

MEIO AMBIENTE, SUSTENTABILIDADE E AGROECOLOGIA ?

Tayronne de Almeida Rodrigues
João Leandro Neto
Dennyura Oliveira Galvão
(Organizadores)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Tayronne de Almeida Rodrigues
João Leandro Neto
Dennyura Oliveira Galvão
(Organizadores)

Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia 7

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

M514 Meio ambiente, sustentabilidade e agroecologia 7 [recurso eletrônico]
/ Organizadores Tayronne de Almeida Rodrigues, João Leandro Neto, Dennyura Oliveira Galvão. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia; v. 7)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-332-3

DOI 10.22533/at.ed.323191605

1. Agroecologia – Pesquisa – Brasil. 2. Meio ambiente – Pesquisa – Brasil. 3. Sustentabilidade. I. Rodrigues, Tayronne de Almeida. II. Leandro Neto, João. III. Galvão, Dennyura Oliveira. IV. Série.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

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.

APRESENTAÇÃO

A obra Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia vem tratar de um conjunto de atitudes, de ideias que são viáveis para a sociedade, em busca da preservação dos recursos naturais.

Em sua origem a espécie humana era nômade, e vivia integrada a natureza, sobreviviam da caça e da colheita. Ao perceber o esgotamento de recursos na região onde habitavam, migravam para outra área, permitindo que houvesse uma reposição natural do que foi destruído. Com a chegada da agricultura o ser humano desenvolveu métodos de irrigação, além da domesticação de animais e também descobriu que a natureza oferecia elementos extraídos e trabalhados que podiam ser transformados em diversos utensílios. As pequenas tribos cresceram, formando cidades, reinos e até mesmo impérios e a intervenção do homem embora pareça benéfica, passou a alterar cada vez mais negativamente o meio ambiente.

No século com XIX as máquinas a vapor movidas a carvão mineral, a Revolução Industrial mudaria para sempre a sociedade humana. A produção em grande volume dos itens de consumo começou a gerar demandas e com isso a extração de recursos naturais foi intensificada. Até a agricultura que antes era destinada a subsistência passou a ter larga escala, com cultivos para a venda em diversos mercados do mundo. Atualmente esse modelo de consumo, produção, extração desenfreada ameaça não apenas a natureza, mas sua própria existência. Percebe-se o esgotamento de recursos essenciais para as diversas atividades humanas e a extinção de animais que antes eram abundantes no planeta. Por estes motivos é necessário que o ser humano adote uma postura mais sustentável.

A ONU desenvolveu o conceito de sustentabilidade como desenvolvimento que responde as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras de satisfazer seus próprios anseios. A sustentabilidade possui quatro vertentes principais: ambiental, econômica, social e cultural, que trata do uso consciente dos recursos naturais, bem como planejamento para sua reposição, bem como no reaproveitamento de matérias primas, no desenvolvimento de métodos mais baratos, na integração de todos os indivíduos na sociedade, proporcionando as condições necessárias para que exerçam sua cidadania e a integração do desenvolvimento tecnológico social, perpetuando dessa maneira as heranças culturais de cada povo. Para que isso ocorra as entidades e governos precisam estar juntos, seja utilizando transportes alternativos, reciclando, incentivando a permacultura, o consumo de alimentos orgânicos ou fomentando o uso de energias renováveis.

No âmbito da Agroecologia apresentam-se conceitos e metodologias para estudar os agroecossistemas, cujo objetivo é permitir a implantação e o desenvolvimento de estilos de agricultura com maior sustentabilidade, como bem tratam os autores desta obra. A agroecologia está preocupada com o equilíbrio da natureza e a produção de alimentos sustentáveis, como também é um organismo vivo com sistemas integrados

entre si: solo, árvores, plantas cultivadas e animais.

Ao publicar esta obra a Atena Editora, mostra seu ato de responsabilidade com o planeta quando incentiva estudos nessa área, com a finalidade das sociedades sustentáveis adotarem a preocupação com o futuro.

Tenham uma excelente leitura!

Tayronne de Almeida Rodrigues

João Leandro Neto

Dennyura Oliveira Galvão

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AGRICULTURA DE SUBSISTÊNCIA NA SERRA URUBURETAMA, CEARÁ, BRASIL	
José Nelson do Nascimento Neto	
José Falcão Sobrinho	
Cleire Lima da Costa Falcão	
DOI 10.22533/at.ed.3231916051	
CAPÍTULO 2	13
ALIMENTAÇÃO E HIPERTENSÃO ARTERIAL EM UMA COMUNIDADE QUILOMBOLA	
Denise Aparecida da Silva	
Eliana Carla Gomes de Souza	
Aline Rosignoli da Conceição	
Edimara Maria Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.3231916052	
CAPÍTULO 3	26
ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE NA PRODUÇÃO DE LEITE BOVINO EM AGROECOSSISTEMAS DA AGRICULTURA FAMILIAR	
Carli Freitag	
Rafael Cristiano Heinrich	
Marcia Andréia Barboza da Silva	
Ivan Maurício Martins	
Nardel Luiz Soares da Silva	
André Fernando Hein	
DOI 10.22533/at.ed.3231916053	
CAPÍTULO 4	35
ANÁLISE DE RENTABILIDADE ENTRE O CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO E CULTIVO DE ARROZ SEQUEIRO	
Keila Prates Rolão	
Leonardo Francisco Figueiredo Neto	
Renato de Oliveira Rosa	
Simone Bernades Voese	
Mayara Batista Bitencourt Fagundes	
Adriano Marcos Rodrigues Figueiredo	
DOI 10.22533/at.ed.3231916054	
CAPÍTULO 5	58
ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL NO RIO GRANDE DO NORTE: CONSENSO OU EMBATE DE VISÕES?	
Eliana Andrade da Silva	
Mariane Raquel Oliveira da Fonseca	
DOI 10.22533/at.ed.3231916055	

CAPÍTULO 6 63

AVALIAÇÃO DA ACEITAÇÃO DE PREPARAÇÃO COM INGREDIENTES NÃO CONVENCIONAIS DA BANANEIRA EM EVENTO DE GASTRONOMIA DE VIÇOSA-MG

Martha Christina Tatini
Priscila Santos Angonesi
Nírcia Isabella Andrade Pereira
Cátia Regina Barros de Assis
Alef Vinícius Sousa
Ivis de Aguiar Souza
Leila Aparecida Costa Pacheco
Cristiana Teixeira Silva
Clarissa de Souza Nunes
Ana Lídia Coutinho Galvão
Luiza Carla Vidigal Castro

DOI 10.22533/at.ed.3231916056

CAPÍTULO 7 68

COMPLEMENTAÇÃO DE RENDA ATRAVÉS DA COLETA EXTRATIVISTA DE ESPÉCIES NATIVAS DO CERRADO: O BARU COMO ESTUDO DE CASO

Carlos Ferreira da Silva
Leandro Alves Ataíde
Leonardo Felipe de Oliveira Palheta
Kelly Soraya da Luz
Flávio Murilo Pereira da Costa

DOI 10.22533/at.ed.3231916057

CAPÍTULO 8 74

CONHECIMENTOS TRADICIONAIS E ETNOCONSERVAÇÃO: A PESCA ARTESANAL NA ILHADO CAPIM NO MUNICÍPIO DE ABAETETUBA – PARA

Josiel do Rego Vilhena
Josielle Assunção Fonseca

DOI 10.22533/at.ed.3231916058

CAPÍTULO 9 84

ELABORAÇÃO DA MATRIZ DE RISCO DO PROCESSO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL DO PROGRAMA VIVA MARANHÃO

Jackgrayce Dutra Nascimento Silva
Carlos Eugênio Pereira Moreira

DOI 10.22533/at.ed.3231916059

CAPÍTULO 10 94

EMPREGO DE BIOESTIMULAÇÃO COM NITROGÊNIO NA BIORREMEDIÇÃO *IN SITU* DE SOLO CONTAMINADO COM ÓLEO DIESEL

Mayara Guedes Sabino
Aurora Mariana Garcia de França Souza

DOI 10.22533/at.ed.32319160510

CAPÍTULO 11 102

ESTUDO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO DE UM REATOR ANAERÓBIO HÍBRIDO (UAHB)

Ana Carolina Monteiro Landgraf
Lucas Eduardo Ferreira da Silva
Gabriela Roberta Nardon Meira
Eudes José Arantes
Thiago Morais de Castro

DOI 10.22533/at.ed.32319160511

CAPÍTULO 12 111

EVOLUÇÃO BIANUAL DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DE ATERRO DOS RESÍDUOS (IQR) PÓS PROMULGAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS)

Lucas da Silva Pereira
Rogério Giuffrida
Suelen Navas Úbida

DOI 10.22533/at.ed.32319160512

CAPÍTULO 13 119

EXPERIÊNCIA DE REINTRODUÇÃO DE VARIEDADES DE MILHO NATIVAS EM UMA COMUNIDADE QOM NO NORDESTE DA ARGENTINA

Eduardo Musacchio
Libertad Mascarini
Lautaro Castro

DOI 10.22533/at.ed.32319160513

CAPÍTULO 14 124

GERAÇÃO DE ESPÉCIES REATIVAS NA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA PARA APLICAÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DE ENSAIOS ANTIOXIDANTES

Anallyne Nayara Carvalho Oliveira Cambrussi
Talissa Brenda de Castro Lopes
Maria Crisnanda Almeida Marques
Josy Anteveli Osajima
Edson Cavalcanti da Silva Filho
Alessandra Braga Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.32319160514

CAPÍTULO 15 148

IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA ALIMENTAÇÃO PAULISTANA CONSIDERANDO OS PRATOS DO DIA NA CIDADE DE SÃO PAULO

Isaias Ribeiro Novais Silva
Sabrina Barbosa Lednik
Luiza Camossa de Souza Ferreira
Fabio Rubens Soares
Emilia Satoshi Miyamaru Seo

DOI 10.22533/at.ed.32319160515

CAPÍTULO 16 170

INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NA PRODUTIVIDADE, CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS E COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA EM *Arachis pintoi*

Marcelo Alves da Silva
Leila Cristina Domingues Gomes
Leopoldo Sussumu Matsumoto

DOI 10.22533/at.ed.32319160516

CAPÍTULO 17 181

INFLUÊNCIA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA NO DESEMPENHO DE LAGOAS DE POLIMENTO

Maria Virgínia da Conceição Albuquerque
Ana Alice Quintans de Araújo
Regina Wanessa Geraldo Cavalcanti Lima
Kely Dayane Silva do Ó
Amanda da Silva Barbosa Cartaxo
Railson de Oliveira Ramos
José Tavares de Sousa
Wilton Silva Lopes

DOI 10.22533/at.ed.32319160517

CAPÍTULO 18 191

MODELO DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA A VILA RURAL FLOR DO CAMPO NO MUNICÍPIO DE CAMPO MOURÃO-PR

Rafael Montanhini Soares de Oliveira
Matheus Leme Varajão Palazzo
Tatiane Cristovam Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.32319160518

CAPÍTULO 19 204

PROGRAMAS DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA GRÁFICA COM FOCO NA ISO 9001 E NA CERTIFICAÇÃO FLORESTAL FSC: BENEFÍCIOS E DESAFIOS DA ADOÇÃO

Silvia Helena Boarin Pinto
Gabriel Gaboardi de Souza
Isabela Gaiardo Carneiro
Larissa Henriques Pascoal Martins
Thamires Amorim da Silva

