UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CAMPUS DUQUE DE CAXIAS - PROFESSOR GERALDO CIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FORMAÇÃO EM CIÊNCIAS PARA PROFESSORES

ROSANA MOTA COELHO DA SILVA

O PODER DAS PLANTAS: DO CHÁ À BIONANOTECNOLOGIA

RIO DE JANEIRO,
2023

ROSANA MOTA COELHO DA SILVA

O PODER DAS PLANTAS: DO CHÁ À BIONANOTECNOLOGIA

Projeto apresentado ao Programa de Pós-graduação em Formação em Ciências para Professores, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Drª Bianca Pizzorno Backx

RIO DE JANEIRO,

2023

FOLHA DE APROVAÇÃO

Rosana Mota Coelho da Silva

O PODER DAS PLANTAS: DO CHÁ À BIONANOTECNOLOGIA

Dissertação de mestrado submetida à Universidade Federal do Rio de Janeiro, visando à obtenção do grau de Mestre em Formação em Ciências para Professores

Aprovada em 08 de dezembro de 2023

Drª Bianca Pizzorno Backx, UFRJ - DC
Drª Fernanda Ribeiro do Carmo Damasceno – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Dr. Robson Roney Bernardo – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus de Duque de Caxias

RESUMO

SILVA, Rosana Mota Coelho. **O poder das plantas:** do chá à bionanotecnologia. Rio de Janeiro, 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Desde sua origem, o chá é consumido com o desígnio de aperfeiçoar mente, corpo e alma. Após a sua disseminação no ocidente, intensificaram-se os estudos sobre as propriedades químicas do chá e os benefícios associados aos bioativos, analisando as propriedades nutricionais e farmacológicas, as ações antioxidantes e antimicrobianas. A relação da composição química dos chás, provenientes da planta *Camellia sinensis*, e os benefícios promovidos ao sistema orgânico vão desde retardar o processo de envelhecimento das células, prevenindo o avanço de doenças degenerativas, como câncer, até a prevenção de doenças cardiovasculares e o diabetes. As funções antioxidantes e antimicrobianas apresentam potencial para suprir a demanda de produtos sintéticos por naturais. Porém, a biodisponibilidade de tais bioativos no meio é complexa, não atingindo o seu potencial. Dessa forma, a união da nanotecnologia e da biotecnologia associa os benefícios de extratos vegetais, priorizando o alto poder medicinal com a estabilização e a biodisponibilidade proporcionada pelas nanopartículas. O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um livro a partir da análise e da compreensão das propriedades dos extratos vegetais e a relação com a bionanotecnologia, vislumbrando a divulgação científica desses temas. Dessa forma, espera-se que a área de Ciências da Natureza assuma o compromisso com o desenvolvimento do letramento científico, que envolve não somente o conhecimento sobre ciência e tecnologia, mas sua correlação com a sociedade.

Palavras-chave: Bioativos; *Camellia sinensis*; Nanociência; Nanopartículas.

ABSTRACT

SILVA, Rosana Mota Coelho. **O poder das plantas:** do chá à bionanotecnologia. Rio de Janeiro, 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Since the beginning, tea has been drunk to improve our minds, body, and soul. After its dissemination in the West, the studies about the chemical properties of tea became strengthened, as well as the benefits associated with the bioactives, analyzing the nutritional and pharmacological properties, the antioxidant and antimicrobial actions. The relation of the chemical compositions of teas, derived from the plant *Camellia sinensis*, and the benefits to the organic system go from delaying the process of aging the cells, preventing the development of degenerative diseases like cancer until the prevention of cardiovascular diseases and diabetes. The antioxidant and antimicrobial functions can potentially substitute the demand of synthetic products for natural products. Nevertheless, the bioavailability of such bioactives in their environment is complex, not reaching its potential. This way, the union of nanotechnology and biotechnology associates the benefits of vegetal extracts, prioritizing the high medicinal power with the stabilization and the bioavailability of nanoparticles. The objective of this work was to develop a book based on the analysis and understanding of the properties of plant extracts and the relationship with bionanotechnology, envisioning the scientific dissemination of these themes. Thus, it is expected that the Natural Sciences commit to the development of scientific literacy that involves not only knowledge about science and technology, but also its correlation with society.

Key-words: Bioactives; *Camellia sinensis*; Nanoscience; Nanoparticles.

AGRADECIMENTOS

Desejo agradecer a todos que contribuíram para que essa etapa fosse concluída.

Começo pela minha querida mãe, que agora vive apenas dentro de mim, ela muito me incentivou a viver este momento.

Em seguida, sem dúvida alguma, vem a doçura que sossegou meu coração em vários momentos dessa jornada, minha Orientadora Drª Bianca Pizzorno Backx, sua excelência acadêmica, seu tempo disponibilizado, seu encantamento por tudo que era produzido, seu olhar atento e suas sugestões valiosas foram imprescindíveis. Muito obrigada por ter acreditado em mim e ter me escolhido e acolhido com tanto carinho!

Agradeço imensamente, também, aos Professores Drª Fernanda Ribeiro do Carmo Damasceno (UFJF), Joanna Maria Teixeira de Azeredo Ramos (UFRJ) e Dr. Robson Roney Bernardo (UFRJ) os quais se dispuseram a compartilhar comigo seus conhecimentos e sólidas experiências, ampliando minha visão e apontando possibilidades.

Ao meu grande amigo Luiz Roberto Passos, que, com tanto carinho e zelo, disponibilizou o seu tempo e o seu conhecimento para fazer a revisão ortográfica do meu texto. Para você amigo, deixo a frase de Carl Sagan “Diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com você”.

Minha família é meu eixo de equilíbrio! Marcos, Myllena e Gabriel, enquanto eu viver, serei grata por tudo que fizeram por mim! Amo vocês até a Lua ida e volta um milhão de vezes!

Deixo aqui expresso que Jesus Cristo é a razão do meu viver e a Ele toda honra e toda glória!

A alegria não chega apenas no encontro do achado, mas faz parte do processo da busca. E ensinar e aprender não pode dar-se fora da procura, fora da boniteza e da alegria.

Paulo Freire

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cerimônia do chá. 16
Figura 2. *Camellia sinensis*.....19
Figura 3. Fluxograma.....20
Figura 4. Chá preto.....23
Figura 5. Folhas de oolong prontas para o consumo. 24
Figura 6. Chá verde. 25
Figura 7. Folhas e flores novas de *Camellia sinensis*.....26
Figura 8. Estrutura comum aos flavonoides.....31
Figura 9. Principais epicatequinas. 33
Figura 10. A escala namométrica.....44
Figura 11. Classificação das nanopartículas. 47
Figura 12. *Lycurgus Cup* **–** Copo de Licurgo com nanopartículas de ouro e prata. ..52
Figura 13. Estruturas cristalinas de ZnO. 68
Figura 14. Capa do livro 73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Infusões nos conhecimentos tradicional e científico. 39
Tabela 2. Aplicações e propriedades de nanopartículas de prata. 54
Tabela 3. Aplicações e propriedades de nanopartículas de ouro. 61
Tabela 4. Aplicações e propriedades de nanopartículas de cobre. 65
Tabela 5. Aplicações e propriedades de nanopartículas de zinco. 69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11

2 REVISÃO DA LITERATURA 15

2.1 A ORIGEM DO CHÁ 15

2.2 *CAMELLIA SINENSIS* 18

2.2.1 PROPRIEDADES DA *CAMELLIA SINENSIS* 27

2.3 INFUSÕES 35

2.4 DA NANOTECNOLOGIA A BIONANOTECNOLOGIA 42

2.4.1 A evolução da nanotecnologia nos diversos setores da indústria 49

2.4.2 Nanopartículas de prata 51

2.4.3 Nanopartículas de ouro 59

2.4.4 Nanopartículas de cobre 64

2.4.5 Nanopartículas de Zinco 66

3 METODOLOGIA 70

3.1 MATERIAL PARADIDÁTICO 71

4 O ENSINO BRASILEIRO À BIONANOTECNOLOGIA 74

4.1 NANOCIÊNCIA E O ENSINO 79

5 CONCLUSÃO 83

REFERÊNCIAS 85

1 INTRODUÇÃO

As plantas medicinais, sobretudo chás e ervas, possuem papel formidável e ancestral como matéria-prima utilizada para apurar a qualidade de vida da sociedade e da comunidade local, com propostas e princípios de cura além de aliviar diversos sintomas (Argenta *et al.,* 2011). O consumo de chá está presente na história da sociedade desde civilizações antigas, sendo muito presente em culturas indígenas americanas e civilizações asiáticas. Na China, o consumo de plantas medicinais data de 200 a.C., onde o uso e consumo de plantas e chás possuía propósito desintoxicante e propriedades purificantes para o organismo (Magalhães; Santos, 2018).

A popularização das propriedades benéficas de inúmeras plantas adquiriu maior proporção nos séculos seguintes, aumentando a produção de diversos chás na China para consumo próprio e também iniciando a importação do produto para outros países na Europa, proporcionando à ciência a possibilidade de estudar as propriedades das plantas utilizadas para produzir o chá e seus reais benefícios à saúde. O consumo do chá se consolidou no decorrer dos séculos, apresentando grande importância sociocultural-econômica mundialmente (Braibante *et al*., 2014).

