a espessura do cristal) e A_{el} é a área do eletrodo depositada sobre o cristal.

A equação de Sauerbrey se baseia em um fator de sensibilidade linear, que é uma propriedade fundamental do cristal da QCM. Assim, em teoria, o sensor de massa da QCM não requer calibração. No entanto, deve-se ter em mente que a equação de Sauerbrey só é estritamente aplicável a depósitos uniformes, rígidos e de película fina (BUTTRY 1991). Utilizando as variações de frequência é possível a construção de uma curva cinética e de saturação permitindo cálculos das constantes cinéticas e de afinidade da interação receptor-ligante (DAMOS et al., 2004; PESQUERO et al., 2010; PEDROSO et al., 2012; SANTOS, 2012).

Oyama e Ohsaka (1995) descrevem que a QCM torna-se uma técnica essencial para se estudar os processos que envolvem variações de carga e de massa, tais como:

- Formação de filmes poliméricos;
- Processos de dopagem e desdopagem de polímeros condutores;
- Estudo de rotas de síntese;
- Determinação do número de elétrons envolvidos em processos de eletropolimerização.

2.1 Vantagens de Utilizar Microbalança de Cristal de Quartzo

As principais vantagens da aplicação de QCM são sua capacidade de medir mudanças de massas muito pequenas e monitorar a deposição em massa em tempo real. Além disso, tais medidas podem ser realizadas usando moléculas sem qualquer marcação, esta técnica de detecção de massa elimina a necessidade de qualquer etapa de marcação específica a ser parte do mecanismo de transdução de sinal. A transdução de sinal através do mecanismo piezoelétrico opera bem em meios de solução complexos, muitas vezes opticamente opacos, a técnica é capaz de detectar mudanças sutis na interface e superfície da solução (MARX, 2003). Portanto, o QCM é uma das técnicas utilizadas para estudar a cinética das interações intermoleculares.

Interações específicas entre as moléculas biológicas são estudadas usando métodos físicos e bioquímicos como a técnica imunoensaio ELISA, alguns métodos determinam apenas a afinidade das espécies estudadas, enquanto outros fornecem informações sobre a cinética da interação. A QCM permite a estimativa da constante

de taxa de dissociação, bem como as constantes de taxa de equilíbrio e de associação das interações moleculares (MAO et al., 2002; HU et al., 2003). A confiabilidade dos resultados da QCM foi verificada por diferentes métodos complementares como impedância (BUTTRY; WAROL, 1992), análise eletroquímica (MAO et al., 2002; KIM; RAND; LETCHER, 2003), espectroscopia de fluorescência (CHO et al., 2004; HA et al., 2004), ressonância plasmônica de superfície (OKAHATA et al., 2000; CHO et al., 2004; LARICCHIA-ROBBIO; REVOLTELLA, 2004), microscopia de força atômica (COFFEY; ABDELMAKSOU; KRIM, 20001; CHO et al., 2004) e espectroscopia de fotoelétrons (KRISTENSEN et al., 2003).

De acordo com Damos, Mendes, Kubota (2004) a técnica da QCM segundo seu parâmetro de frequência de ressonância do cristal de quartzo pode apresentar informações importantes no entendimento do comportamento do material, tais como: velocidade de corrosão em filmes, adsorção, dessorção e descomposição do material estudado, variações de massa em processos redox, constante de associação, constantes cinéticas, o grau de cobertura em superfícies e energia de adsorção.

2.2 Aplicação da Microbalança de Cristal de Quartzo na Construção de Filmes Poliméricos

A QCM tem sido amplamente aplicada em biologia e bioquímica (SURI; JAIN; MISHRA, 1995; BAO et al., 1996; KUGIMIYA; TAKEUCHI, 1999) ensaios ambientais (YAO; NIE; MO, 1989), ciências farmacêuticas (NIE; LIU; YAO, 1990; PERCIVAL et al., 2001) ciências da vida (EBERSLE et al., 1990; YAMAGUCHI; SHIMOMURA, 1993) e química analítica (DICKERT; LIEBERZEIT; TORTSCHANOFF, 2000; PERCIVAL et al., 2002), já que o instrumental fornece um método independente para o estudo direto do processo de interação bio-específica (KUGIMIYA; TAKEUCHI, 1999; KRISTENSEN et al., 2003). A detecção seletiva e sensível de compostos bioquimicamente ativos pode ser obtida empregando-se esta técnica (BEN-DOV; WILLMER, 1997; HENGERER et al., 1999). Em nenhuma área as aplicações de QCM tiveram um aumento tão expressivo nos últimos anos como no campo da análise bioquímica. Os dispositivos QCM são rotineiramente usados como sondas bioquímicas para a investigação e/ou monitoramento de processos bioquimicamente significativos (MONNIER et al., 2018; DENIZ; DELIGÖZ, 2019).