DOI 10.22533/at.ed.32319160519

CAPÍTULO 20 206

PROJETO EDUCANDO EM SAÚDE: AÇÕES EM UMA ESCOLA PÚBLICA DO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS-MA

Kassya Rosete Silva Leitão
Maria de Fátima Lires Paiva
Maria Iêda Gomes Vanderlei
Ortêncyra Moraes Silva
Thalita Dutra de Abreu

DOI 10.22533/at.ed.32319160520

CAPÍTULO 21	214
PROJETO TÉCNICO DE TRABALHO SOCIAL (PTTS) NO PROGRAMA DE AMPLIAÇÃO DA COBERTURA E MELHORIA DA QUALIDADE DOS SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ÁREAS CARENTES, MARGEM ESQUERDA DA BACIA DO RIO BACANGA, SÃO LUÍS/MA	
Jackgrayce Dutra Nascimento Silva Ronni Sousa Silva Carlos Eugênio Pereira Moreira	
DOI 10.22533/at.ed.32319160521	
CAPÍTULO 22	221
PROPOSIÇÃO DE FERRAMENTAS DE GESTÃO AMBIENTAL BASEADOS NA NORMA ISO 14001:2015 PARA A INSTALAÇÃO DE CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS VERTICAIS	
Alana Katrine Blank Alexandre Beiro Caraméz	
DOI 10.22533/at.ed.32319160522	
CAPÍTULO 23	233
VALOR NUTRICIONAL DA TORTA DE SOJA EXTRUSADA PARA LEITÕES	
Maria Eliza Brumatti Galiardi Juliana Heloiza Aparecida Antunes Layara Arieli Zocatte Melo Adriana Bulcão da Silva Costa Marcos Augusto Alves Silva	
DOI 10.22533/at.ed.32319160523	
CAPÍTULO 24	238
METODOLOGIA PARA PEQUENAS CRIAÇÕES EM LABORATÓRIO DO PREDADOR <i>Orius insidiosus</i> (SAY, 1832)	
Simone dos Santos Matsuyama Jael Simões Santos Rando Fernando Miike	
DOI 10.22533/at.ed.32319160524	
CAPÍTULO 25	245
UTILIZAÇÃO DA HIDROCICLONAGEM E DA SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO NO BENEFICIAMENTO DE MATÉRIAS-PRIMAS CERÂMICAS: PROPRIEDADES DE CORPOS CERÂMICOS PRODUZIDOS COM MATÉRIAS-PRIMAS PROCESSADAS POR HIDROCICLONAGEM	
Raquel Rodrigues do Nascimento Menezes	
DOI 10.22533/at.ed.32319160525	
CAPÍTULO 26	261
ELABORAÇÃO DE MANUAL PARA CRIAÇÃO DE PROCEDIMENTOS PARA ATENDIMENTO A FISCALIZAÇÃO AMBIENTAL NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
Cristiano Pontes Nobre Cecília Bueno Felipe Da Costa Brasil André Luiz Carneiro Simões	
DOI 10.22533/at.ed.32319160526	

CAPÍTULO 27	269
PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS SINTRÓPICOS SEM IRRIGAÇÃO: UMA ALTERNATIVA PARA A CRISE HÍDRICA E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS	
José Kubitschek Fonseca de Borba Júnior Paula Mathne Capone Borba Denise Barbosa Silva	
DOI 10.22533/at.ed.32319160527	
CAPÍTULO 28	289
MODELOS BAYESIANOS PARA ESTIMAÇÃO DE ACÚMULO DE NPK DA CANA-DE-AÇÚCAR (<i>Saccharum spp.</i>) EM SISTEMA IRRIGADO DE PRODUÇÃO NA ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO	
José Nilton Maciel dos Santos Emídio Cantídio Almeida de Oliveira Ana Luíza Xavier Cunha Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel Moacyr Cunha Filho	
DOI 10.22533/at.ed.32319160528	
CAPÍTULO 29	299
UTILIZAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS PROVENIENTES FOLHA PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA DA PALMEIRA DO UBUÇÚ EM COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER	
Igor dos Santos Gomes Roberto Tetsuo Fujiyama	
DOI 10.22533/at.ed.32319160529	
CAPÍTULO 30	316
REFUNCIONALIZAÇÃO DE ESPAÇOS ATRAVÉS DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS: UM ESTUDO DE CASO A PARTIR DE AGROFLORESTAS URBANAS NO CAMPUS DA CIDADE UNIVERSITÁRIA DA UFRJ, ILHA DO FUNDÃO	
Rodrigo Airton da Silva Maciel	
DOI 10.22533/at.ed.32319160530	
CAPÍTULO 31	323
ASPECTOS DE TRILHAS FÍSICAS DA FORMIGA CORTADEIRA <i>ATTA SEXDENS RUBROPILOSA</i> FOREL, 1908 (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)	
Leticia Tunes Barrufaldi Simone dos Santos Matsuyama Larissa Máira Fernandes Pujoni Jael Simões Santos Rando	
DOI 10.22533/at.ed.32319160531	
SOBRE OS ORGANIZADORES	328

GERAÇÃO DE ESPÉCIES REATIVAS NA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA PARA APLICAÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DE ENSAIOS ANTIOXIDANTES

Anallyne Nayara Carvalho Oliveira Cambrussi

Universidade Federal do Piauí - UFPI, 64049-550
Teresina, PI, Brazil

Talissa Brenda de Castro Lopes

Universidade Federal do Piauí - UFPI, 64049-550
Teresina, PI, Brazil

Maria Crisnanda Almeida Marques

Universidade Federal do Piauí - UFPI, 64049-550
Teresina, PI, Brazil

Josy Antevelli Osajima

Universidade Federal do Piauí - UFPI, 64049-550
Teresina, PI, Brazil

Edson Cavalcanti da Silva Filho

Universidade Federal do Piauí - UFPI, 64049-550
Teresina, PI, Brazil.

Alessandra Braga Ribeiro

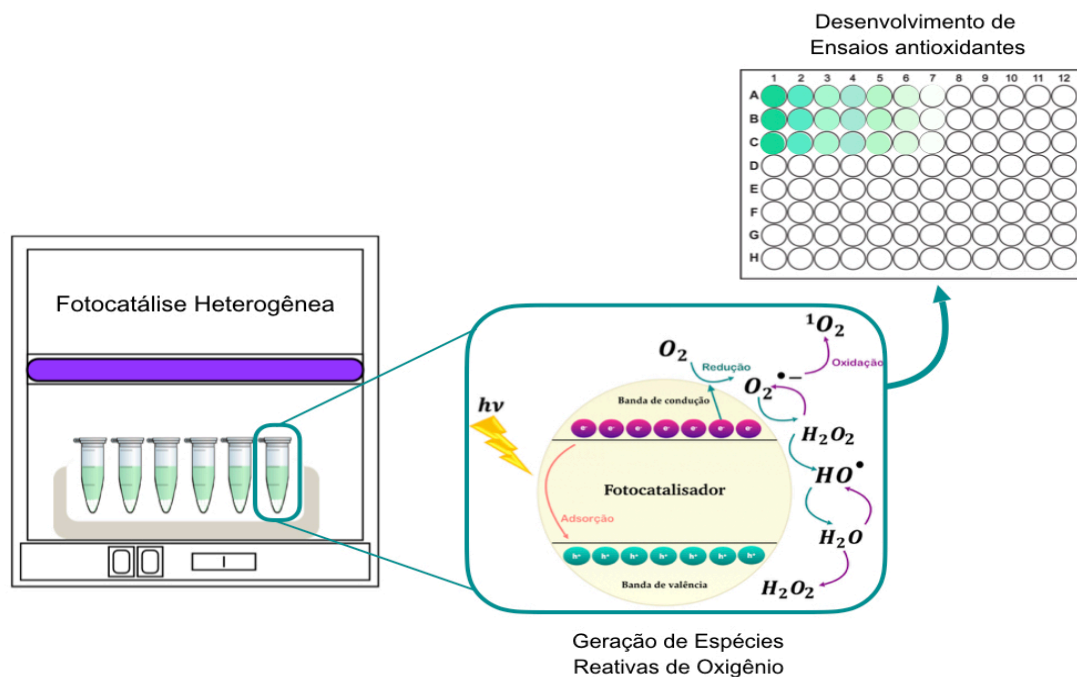
Universidade Federal do Piauí - UFPI, 64049-550
Teresina, PI, Brazil

RESUMO: As evidências que comprovam o envolvimento do estresse oxidativo na patogênese de vários distúrbios e doenças revelou o importante papel das substâncias antioxidantes na manutenção da saúde humana, na prevenção e tratamento de doenças, bem como, na preservação e aumento da vida útil dos alimentos. Devido a isso, o interesse por fontes externas de antioxidantes tornou-se uma área de pesquisa ativa, levando ao desenvolvimento recente de numerosos métodos para avaliar a

capacidade antioxidante. No entanto, a grande maioria dos métodos desenvolvidos apresentam desvantagens que incluem elevado custo dos reagentes, alta complexidade das reações, uso de equipamentos caros, entre outros. Sendo assim, nesse trabalho de revisão, os conceitos, mecanismos e importância dos antioxidantes para manutenção da saúde dos sistemas *in vivo* são brevemente descritos, em seguida, o desenvolvimento de métodos *in vitro* para determinação de atividade antioxidante são abordados, destacando suas vantagens e desvantagens, e por fim, discute-se o uso da fotocatalise heterogênea como tecnologia de geração de espécies reativas de oxigênio para desenvolver métodos de avaliação de atividade antioxidante.

PALAVRAS-CHAVES: fotocatalise heterogênea; geração de espécies reativas; ensaios antioxidantes.

Resumo gráfico:



ABSTRACT: Evidence supporting the involvement of oxidative stress in the pathogenesis of various disorders and diseases has revealed the important role of antioxidant substances in maintaining human health, preventing and treating diseases, preserving and increasing the shelf life of foods. Because of this, interest in external sources of antioxidants has become an area of active research, leading to the recent development of numerous methods for assessing antioxidant capacity. However, the great majority of the developed methods present disadvantages that include high cost of the reagents, high complexity of the reactions, use of expensive equipment, among others. Thus, in this review work, the concepts, mechanisms and importance of antioxidants to maintain the health of *in vivo* systems are briefly described, and the development of *in vitro* methods for antioxidant activity determination are addressed, highlighting their advantages and disadvantages, and finally, we discuss the use of heterogeneous photocatalysis as a technology for the generation of reactive oxygen species to develop methods for evaluating antioxidant activity.

KEYWORDS: heterogeneous photocatalysis; generation of reactive species; antioxidant trials.

1 | INTRODUÇÃO

Os produtos advindos do metabolismo oxidativo, tais como as espécies reativas de oxigênio, de nitrogênio e de enxofre, entre outras, quando em excesso no organismo, causam vários tipos de danos celulares que podem comprometer a manutenção da saúde dos sistemas biológicos. Nos seres humanos, esses danos estão sendo cada

vez mais relacionados ao desenvolvimento de diversos distúrbios patológicos como câncer, depressão, Parkinson e Doença de Alzheimer (Badarinath *et al.*, 2010; Cömert and Gökmen, 2017; Bao, *et al.* 2017; Omar, *et al.* 2017; Barroso, *et al.* 2018).