O conceito de chá refere-se ao produto de infusões de plantas provenientes, exclusivamente, do gênero *Camellia sinensis*, arbusto nativo da China em regiões com alta umidade e temperaturas afáveis. A *Camellia sinensis* apresenta composição química complexa – com grupos de polifenóis, alcaloides e minerais diversos, dando à espécie variedade em aromas e sabores. Possui também cafeína em sua composição química (alcaloide), elemento estimulante para a atividade cardiovascular e circulação sanguínea (Abreu, 2013). Contudo, o estilo de manejo, manipulação e processo irão determinar as propriedades finais do chá (Azevedo *et al*., 2019), sendo este classificado em quatro tipos principais: (i) chá branco – traz benefícios à saúde pela presença de antioxidantes, previne doenças crônicas cardiovasculares, obesidade; (ii) chá verde – possui propriedades antialérgicas, antibacterianas e antioxidantes, também auxilia na prevenção de doenças crônicas cardiovasculares; (iii) chá *oolong* – possui propriedades antibacterianas, antioxidantes e antimutagênicas; por fim, (iv) chá preto – apresenta características anticarcinogênicas, antimutagênicas e antioxidantes, além de prevenir doenças cardiovasculares

crônicas; melhora a função vasomotora, reduz o colesterol total e lipoproteínas (Braibante *et al*., 2014).

De modo geral, os chás são reconhecidos como extraordinários antioxidantes naturais e outros compostos bioativos, apresentando diversas propriedades benéficas à saúde. As propriedades dos chás são cada vez mais estudadas em busca de maior compreensão dos seus benefícios naturais e não apenas para consumo pessoal do indivíduo (Braibante *et al*., 2014). Os componentes químicos dos chás são utilizados em diversos setores da indústria, principalmente no setor alimentício. Na indústria de alimentos, extratos de plantas são utilizados como alternativa ao uso de produtos antimicrobianos e antioxidantes de natureza química ou sintética – tais compostos são utilizados para combater patógenos e inibir a oxidação lipídica, prolongando a qualidade do alimento (Azevedo *et al.*, 2019). Os chás e os compostos bioativos também são frequentes ingredientes naturais na elaboração cosmética; os fitoquímicos presentes no chá também possuem aplicabilidade na indústria farmacêutica (Fotakis *et al*., 2016).

A maioria dos bioativos presentes nos extratos, polifenóis, carotenoides, alcaloides, entre outros, apresentam baixa solubilidade, estabilidade e biodisponibilidade na presença de água. A *Camellia sinensis* é rica em compostos fenólicos, e o processo de preparo dos chás proporciona a extração dos fenólicos da planta para a bebida, em virtude do aumento da solubilidade dessas substâncias com a temperatura de infusão, que propicia a extração desses compostos (Morais *et al*., 2009). O preparo dos chás é tradicionalmente realizado por (a) infusão – matéria vegetal permanece em água quente (que varia de 70° C a 90 ° C – a depender do tipo de chá), durante período determinado, em repouso ou em agitação; tradicionalmente usada para consumo; ou (b) decocção - fervura do material vegetal para obter propriedades medicinais; exclusivo para os bioativos, aroma e sabor não são objetivo do processo (Pérez *et al*., 2014; Fotakis *et al*., 2016).

Nessa perspectiva, a nanotecnologia surge como abordagem inovadora e alternativa para utilização dos bioativos, buscando compreender como os possíveis agentes antioxidantes podem promover a formação das nanoestruturas, visto que rotas de síntese de nanoestruturas metálicas, que possuem grandes aplicações tecnológicas, partem de um sal inorgânico, que é um precursor do metal, e de um meio dispersivo eficiente para redução e estabilização do metal em nanopartículas. Esse meio pode ser, por exemplo, um extrato vegetal rico em componentes

ativos. Nesse momento, ocorre a sinergia entre a nanotecnologia e a biotecnologia, e a bionanotecnologia surge como alternativa eficiente para diversas aplicações e de forma sustentável para o meio ambiente (Antunes Filho; Backx, 2020). A nanotecnologia é um segmento em grande expansão que pode abranger a produção, o processamento e a aplicação de estruturas, dispositivos e sistemas por meio do controle da sua forma e tamanho à escala nanométrica (Kuan *et al*., 2011). São frequentemente determinados como estruturas que englobam componentes e/ou características estruturais no intervalo de 1 a 100nm (Committee, 2015).

A natureza impulsiona a nanotecnologia, apresentando estruturas e funções biológicas que oportunizam uma interação extremamente favorável. A escala nanométrica tem a capacidade de criar moléculas biológicas *in vitro*, a fim de reconstituir funções biológicas, promovendo protocolos eficientes e com baixo impacto para a natureza (Silva, 2014). A indústria da bionanotecnologia apresenta-se como opção limpa e ambientalmente correta, capaz de resolver grandes dificuldades, como o desenvolvimento de potenciais agentes antimicrobianos, com a interação entre o meio dispersivo natural e as nanoestruturas; opera no setor de alimentos em busca de conservantes com nula citotoxicidade; impulsiona o setor ambiental com técnicas de recuperação e remediação ambiental (Committee, 2015).

Os antioxidantes, naturais ou sintéticos, são de grande importância na indústria alimentar e na promoção da saúde humana, sendo os responsáveis por inativar ou retardar reações oxidativas. As vitaminas e os polifenóis desempenham importante papel na prevenção e no tratamento do estresse oxidativo, porém os bioativos possuem capacidade limitada para atravessar membranas celulares, sendo rapidamente eliminados da célula, de modo a limitar a biodisponibilidade e a estabilidade da substância. Técnicas de nanotecnologia, como a nanoencapsulação, promove a entrega da substância no sítio de ação específico, melhorando a absorção do composto pelas células, promovendo a proteção e o controle na liberação das substâncias bioativas (Cambrussi *et al.,* 2018).

O avanço da bionanotecnologia e de outras áreas, como a biotecnologia, auxiliam o desenvolvimento e a melhoria de diversos produtos ofertados ao consumidor. As propriedades naturais presente em diversos chás já são estudadas, e aprimorar a absorção dessas propriedades pelo organismo é importante para a sociedade, que apresenta maior interesse em possuir estilo de vida saudável (Hamad *et al*., 2018).

As nanopartículas nas indústrias alimentares melhoram a estabilidade, a cor, a propriedade do fluxo de alimentos e, ainda, apresentam efeitos antimicrobianos, criando barreiras protetoras contra possíveis patógenos (Del Aguila, 2017). Outro fator relevante é sua aplicação como partículas reativas em embalagens – nanossensores capazes de responder às mudanças de temperatura, umidade e oxigênio – relembrando que a oxidação contribui para a degradação do alimento (Gomes, 2015).

O presente trabalho discorre sobre os avanços bionanotecnológicos observados na produção, extração e consumo de chás (*Camellia sinensis)* e sua aplicação na saúde. O entendimento do potencial sinérgico entre as nanopartículas e o meio dispersivo natural se faz cada vez mais necessário, uma vez que é inovador, sustentável e eficaz. Sendo assim, essa pesquisa interage com a comunidade educativa, fornecendo conhecimento para amplificar discussões científicas, uma vez que a área de Ciências da Natureza tem o compromisso com a abordagem investigativa, visando “promover o protagonismo dos estudantes na aprendizagem e na aplicação de processos, práticas e procedimentos, a partir dos quais o conhecimento científico e tecnológico é produzido” (Brasil, 2018).

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A ORIGEM DO CHÁ

Historicamente, o chá é originário da China, desde o século III a.C., sendo reconhecido na Dinastia Han Oriental, 206 a.C. – 220 d.C. Inicialmente o chá era utilizado e consumido apenas como planta medicinal e de uso exclusivo da aristocracia da época – nobres e imperadores. A difusão do chá na sociedade acontece na Dinastia Han do Leste, com o Imperador Ming e a propagação do budismo – os monges budistas traziam a concepção e preparo do chá, que propagou a bebida no Japão e, nos séculos posteriores, no mundo (Boiko, 2011). Entretanto, a bebida não era a mesma em toda a China, cada dinastia possuía suas particularidades em relação ao chá, como tipo de plantio e colheita até o preparo da bebida. No decorrer dos anos, o chá era objeto de competições e estudo, o que auxiliou a promover a cultura do chá, utilizando o momento para apreciar e aproveitar a bebida (Rodrigues da Costa; Tinoco, 2017).

Segundo Okakura (2011), o chá transcende a ação de tomar uma xícara de chá, envolve um princípio de cura, de harmonia, de beleza à natureza, uma poesia com entretenimento refinado. No século XII, quando o budismo foi introduzido no Japão, chegava o *matcha* – chá verde em pó originário da *Camellia sinensis*, utilizado pelos monges para permanecerem acordados durante as meditações noturnas. Tal hábito se transformou na filosofia do chá. No século XV, o Japão adotou o chá como religião estética, o *chanoyu*.