É, provavelmente, a técnica mais utilizada na polimerização in-situ do processo de construção de filmes, no sistema de multicamadas (DECHER; SCHLENOFF, 2012; SVAGAN et al., 2012) que permite acompanhar continuamente a quantidade de massa depositada sobre o cristal de quartzo em cada passo do processo, e identificação de acoplantes químicos na adição de grupos funcionais nos filmes poliméricos aumentando suas propriedades e ampliando as aplicações.

O QCM devido a sua alta sensibilidade há tempo vem apresentando várias aplicações de detecção e monitoramento de material biológico como apresentado na

Tabela 1.

Aplicação	Propósito	Referência
Filmes Protéicos	Estudo de interação em tempo real e cálculo das constantes de associação, dissociação e equilíbrio de cloreto de berbelina com albumina de soro bovino	MAO et al., 2002
Filmes/Polímeros condutores	Avaliação de processos redox e mecanismos de condutividade em filmes de polipirrol modificados com diferentes ânions.	SYRITSKI; OPIK; FORSEN, 2003
Filmes de PLL/PDLA	Monitoramento da fabricação da montagem de filmes de poli (L-lisina) (PLL) e poli (D-ácido láctico) (PDLA) camada por camada com solução aquosa de PLL e solução de acetonitrilo de PDLA. Formado através das interações cátion-dipolo entre a carga positiva no átomo de nitrogênio do amino de PLL e os pares solitários do átomo carbonila de oxigênio de PDLA.	OGAWA et al., 2008
Filme à base de PLA/Argila	Avaliação da construção do filme de poliácido láctico (PLA) para melhorar as propriedades de barreira ao oxigênio em alimentos sensíveis ao oxigênio.	SVAGAN et al., 2012
Microesfera de mPEGPLA, PELA	Elucidar o mecanismo microcômico da liberação incompleta medindo a hidrofília do filme de monometoxipolietilenoglicol-co-D, L-lactido (mPEGPLA, PELA) e sua interação com o fármaco proteico hormona do crescimento humano recombinante (rhGH).	WEI et al., 2012
Filmes Celulose/TEMPO	Monitoramento de dissipação para analisar mudanças nas propriedades do filme de N-oxil-2,2,6,6-tetrametilpiperidina (TEMPO).	HANNINEN; ORELMA; LAINE, 2015
Filmes PBA-HAP/PVA/GOx	Monitoramentos da construção de filmes finos preparados por meio de camada-por-camada (LbL) com deposição de poli fenilborônico ácido-rolamento (cloridrato de alilamina) (PBA-HAP) e poli (álcool vinílico) (PVA) através de ligações de éster boronato, que foram funcionalizados com glucose oxidase (GOx) através de interacciones electrostáticas.	SATO et al., 2015
Filmes de PLA funcionalizados com AH	Monitoramento da funcionalização de ácido hialurônico (AH) na superfície do filme de PLA para posterior proliferação de células-tronco mesenquimais.	MONNIER et al., 2018
Filmes finos de PAni.	Promover o entendimento das interações na da formação e composição final do filme de polianilina (PAni) pelo método camada-a-camada e investigar seu comportamento viscoelástico usando o monitoramento QCM.	DENIZ; DELIGÖZ, 2019

Tabela 1 - Diferentes aplicações do QCM no monitoramento de material biológico.