O corpo humano possui um sistema complexo de defesas naturais, composto por antioxidantes endógenos que trabalham em equilíbrio com a geração de espécies reativas (Pisoschi and Pop, 2015; Rajan and Muraleedharan, 2016; Bao, *et al.* 2017; Carochi, *et al.* 2018). No entanto, essa rede de antioxidantes não consegue manter o equilíbrio adequado quando a produção de espécies reativas ocorre de forma descontrolada, devido a estímulos externos como, exposição ao tabagismo, ingestão de álcool, exposição à radiação e a poluição ambiental (Chand, *et al.* 2017; Canabady-Rochelle, *et al.* 2017; Farhat, *et al.* 2018). A proteção contra esses danos pode ser intensificada por meio do consumo de fontes exógenas de antioxidantes, presentes em alimentos, suplementos, cosméticos e produtos farmacêuticos (Alam, Bristi and Rafiqzaman, 2013; Pisoschi and Pop, 2015).

O grande interesse por fontes exógenas de compostos antioxidantes veio acompanhado pelo desenvolvimento de novos métodos analíticos *in vitro* para determinação do potencial dessas fontes (Roginsky and Lissi, 2005; Ge, *et al.* 2018).

Entre os métodos de eliminação de radicais livres, os ensaios ABTS^{•+}, DPPH[•] e ORAC são os mais citados na literatura (Floegel, *et al.* 2011; Schaich, Tian and Xie, 2015). No entanto, os ensaios apresentam desvantagens que vem sendo contestadas pela literatura, como o fato de utilizar radicais não biológicos e estericamente impedido, dificultando o acesso dos antioxidantes ao centro do radical, o que causam reações lentas e que podem não condizer com a rapidez das reações que ocorrem *in vivo* (Apak, *et al.* 2013; López-Alarcón and Denicola, 2013).

Nesse contexto, muitas pesquisas no campo de desenvolvimento de novas metodologias *in vitro* têm sido realizadas nos últimos anos. Os pesquisadores buscam um método que seja simples, de baixo custo, confiável e reproduzível nos sistemas *in vivo*.

Dessa forma, métodos baseados na geração de radicais OH[•] a partir da reação entre peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e Fe (II) (reação do tipo Fenton) ganharam destaque. No entanto, o uso de reações de Fenton no desenvolvimento de ensaios antioxidantes apresenta desvantagens, uma vez que muitos antioxidantes também são quelantes de metais que alteram a atividade do Fe (II) após a quelação (Rui-Jie *et al.*, 2016). Dessa forma, a fotocatalise heterogênea utilizando catalisadores como óxido de zinco (ZnO) ou óxido de titânio (TiO₂), surgem como alternativa de geração de espécies reativas para aplicação a ensaios de atividade antioxidante (Chen *et al.*, 2014).

As espécies reativas de oxigênio (ROS) geradas pela oxidação fotocatalítica da água utilizando TiO₂ são radical hidroxilo (HO[•]), ânion superóxido (O₂^{•-}) e oxigênio singlete (¹O₂) (Xiang, Yu, Wong, 2011; Rauf, *et al.* 2009; Rui-Jie, *et al.* 2016; Nagarajan, *et al.* 2017). Estas espécies estão biologicamente presentes *in vivo* e desempenham

ações essenciais em inúmeras reações bioquímicas fisiológicas.

Em um sistema composto por TiO_2 e solução aquosa de corante para determinar a atividade antioxidante de um composto, as espécies reativas de oxigênio reagem com as moléculas do corante e degradam sua cor, transformando-o em H_2O e CO_2 . A redução da cor é seguida opticamente, e quando há a presença de composto com atividade de neutralização de espécies reativas, ocorre diminuição da perda de cor ou mesmo a ausência total da atividade das ROS sobre o corante. Os ensaios podem ser realizados com amostras únicas em cubetas, ou podem ser miniaturizados em sistema de microplacas, com economia de reagentes utilizando os princípios da química verde.

Sendo assim, este trabalho de revisão da literatura tem como objetivo apresentar brevemente os conceitos, mecanismos e importância dos antioxidantes para manutenção da saúde dos sistemas *in vivo*, os métodos *in vitro* para determinação de atividade antioxidante também são abordados, destacando suas vantagens e desvantagens. Discute-se posteriormente o uso da fotocatalise heterogênea por meio de catalisadores como o TiO_2 , a qual é utilizada para geração de espécies reativas de oxigênio no desenvolvimento de métodos analíticos para avaliação de atividade antioxidante.

2 | ESPÉCIES REATIVAS E ESTRESSE OXIDATIVO

Em 1954, Gerschman et al. propuseram que os efeitos nocivos do O_2 , poderiam ser atribuídos à formação de radicais de oxigênio. Esta hipótese foi popularizada e convertida na “teoria do superóxido” em consequência da descoberta de enzimas de superóxido dismutase (SOD) por McCord e Fridovich em 1978. Esta teoria afirma que a toxicidade do oxigênio é devida ao excesso de formação de radical superóxido ($\text{O}_2^{\bullet-}$) (Sartori, et al. 2014), o qual é convertido rapidamente em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) de forma espontânea ou por meio da enzima superóxido dismutase. O H_2O_2 , por sua vez, pode ser transformado em radicais hidroxílicos (HO^{\bullet}) e radicais peróxido (ROO^{\bullet}) por meio das interações de H_2O_2 com metais de transição (Gomes, et al. 2006; Chisté, et al. 2012).

As espécies reativas mais comuns em sistemas biológicos estão descritos na Tabela 1.

Nome	Fórmula	Observações	Referência Bibliográfica
Ânion superóxido	$O_2^{\cdot -}$	Gerado continuamente por diversos processos celulares (cadeia de transporte de elétrons na mitocôndria, no microsomo, utilizando enzimas como xantina oxidase e NADPH oxidase), ou pela redução monoelétrica de O_2 . Meia-vida 10^{-6} segundos.	Sartori, <i>et al.</i> (2014); Kelly <i>et al.</i> (2002); Luo <i>et al.</i> (2004); López-Alarcón and Denicola, (2013); Carochi <i>et al.</i> (2018)
Peróxido de hidrogênio	H_2O_2	Intermediário formado pela reação de dismutação de $O_2^{\cdot -}$ catalisada pela enzima SOD, pela redução de 2 elétrons na molécula de O_2 e pela ação de diversas enzimas oxidases <i>in vivo</i> , localizadas nos peroxissomas. É um fraco agente oxidante e um fraco agente redutor, reage lentamente com tióis, com sais de ferro e cobre reduzidos, com proteínas heme e peroxidases para iniciar reações radiculares e peroxidações lipídicas. Em presença de metal de transição gera OH^{\cdot} , através da reação de Fenton.	Mozafari <i>et al.</i> (2006); Gomes, <i>et al.</i> (2006); Chisté, <i>et al.</i> (2012).
Radical hidroxilo	HO^{\cdot}	É o mais reativo e mais lesivo radical conhecido e para o qual, uma vez formado, o organismo humano não dispõe de mecanismo de defesa, reage com uma série de endobióticos, causa modificação no DNA (com modificação das bases e quebras das fitas), danos nas proteínas e inativação enzimática, peroxidação lipídica. Âmbito limitado de ação (poucos diâmetros moleculares).	Mozafari <i>et al.</i> (2006); Gomes, <i>et al.</i> (2006); Chisté, <i>et al.</i> (2012)
Radicais peróxila e alcóxila	ROO^{\cdot} RO^{\cdot}	Formados durante a decomposição de peróxidos orgânicos e reações de carbono radicalar com oxigênio, como na peroxidação lipídica.	Mozafari <i>et al.</i> (2006); Gomes, <i>et al.</i> (2006); Chisté, <i>et al.</i> (2012)

Oxigênio singleto	$^1\text{O}_2$	Estado eletronicamente excitado do oxigênio, produzido por reações fotoquímicas ou por outras radiações; reage com um grande número de moléculas biológicas, incluindo lipídeos da membrana, iniciando processos de peroxidação.	Mozafari <i>et al.</i> (2006); Costa, <i>et al.</i> (2007); Prior (2015)
Ácido hipocloroso	HOCl	Espécie não radicalar, membrana-permeável, oxida um grande número de compostos biológicos, como tióis e tioéteres, aminas, fenóis e ligações insaturadas, mais seletivo que o radical hidroxila, oxida ferro e proteínas. É produzido no miocárdio, como resultado de invasão de células inflamatórias.	Mozafari <i>et al.</i> (2006);
Óxido nítrico ou monóxido de nitrogênio	NO^\bullet	Sintetizado nos organismos vivos pela ação da enzima óxido nítrico sintase (NOS), que converte o aminoácido L-arginina a $\text{NO}^\bullet + \text{L-citrulina}$ (outro aminoácido). É um radical abundante que age em uma variedade de processos biológicos, incluindo relaxação muscular, neurotransmissão e regulação imune. Difunde-se rapidamente entre e dentro das células. Quando exposto ao ar, reage com oxigênio para formar dióxido de nitrogênio	Kelly <i>et al.</i> (2002); Luo <i>et al.</i> (2004); Carcho <i>et al.</i> (2018)
Dióxido de nitrogênio	NO_2^\bullet	Formado a partir da exposição de NO^\bullet ao ar ou da protonação de peroxinitrito. Potente iniciador da peroxidação lipídica em fluidos biológicos.	Mozafari <i>et al.</i> (2006);
Cloreto de nitrila	NO_2Cl	Formado a partir de misturas de NO_2^- e HOCl. Oxidante, agente de cloração e de nitração.	Mozafari <i>et al.</i> (2006);

Peroxinitrito	ONOO ⁻	Instável, tempo de vida curto, oxidante potente, propriedades semelhantes ao radical hidroxila, causa danos a muitas moléculas biológicas, inclusive a grupos S-H das proteínas, provoca hidroxilação e nitração de compostos aromáticos. Forma HO [•] independente da presença de metal de transição	Kelly <i>et al.</i> (2002); Luo <i>et al.</i> (2004); Carochó <i>et al.</i> (2018)
Cloraminas		Oxidantes mais suaves e de vida mais longa que HOCl, reagem com tióis, tioéteres e centros metálicos de ferro. Toxicidade variável, dependendo da polaridade e da permeabilidade da membrana. Cloraminas de α-aminoácidos sofrem degradação para aldeídos potencialmente tóxicos	Mozafari <i>et al.</i> (2006);
Radical tífla	RS [•]	Denominação genérica para um grupo de radicais com o elétron desemparelhado residindo no enxofre. Formado quando um grupo tiol (RSH) reage com uma espécie radicalar.	Lü <i>et al.</i> (2010); Carochó <i>et al.</i> (2018)
Metais	Fe, Cu, Mn, etc	Catalisam reações de radicais livres.	Mozafari <i>et al.</i> (2006);

Tabela 1. Produção e importância para o corpo humano das principais espécies reativas (radicalares e não radicalares).