> O chanoyu é um culto que se fundamenta na veneração da beleza em meio à sordidez dos acontecimentos diários. Incute a pureza e a harmonia, o mistério da caridade mútua, o romantismo da ordem social. É essencialmente a veneração do imperfeito, uma tentativa singela de conquistar o possível em meio a esta coisa impossível que chamamos de vida (Okakura, p. 15, 2011).

A filosofia do chá envolvia ética e religião, ainda expressava a relação do homem com a natureza, representando o espírito e a cultura oriental (Okakura, 2011). O chá era uma forma de cura, de conexão; porém, além disso, representava uma

organização política de organização social rural, estruturando a sociedade japonesa. Tal construção transformou o chá na identidade cultural do Japão, com aspectos artísticos e filosóficos em que a preparação do chá possuía e possui simbologia, conexão e purificação dentro do ‘ritual’ de preparação da bebida.

Na cultura nipônica, o chá representa as integrações familiar e social, de respeitos coletivo e individual, promove a reflexão e a contemplação: o ato de ingerir chá leva à elevação da mente, do corpo e da alma (Rodrigues da Costa; Tinoco, 2017).

A contemplação de observar estava no sentido de que a bebida era remetida, e todo o processo para servir e beber consistia em elementos de religião e filosofia, fortemente ligados ao zen e ao taoísmo, abrangia a harmonia de cada movimento executado pelo anfitrião ao preparar e servir o chá, concentrando-se em regras fixas e de caráter rígido (Soshitsu, 1981). A figura 1, representa a cerimônia do chá, o *chanoyu*, em que o chá verde é apresentado aos convidados e preparado em um ritual com duração de aproximadamente quatro horas (Soshitsu, 1981).

Figura 1. Cerimônia do chá

Fonte: Yoshu Chikanobu, 1868.

A concretização da cerimônia do chá se faz em ambiente minimalista, composto por jardim, sala ampla e sem móveis – apenas os utensílios para fazer o chá –, o qual se toma de joelhos. Os princípios básicos da filosofia são: (i) harmonia (Wa) – interação do anfitrião, do convidado, da comida servida, dos utensílios usados e da natureza; (ii) respeito (Kei) – referente à sinceridade do coração, aberto para o

relacionamento entre ser humano e natureza; (iii) pureza (Sei) – ato de limpar, tanto em relação à cerimônia quanto à alma; e, por fim, a (iv) tranquilidade (Jaku) – a recompensa após a prática do chá (Soshitsu, 1981).

No Japão, a cerimônia do chá, também conhecida como chá cerimonial ou chadō (caminho do chá), é uma prática cultural que envolve a preparação e o consumo ritualístico do chá verde em pó, conhecido como *matcha*. A cerimônia do chá tem uma longa história no Japão e é influenciada por princípios do budismo, xintoísmo e filosofias zen. O objetivo principal da cerimônia é proporcionar um momento de tranquilidade, harmonia e contemplação, em que os participantes podem apreciar a beleza e a simplicidade do chá – tal celebração é realizada por um praticante especializado chamado de *chajin* (pessoa do chá) (Okakura, 1906).

A cultura japonesa foi moldada nos princípios budista e xintoísta, em que o chá é uma arte, é a passagem para o equilíbrio e a paz interior. Sendo a arte o alicerce de tudo, compreende-se que, sem paz de alma, sem espiritualização e sem equilíbrio, não é possível reproduzir qualquer tipo de arte. Isso busca harmonizar os opostos: corpo e alma, céu e terra, o efêmero e o eterno, o material e o imaterial, o culminante e o ínfimo (Okakura, 1906).

Embora a cerimônia do chá tenha suas raízes na China, a versão japonesa desenvolveu-se de maneira distinta e possui características próprias. No Japão, a cerimônia é fortemente influenciada pelas filosofias zen e pela estética japonesa; a ênfase está na simplicidade, na pureza e na harmonia. Na cerimônia japonesa, há o uso do chá verde em pó (*matcha*) e este é servido em uma tigela de chá. Na China, a cerimônia envolve o uso do chá em folhas soltas, servido em pequenas xícaras, pode haver uma variedade de etapas envolvidas no processo de preparação, como o aquecimento das xícaras e o enxágue das folhas. A cerimônia chinesa é geralmente menos formal que a japonesa – que é altamente ritualizada e mais focada na apreciação do sabor e do aroma do chá. (Okakura, 1906; Rodrigues da Costa; Tinoco, 2017).

A princípio, o chá não foi bem aceito pelas culturas ocidentais. O primeiro registro de contato ocidental com a bebida data de 879, e a crítica à bebida envolvia fatores culturais e políticos. Em 1285, o chá era consumido na Europa, definido como ‘bebida produzida de arbustos’. Em 1636, a bebida já estava instaurada na Europa, iniciando a tradição do chá da tarde. Apenas em 1650, o termo chá, do inglês, *tea*, foi instaurado, primeiramente como *tcha*, *tay* e *tee*. Contudo, questões políticas e

culturais retornam no final do século, e críticas à bebida e suas funções são destacadas pelos incrédulos. Entretanto, o chá já havia caído no gosto da população europeia e, no século XVIII, a bebida passa a ser uma necessidade cultural e financeira (Okakura, 1906).

Os primeiros europeus a terem contato com o chá foram os portugueses, em 1543. O uso do chá na Inglaterra é atribuído principalmente a Catarina de Bragança, princesa portuguesa casada com Carlos II, da Inglaterra, em 1660, onde promovia *tea parties*, dando início ao consumo em qualquer hora do dia até que, no século XIX, a tradição inglesa do chá da tarde fosse instaurada (Rhomer, 2002).

O consumo do chá se consolidou, apresentando importante papel socioeconômico, sendo a segunda bebida consumida mundialmente – em primeiro lugar, a água. Desde sua inserção no mercado e na cultura mundial, o chá vem conquistando seu espaço com estimativa de produção de 4,4 milhões de toneladas até 2027. A indústria do chá movimentou, em 2020, US$ 17 milhões, com aumento anual de 3%, sendo China, Índia e Quênia os maiores produtores de chá mundiais (UN, 2022).

2.2 *CAMELLIA SINENSIS*

Originalmente os chás são provenientes da espécie *Camellia sinensis,* da família *Theaceae*, arbusto nativo da China de zonas com alta umidade e temperaturas amenas. Na última década, a *Camellia sinensis* é cultivada em mais de 30 países tropicais e subtropicais – a diferença de solo, tempo, umidade e outros fatores ambientais conferem diferentes propriedades à planta e consequentemente diferentes aromas e sabores. (Namita; Mukesh; Vijay, 2012).

Camellia sinensis é uma árvore que pode atingir 15 metros de altura, nativa das florestas da região nordeste da Índia e do sul da China. Quando a poda é feita constantemente, não ultrapassa 2 metros de altura, conforme apresentado na figura 2. Essa mesma espécie é fonte de uma grande variedade de chás diferentes que mudam segundo as condições de plantio, coleta, manejo e acondicionamento das folhas (Namita; Mukesh; Vijay, 2012).

Figura *2.* Planta de *Camellia sinensis*

Fonte: Wikipedia, 2022.

Tais diferenças a que as folhas são submetidas são responsáveis pela variação de sabor e aparência. Dependendo do tratamento das folhas de *Camellia sinensis*, são apresentadas infusões de gradações diferentes que podem variar do branco ao preto com mais de 300 possibilidades de chás (Silva; Vilela, 2019). Devido à variedade e às possibilidades, pode-se classificar o chá em quatro grandes grupos provenientes da *Camellia sinensis*: o chá branco – 0% oxidado, produzido com o broto e as mais tenras folhas, mais raro e caro; chá verde - 0% oxidado, ainda aqui há o chá amarelo, com processo semelhante ao do chá verde, mas com uma etapa adicional de amarelamento das folhas; o chá *oolong* – com oxidação entre 15 e 85%, aqui entra variações do chá escuro ou vermelho com processo de fermentação; e o chá preto – 100% oxidado (Albuquerque, 2013).

O processamento das folhas para a obtenção dos chás difere em relação ao chá desejado, porém possui as etapas básicas como (i) colheita e limpeza das folhas; (ii) secagem parcial ou total das folhas para deixá-las flexíveis para o processo seguinte; (iii) rolagem – processo para promover a quebra da parede celular, podendo ser moldadas ou cortadas; (iv) fermentação – etapa de acordo com o produto desejado; (v) secagem final, seleção e embalagem do produto (Albuquerque, 2013). Dessa forma, os chás possuem a mesma origem, são originários da *Camellia sinensis*, mas diferem no processamento da folha, cujo grau de oxidação determinará o tipo de chá obtido. O fluxograma da figura 3 apresenta o processo para obtenção dos diferentes chás.

Figura 3. Fluxograma: resumo do processo de obtenção das principais classificações da *Camellia sinensis*

Fonte: PAGANINI; COSTA, 2011; DINIZ, 2013.