Fonte: Próprio autor

Atualmente, existe um desafio na construção de filmes em torná-los competitivos

para substituir os plásticos cem por cento à base de petróleo, devido às exigentes legislações ambientais que são aplicadas com mais força hoje, testando combinações exitosas como outros materiais mais amigáveis ao meio ambiente e ao homem como PLA, colágeno, arginina, PELA, TEMPO, PAni (FARIA-TISCHER et al., 2016), ácido hialurônico (OLIVEIRA et al., 2017) que possam atingir as exigências das diferentes aplicações no mercado como é o caso do empacotamento de alimentos sensíveis ao oxigênio aprimorando as propriedades de barreira a gases (SVAGAN et al., 2012; SHEIKHI et al., 2018), aplicação em engenharia de tecidos, melhorando processo de cicatrização (WEI et al., 2012; CONTARDI et al., 2017), aplicação dermatológica para melhoramento da pele (MIYAMOTO et al., 2017) e liberação controlada de fármacos (SATO et al., 2015; SATAM et al., 2018). Este desafio está acompanhado da necessidade de entender o comportamento dos mecanismos de construção dos filmes e suas propriedades que hoje é possível pela utilização da metodologia QCM que contribuem com o desenvolvimento de novas técnicas e novos biomateriais promissórios demonstrados durante décadas com grande aplicação na indústria.

REFERÊNCIAS

BAO, L.L.; LE, D. NIE, L.H.; YAO, S.Z. Determination of microorganisms with a quartz crystal microbalance, **Anal. Chim. Acta** 319. p. 97–101, 1996.

BEN-DOV, I.; WILLMER, I. “Piezoelectric Immunosensors for Urine Specimens of Chlamidia trachomatis Employing QCM Microgravimetric Analysis”, **Anal. Chem.** v. 69, p. 3506, 1997.

BUTTRY, D. “Applications of the QCM to Electrochemistry”, In: **A Series of Advances in Electroanalytical Chemistry**, edited by Allen Bard, Marcel Dekker, 1991, pag. 23-33.

BUTTRY, D.A.; WARD, M.D. Measurement of interfacial processes at electrode surfaces with the electrochemical quartz crystal microbalance. **Chem. Rev.** v. 92, n. 6, pag. 1355-1379, 1992.

DOI: 10.1021/cr00014a006

CASTNER, D.G.; RATNER, B.D. Proteins controlled with precision at organic, polymeric, and biopolymer interfaces for tissue engineering and regenerative medicine. In: **Principles of Regenerative Medicine**. 3. ed. Washington – USA, 2019. Cap. 35, pag. 523-533.

CHO, Y.K.; KIM, S.; KIM, Y.A.; LIM, H.K.; LEE, K.; YOON, D.; LIM, G.; PAK, Y.E.; HA, T.H.; KIM, K. Characterization of DNA immobilization and subsequent hybridization using in situ quartz crystal microbalance, fluorescence spectroscopy and surface plasmon resonance. **J. Colloid Interface Sci.** v. 278, n. 1, p. 44-52, 2004.

COFFEY, T.; ABDELMAKSOU, M.; KRIM, J. A scanning probe and quartz crystal microbalance study of the impact of C_{60} on friction at solid–liquid interfaces. **J. Phys. Condens. Matter.** v.13, p. 4991-4999, 2001.

CONTARDI, M.; JOSÉ A. HEREDIA-GUERRERO, J.A.; PEROTTO, G.; VALENTINI, P.; POMPA, P.P.; SPANÒ, R.; GOLDONI, L.; BERTORELLI, R.; ATHANASSIOU, A.; BAYERA, I.S. Transparent ciprofloxacin-povidone antibiotic films and nanofiber mats as potential skin and wound care dressings. **European Journal of Pharmaceutical Sciences.** v. 104, p. 133–144, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejps.2017.03.044>.

CURIE J, CURIE P. Development by pressure of polar electricity in crystals with angled faces. **Comp. Rend. Acad. Sci.** Paris 91, pag. 294–297, 1880.

DAMOS, F. S.; MENDES, R. K.; KUBOTA, L. T. Aplicações de QCM, EIS e SPR na investigação de superfícies e interfaces para o desenvolvimento de (bio)sensores. **Química Nova**, v. 27, n. 6, p. 970-979, 2004.

DECHER, G. (2012). Layer-by-Layer Assembly (Putting Molecules to Work). In *Multilayer Thin Films* (eds G. Decher and J. B. Schlenoff). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, New Jersey EUA. 2012.