Em baixas concentrações a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), espécies reativas de nitrogênio (ERNs) e espécies reativas de enxofre (EREs), é necessária para o funcionamento do metabolismo humano (Barroso, *et al.* 2018). A concentração vital dos radicais livres e espécies reativas é mantida pelos antioxidantes enzimáticos produzidos naturalmente pelos organismos vivos, tais como glutathione peroxidase, superóxido dismutase, glutathione reductase, catalase e antioxidantes não enzimáticos, como alfa-tocoferol e ácido ascórbico (Pisoschi and Pop, 2015; Chand, *et al.* 2017; Sarangarajan, *et al.* 2017). No entanto, esses antioxidantes endógenos não conseguem manter o equilíbrio adequado quando a produção de espécies reativas ocorre de forma descontrolada, devido a estímulos externos como, exposição ao tabagismo, ingestão de álcool, exposição a radiação e a poluição ambiental, entre outros (Chand, *et al.* 2017; Canabady-Rochelle, *et al.* 2017; Farhat, *et al.* 2018). Essa

produção descontrolada perturba o equilíbrio entre oxidação e antioxição (Figura 1) resultando em danos que estão sendo correlacionados a doenças crônicas e degenerativas, como por exemplo, aterosclerose, câncer, diabetes tipo 2, doenças cardiovasculares, inflamação crônica, acidente vascular cerebral, entre outras (Cömert and Gökmen, 2017; Barroso, *et al.* 2018).

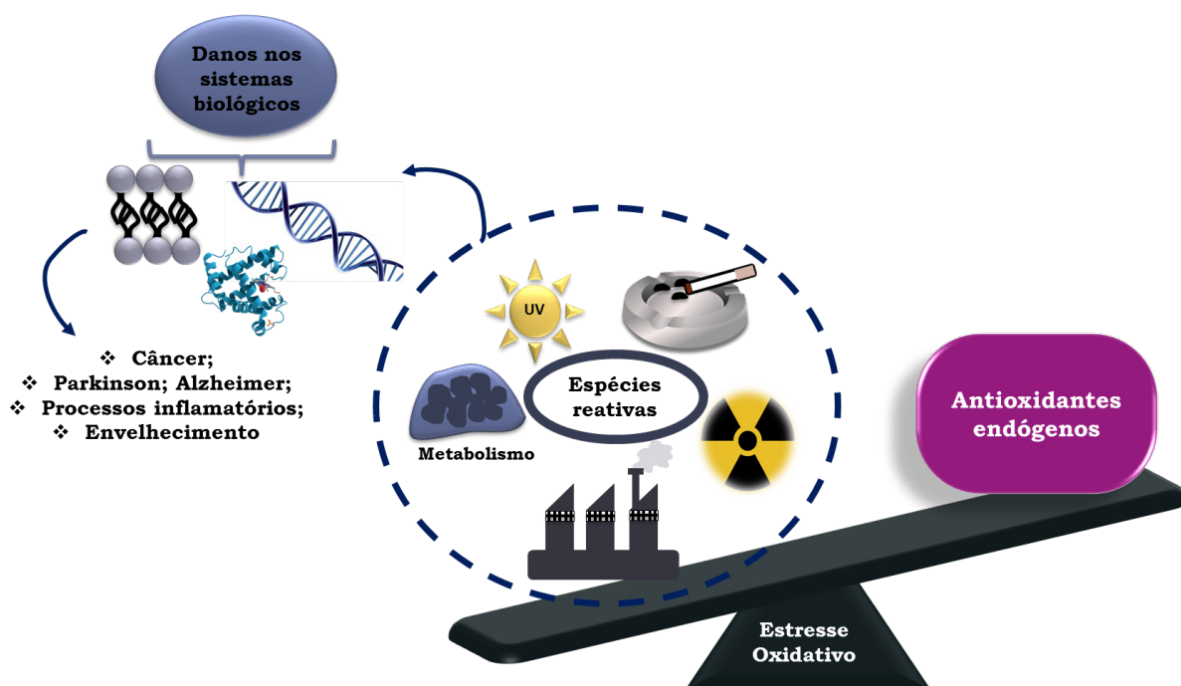


Figura 1 - Representação esquemática do estresse oxidativo.

3 | ANTIOXIDANTES

Os antioxidantes podem ser definidos como substâncias que, quando presentes em baixas concentrações em comparação as do substrato oxidável, atrasam ou inibem significativamente a oxidação desse substrato, agindo de acordo com a reação 1: (Niki, 2010; López-Alarcón and Denicola, 2013; Kumar, *et al.* 2017; Carocho, *et al.* 2018; Barroso, *et al.* 2018)



Onde AH e FR• representam um antioxidante e um radical livre, respectivamente.

A reação 1 é considerada a base da mecânica clássica da ação de antioxidantes e pode explicar a inibição (ou atraso) de muitos processos prejudiciais induzidos por FR• em lipídios, proteínas ou DNA (Lü, *et al.* 2010; López-Alarcón and Denicola, 2013; Ataie, *et al.* 2016).

3.1 Mecanismo De Ação Dos Antioxidantes

A química dos antioxidante e radicais livres é baseada em um equilíbrio entre ambos. Os radicais livres são compostos reativos que tendem a capturar elétrons de moléculas biológicas estáveis para se estabilizarem. Em condições patológicas, há uma superprodução de radicais livres devido à fatores externos como tabagismo, excesso de atividade física, estresse, entre outros (Carocho, *et al.* 2018).

Todos os antioxidantes seguem um dos sete mecanismos de ação detalhados na Figura 2 (Kumar and Pandey, 2013; López-Alarcón and Denicola, 2013; Zou *et al.*, 2016; Cömert and Gökmen, 2017).



Figura 2 - Mecanismos de ação dos antioxidantes.

No sequestro de radical livre, os antioxidantes atuam principalmente em relação aos radicais HO^\bullet e $\text{O}_2^{\bullet-}$. O mecanismo ocorre pela transferência de um elétron (TE) ou de um átomo de hidrogênio (HAT) de seus grupos hidroxilos, estabilizando o radical. O ácido ascórbico (vitamina C) e os polifenóis são exemplos de antioxidantes que agem por esse mecanismo (Treml and Smejkal, 2016; Carocho, *et al.* 2018).

O mecanismo de quelação dos metais, como Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} e Cu^+ é crítico para o corpo humano, dado que estes metais reagem com H_2O_2 que é previamente produzido

pela enzima superóxido dismutase, levando à produção dos radicais HO[•] e O₂^{-•}, os quais são altamente reativos. Além disso, os íons ferrosos (Fe²⁺) podem catalisar a formação de HO[•] pela reação de Haber-Weiss, a qual ocorre na presença de ânion superóxido. Estas espécies reativas, por sua vez, podem reagir com biomoléculas adjacentes e serem responsáveis por sérios danos no tecido biológico (Lü, *et al.* 2010; Canabady-Rochelle, *et al.* 2017).

Em relação às enzimas antioxidantes, três das mais importantes são superóxido dismutase, glutathione peroxidase e catalase (Mozafari, *et al.* 2006), que trabalham em conjunto para equilibrar a produção e neutralização de espécies reativas. A superóxido dismutase catalisa a dismutação do radical superóxido em oxigênio molecular e H₂O₂, a catalase decompõe H₂O₂ em oxigênio e hidrogênio (Farhat, *et al.* 2018).

A peroxidação lipídica consiste na destruição das duplas ligações de lipídios insaturados das membranas celulares por meio da captura de elétrons pelas espécies reativas (Bikkad, *et al.* 2014; Barroso, *et al.* 2018). Esse mecanismo pode ser interrompido pela ação dos antioxidantes, como por exemplo a vitamina E, a qual apresenta uma relação sinérgica com a vitamina C (ácido ascórbico), sendo regenerada sucessivamente, protegendo os lipídios da ação oxidante das espécies reativas (Carocho, *et al.* 2018). Muitas doenças no corpo humano estão relacionadas à peroxidação lipídica, como a aterosclerose, câncer e distúrbios cardiovasculares (Cömert and Gökmen, 2017).

O DNA e o RNA também são propensos a serem danificados por espécies reativas, como por exemplo, NO[•] e O₂^{-•}, que reagem com o DNA do plasmídeo, dividindo a dupla hélice e podendo gerar câncer e doenças neurodegenerativas, além de, anormalidades cromossômicas (Carocho, *et al.* 2018; Farhat, *et al.* 2018).

Adicionalmente, os açúcares também são alvos das espécies reativas, os quais podem ser danificados durante primeiras etapas da glicosilação não enzimática. A fragmentação de açúcares produz espécies de pequenas cadeias que pode levar à formação de α e β-dicarbonilos, os quais são considerados compostos mutagênicos (Carocho, *et al.* 2018).

4 | METODOLOGIAS *IN VITRO* PARA AVALIAR A CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

Levando em consideração a complexidade envolvida na ação *in vivo* dos antioxidantes, diferentes metodologias *in vitro* têm sido desenvolvidas para avaliar inicialmente, de forma simples e experimental, a capacidade de potenciais antioxidantes em interagir com radicais livres e espécies reativas (López-Alarcón and Denicola, 2013).

Tentativas recentes de padronizar ensaios levantaram algumas questões sobre a confiabilidade e aplicações apropriadas dos ensaios com antioxidantes, como as explanadas por Apak, *et al.* (2013) e Schaich, Tian and Xie (2015):

1. Os ensaios refletem com precisão a cinética química das reações que

ocorrem *in vivo*?

2. A diversidade química dos antioxidantes naturais permite separar, detectar e quantificar antioxidantes individuais a partir de uma matriz biológica/alimentar complexa?

3. Como os ensaios podem ser usados para prever a eficácia ou otimizar o uso de antioxidantes naturais nos alimentos?

A seguir são discutidas as questões 1 e 2, com ênfase nos ensaios de sequestro de DPPH, ABTS^{•+}, FRAP, CUPRAC e ORAC.

4.1 Atividade de eliminação do DPPH

A molécula 2,2-Difenil-1-picrilhidrazila (DPPH) é caracterizada como um radical livre estável, solúvel em solventes orgânicos e apresenta uma banda de absorção típica a 515 nm corresponde a cor violeta (Figura 3) (Floegel, *et al.* 2011; Apak, *et al.* 2013; Schaich, Tian and Xie, 2015).

Por ação de um antioxidante (AH) ou uma espécie radicalar (R[•]), o DPPH[•] é reduzido formando difenil-picril-hidrazina, de coloração amarela, podendo a mesma ser monitorada pelo decréscimo da absorbância. A partir dos resultados obtidos determina-se a porcentagem de atividade antioxidante. (Alam, Bristi and Rafiquzzaman, 2013; López-Alarcón and Denicola, 2013; Schaich, Tian and Xie, 2015; Shahidi and Zhong, 2015).