Todos os chás da *Camellia sinensis* contêm cafeína. A cafeína é um antioxidante que pode atuar como estimulante da atividade cardiovascular e da circulação sanguínea, além de prevenir o envelhecimento prematuro das células (Braibante *et al*., 2014).

A concentração de cafeína no chá é inferior à encontrada no café, tal concentração depende principalmente de fatores envolvendo o manejo da sua folha (Brenelli, 2003). A *Camellia sinensis* contém substâncias químicas potencialmente oxidantes, que diferem de acordo com o tipo de chá produzido. A principal diferença entre esses chás é a maneira como as reações de oxidação e redução advêm no decorrer do seu processo de produção (Braibante *et al*., 2014).

As folhas da *Camellia sinensis* são compostas majoritariamente de polifenóis da classe dos flavonoides, destacando as catequinas – antioxidantes que correspondem aproximadamente a 30% do peso seco das folhas, sendo compostos incolores, solúveis em água, responsáveis pelo amargor e pela adstringência (Camargo, 2011). O grau de oxidação do chá apresenta diferenças em relação à

composição química, que são responsáveis pelos efeitos fisiológicos atribuídos a cada um deles.

Durante o processo oxidativo que ocorre na preparação do chá *oolong* e do chá preto, as catequinas entram em contato com as enzimas polifenol oxidase para produzir teaflavinas, de modo que a composição química do chá verde, chá *oolong* e chá preto é semelhante, mas suas concentrações diferem significativamente. Por exemplo, o chá verde tem uma alta concentração de catequinas e uma baixa concentração de teaflavinas. O chá *oolong*, por outro lado, contém quantidades moderadas de catequinas e teaflavinas, enquanto o chá preto contém altos níveis de teaflavinas e baixos níveis de catequinas (Braibante *et al*., 2014).

Diferentes concentrações de substâncias proporcionam não apenas aspectos sensoriais diferentes como cor, aroma e sabor, mas também benefícios únicos para a saúde de cada tipo de chá. Como o chá branco não é processado, as folhas da *Camellia sinensis* retêm os tricomas na sua epiderme, estruturas semelhantes a pelos, dando-lhe uma aparência incolor. A adstringência e o amargor do chá verde se devem nomeadamente à alta concentração de catequinas. O chá *oolong* tem uma cor avermelhada como produto de oxidação parcial devido à quantidade adequada de teaflavinas. Finalmente, a cor escura e o sabor adstringente do chá preto se devem ao alto teor de teaflavinas (Braibante *et al*., 2014).

O chá preto é produzido a partir das folhas jovens e brotos fechados da planta, cujas etapas de produção são: colheita, murchamento, distorção foliar para quebra da parede celular, fermentação, secagem e separação para embalar e armazenar. O período de colheita é intervalado entre 7-14 dias, durante o ano todo. O intervalo de colheita é essencial, visto que afeta diretamente as propriedades químicas do chá. A colheita realizada em período inconveniente resulta em redução dos níveis de teaflavinas, cafeína e compostos voláteis que estão relacionados a sabor e aroma.

A etapa de murchamento promove às folhas recém-colhidas suportar alterações fisiológicas e bioquímicas que irão auxiliar as etapas de enrolamento e fermentação. Dentre elas: (i) aumento dos níveis de cafeína, aminoácidos e carboidratos; (ii) redução da atividade da pectinase – enzima responsável pela quebra da pectina, polissacarídeo presente na parede celular; (iii) quebra da clorofila; e (iv) atividade máxima do polifenol oxidase – enzima envolvida no processo de escurecimento enzimático (Singh; Verma; Singh, 2014).

O processo de murchamento varia entre 15 e 24 horas e consiste em dispor as folhas em bandejas abertas onde ar quente provoca um processo de secagem – remoção da umidade. Ao final do processo, a umidade encontra-se abaixo de 70% (Diniz, 2013), o que permite a etapa seguinte de enrolamento – utilizada para remover o suco da folha.

O processo de fermentação do chá preto caracteriza as alterações bioquímicas necessárias; ao final do processo, a coloração das folhas maceradas, inicialmente verdes, mudam para vermelho, com aroma característico devido à oxidação dos aminoácidos, carotenos e lipídeos insaturados. O processo é encerrado pela avaliação do teor de teaflavinas e tearubiginas na proporção de 1:10 (Diniz, 2013).

Quando comparado aos demais chás provenientes da *Camellia sinensis*, o chá preto apresenta sabor mais forte e acentuado, característico do processo de fermentação. O odor aromático é devido à compleição de compostos voláteis, desenvolvidos no transcorrer da fermentação e do processo de secagem, marcando presença os derivados cetônicos que promovem sabor pela deterioração de carotenos; a oxidação de ácidos graxos insaturados aperfeiçoa as moléculas de hexenal; e heterocíclicos diversos derivados da oxidação e rearranjo estrutural de monoterpenos (Simões *et al*., 2003).

A produção mundial de chá preto prevê aumento de 2,2% por ano durante os próximos dez anos, atingindo a marca de 4,4 milhões de toneladas até 2027. As produções tendem a subir principalmente na China, no Sri Lanka e no Quênia, que são os maiores exportadores de chá preto do mundo (UN, 2022).

As propriedades medicinais dos chás preto e verde podem auxiliar o tratamento de doenças cardiovasculares, diabetes e câncer. As propriedades nutracêuticas do chá podem beneficiar a saúde: em pacientes não obesos, o chá preto reduziu os níveis de glicose (Polychronopoulos *et al*., 2008).

Dos diversos compostos presentes na *Camellia sinensis*, os polifenóis, principalmente os flavonoides, como as catequinas, originam atenção devido a ações antioxidantes, antiateroscleróticas, hipoglicemiantes e anticancerígenas (Silva; Oliveira; Nagem, 2010). Todavia, as catequinas são mais abundantes nas folhas frescas e no chá verde. No chá preto, tais compostos estão oxidados ou condensados a moléculas com maior complexidade, como as teaflavinas diméricas e tearubiginas poliméricas, formadas durante o processo de fermentação (Muthumani; Senthil, 2007). Cerca de 60 a 80% das catequinas são convertidas em tearubiginas durante o

processamento do chá preto; contudo, sua classificação é mais complexa devido às dificuldades de extração, isolamento e caracterização estrutural (Silva; Oliveira; Nagem, 2010).

Na composição do chá preto predominam quatro teaflavinas: teaflavinas simples (TF), teaflavina-3-galato (TF-3-g), teaflavina-3o-galato (TF-3o-g) e teaflavina-3,3o-digalato (TF-3,3o-dg), além e outras teaflavinas menores. As várias teaflavinas produzidas por dimerização oxidativa e catalisadas por enzimas polifenol oxidases (PPO) na fase de processamento do chá preto contribuem para cor e sabor único desse chá (Sharma; Bari; Singh, 2009). O chá preto, figura 4, pode ser consumido quente ou gelado e, como todo chá, possui modo de preparo correto para obter os benefícios da bebida. Para o consumo do chá preto quente, a água não deve ter levantado fervura, estando próximo dos 90ºC. Para um litro de água, são necessários 15 gramas de chá. Adicionar as folhas do chá à água e deixar em infusão por 3 minutos. Para o consumo da bebida gelada, deixar em infusão em água na geladeira por 10 a 18 horas. Após o período de infusão, coar. Em muitas regiões do mundo, o chá preto é consumido com leite ou limão.

Figura 4. Chá preto

Fonte: https://bernadetealves.com/2022.

Por sua vez, o grau de oxidação do chá *oolong* pode modificar de 8-85%, dependendo da variedade do chá e do estilo de produção – acima de 85% caracteriza o chá preto (Cheng, 2006). O processo de preparo consiste em secar as folhas expostas à luz do Sol, a temperatura ambiente, provocando o processo de oxidação

antes da etapa de enrolamento. Conforme varia o grau de intensidade da oxidação, pode apresentar diversas variedades de aroma e sabor, dependendo exclusivamente do estilo de produção e da variedade da planta (Lamarão; Fialho, 2009).

O sabor característico do *oolong* decorre da maneira como é colhido e processado. O processo de produção tem início com a triagem das folhas e brotos, passando em seguida para a secagem em duas fases: externa (ao ar livre) e interna. Na sequência, são depositados em uma cesta de bambu, onde giram, sendo realizados pequenos cortes na planta, que dão início ao processo de oxidação. O método chamado “fixação” é o que interrompe o processo de oxidação, por isso a similaridade ao chá preto (Lamarão; Fialho, 2009). Nesta etapa, a folha é aquecida até 70ºC entre 30 segundos e 2 minutos. As folhas do chá *oolong* podem ser visualizadas na figura 5.

Figura 5. Folhas de *oolong* prontas para o consumo

Fonte: https://www.farmajunior.com.br/2022.

O chá *oolong* apresenta particularidades que estimulam o metabolismo e favorecem a queima de gorduras. Em razão das propriedades antioxidantes, auxiliam a eliminação das toxinas da derme, prevenindo rugas e manchas. Outro aspecto relevante é a significativa contribuição com a saúde cardiovascular, acarretando a redução da pressão arterial e os níveis de colesterol no sangue (Lamarão; Fialho, 2009).