DENIZ, M.; DELIGÖZ, H. Flexible self-assembled polyelectrolyte thin films based on conjugated polymer: Quartz crystal microbalance dissipation (QCM-D) and cyclic voltammetry analysis. **Colloids and Surfaces A**. v. 563, p. 206–216, 2019.

DICKERT, F.L.; LIEBERZEIT, P.; TORTSCHANOFF, M. Molecular imprints as artificial antibodies—a new generation of chemical sensors, **Sens. Actuators, B: Chem.** v. 65, p. 186–189, 2000.

DILTEMIZ, S.E.; KEÇILI, R.; ERSÖZ, A.; SAY, R. Review: Molecular Imprinting Technology in Quartz Crystal Microbalance (QCM) Sensors. **Sensors**, v. 17, n. 3, p. 2-19, 2017. Doi:10.3390/s17030454.

EBERSLE, R.C.; MILLER, J.A.; MORAN, J.R.; WARD, M.D. Spontaneously formed functionally active avidin monolayer on metal surface: a strategy for immobilizing biological reagents and design of piezoelectric biosensors, **J. Am. Chem. Soc.** v. 112, p. 3239–3241, 1990.

EDVARDSSON, M.; RODAHL, M.; KASEMO, B.; HÖÖK, F. A dual-frequency QCM-D setup operating at elevated oscillation amplitudes. **Analytical Chemistry**, v. 77, n. 15, p. 4918-4926, 2005.

FARIA, R.C., **Desenvolvimento de instrumentação em microbalança de cristal de quartzo para aplicações em eletroanalítica e biossensores**. 2000, 125 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Química) 2000, Universidade Federal de São Carlos: São Carlos, 2000.

TISCHER, S. C. P.; COSTA, C. A. R.; TOZETTI, I.; DALL'ANTONIA, L. H.; VIDOTTI, M. Structure and effects of gold nanoparticles in bacterial cellulose–polyaniline conductive membranes. *The Royal Society of Chemistry Advances*. n.6, p.9571-9580, 2016.

GARCIA-HERNANDEZ, C.; MEDINA-PLAZA, C.; GARCIA-CABEZON, C.; MARTIN-PEDROSA, F.; DEL VALLE, I.; DE SAJA, J. A.; RODRÍGUEZ-MÉNDEZ, M. L. An Electrochemical Quartz Crystal Microbalance Multisensor System Based on Phthalocyanine Nanostructured Films: Discrimination of Musts. **Sensors**, v. 15, p. 29233-29249, 2015.

HA, T.H.; KIM, S.; LIM, G.; KIM, K. Influence of liquid medium and surface morphology on the response of QCM during immobilization and hybridization of short oligonucleotides. **Biosens. Bioelectron.** v. 20, n. 2, p. 378-389, 2004.

HANNINEN, T.; ORELMA, H.; LAINE, J. TEMPO oxidized cellulose thin films analysed by QCM-D and AFM. **Cellulose**, v. 22, p. 165–171, 2015.

HENGERER, A.; KÖSSLINGER, C.; DECKER, J.; HAUCK, SQUEITSCH, I.; WOLF, H.; DÜBEL, S. “Determination of Phage Antibody Affinities to Antigen by a Microbalance Sensor System”, **BioTechniques**. v. 2, p. 6956-964, 1999.

HU, J.; YANG, D.; KANG, Q.; SHEN, D. Estimation the kinetics parameters for non-specific adsorption of fibrinogen on quartz surface from the response of an electrode-separated piezoelectric sensor. **Sensor and Actuator. B**. v. p. 96, 390-398 2003.

HUANG, I.; LIN, C. ; WU, E. Effects of a glutaraldehyde cross-linking layer on a quartz crystal microbalance–based α -fetoprotein biosensor with cystamine self-assembly monolayer. **Journal of**

LARICCHIA-ROBBIO, L.; REVOLTELLA R.P. Comparison between the surface plasmon resonance (SPR) and the quartz crystal microbalance (QCM) method in a structural analysis of human endothelin-1. **Biosens. Bioelectron.** v. 19, n. 12, p. 1753-1758, 2004.

KIM, G.H.; RAND, A.G.; LETCHER, S.V. Impedance characterization of a piezoelectric immunosensor. Part I: antibody coating and buffer solution. **Biosens. Bioelectron.** v. 18, p. 83-89, 2003.