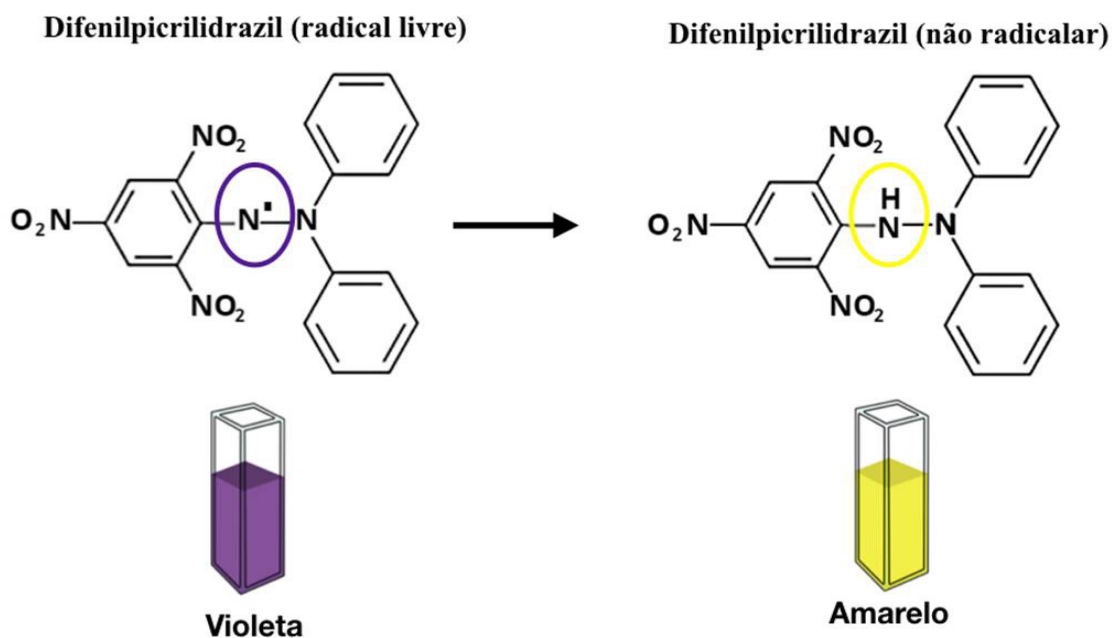


Figura 3 - Estrutura química do DPPH[•].

As vantagens desse método incluem, simplicidade, rapidez (30 minutos), podendo também ser usado para avaliar a atividade antioxidante de compostos sintéticos. No entanto, suas desvantagens incluem o fato do DPPH[•] ser um radical estável, estericamente impedido e hidrofóbico, portanto suas reações devem ser executadas

em solventes orgânicos (Schaich, Tian and Xie, 2015). Consequentemente, apenas reagentes redutores fortes são capazes de reagir com este radical em um modo estequiométrico. Além disso, o DPPH[•] apresenta uma fraca correlação entre a sua estrutura química com a estrutura das espécies reativas produzidas nos sistemas biológicos (López-Alarcón and Denicola, 2013).

4.2 Ensaio ABTS^{•+}

Um dos métodos mais utilizados para medir a atividade antioxidante é por meio da captura do radical 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS^{•+}), que pode ser gerado por reação química, eletroquímica ou enzimática (Figura 4) (Niki, 2010; Schaich, Tian and Xie, 2015).

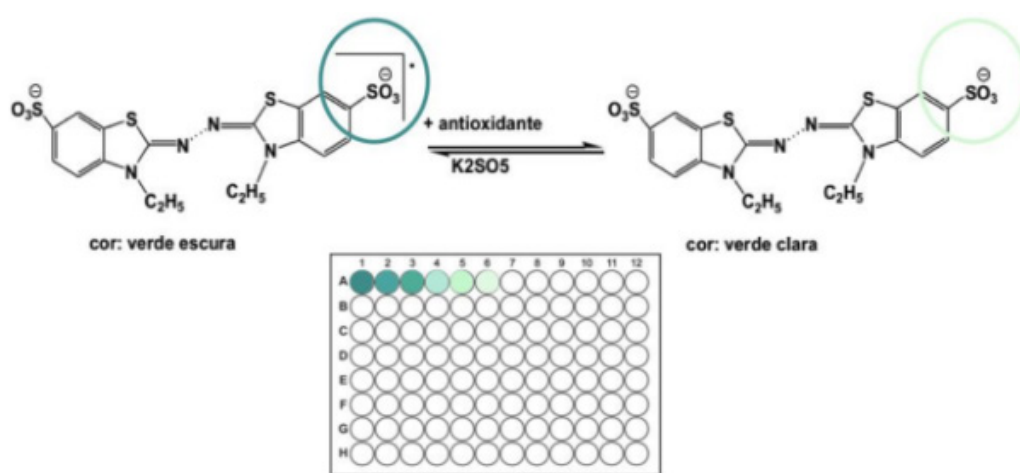


Figura 4 - Estabilização do radical ABTS^{•+} por um antioxidante e sua formação pelo persulfato de potássio.

A vantagem do teste ABTS^{•+} consiste na sua relativa simplicidade que permite a aplicação na rotina de qualquer laboratório. Além disso, com essa metodologia, pode-se medir a atividade de compostos de natureza hidrofílica e lipofílica (Niki, 2010; Schaich, Tian and Xie, 2015).

Contudo, assim como o DPPH, o ABTS^{•+} é um radical grande, estável, estericamente impedido e não é encontrado no corpo humano. Além disso, o resultado do ensaio é dependente do tempo de incubação, assim como da taxa da amostra quantificada, e esta dependência somada a pouca seletividade do ABTS^{•+} na reação com átomos doadores de hidrogênio, constituem em importantes limitações deste método (Niki, 2010; Alam, Bristi and Rafiquzzaman, 2013; López-Alarcón and Denicola, 2013; Schaich, Tian and Xie, 2015).

4.3 Redução de íons metálicos (ensaios FRAP e CUPRAC)

Esses métodos avaliam a capacidade da amostra em reduzir os íons férricos ou cúpricos em meio aquoso. O ensaio FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power - Potencial Antioxidante Redutor Férrico), utiliza a reação do complexo 2,3,5-trifenil-

1,3,4-triaza-2-azoniaciclopenta-1,4-cloreto de dieno (TPTZ) com antioxidantes (Figura 5), enquanto o CUPRAC (Cupric ion-Antioxidant Capacity - Capacidade antioxidante-iônica cúprica) determina a habilidade de uma amostra em reduzir o complexo cobre-neocuproína (CuI–Nc) (Figura 6) (Alam, Bristi and Rafiquzzaman, 2013; López-Alarcón and Denicola, 2013).

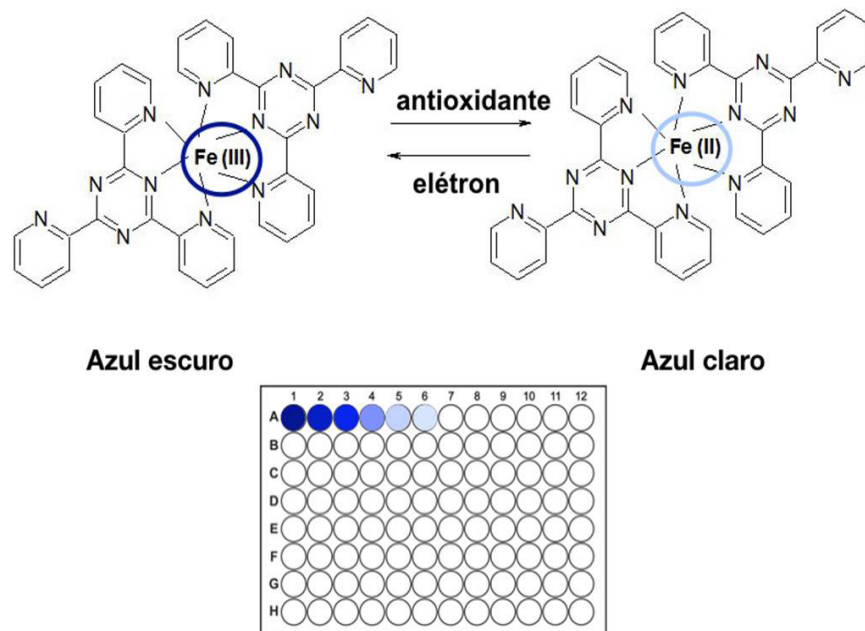


Figura 5 - Redução do complexo Fe(TPTZ)_2^{3+} a Fe(TPTZ)_2^{2+} .

A base de ambas as metodologias é que os complexos de TPTZ ou Nc com a forma reduzida dos metais apresentam bandas de absorção visíveis características com intensidade máxima a 593 e 450 nm para o ensaio FRAP e CUPRAC, respectivamente. Assim, esta redução é monitorada medindo a alteração na absorção utilizando um espectrofotômetro de matriz de diodo (Alam, Bristi and Rafiquzzaman, 2013; López-Alarcón and Denicola, 2013).

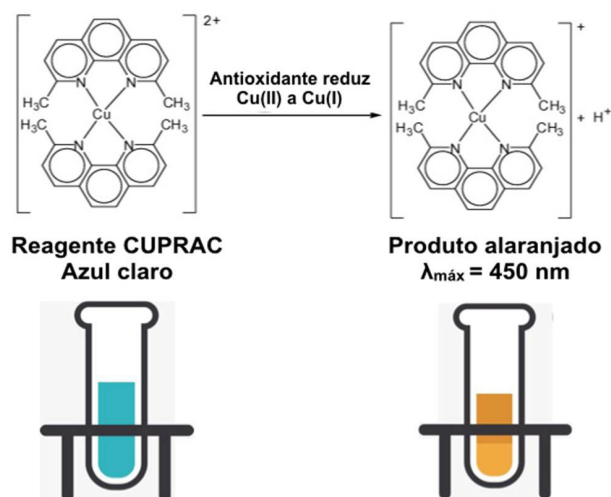


Figura 6 - Redução do complexo $\text{Cu}^{2+}(\text{Nc})$ a $\text{Cu}^+(\text{Nc})$.

A principal vantagem destes métodos é a simplicidade das condições experimentais. No entanto, o ensaio FRAP requer um pH ácido (3,6), que não se assemelha ao pH fisiológico. Em contraste, o ensaio CUPRAC, realizado em pH 7,0, simula adequadamente o pH fisiológico (Alam, Bristi and Rafiquzzaman, 2013; López-Alarcón and Denicola, 2013).

4.4 Ensaio ORAC

O ensaio ORAC é uma das metodologias mais reconhecidas dos ensaios antioxidantes *in vitro*, a reação é simples em conceito, porém, sua execução experimental é complexa (Schaich, Tian and Xie, 2015).

Este ensaio baseia-se na geração de radicais livres aquecendo um composto de azida, AAPH (dicloridrato de 2,2-azobis 2-amidopropano), esta se decompõe, eliminando o gás nitrogênio e gerando dois radicais de carbono ($R\cdot$). Na presença de oxigênio, os $R\cdot$ gerados são convertidos em radicais peroxil ($ROO\cdot$), que podem reagir com moléculas alvos ou com antioxidantes (Alam, Bristi and Rafiquzzaman, 2013; Schaich, Tian and Xie, 2015).

Sendo assim, o ensaio baseia-se na competição entre as reações das moléculas alvos e dos antioxidantes com o $ROO\cdot$. A fluoresceína, o alvo mais comum em uso atual, quando atacada por $ROO\cdot$, perde sua fluorescência. Adicionando um antioxidante a esse sistema, a perda da fluorescência é minimizada, neutralizando os radicais $ROO\cdot$. (Niki, 2010; Schaich, Tian and Xie, 2015). A reação é seguida pela medição da fluorescência ao longo do tempo, sendo os resultados calculados como a área total sob as curvas de reação (AUC) para cada amostra antioxidante, subtraída área de reação sem antioxidante. Os resultados são reportados como equivalentes de Trolox (um análogo solúvel em água de vitamina E), o valor ORAC é então calculado a partir do Trolox Equivalente e expresso como unidades ORAC. Quanto maior o valor de ORAC, maior será o “poder antioxidante” (Alam, Bristi and Rafiquzzaman, 2013).