Uma expressiva parcela dos chás *oolong* são preparados com água em temperatura entre 85° e 96° C, com um tempo de infusão de 3 a 5 minutos. Contudo, tais temperaturas podem sofrer variações dependendo do tipo de *oolong*, bem como

do nível de oxidação presente na folha seca. Uma vantagem dos chás *oolong* é a capacidade de serem reinfusionados diversas vezes e, ao contrário dos outros tipos de chás, os *oolongs* ficam melhores a cada nova infusão, principalmente na 4ª ou 5ª imersão (Lamarão; Fialho, 2009).

O chá verde ganha destaque dentre os chás por ser o mais consumido mundialmente, tornando-se sustento funcional devido às propriedades benéficas do consumo regular. O chá verde apresenta grande quantidade de catequinas e vitaminas. Dentre as atividades bioquímicas promovidas pelo chá verde, destaca-se a ação antioxidante (Miranda, 2013).

O chá verde é rico em flavonoides bioativos com grande atuação em terapias antioxidantes, visto que promove o abrandamento dos efeitos danosos dos radicais livres (Cooper; Morré; Morré, 2005). A epigalocatequina galato (EGCG) afeta os efeitos oxidativo e do envelhecimento, abrandando os índices de peróxido de hidrogênio, resguardando as células dos efeitos naturais da idade (Rietveld; Wiseman, 2003).

O processo de obtenção do chá verde é simples, não havendo a etapa de fermentação, sendo considerado fator negativo ao chá as etapas da oxidação. É um chá não fermentado, produzido a partir da inativação da enzima polifenol oxidase ao entrar em contato com altas temperaturas no processo de secagem. Tal interrupção preserva o teor de polifenóis presente nas folhas secas, tornando o chá verde rico em catequinas (Lopes; Duarte; Rodrigues, 2022). A figura 6 mostra as folhas secas, trituradas.

Figura 6. Chá verde

Fonte: https://www.saboremgraos.com.br/2022.

Os principais bioativos presentes no chá verde abrangem a cafeína e os polifenóis – presença 20-30% do peso seco da folha fresca de catequinas, sendo as principais a epigalocatequina-3-galato (EGCG), epicatequina-3-galato (ECG), epigalocatequina (EGC) e epicatequina (EC). A epigalocatequina-3-galato é responsável por 50-80% do conteúdo de catequina no chá verde, equivalente a 200–300 mg/xícara de chá (Farrington; Musgrave; Byard, 2019).

O chá verde é amplamente utilizado pela população para controle e até redução do peso. Tal ação é favorecida pela quantidade de catequinas presente no chá verde, que auxiliam e inibem a proliferação de depósitos de gordura, contribuindo para a redução de massa (Lopes; Duarte; Rodrigues, 2022). Como a maioria dos chás, não há necessidade de a água levantar fervura, mantendo a temperatura entre 85ºC e 90ºC. Adicionar as folhas de chá e deixar em infusão por 5 minutos. Devido ao alto teor de flavonoides, o sabor do chá verde é mais amargo, podendo-se adicionar à infusão frutas e ervas para dar sabor e atenuar o amargor (Farrington; Musgrave; Byard, 2019).

Por fim, o chá branco passa por menos processos, sendo produzido apenas na primavera, vem das folhas e botões mais jovens e tenros da *Camellia sinensis*, conforme apresentado na figura 7. As folhas e os botões passam inicialmente por cozimento no vapor e são secos em sequência à colheita a fim de evitar oxidação, resultando em sabor mais suave que os outros chás. São mais raros e possuem custo mais elevado quando comparado aos outros chás, porém possui similaridade em composição de bioativos ao chá verde e até apresenta maior quantidade de catequinas (Gondoin *et al*., 2010; Carmo; Silvestre, 2012).

Figura 7. Folhas e flores novas de *Camellia sinensis*

Fonte:https://www.soflor.com.br/produto/erva-natural-cha-branco-camellia-sinensis/2022.

O vapor utilizado nesses processos destina-se a inativar a enzima polifenol oxidase, impedindo a oxidação dos compostos fenólicos nas folhas, evitando o seu escurecimento. O extrato da árvore do chá tem sido extensivamente estudado para uso em alimentos por suas propriedades antioxidantes e antibacterianas. Diversas matrizes alimentares apresentam estudos utilizando seus extratos. Alguns estudos observaram que as carnes bovina, ovina e suína são mais estáveis quando adicionadas algum extrato de *Camellia sinensis* (Cubo, 2021).

2.2.1 PROPRIEDADES DA *CAMELLIA SINENSIS*

O chá, desde sua origem, é consumido com o propósito de melhorar mente-corpo-alma, mas após a sua disseminação e intensidade nos estudos sobre as propriedades químicas, o chá é consumido com a finalidade de promover melhorias no organismo, ativando o fluxo sanguíneo, eliminando toxinas e aumentando a resistência às doenças (Lima; Fernandes, 2020). Os benefícios do consumo de chá estão relacionados a propriedades nutricionais e farmacológicas, com propriedades antioxidantes e antimicrobianas. A relação da composição química do chá e os benefícios promovidos ao sistema orgânico afetam o processo de envelhecimento das células, prevenindo o avanço de doenças degenerativas, como câncer, doenças cardiovasculares, assim como diabetes (Lima; Fernandes, 2020).

Há muitos anos, vários estudos mostram que o consumo frequente de chá é benéfico para o corpo, pois ajuda a manter a homeostase, isto é, regula o funcionamento corporal conforme os níveis adequados de pH no sangue, a pressão arterial, a concentração de nutrientes na corrente sanguínea, entre outros. A maioria das propriedades benéficas do chá está associada a uma alta proporção dos principais componentes de polifenóis e flavonoides presentes nas folhas. As substâncias bioativas atuam como antioxidantes para proteger o corpo em diferentes níveis e ajudam a neutralizar os radicais livres (Simões, 2020).

Os chás, principalmente o chá verde e o chá preto, inicialmente eram consumidos como medicamento, apenas posteriormente à sua inserção no Ocidente passou a ser consumido devido às suas características organoléticas. Os efeitos benéficos relacionados ao teor de polifenóis, como coloração, amargor e adstringência, correspondem a aproximadamente 30% do peso seco das folhas,

sendo os flavonoides os polifenóis mais abundantes, especialmente o galato-3-epigalocatequina (EGCG) (Duboc, 2015).

Os polifenóis apresentam ações fisiológicas pertinentes à prevenção de doenças cardiovasculares, neurodegenerativas e câncer, sobretudo em relação a elevada competência antioxidante (Faller; Fialho, 2011; Hilal; Engelhardt, 2007). O aumento do consumo dos diversos tipos de chás, principalmente do chá verde, está relacionado aos efeitos benéficos associado à redução do colesterol sérico, diminuição dos riscos de doenças cardiovasculares e câncer, propriedades antialérgicas, antiescleróticas e antibacterianas, além de possuírem minerais e vitamina K (Lima; Fernandes, 2020).

Os flavonoides e as catequinas possuem importante atividade biológica, destaque para as atividades termogênicas, anti-inflamatórias, antioxidantes, quimioprotetoras e anticarcinogênicas (Rabelo, 2014). Os compostos bioativos do chá são divididos em seis grupos: flavonoides, hidroxil-flavonois, antocianinas, flavonas, flavonóis e ácidos fenólicos (Ávila *et al*., 2017).

As propriedades dos bioativos estão relacionadas à presença de radicais ligados aos anéis na estrutura química. A presença de grupos hidroxil na posição carbono 3 do anel C, de dupla ligação entre os carbonos 2 e 3 do anel C e o número de radicais hidroxil ligados aos anéis A e B aumentam sua atividade antioxidante (Cook; Samman, 1996).

Compostos bioativos são substâncias que estão presentes em pequenas quantidades em alguns alimentos, como frutas, hortaliças, castanhas, vinho e chá. São compostos orgânicos e não são essenciais ao organismo; porém, quando ingeridos, são absorvidos devido às diversas atividades biológicas benéficas ao sistema. Apresentam diversas estruturas químicas, consequentemente funções biológicas distintas, mas têm como ponto em comum serem compostos secundários nas plantas e estão relacionados ao sistema de defesa, apresentando atividades antioxidantes, estimulação do sistema imune, equilíbrio do nível hormonal e atividades antibacteriana e antiviral (Horst; Cruz; Lajolo, 2016).

Os compostos fenólicos são a maior categoria de fitoquímicos e são os principais antioxidantes encontrados nos alimentos. Nas plantas, atuam na defesa contra insetos e microrganismos e estão envolvidos nas propriedades sensoriais (cor, sabor, textura) dos alimentos. Os três principais grupos de fenóis dietéticos são flavonoides, ácidos fenólicos e polifenóis, conhecidos como taninos, encontrados em

diversos alimentos, como vegetais, frutas, grãos, chá, café, cacau, vinho e soja (Superbac, 2022). São derivados do metabolismo secundário das plantas, sintetizados pelas vias metabólicas da pentose fosfato, chiquimato e fenilpropanoide. São responsáveis por propriedades sensoriais – cor, sabor e aroma, agindo na defesa contra patógenos e predadores. Compostos fenólicos são uma classe de compostos químicos constituídos em um grupo hidroxila ligado diretamente a um grupo hidrocarboneto aromático (Ravishankar *et al.*, 2013).