KRISTENSEN, E.M.E.; RENSMO, H.; LARSSON, R.; SIEGBAHN, H. Characterization of heparin surfaces using photoelectron spectroscopy and quartz crystal microbalance. **Biomaterials.** v. 24, p. 4153-4159, 2003.

KUGIMIYA, A.; TAKEUCHI, T. Molecularly imprinted polymer-coated quartz crystal microbalance for detection of biological hormone. **Electroanalysis.** v. 11, p. 1158–1160, 1999.

KUROSAWA, S.; TAWARA, E.; KAMO, N.; KOBATAKE, Y. Oscillating frequency of piezoelectric quartz crystal in solutions. **Anal Chim Acta.** v. 230, p. 41–49, 1990.

LIU, F.; LIU, X.; NG, S. C.; CHAN, H.S.O. Enantioselective molecular imprinting polymer coated QCM for the recognition of L-tryptophan. **Sens. Actuators: B**, v. 113, p. 234 – 240, 2006.

MARX, K. A. Quartz crystal microbalance: a useful tool for studying thin polymer films and complex biomolecular systems at the solution–surface interface, **Biomacromolecules**, v. 4, n. 5, p. 1099–1120, 2003.

MADABOOSI, N.; NEUMANN, F.; HERNÁNDEZ-NEUTA, I.; SALAS, J.; MECEA, V.; NILSSON, M. Real-Time QCM Measurements of Rolling Circle Amplification Products. **Proceedings**, n. 1, p. 2-4, 2017. Doi:10.3390/proceedings1040509.

MARX, K.A. Review: Quartz Crystal Microbalance: A Useful Tool for Studying Thin Polymer Films and Complex Biomolecular Systems at the Solution-Surface Interface. **Biomacromolecules**, v. 4, n. 5, 2003. Doi: 10.1021/bm020116i

MAO, Y.; WEI, W.; HE, D.; NIE, L.; YAO, S. Monitoring and kinetic parameter estimation for the binding process of berberine hydrochloride to bovine sérum albumin with piezoelectric quartz crystal impedance analysis. **Anal. Biochem.** v. 306, n. 1, p. 23-30 2002. DOI: 10.1006/abio.2002.5654

MECEA, V. M. Is quartz crystal microbalance really a mass sensor? **Sens. Actuators A: Phys.** 128, p. 270–277, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sna.2006.01.023>.

MIYAMOTO, A.; LEE, S.; COORAY, N.F.; LEE, S.; MORI, M.; MATSUHISA, N.; JIN, H.; YODA, L.; YOKOTA, T.; ITOH, A.; SEKINO, M.; KAWASAKI, H.; EBIHARA, T.; AMAGAI, M.; SOMEYA, T. Inflammation-free, gas-permeable, lightweight, stretchable on-skin electronics with nanomeshes. **Nature Nanotechnology.** v. 12, p. ,907-914, 2017. Doi: 10.1038/nnano.2017.125

MONNIER, A.; TAWIL, E.A.; NGUYEN, Q.T.; VALLETON, J.M.; FATYEYEVA, K.; DESCHREVEL, B. Functionalization of poly(lactic acid) scaffold surface by aminolysis and hyaluronan immobilization: How it affects mesenchymal stem cell Proliferation. **European Polymer Journal.** v. 107, p. 202–217, 2018

NIE, L.H.; LIU, D.Z.; YAO, S.Z. Piezoelectric determination of diazepam with a diazepam ion-selective electrode, **J. Pharm. Biomed. Analyst.** v. 8 , p. 379–383, 1990.

NEUMANN, F.; MADABOOSI, N.; HERNÁNDEZ-NEUTA, I.; SALAS, J.; AHLFORD, A.; MECEA, V.; NILSSON, M. QCM mass underestimation in molecular biotechnology: Proximity ligation assay for norovirus detection as a case study. **Sensors & Actuators: B. Chemical**, v. 273, p. 742–750, 2018.

OGAWA, Y.; ARIKAWA, Y.; KIDA, T.; AKASHI, M. Fabrication of Novel Layer-by-Layer Assembly Films Composed of Poly(lactic acid) and Polylysine through Cation-Dipole Interactions. **Langmuir**. v. 24, n. 16, p. 8606-8609, 2008.