As vantagens desse método incluem o fato de ser um método simples e padronizado, utiliza radicais peroxil que são melhores modelos de reações antioxidantes com lipídios oxidantes e espécies reativas de oxigênio nos sistemas biológicos *in vivo*, e fornece geração contínua de radicais em uma escala de tempo realista. Além disso, o ensaio pode ser adaptado para detectar antioxidantes hidrofílicos e hidrofóbicos, apenas alterando a fonte de radicais, solventes e moléculas alvo, e tem sido rotineiramente automatizado (Niki, 2010; Alam, Bristi and Rafiquzzaman, 2013; Schaich, Tian and Xie, 2015).

A complexidade da reação ORAC, no entanto, significa que há muitos pontos problemáticos, os quais podem causar dificuldades aos que utilizam este ensaio. O método exige rigoroso controle de temperatura, de oxigênio e das concentrações dos reagentes envolvidos no ensaio, quando tais exigências não são atendidas, as reações são lentas e incompletas, e os resultados são fracamente reprodutíveis (López-Alarcón and Denicola, 2013; Schaich, Tian and Xie, 2015).

Considerando a diversidade de mecanismos que os antioxidantes podem exercer *in vivo*, ainda não é possível encontrar um único método analítico para avaliar sua capacidade antioxidante (López-Alarcón and Denicola, 2013). É necessário, portanto, aplicar mais de um ensaio químico *in vitro* que avalie diferentes aspectos da reatividade dos compostos para EROs/ERNs (López-Alarcón and Denicola, 2013; Schaich, Tian and Xie, 2015).

5 | GERAÇÃO DE ESPÉCIES REATIVAS DE OXIGÊNIO A PARTIR DA FOTOCATÁLISE

Biologicamente, os radicais HO[•] são gerados quando o H₂O₂ reage com Fe (II) (reação do tipo Fenton). No entanto, o uso de reações de Fenton no desenvolvimento de ensaios antioxidantes apresenta desvantagens, uma vez que muitos antioxidantes também são quelantes de metais que alteram a atividade do Fe (II) após a quelação (Rui-Jie *et al.*, 2016).

Nesse contexto, a fotocatalise heterogênea que tem sido aplicada a inúmeros processos de mineralização de compostos orgânicos por meio de geração de espécies reativas de oxigênio, surge como uma alternativa ao uso das reações de Fenton para aplicação a metodologias de reconhecimento de atividade antioxidante (Chen *et al.*, 2014). De acordo com pesquisas anteriores, o dióxido de titânio (TiO₂) tem sido considerado o fotocatalisador mais eficiente e econômico devido à sua capacidade de mineralizar completamente a matéria orgânica, por ser de baixo custo, não-tóxico, além da elevada capacidade oxidativa, por meio da geração de espécies reativas como radical hidroxila (HO[•]), ânion superóxido (O₂^{•-}) e oxigênio singlete (¹O₂). (Xiang, Yu, Wong, 2011; Rauf *et al.*, 2009; Rui-Jie *et al.*, 2016; Nagarajan *et al.*, 2017; Chen, *et al.* 2017; Ali, *et al.* 2018; Sulaiman, *et al.* 2018).

5.1 Fotocatalisador dióxido de titânio (TiO₂)

O TiO₂ pode ser encontrado em três formas cristalinas: anatase, rutilo e bruquita. Em todas as três formas, os átomos de titânio (Ti₄⁺) são coordenados a seis átomos de oxigênio (O₂⁻), formando octaedros de TiO₆. Estas formas de TiO₂ podem ser minerais naturais ou sintéticas. No entanto, somente as fases anatase e rutilo são produzidas comercialmente (Figura 11). A forma anatase é a forma que possui maior eficiência fotocatalítica e, é composta de octaedros de canto (vértices), resultando em uma estrutura tetragonal (Ali, *et al.* 2018; Sulaiman, *et al.* 2018).

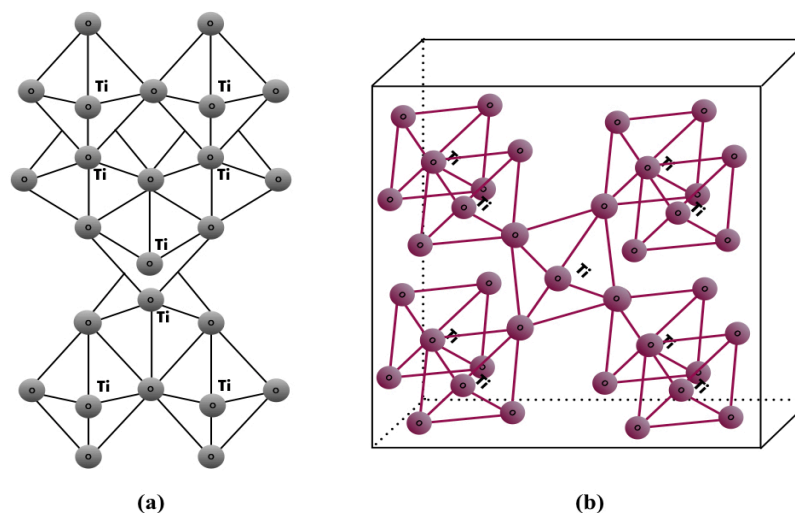


Figura 11 - Estrutura cristalina do TiO_2 (a) anatase (b) rutilo.

Os efeitos fotocatalíticos são exercidos pelas reações redox causadas por elétrons fotoinduzidos (e^-) e lacunas (h^+) gerados nas superfícies sólidas heterogêneas dos fotocatalisadores (Guo *et al.*, 2015). Várias espécies reativas são geradas por meio das reações com as lacunas e elétrons, os quais são considerados envolvidos nas reais reações oxidativas e redutivas da fotocatalise. Na fotocatalise da água ocorre a geração de espécies reativas de oxigênio, compreendendo o radical ânion superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$), oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$) e o radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$), além do não radical peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (Figura 12)(Xiang, Yu, Wong, 2011; Rauf *et al.*, 2009; Rui-Jie *et al.*, 2016; Nagarajan *et al.*, 2017; Nosaka and Nosaka, 2017).

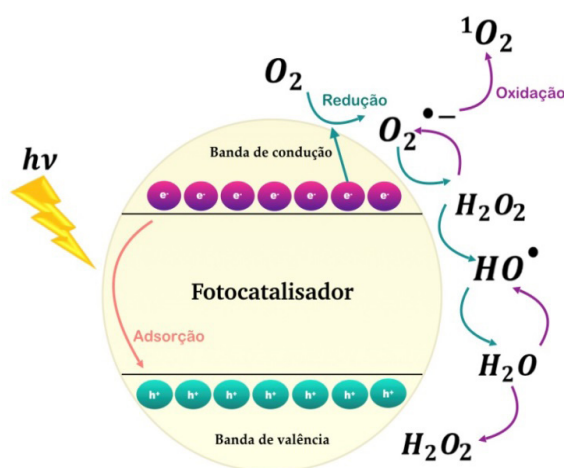
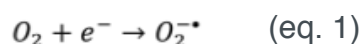


Figura 12 - Espécies reativas de oxigênio geradas nas etapas de redução fotocatalítica e oxidação de oxigênio e água.

5.2 Processo de geração do ânion superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$)

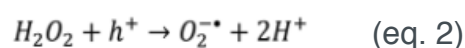
A quantidade de $\text{O}_2^{\cdot-}$ gerada em suspensão aquosa durante a fotocatalise heterogênea é linearmente correlacionada com a dos elétrons aprisionados. A

evidência experimental sugere que a redução do O_2 por meio dos elétrons da banda de condução gera $O_2^{\cdot-}$ de acordo com a equação 1 (Hao, *et al.* 2016; Hayyan, Hashim and AlNashef, 2016; Chen, *et al.* 2017).



Yamakata, Vequizo and Matsunaga (2015), estudaram a diferença no comportamento de elétrons e lacunas foto gerados na superfície do TiO_2 anatase e TiO_2 rutilo, por meio de espectroscopia de absorção de tempo visível. Os autores mostram o rápido decaimento dos elétrons na banda de condução para o TiO_2 rutilo enquanto para o TiO_2 anatase os elétrons têm uma vida mais longa. Na presença de O_2 a quantidade de elétrons na banda de condução diminuiu significativamente, esse decaimento fornece evidência direta do mecanismo proposto pela equação 1.

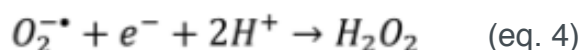
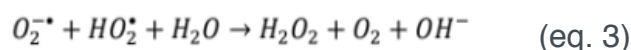
Outro mecanismo de geração do $O_2^{\cdot-}$ é por meio da oxidação de H_2O_2 com uma lacuna foto gerada da banda de valência (h^+), em solução aquosa, como na equação 2. O H_2O_2 é produzido pela oxidação em duas etapas da água ou pela redução de dois elétrons do O_2 como mostrado na Figura 11 (Nosaka and Nosaka, 2017).



Quanto aos fotocatalisadores, além do TiO_2 , o CdS, o ZnS e o $In_2S_3 \cdot 6H_2O$ geram $O_2^{\cdot-}$ (Rajendran, *et al.* 2010; He, *et al.* 2014)

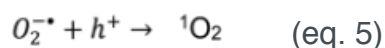
5.3 Processo de geração do peróxido de hidrogênio (H_2O_2)

Duas vias fotocatalíticas geram o H_2O_2 , como mostrado na Figura 12. Essas são a redução de dois elétrons de O_2 e a oxidação da água por meio de dois h^+ . Por causa da baixa reatividade do $O_2^{\cdot-}$, a rota de redução parece dominante no processo de geração do H_2O_2 . Para a geração de H_2O_2 a partir de $O_2^{\cdot-}$, existem dois caminhos de redução. Uma é a reação na qual o $O_2^{\cdot-}$ é simultaneamente oxidado e reduzido, como dito na equação 3. A outra é a redução do $O_2^{\cdot-}$ por elétrons fotoinduzidos da banda de condução, equação 4 (Li and Selloni, 2013; Nosaka and Nosaka, 2017).



5.4 Processo de geração do oxigênio singlete (1O_2)

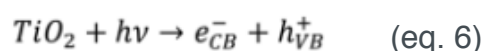
Estudos experimentais utilizando o catalisador TiO_2 , sugerem que o $O_2^{\cdot-}$ é provavelmente oxidado por lacunas da banda de valência, para gerar 1O_2 como dito na equação 5 (Daimon, *et al.* 2008; He, *et al.* 2014; Hayyan, Hashim and AlNashef, 2016; Nosaka and Nosaka, 2017).



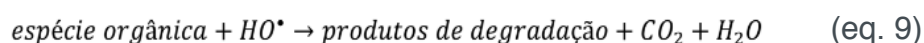
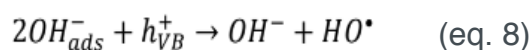
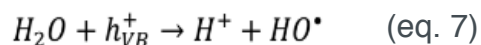
Nos quais, pós mais finos proporcionam um maior rendimento de $O_2^{\cdot-}$ gerando uma quantidade maior de 1O_2 . Para os fotocatalisadores CdS e ZnS, a transferência de elétrons de $O_2^{\cdot-}$ para furos de banda de valência também é sugerida como mecanismo de geração de 1O_2 (He, *et al.* 2014).