Esses compostos são antioxidantes não enzimáticos que atuam na sintetização de radicais livres – substância que, em excesso, promove estresse oxidativo, causando envelhecimento celular. Existem diversos tipos de compostos fenólicos, e a maioria apresentam-se na forma de ésteres ou glicosídeos. Podem ser divididos em diversas classes de acordo com suas estruturas moleculares, número de anéis aromáticos e de hidroxilas, ligações com outros grupamentos, dentre outras diferenciações. Os compostos fenólicos são divididos em dois grupos principais: simples ou com vários grupos fenólicos, polifenóis, sendo os principais os flavonoides, ácidos fenólicos, estilbenos e lignanas (Arnoso; Costa; Schmidt, 2019).

Os flavonoides representam um grupo fascinante e amplamente estudado de polifenóis, que são um subconjunto dos compostos fenólicos encontrados em uma ampla variedade de espécies vegetais. Estes metabólitos secundários, de baixo peso molecular, desempenham um papel crucial na bioquímica das plantas, oferecendo proteção contra agentes oxidantes e desempenhando várias funções biológicas significativas (Rodrigues da Silva *et al.*, 2015).

Com mais de cinco mil compostos flavonoides identificados na natureza, eles exibem uma notável variabilidade em sua estrutura fenólica. Essa diversidade química os torna ubíquos em nossa dieta, encontrados em frutas, flores, vegetais, mel, chá e até mesmo vinho. A variedade de flavonoides está relacionada à imensa gama de cores e sabores que encontramos na natureza (Lopes; Duarte; Rodrigues, 2022).

As funções primárias dos flavonoides nas plantas são defender contra o estresse oxidativo, proteger contra a luz ultravioleta e regular o seu crescimento e desenvolvimento. Esses compostos desempenham um papel fundamental para a saúde humana, demonstrando diversos efeitos benéficos, como propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, hormonais, hemostáticas, antialérgicas e anticancerígenas (Lopes; Duarte; Rodrigues, 2022).

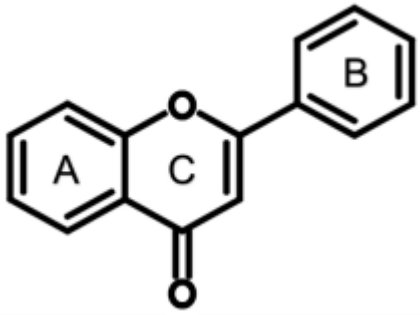
As principais classes de flavonoides incluem as antocianinas, flavanas, flavonas, flavonóis e isoflavonoides: cada uma delas com propriedades farmacológicas distintas. Essas substâncias têm demonstrado impactos positivos nos sistemas imunológico, cardiovascular e nervoso, tornando-as relevantes para uma série de aplicações terapêuticas (Lazary, 2010; Georgiev; Ananga; Tsolova, 2014).

Dentro da nossa dieta, uma fonte notável de flavonoides é o chá, especialmente o chá verde e o chá preto. O chá verde é rico em catequinas e flavonoides glicosídeos; o chá preto contém catequinas que passam por oxidação enzimática durante o processo de fermentação, resultando em teaflavonas e tearubiginas. Essas substâncias desempenham um papel fundamental na proteção da saúde, com estudos destacando seus efeitos cardioprotetores, como a redução do LDL-c e a inibição da peroxidação lipídica (Oliveira; Espeschit; Peluzio, 2006).

Os flavonoides estão concentrados nas partes aéreas das plantas e raramente são encontrados nas raízes e rizomas. A grande vantagem dos flavonoides é a baixíssima toxicidade - fator essencial para a absorção completa da vitamina C, visto que são responsáveis por proteger as plantas dos danos causados pela luz UV (Schmitz *et al*., 2005).

Os flavonoides compartilham uma estrutura molecular característica que os define como um grupo dentro dos polifenóis. Essa estrutura consiste em dois anéis aromáticos, frequentemente referidos como anel A e anel B, ligados por uma cadeia de três carbonos em uma forma cíclica. Essa configuração molecular é fundamental para a classificação dos flavonoides e influencia suas propriedades química e biológica. Sua estrutura molecular apresenta uma base comum aos flavonoides, apresentado na figura 8, com dois anéis aromáticos ligados por uma cadeia de três carbonos em forma cíclica (Cubo, 2021).

Figura 8. Estrutura comum aos flavonoides



Fonte: MERKEN; BEECHER, 2000.

O primeiro anel, denominado anel A, é derivado da via do acetato/malonato. Essa via metabólica é responsável pela síntese de muitos compostos fenólicos nas plantas, incluindo flavonoides. O anel A é composto por uma estrutura de seis carbonos, formando um anel benzênico, que confere estabilidade à molécula (Merken; Beecher, 2000). O segundo anel, chamado anel B, é derivado da fenilalanina, um aminoácido essencial nas plantas. A fenilalanina é convertida em compostos intermediários que acabam formando o anel B dos flavonoides. Esse anel geralmente consiste em um anel de seis carbonos que também contribui para a estrutura cíclica dos flavonoides (Merken; Beecher, 2000).

A cadeia de três carbonos que conecta os anéis A e B forma uma estrutura cíclica conhecida como um heterociclo. Esse heterociclo é uma característica única dos flavonoides e é fundamental para a sua atividade biológica. Além disso, os grupos funcionais nas posições específicas dos anéis A e B também desempenham um papel fundamental na diversidade e nas propriedades dos flavonoides. Esses grupos funcionais podem incluir hidroxilas, grupos metoxila e outras substituições que afetam as interações moleculares e as propriedades químicas dos flavonoides (Cubo, 2021).

A estrutura molecular dos flavonoides é, portanto, um ponto de partida importante para entender como esses compostos interagem com sistemas biológicos e como exercem suas diversas funções, como antioxidantes, anti-inflamatórios e outros efeitos benéficos para a saúde (Merken; Beecher, 2000).

As diferentes combinações na cadeira de carbono (C) subdividem os flavonoides e flavonas, flavonóis, isoflavonas, flavanonas, antocianinas e antocianidinas. Os compostos fenólicos apresentam-se com ação antioxidante que pode apresentar diferentes mecanismos associados à sua estrutura química, em que,

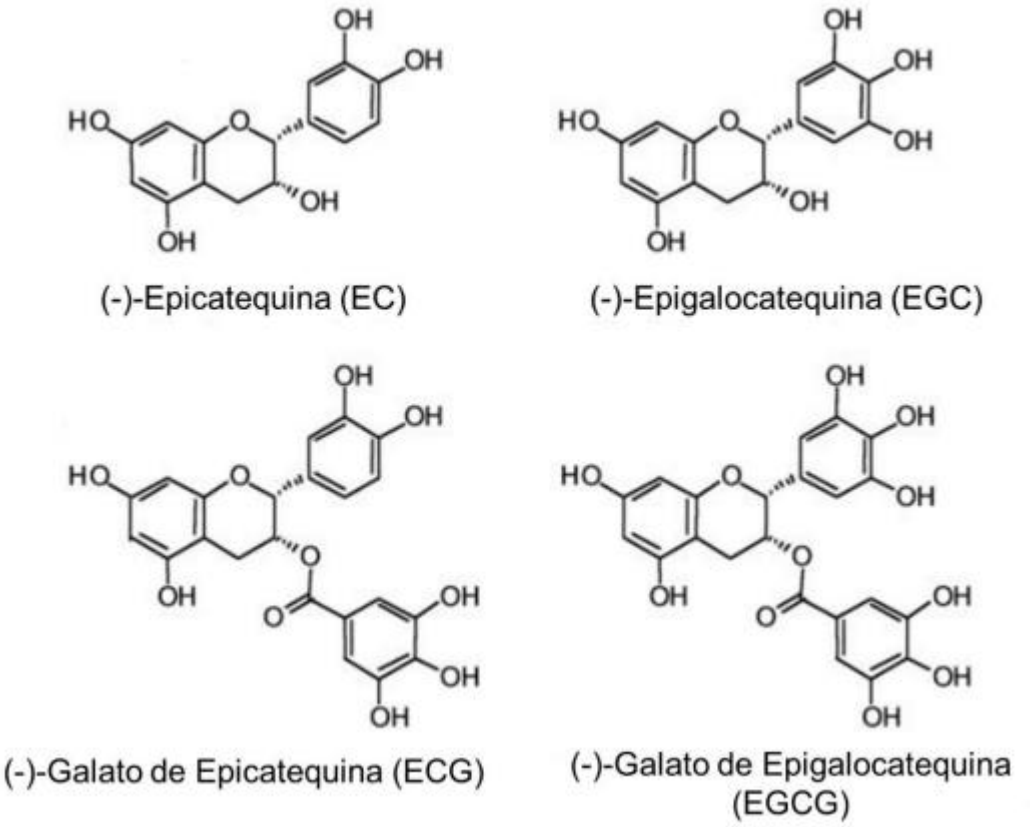
quanto maior o número de hidroxilas na estrutura de um composto fenólico, maior sua ação antioxidante (Ravishankar *et al.* 2013*).*

Os flavonoides variam de acordo com as reações de hidroxilação e glicosilação, sendo subdivididos em diversos grupos, com destaque para os flavonóis (flavan-3-óis), flavonas, flavanóis, flavanonas e isoflavonas. Os flavonóis são encontrados em uma variedade de alimentos: cebola, maçã, chá, vinho tinto, com propriedades antioxidante e anti-inflamatória. O chá verde é rico em flavonóis. As flavonas são encontradas em alimentos como o pimentão, o aipo e a salsa, apresentando propriedades antioxidante e anti-inflamatória. As flavanonas estão presentes em frutas cítricas, como laranja e limão, estando associadas à saúde cardiovascular. Os flavanóis são encontrados em uma variedade de alimentos, incluindo cacau, chá e frutas, como a maçã e a pera. A epicatequina é um exemplo de flavanol conhecido por seus benefícios para o coração. Isoflavonoides estão presentes em leguminosas, como a soja, têm atividade estrogênica com possíveis benefícios aos sistemas endócrino e esquelético. (Oliveira; Espeschit; Peluzio, 2006).