OKAHATA, Y., NIIKURA, K., FURUSAWA, H., & MATSUNO, H. A highly sensitive 27 MHz quartz-crystal microbalance as a device for kinetic measurements of molecular recognition on DNA strands. **Analytical Sciences**, v.16, n. 11, p. 1113-1119, 2000. <https://doi.org/10.2116/analsci.16.1113>

DE OLIVEIRA, S. A.; DA SILVA, B. C.; RIEGEL-VIDOTTI, I. C.; URBANO, A.; DE FARIA-TISCHER, P. C. S.; TISCHER, C. A. Production and characterization of bacterial cellulose membranes with hyaluronic acid from chicken comb. *International Journal of Biological Macromolecules*. , v.97, p.642 - 653, 2017.

OPERATION and service manual: **Qcm200 quartz crystal microbalance digital controller**. Qcm25 - 5MHz Crystal Oscillator. Stanford Research Systems. Revision 2.5, 2018. Disponível em: <https://www.thinksrs.com/downloads/pdfs/manuals/QCM200m.pdf>. Acesso em: 01 de março de 2019.

O'SULLIVAN, C.K.; GILBAULT, G.G. Commercial quartz crystal microbalances – theory and applications. **Biosens. Bioelectron**. v. 14, p. 663-670, 1999.

OYAMA, N.; OHSAKA, T. Coupling between electron and mass transfer kinetics in electroactive polymer films: an application of the in situ quartz cristal electrode. **Progress in Polymer Science**, v.20, n.5, p.761-818, 1995.

PEDROSO, M.M.; PESQUERO, N.C.; THOMAZ, S.MO.; ROQUE-BARREIRA, M.C.; FARIA, R.C.; BUENO, P.R. Jacalin interaction with human immunoglobulin A1 and bovine immunoglobulin G1: affinity constant determined by piezoelectric biosensing. **Glycobiology**, v. 22, n. 3, p. 326-331, 2012.

PERCIVAL, C.J.; STANLEY, S.; BRAITHWAITE, A.; NEWTON, M.I.; MCHALE, G. Molecular imprinted polymer coated QCM for the detection of nandrolone, **Analyst (Cambridge United Kingdom)** v. 127, p.1024–1026, 2002.

PERCIVAL, C.J.; STANLEY, S.; GALLE, M.; BRAITHWAITE, A.; NEWTON, M.I.; MCHALE, G.; HAYES, W. Molecular-imprinted, polymer-coated quartz crystal microbalances for the detection of terpenes, **Anal. Chem**. v. 73, p. 4225–4228, 2001.

PESQUERO, N. C. **Estudo da equivalência entre a lectina ArtinM obtida a partir da semente da jaca e a sua forma recombinante na afinidade por glicanas**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2010.

SANTOS, D.B. **Propriedades ópticas de suspensões coloidais e filmes à base de nanocelulose**. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química, Araraquará 2012.

SAUERBREY, G. Verwendung von Schwingquarzen zur Wägung dünner Schichten und zur Mikrowägung. **Z. Phys**. v.155 p. 206-222, 1959.

SATAM, C.C.; IRVIN, C.W.; LANG, A.W.; JALLORINA, J.C.R.; SHOFNER, M.L.; REYNOLDS, J.R. MEREDITH, J.C. Spray-Coated Multilayer Cellulose Nanocrystal-Chitin Nanofiber Films for Barrier Applications. **ACS Sustainable Chem. Eng**. v. 6, p. 10637–10644, 2018. DOI: 10.1021/acssuschemeng.8b01536.

SATO, K.; TAKAHASHI, M.; ITO, M.; ABE, E.; ANZAI, J.I. Glucose-induced decomposition of layer-by-layer films composed of phenylboronic acid-bearing poly(allylamine) and poly(vinyl alcohol) under physiological conditions. **J. Mater. Chem. B**. v. 3, p. 7796-7802, 2015.

SYRITSKI, V.; ÖPIK, A.; FORSEN, O. Ion transport investigations of polypyrroles doped with different anions by EQCM and CER techniques. **Electrochimica Acta** **48**, v. 10, p.1409-1417, 2003.