5.5 Processo de geração do radical hidroxila ($\cdot OH$)

Na fotocatalise, quando a energia da radiação é maior que a energia de *bandgap* do semiconductor, um elétron da banda de valência é excitado para a banda de condução (Figura 12). No caso do TiO_2 anatase, o intervalo de *bandgap* é de 3,2 eV, portanto, para gerar excitação de elétrons, se faz necessário o uso de luz UV (≤ 387 nm) (Xiang, Yu, Wong, 2011; Rauf *et al.*, 2009; Rui-Jie *et al.*, 2016; Nagarajan *et al.*, 2017; Chen, *et al.* 2017).



Lacunas positivas podem oxidar a água na superfície do catalisador para produzir radicais $\cdot OH$ (Eq. 7 e 8), que são oxidantes extremamente poderosos. Os radicais hidroxila podem posteriormente oxidar espécies orgânicas produzindo, CO_2 e H_2O (eq. 9) (Houas, *et al.* 2001; Xiang, Yu, Wong, 2011; Rauf *et al.*, 2009; Rui-Jie *et al.*, 2016; Nagarajan *et al.*, 2017).



6 | GERAÇÃO DE ESPÉCIES REATIVAS DE OXIGÊNIO A PARTIR DA FOTOCATÁLISE APLICADA A ENSAIOS ANTIOXIDANTES

Diante do que foi exposto, percebe-se que a grande vantagem do método ORAC em relação aos outros ensaios mais utilizados, consiste no fato deste ensaio utilizar radicais peroxil, que estão presentes em sistemas biológicos, como fonte de espécies reativas. As espécies reativas de oxigênio incluem os radicais livres, hidroxila (HO^{\cdot}), peroxilo (ROO^{\cdot}), ânion superóxido ($O_2^{\cdot-}$) e outras espécies não radicalares como oxigênio singlete (1O_2), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ozônio (O_3) e ácido hipocloroso ($HOCl$) (Almeida, *et al.* 20128; Pisoschi and Pop, 2015; Grzesik, *et al.* 2018). Estas espécies, são geradas constantemente nos sistemas *in vivo*, e sendo assim, se faz necessário o desenvolvimento de metodologias analíticas *in vitro* para avaliação da capacidade antioxidante que utilizem estas espécies reativas.

Portanto, o uso da fotocatalise heterogênea como tecnologia de geração *in vitro* das principais espécies reativas de oxigênio ($\cdot\text{OH}$, $^1\text{O}_2$, $\text{O}_2^{\cdot-}$ e H_2O_2), presentes nos organismos vivos, surge como uma alternativa simples, barata e confiável para aplicação ao desenvolvimento de novos métodos para avaliação da capacidade antioxidante.

Liu et al. (2005) desenvolveram eletrodos modificados com dióxido de titânio suportado em eletrodo de vidro (TiO_2/ITO) para quantificar fotooxidativamente o ds-DNA adsorvido e estudar o efeito de antioxidantes como agentes de proteção ds-DNA. Os filmes de TiO_2 foram utilizados para imobilizar ds-DNA, e conseqüentemente ocasionar a oxidação deste por meio de radicais hidroxila fotogerados. Danos ocorridos após a oxidação do ds-DNA são detectados pelo monitoramento da corrente de redução eletroquímica do azul de metileno. O método foi aplicado eficientemente na avaliação das propriedades antioxidantes da glutathiona e do ácido gálico.

Ma et al. (2013) sintetizaram um novo sensor de avaliação de capacidade antioxidante eletroquímica, a partir de um catalisador composto por grafeno e dióxido de titânio (GO-TiO_2) como gerador de radicais $\cdot\text{OH}$ e DNA como sonda molecular. A capacidade antioxidante foi mensurada utilizando a supressão do declínio da corrente de redução do azul de metileno utilizado. O método foi aplicado na avaliação da capacidade antioxidante do ácido gálico e apresentou valor de detecção de $0,85 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O método também foi aplicado, com sucesso, a avaliação da capacidade antioxidante de chás.

Rui-Jie et al. (2016) desenvolveram um método baseado na fotogeração de radicais $\cdot\text{OH}$ em água a partir de nanopartículas de TiO_2 para estudar a cinética de oxidação de moléculas orgânicas usadas como antioxidantes biológicos. A cinética de oxidação do ácido tereftálico como sonda de referência foi monitorizada por medições de fluorescência da concentração da sua forma oxidada. A cinética de oxidação de outras moléculas antioxidantes foram comparadas com base neste modelo cinético. Os resultados mostraram a seguinte ordem de potencial antioxidante das substâncias avaliadas: ácido lipóico, ácido gálico, glutathiona, ácido úrico, vitamina C, vitamina E, trolox e bilirrubina.

Sonane, Moin and Satish (2017) utilizaram a fotocatalise heterogênea para determinar o efeito protetor dos antioxidantes curcumina e vitamina C contra a exposição às espécies reativas de oxigênio (EROs) geradas por meio de nanopartículas de TiO_2 e ZnO em *Caenorhabditis elegans*. A partir desse método os autores concluíram que ambos os antioxidantes eficientemente neutralizam as EROs induzidas por nanopartículas de TiO_2 e ZnO .

Comparando os métodos de ensaio antioxidante baseado em geração de espécies reativas de oxigênio a partir da fotocatalise heterogênea com outros métodos relatados anteriormente, a geração de EROs a partir da fotocatalise heterogênea apresenta três vantagens: (a) utiliza-se radicais $\cdot\text{OH}$, que proporcionam melhor biocompatibilidade à destruição oxidativa do que os radicais sintéticos nos organismos; (b) em contraste com

a reação de Fenton, não há confusão se os antioxidantes estão neutralizando EROs ou quelando o ferro; (c) a fotocatalise heterogênea simula as reações em cascata de EROs que ocorre nos sistemas biológicos a partir da geração simultânea e constante de $\cdot\text{OH}$, $^1\text{O}_2$ e $\text{O}_2^{\cdot-}$.

Sendo assim, a utilização da fotocatalise como fonte de geração EROs apresenta relevância biológica importante para desenvolvimento de novas metodologias simples, fáceis, rápidas e baratas, com aplicações na indústria alimentícia, médica e cosmética.

7 | CONCLUSÕES

Devido ao crescente interesse por fontes externas de antioxidantes, o desenvolvimento de métodos para avaliar a capacidade antioxidante tornou-se uma área de pesquisa ativa. Inúmeros ensaios vem sendo desenvolvidos, no entanto, a grande maioria apresenta desvantagens que incluem elevado custo dos reagentes, alta complexidade das reações, uso de equipamentos caros, entre outros. Sendo assim, nesse trabalho de revisão, foram elucidados a importância dos antioxidantes para manutenção da saúde nos sistemas biológicos, em seguida, o desenvolvimento de métodos *in vitro* para determinação de atividade antioxidante são abordados, destacando suas vantagens e desvantagens, e por fim, foi discutido o uso da fotocatalise heterogênea para desenvolver métodos de avaliação de atividade antioxidante, com foco nos mecanismos de geração das espécies reativas de oxigênio a partir de catalisadores como o dióxido de titânio.

Diante do panorama exposto, conclui-se que a grande desvantagem dos métodos DPPH e ABTS, que são os mais utilizados na literatura, consistem no fato de que estes são radicais grandes, estericamente impedidos e inexistentes nos sistemas *in vivo*. Já o método ORAC possui a grande vantagem de usar radicais gerados fisiologicamente, no entanto, este método utiliza reagentes caros e sua metodologia apesar de ser simples na execução, possui problemas no controle de temperatura, oxigênio e reagentes, podendo apresentar resultados não condizentes com a realidade.

Portanto, a geração *in vitro* das principais espécies reativas de oxigênio ($\cdot\text{OH}$, $^1\text{O}_2$, $\text{O}_2^{\cdot-}$ e H_2O_2), presentes nos organismos vivos, por meio da fotocatalise heterogênea, surge como uma alternativa simples, barata e confiável para aplicação ao desenvolvimento de ensaios antioxidantes. Sendo assim, essa revisão teve como objetivo esclarecer os mecanismos que envolvem a geração de espécies reativas por meio da fotocatalise para que futuras pesquisas possam aplicar esta tecnologia ao desenvolvimento de métodos *in vitro*, que sejam confiáveis e que reproduzam as reações das espécies reativas que ocorrem nos sistemas biológicos.

REFERÊNCIAS

- ALAM, Md Nur; BRISTI, Nusrat Jahan; RAFIQUZZAMAN, Md. **Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity.** Saudi Pharmaceutical Journal, v. 21, n. 2, p. 143-152, 2013.
- ALMEIDA, J. S. et al. **Hydrogels containing rutin intended for cutaneous administration: efficacy in wound healing in rats.** Drug development and industrial pharmacy, v. 38, n. 7, p. 792-799, 2012.
- APAK, Reşat et al. **Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/activity** (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry, v. 85, n. 5, p. 957-998, 2013.
- ATAIE, Amin; SHADIFAR, Mohammad; ATAEE, Ramin. **Polyphenolic antioxidants and neuronal regeneration.** Basic and clinical neuroscience, v. 7, n. 2, p. 81, 2016.
- BADARINATH, A. V. et al. **A review on in-vitro antioxidant methods: comparisons, correlations and considerations.** International Journal of PharmTech Research, v. 2, n. 2, p. 1276-1285, 2010.
- BAO, Dengke et al. **Protective effect of quercetin against oxidative stress-induced cytotoxicity in rat pheochromocytoma (PC-12) cells.** Molecules, v. 22, n. 7, p. 1122, 2017.
- BARROSO, M. Fátima et al. **Study of lipid peroxidation and ascorbic acid protective role in large unilamellar vesicles from a new electrochemical performance.** Bioelectrochemistry, v. 120, p. 120-126, 2018.
- BIKKAD, Mahendra D. et al. **Evaluation of Lipid Peroxide and Antioxidants in Smokers.** International Journal of Basic and Applied Medical Sciences, v. 4, n. 1, p. 1-6, 2014.
- CANABADY-ROCHELLE, Laetitia LS et al. **SPR screening of metal chelating peptides in a hydrolysate for their antioxidant properties.** Food chemistry, v. 239, p. 478-485, 2018.
- CAROCHO, Márcio; MORALES, Patricia; FERREIRA, Isabel CFR. **Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives.** Trends in Food Science & Technology, v. 71, p. 107-120, 2018.
- CHAND, Karam et al. **A review on antioxidant potential of bioactive heterocycle benzofuran: Natural and synthetic derivatives.** Pharmacological Reports, v. 69, n. 2, p. 281-295, 2017.
- CHEN, Daimei et al. **Synthesis and characterization of a microfibrinous TiO₂-CdS/palygorskite nanostructured material with enhanced visible-light photocatalytic activity.** Applied Clay Science, v. 87, p. 285-291, 2014.
- CHEN, Ping et al. **Study on the photocatalytic mechanism and detoxicity of gemfibrozil by a sunlight-driven TiO₂/carbon dots photocatalyst: The significant roles of reactive oxygen species.** Applied Catalysis B: Environmental, v. 204, p. 250-259, 2017.
- CHISTÉ, Renan Campos et al. **The potential of extracts of Caryocar villosum pulp to scavenge reactive oxygen and nitrogen species.** Food chemistry, v. 135, n. 3, p. 1740-1749, 2012.
- CÖMERT, Ezgi Doğan; GÖKMEN, Vural. **Evolution of food antioxidants as a core topic of food science for a century.** Food Research International, v. 105, p. 76-93, 2018.
- COS, Paul et al. **Structure-activity relationship and classification of flavonoids as inhibitors of xanthine oxidase and superoxide scavengers.** Journal of natural products, v. 61, n. 1, p. 71-76, 1998.