As classes de flavonoides possuem variações estruturais específicas que afetam suas propriedades químicas e biológicas. Cada uma delas pode desempenhar papéis distintos na saúde humana: benefícios que vão desde a proteção antioxidante até propriedades anti-inflamatórias, com potencial terapêutico em várias condições de saúde. Portanto, a diversidade de flavonoides em nossa dieta é uma parte importante de uma alimentação equilibrada e saudável (Oliveira; Espeschit; Peluzio, 2006).

A flavan-3-óis é um subgrupo constituído basicamente por monômeros, catequinas e epicatequinas. As catequinas são isômeras de configuração *trans*, enquanto as epicatequinas são os isômeros de configuração *cis*. Diferenciam-se em relação à estereoisomeria, em que (+) -catequina e (-) -epicatequinas são os mais comuns (TSAO, 2010). Esses flavonóis e seus derivados, galocatequinas (GC), catequina galato (CG), galocatequina galato (GCG) epigalocatequina (EGC), epicate quina galato (ECG), epigalocatequina galato (EGCG), estão presentes nos chás, onde (-) -EGCG é encontrado em maior quantidade, conforme apresentado na figura 9 (Fan; Sang; Jiang, 2017).

Figura 9. Principais epicatequinas



Fonte: ADCOCKS; COLLIN; BUTTLE, 2002.

A EGCG é a mais abundante e estudada catequina no chá verde, sendo considerada um dos principais componentes bioativos desse chá. As EGCGs apresentam (i) propriedades antioxidantes: ajudam a combater os radicais livres no corpo – responsáveis por causar danos celulares e o processo de envelhecimento e desenvolvimento de doenças crônicas; (ii) propriedades anti-inflamatórias: reduzem a inflamação no corpo associada a doenças cardíacas, diabetes e certos tipos de câncer; (iii) potencial anticancerígeno com propriedades antitumorais: inibem o crescimento de células cancerígenas, induzindo a apoptose – morte celular programada; (iv) benefícios cardiovasculares: auxiliam a redução do colesterol LDL, reduzem a pressão arterial e melhoram a função dos vasos sanguíneos, regulam o metabolismo e oxidação de gorduras (Fan; Sang; Jiang, 2017).

Monômeros de catequina e epicatequina podem formar oligômeros e polímeros para produzir proantocianidinas, também conhecidas como taninos condensados. Esses polímeros são despolimerizados pela ação de ácidos para produzir compostos como as antocianidinas (Fan; Sang; Jiang, 2017). Por outro lado, as procianidinas,

que são dímeros, trímeros e tetrâmeros formados a partir de monômeros de flavan-3-oís, parecem ter a glicosilação da (-) epicatequina como fator que contribui para a biossíntese, sendo abundante nas raízes de *C. sinensis* (Arnoso; Costa; Schmidt, 2018).

Além disso, o processo de fermentação da *C. sinensis*, no chá preto, produz compostos únicos, como dímeros de teaflavina, a partir da oxidação enzimática de flavanóis (Fan; Sang; Jiang, 2017; Oliveira; Espeschit; Peluzio, 2006).

Flavonas e flavonóis são alguns dos flavonoides mais abundantes encontrados no reino vegetal, mais comumente encontrados na forma glicosilada, e glicose e ramnose são as porções de açúcar mais comuns. Esses flavonóis tendem a se concentrar nas partes mais externas das plantas e frutas, como cascas e folhas. Isso ocorre porque a luz estimula a biossíntese desses compostos tão fortemente que diferenças nas concentrações de flavonóis nos frutos da mesma árvore podem ser observadas, dependendo da área mais exposta à luz solar (Manach *et al.*, 2004).

As flavonas, que são menos comuns que os flavonóis em frutas e vegetais, são compostas principalmente de luteolina e glicosídeos de apigeninge e são encontradas na salsa e no aipo. A tangerina, um flavon polimetoxilificado, é considerado um dos flavonoides mais hidrofóbicos por ser encontrado na polpa de frutas cítricas, principalmente em sua casca. Tem efeitos neuroprotetores e antibacterianos e induz a apoptose de certos tipos de células cancerígenas. (Manach *et al*., 2004).

As flavanonas são caracterizadas por glicosídeos, como naringenina e hesperidina, e agliconas, como naringenina e hesperetina. Eles são um dos flavonoides mais comumente encontrados em frutas cítricas, como algumas espécies de laranja e tangerina, com diferentes taxas de absorção e benefícios à saúde, como efeitos antioxidantes e anticancerígenos (Velderrain-Rodríguez; Palafox-Carlos; Wall-Medrano, 2014).

As catequinas são substâncias polifenólicas fotoquímicas naturais presentes em plantas alimentícias e medicinais, como chás, leguminosas e *rubiáceas*. Crescente número de estudos associam a ingestão de alimentos ricos em catequinas com a prevenção e o tratamento de doenças crônicas em humanos (Fan; Sang; Jiang, 2017). Catequinas são os polifenóis constituintes mais ativos no chá verde. O EGCG representa aproximadamente 50% do teor total de catequinas presentes nesse chá, representando até 30% do peso seco das folhas. Além disso, apresenta grande

potencial preventivo de quimioterapia, tendo efeitos anti-inflamatórios, antimutagênicos e anticancerígenos (Brückner *et al.*, 2012).

Diversos estudos revelam o uso de catequinas em diversas atividades fisiológicas adaptáveis, como anti-hipertensivo, antibacteriano, anti-inflamatório e atividades antioxidantes, e como efeito protetor da aterosclerose (Lee; Lee, 2016). Foi comprovado que catequinas poderiam inibir carcinogênese, crescimento de tumores, invasão de células cancerosas e angiogênese tumoral, suprimindo a indução de fatores proangiogênicos, como fator de crescimento endotelial vascular (Matsui, 2015). Foi estabelecido que o EGCG, contando com sua propriedade redutora muito forte, pode suprimir a atividade da uroquinase, enzima usada por células tumorais para abafar a metástase, e as catequinas apresentam-se como terapia promissora e segura (Jankun *et al*, 1997).

2.3 INFUSÕES

Os chás são definido pela ISO 20715 como “produtos processados por técnicas características, utilizando exclusivamente folhas da *Camellia sinensis* e reconhecidamente adequados para consumo”, sendo atribuído para bebidas de outras plantas o termo infusão (Okakura, 2011). No Brasil, o consumo de infusões com propriedades medicinais tem bagagem nas culturas e povos indígenas. As plantas medicinais são utilizadas pelo homem desde tempos primórdios, utilizando o conhecimento popular para tratar e amenizar as doenças e males que acometiam a população.

O uso terapêutico de plantas medicinais com conhecimento mais difundido pela população são boldo, camomila, erva-doce, erva-cidreira, folha da laranjeira, quebra-pedra, carqueja, hortelã, canela, louro e capim-santo (Morais *et al.,* 2019). A Portaria nº 519, de 26 de junho de 1998, do Ministério da Saúde, define a bebida como:

> Produto constituído de partes de vegetais, inteiras, fragmentadas ou moídas, obtidos por processos tecnológicos adequados a cada espécie, utilizados exclusivamente na preparação de bebidas alimentícias por infusão ou decocção em água potável, não podendo ter finalidades farmacoterapêuticas (Brasil, 1998, ART. 2).

A Portaria 519, por sua vez, não diferencia chás de infusões, abordando toda e qualquer parte vegetal como provável produtora da bebida. Ainda traz uma classificação em que é dividido em (i) quanto ao número de espécies vegetais utilizadas, podendo ser simples – utiliza uma única espécie vegetal, podendo ser proveniente da *C. sinensis*; da *Ilex paraguariensis*, erva-mate ou de composição mista; (ii) quanto à presença de cafeína, sendo integral quando o produto apresentar cafeína na concentração própria da espécie vegetal ou descafeinado quando o produto apresentar no máximo 0,10% de cafeína própria da espécie vegetal (Brasil, 1998).