SURI, C.R.; JAIN, P.K.; MISHRA, G.C. Development of piezoelectric crystal based microgravimetric immunoassay for determination of insulin concentration, **J. Biotechnol.** v. 39, p. 27–34, 1995.

SVAGAN, A.J.; ÅKESSON, A.; CÁRDENAS, M.; BULUT, S.; KNUDSEN, J.C.; RISBO, J.; PLACKETT, D. Transparent Films Based on PLA and Montmorillonite with Tunable Oxygen Barrier Properties. **Biomacromolecules.** v.13, p. 397–405, 2012.

WEI, Y.; WANG, Y.X.; WANG, W.; HO, S.V.; QI, F.; MA, G.H.; SU, Z.G. Microcosmic Mechanisms for Protein Incomplete Release and Stability of Various Amphiphilic mPEG-PLA Microspheres. **Langmuir.** v. 28, p. 13984–13992, 2012.

YAMAGUCHI, S.; SHIMOMURA, T. Adsorption immobilization, and hybridization of DNA studied by the use of quartz crystal oscillators, **Anal. Chem.** v. 65, p. 1925–1927, 1993.

YAO, S.Z.; NIE, L.H.; MO, Z.H. Determination of picomolar concentration of bromide with a piezoelectric detector by catalysis of the permanganate/iodide reaction, **Anal. Chim. Acta** **217**, p. 327–334, 1989.

ZAMPETTI, E.; PANTALEI, S.; MACAGNANO, A.; PROEITTI, E.; DI NATALE, C.; D'AMICO, A. Use of multiplexed oscillator in a miniaturized electronic nose based on a multichannel quartz crystal microbalance. **Sens. Actuators B.** v. 131, p. 159–166, 2008.

SOBRE O ORGANIZADOR

Alexandre Igor Azevedo Pereira - é Engenheiro Agrônomo, Mestre e Doutor em Entomologia pela Universidade Federal de Viçosa. Professor desde 2010 no Instituto Federal Goiano e desde 2012 Gerente de Pesquisa no Campus Urutaí. Orientador nos Programas de Mestrado em Proteção de Plantas (Campus Urutaí) e Olericultura (Campus Morrinhos) ambos do IF Goiano. Alexandre Igor atuou em 2014 como professor visitante no John Abbott College e na McGill University em Montreal (Canadá) em projetos de Pesquisa Aplicada. Se comunica em Português, Inglês e Francês. Trabalhou no Ministério da Educação (Brasília) como assessor técnico dos Institutos Federais em ações envolvendo políticas públicas para capacitação de servidores federais brasileiros na Finlândia, Inglaterra, Alemanha e Canadá. Atualmente, desenvolve projetos de Pesquisa Básica e Aplicada com agroindústrias e propriedades agrícolas situadas no estado de Goiás nas áreas de Entomologia, Controle Biológico, Manejo Integrado de Pragas, Amostragem, Fitotecnia e Fitossanidade de plantas cultivadas no bioma Cerrado.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Argila aniônica 76
Astronomia 19, 20, 21, 23, 27, 28
Ativação ácida 88, 90

B

Biocompósitos 225

C

CCT 203, 209
Cerâmica dielétrica 203
Combustível 119
Compósitos poliméricos 155

D

Dissipação de calor 63

E

Eclipses 19, 20
Educação em tempo integral 29
Eletrofiação 9, 132
Embalagem 101, 106, 107
Ensino de matemática 29
Ergosterol 120, 121, 122, 123, 127, 128, 129
Espectrofotometria 120, 125
Etanol 109, 114, 115, 118, 119, 184, 185, 187, 188, 191

F

Filmes 173, 174, 193
Filmes poliméricos 193
Formação de professores 41

G

Ganodermalucidum 130

M

Método Sol-Gel 144, 203, 205, 206
Modelagem 63

N

Nanofibras 134, 136

O

Oficina 14, 16, 18
Ondulação geoidal 6, 10, 11

Origami modular 29

P

Padrão 10, 51, 126

Perfilamento laser 1

Perovskita 203, 204, 205, 206, 209, 210, 211

Potenciação 51

Proporção 51, 61

S

Sabonetes 101

Semicondutor 143

Simulação computacional 63

Sohxlet 120, 121

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-587-7



9 788572 475877