COSTA, David et al. **New noncellular fluorescence microplate screening assay for scavenging activity against singlet oxygen**. Analytical and bioanalytical chemistry, v. 387, n. 6, p. 2071-2081, 2007.

DAIMON, Toshihiro et al. **Formation of singlet molecular oxygen associated with the formation of superoxide radicals in aqueous suspensions of TiO₂ photocatalysts**. Applied Catalysis A: General, v. 340, n. 2, p. 169-175, 2008.

FARHAT, Zeinab et al. **How do glutathione antioxidant enzymes and total antioxidant status respond to air pollution exposure?**. Environment international, v. 112, p. 287-293, 2018.

FLOEGEL, Anna et al. **Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods**. Journal of food composition and analysis, v. 24, n. 7, p. 1043-1048, 2011.

GE, Qingfeng et al. **A novel and simple cell-based electrochemical biosensor for evaluating the antioxidant capacity of Lactobacillus plantarum strains isolated from Chinese dry-cured ham**. Biosensors and Bioelectronics, v. 99, p. 555-563, 2018.

GERSCHMAN, Rebeca et al. **Role of adrenalectomy and adrenal-cortical hormones in oxygen poisoning**. American Journal of Physiology-Legacy Content, v. 178, n. 2, p. 346-350, 1954.

GOMES, Ana et al. **Antioxidant activity of β -blockers: an effect mediated by scavenging reactive oxygen and nitrogen species?**. Bioorganic & medicinal chemistry, v. 14, n. 13, p. 4568-4577, 2006.

GRZESIK, Michalina et al. **Antioxidant properties of catechins: Comparison with other antioxidants**. Food Chemistry, v. 241, p. 480-492, 2018.

GUO, Xiaoyan et al. **Enhanced photocatalytic performance of N-nitrosodimethylamine on TiO₂ nanotube based on the role of singlet oxygen**. Chemosphere, v. 120, p. 521-526, 2015.

HAO, Ruirui et al. **Template-free preparation of macro/mesoporous g-C₃N₄/TiO₂ heterojunction photocatalysts with enhanced visible light photocatalytic activity**. Applied Catalysis B: Environmental, v. 187, p. 47-58, 2016.

HAYYAN, Maan; HASHIM, Mohd Ali; ALNASHEF, Inas M. **Superoxide ion: generation and chemical implications**. Chemical reviews, v. 116, n. 5, p. 3029-3085, 2016.

HE, Weiwei et al. **Predicting and identifying reactive oxygen species and electrons for photocatalytic metal sulfide micro-nano structures**. Journal of Catalysis, v. 320, p. 97-105, 2014.

HOUAS, Ammar et al. **Photocatalytic degradation pathway of methylene blue in water**. Applied Catalysis B: Environmental, v. 31, n. 2, p. 145-157, 2001.

HEIM, Kelly E.; TAGLIAFERRO, Anthony R.; BOBILYA, Dennis J. **Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships**. The Journal of nutritional biochemistry, v. 13, n. 10, p. 572-584, 2002.

KUMAR, Suresh; SHARMA, Sunil; VASUDEVA, Neeru. **Review on antioxidants and evaluation procedures**. Chinese journal of integrative medicine, p. 1-12, 2017.

KUMAR, Shashank; PANDEY, Abhay K. **Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview**. The Scientific World Journal, v. 2013, 2013.

LI, Ye-Fei; SELLONI, Annabella. **Theoretical study of interfacial electron transfer from reduced anatase TiO₂ (101) to adsorbed O₂**. Journal of the American Chemical Society, v. 135, n. 24, p. 9195-

9199, 2013.

LIU, Jifeng et al. **Antioxidant sensors based on DNA-modified electrodes**. Analytical chemistry, v. 77, n. 23, p. 7687-7694, 2005.

LÓPEZ-ALARCÓN, Camilo; DENICOLA, Ana. **Evaluating the antioxidant capacity of natural products: A review on chemical and cellular-based assays**. Analytica chimica acta, v. 763, p. 1-10, 2013.

LÜ, Jian-Ming et al. **Chemical and molecular mechanisms of antioxidants: experimental approaches and model systems**. Journal of cellular and molecular medicine, v. 14, n. 4, p. 840-860, 2010.

LUO, L. et al. **Inhibitory effects of flavonoids from Hypericum perforatum on nitric oxide synthase**. Journal of ethnopharmacology, v. 93, n. 2-3, p. 221-225, 2004.

MA, Weiguang et al. **Bionic radical generation and antioxidant capacity sensing with photocatalytic graphene oxide–titanium dioxide composites under visible light**. Analyst, v. 138, n. 8, p. 2335-2342, 2013.

MCCORD, JOE M.; FRIDOVICH, Irwin. **The biology and pathology of oxygen radicals**. Annals of Internal Medicine, v. 89, n. 1, p. 122-127, 1978.

MOZAFARI, M. Reza et al. **Recent trends in the lipid-based nanoencapsulation of antioxidants and their role in foods**. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 86, n. 13, p. 2038-2045, 2006.

NAGARAJAN, Sanjay et al. **Comparative assessment of visible light and UV active photocatalysts by hydroxyl radical quantification**. Journal of photochemistry and photobiology A: chemistry, v. 334, p. 13-19, 2017.

NIKI, Etsuo. **Assessment of antioxidant capacity in vitro and in vivo**. Free Radical Biology and Medicine, v. 49, n. 4, p. 503-515, 2010.

NOSAKA, Yoshio; NOSAKA, Atsuko Y. **Generation and detection of reactive oxygen species in photocatalysis**. Chemical reviews, v. 117, n. 17, p. 11302-11336, 2017.

OMAR, Syed Haris et al. **Olive (*Olea europaea* L.) Biophenols: A Nutraceutical against Oxidative Stress in SH-SY5Y Cells**. Molecules, v. 22, n. 11, p. 1858, 2017.

PISOSCHI, Aurelia Magdalena; POP, Aneta. **The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review**. European journal of medicinal chemistry, v. 97, p. 55-74, 2015.

PRIOR, Ronald L. **Oxygen radical absorbance capacity (ORAC): New horizons in relating dietary antioxidants/bioactives and health benefits**. Journal of Functional Foods, v. 18, p. 797-810, 2015.

RAJAN, Vijisha K.; MURALEEDHARAN, K. **A computational investigation on the structure, global parameters and antioxidant capacity of a polyphenol, Gallic acid**. Food chemistry, v. 220, p. 93-99, 2017.

RAJENDRAN, Vidyakshmi et al. **Photocatalytic Activity of Protein-Conjugated CdS Nanoparticles**. Small, v. 6, n. 18, p. 2035-2040, 2010.

RAUF, M. A.; ASHRAF, S. Salman. **Fundamental principles and application of heterogeneous photocatalytic degradation of dyes in solution**. Chemical engineering journal, v. 151, n. 1-3, p. 10-18, 2009.

- ROGINSKY, Vitaly; LISSI, Eduardo A. **Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food.** Food chemistry, v. 92, n. 2, p. 235-254, 2005.
- JIA, Rui-Jie et al. **Antioxidant Assay Based on Quenching of Photocatalytically Generated Reactive Oxygen Species.** Chinese Journal of Analytical Chemistry, v. 44, n. EPFL-ARTICLE-222309, p. 1257-1261, 2016.
- SARANGARAJAN, R. et al. **Antioxidants: Friend or foe?.** Asian Pacific journal of tropical medicine, v. 10, n. 12, p. 1111-1116, 2017.
- SARTORI, Giliani Veloso; DA COSTA, Caroline Nunes; RIBEIRO, Alessandra Braga. **Conteúdo fenólico e atividade antioxidante de polpas de frutas congeladas.** Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos v, v. 5, n. 3, p. 23-29, 2014.
- SCHAICH, K. M.; TIAN, X.; XIE, J. **Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: A critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays.** Journal of Functional Foods, v. 14, p. 111-125, 2015.
- SHAHIDI, Fereidoon; ZHONG, Ying. **Measurement of antioxidant activity.** Journal of functional foods, v. 18, p. 757-781, 2015.
- SONANE, Madhavi; MOIN, Nida; SATISH, Aruna. **The role of antioxidants in attenuation of Caenorhabditis elegans lethality on exposure to TiO₂ and ZnO nanoparticles.** Chemosphere, v. 187, p. 240-247, 2017.
- SULAIMAN, Siti Nur Aqilah et al. **Effects of photocatalytic activity of metal and non-metal doped TiO₂ for Hydrogen production enhancement-A Review.** In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2018. p. 012006.
- TREML, Jakub; ŠMEJKAL, Karel. **Flavonoids as potent scavengers of hydroxyl radicals.** Comprehensive reviews in food science and food safety, v. 15, n. 4, p. 720-738, 2016.
- XIANG, Qunjun; YU, Jianguo; WONG, Po Keung. **Quantitative characterization of hydroxyl radicals produced by various photocatalysts.** Journal of Colloid and Interface Science, v. 357, n. 1, p. 163-167, 2011.
- YAMAKATA, Akira; VEQUIZO, Junie Jhon M.; MATSUNAGA, Hironori. **Distinctive behavior of photogenerated electrons and holes in anatase and rutile TiO₂ powders.** The Journal of Physical Chemistry C, v. 119, n. 43, p. 24538-24545, 2015.
- ZOU, ZHUO ET AL. **Antioxidant activity of Citrus fruits.** Food Chemistry, v. 196, p. 885-896, 2016.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Tayronne de Almeida Rodrigues - Filósofo e Pedagogo, especialista em Docência do Ensino Superior e Graduando em Arquitetura e Urbanismo, pela Faculdade de Juazeiro do Norte-FJN, desenvolve pesquisas na área das ciências ambientais, com ênfase na ética e educação ambiental. É defensor do desenvolvimento sustentável, com relevantes conhecimentos no processo de ensino-aprendizagem. Membro efetivo do GRUNEC - Grupo de Valorização Negra do Cariri. E-mail: tayronnealmeid@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9378-1456>.

João Leandro Neto - Filósofo, especialista em Docência do Ensino Superior e Gestão Escolar, membro efetivo do GRUNEC. Publica trabalhos em eventos científicos com temas relacionados a pesquisa na construção de uma educação valorizada e coletiva. Dedicar-se a pesquisar sobre métodos e comodidades de relação investigativa entre a educação e o processo do aluno investigador na Filosofia, trazendo discussões neste campo. Também é pesquisador da arte italiana, com ligação na Scuola de Lingua e Cultura – Itália. Amante da poesia nordestina com direcionamento as condições históricas do resgate e do fortalecimento da cultura do Cariri. E-mail: joaoleandro@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1738-1164>.

Dennyura Oliveira Galvão - Possui graduação em Nutrição pela Universidade Federal da Paraíba, mestrado pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte e doutorado em Ciências Biológicas (Bioquímica Toxicológica) pela Universidade Federal de Santa Maria (2016). Atualmente é professora titular da Universidade Regional do Cariri. E-mail: dennyura@bol.com.br LATTES: <http://lattes.cnpq.br/4808691086584861>.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-332-3