As plantas medicinais estão profundamente arraigadas em muitas culturas ao redor do mundo. Existem muitos fatores que influenciam como e onde as plantas medicinais são usadas, incluindo fatores sociais, econômicos e culturais. As primeiras civilizações reconheceram o potencial das plantas para combater doenças por meios empíricos, e esse conhecimento foi passado de geração em geração, construindo assim um conhecimento tradicional associado. No Brasil, as pessoas podem comprar e vender livremente plantas medicinais em mercados, farmácias e até mesmo em seus próprios quintais. Essa prática é comum tanto nas partes mais pobres quanto nas mais ricas do país (Gregório; Oliveira, 2021).

Camomila, erva-doce, hortelã, hibisco e erva-mate, além de frutas como maçã, pêssego, abacaxi, limão e maracujá são algumas plantas utilizadas para fazer infusões. São excelentes companheiros nas atividades da vida diária e proporcionam efeitos medicinais dos quais podemos destacar as atividades antimicrobiana e a anti-inflamatória, que estão relacionadas ao seu conteúdo na composição fenólica (Espinoza *et al*., 2022).

Os chás e as infusões continuamente foram empregados em razão de suas propriedades imunizantes e benefícios para a saúde – calmante, digestivo, para dores e inflamações. Intensamente consumido pelos povos asiáticos desde a Antiguidade, ganharam destaque pelo mundo, com benefícios no enriquecimento do sono, ação desintoxicante, redução do risco de algumas doenças como o câncer, calmante natural, entre muitos outros, de modo que os chás e as infusões estão cada vez mais inseridos na rotina dos brasileiros (Espinoza *et al.*, 2022).

Depois da água, o chá e as infusões são as bebidas mais ingeridas no mundo, principalmente em razão das marcantes tradições culturais na Ásia e na Europa. Ao todo, são aproximadamente 500 bilhões de litros consumidos mundialmente, seja da bebida quente ou fria. No *ranking* mundial, os principais países consumidores de chá

quente no ano de 2016, respectivamente, eram China – o berço da bebida –, Índia, Rússia, Paquistão e Egito. Bebida milenar da cultura asiática e difundida no mundo pela Inglaterra, o chá ainda não se encontra entre a preferência dos brasileiros, que mantêm o consumo de café como principal bebida no país. Apesar do crescimento nas últimas décadas, a média de consumo por brasileiro é de 10 xícaras/ano. Contudo, há enorme tendência de ampliação desse mercado nos próximos anos, somada ao aumento por alimentos saudáveis e melhoria na saúde (IISD, 2019).

Em pesquisa realizada pela *Euromonitor International*, em 2019, o consumo de chá no Brasil cresceu 25% no intervalo de 2013 até 2020, basicamente o dobro da média mundial, com 13%. Em 2019, o segmento de chás e infusões movimentou R$ 2,2 bilhões no Brasil. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas (ONU) para a Alimentação e Agricultura (FAO), dados preveem que, até 2024, o setor de chá cresça a uma taxa anual de aproximadamente 4 a 5,5% e alcance US$ 73 bilhões (IISD, 2019).

O consumo de chás e infusões gera necessidade de produtores, e tal expansão se faz presente em 48 países, sendo que 12 são de baixo desenvolvimento humano. De acordo com a *Global Market Report: Tea,* a produção e o cultivo de chá são responsáveis por empregar 14 milhões de pessoas, em que 64% dos produtos são provenientes de micro ou pequenos produtores. Infelizmente, a maior produção de chá está concentrada em alguns países. Nesse sentido, números do *Observatory of Economic Complexity* (OEC) apontam China, Quênia, Sri Lanka, Índia e Emirados Árabes como os principais exportadores em 2018, movimentando US$ 8 bilhões. Os principais importadores de chá em 2018 foram Paquistão, Estados Unidos, Rússia, Reino Unido e Hong Kong, respectivamente (OEC, 2018).

No Brasil, o segmento gera emprego para mais de 450 mil pessoas, de acordo com dados do Sebrae. No contexto do comércio global, o Brasil situa-se muito diminuto quando o assunto é consumo de chás. A participação brasileira no setor é mais relevante na linha de exportações. No ano de 2018, os Estados Unidos (84,2%), o Japão (10,4%) e Moçambique (1,2%) destacaram-se como os principais países que realizaram importações de chás do Brasil. No sentido contrário, as importações brasileiras tiveram origem principalmente da China (31,5%), Estados Unidos (10,3%) e Espanha (10%) (FAO, 2018).

Mesmo com o incremento de sua popularidade, a indústria do chá apresenta grandes desafios pela frente, como mudanças na procura e nos hábitos dos

consumidores, adaptações ao clima, obtenção de recursos, a utilização de máquinas na agricultura e a preocupação com um futuro mais sustentável. Esses dois últimos pontos, inclusive, evidenciam a importância de manter ativos agricultores familiares e pequenos negócios (IISD, 2019).

Projeta-se que o setor experimente um crescimento contínuo devido ao aumento da demanda principalmente dos países asiáticos e do Pacífico, particularmente aqueles que experimentam renda crescente; uma clientela crescente entre os jovens consumidores urbanos; interesse nos benefícios do chá e a expansão de novos produtos e aromatizantes, como chá pronto para consumir, chá *premium* e fusões de ervas e frutas. Além disso, espera-se que a demanda por chá verde supere a demanda por chá preto, vale a pena notar também a considerável expansão de produtos sustentáveis de chá (FAO, 2018; MI, 2018).

Apesar dessa projeção positiva, a indústria do chá enfrenta importantes desafios exclusivos para o setor. O acesso a instalações de processamento da bebida é essencial para os produtores – seja pequeno, médio ou grande produtor, pois as folhas colhidas precisam ser processadas dentro do intervalo de 6 horas (FAO, 2018). Portanto, os fabricantes internacionais estabeleceram suas plantas de processamento perto dos campos, o que criou uma cadeia de valor verticalmente integrada. De fato, a cadeia de fornecimento de chá é controlada por um pequeno número de empresas, o que resultou em um alto nível de integração vertical e horizontal: aproximadamente 85% do chá é vendido por algumas empresas multinacionais, e 20% do mercado global é controlado pelas três maiores empresas – Unilever, Twings e Tata Bevereges (IISD, 2018). Consequentemente, é necessário estabelecer uma distribuição de riqueza mais equitativa entre as cadeias de fornecimento de chá para melhorar a sustentabilidade do setor.

As áreas de cultivo de chá também são geograficamente limitadas, uma vez que a *Camellia sinensis* é uma cultura sensível que requer condições específicas para prosperar. Espera-se também que as mudanças climáticas afetem os padrões de temperatura e chuva, o que pode afetar significativamente os rendimentos. As chuvas mais pesadas e as estações secas prolongadas estão interferindo na qualidade da cultura vegetal, uma vez que há aumento da erosão do solo e uso adicional de fertilizantes e pesticidas. (Chang; Bratllof, 2015).

O uso de chás e infusões, conforme mencionado anteriormente, é difundido no Brasil e no mundo. Contudo, são poucos os estudos e pesquisas para avaliar os

efeitos medicinais a curto e a longo prazo. O consumo da bebida ou até mesmo de óleos, cremes e outros produtos originários das plantas ainda possuem grande embasamento popular, passado de geração a geração, através de tradições e práticas nos povos indígenas, curadores, benzedeiras, xamãs, entre outros. O Brasil concentra a maior biodiversidade do planeta, com grande riqueza biológica e alto potencial medicinal de cura (Feijó *et al*., 2021).

O uso de plantas medicinais no tratamento de doenças é uma estratégia ancestral, comprovada historicamente por registros antigos, utilizada por praticamente todas as populações com o objetivo de promover e manter a saúde e o bem-estar humano. No Brasil, o Ministério da Saúde, com o objetivo basilar de garantir a prevenção de doenças e problemas com a saúde, criou, em 2006, a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos (PNPMF) e a Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares (PNPIC) dentro do Sistema Único de Saúde (SUS) com o objetivo de promover e reconhecer as práticas populares e tradicionais do uso das plantas medicinais, fitoterápicos e remédios caseiros na Atenção Primária de Saúde (APS) (Eibel et al., 2021).

A inserção do uso de plantas medicinais nos APS é defendida e incentivada, visto que 80% da população mundial faz uso de plantas medicinais, além de serem produtos acessíveis à população – adquiridas em feiras livres, mercados populares ou cultivadas nas residências. Tal postura de inserção transcende a incorporação e amplia as alternativas terapêuticas à disposição do profissional de saúde e do paciente, unindo o conhecimento popular ao científico (Feijó *et al.*, 2021).

Nesse sentido, diversas pesquisas estão avaliando os benefícios e adequando o conhecimento popular à ciência, garantindo tratamento eficaz sem prejudicar a saúde do paciente. Na tabela 1, são apresentadas as plantas populares, infusões, comparando os conhecimentos tradicional e científico.

Tabela 1. Infusões no conhecimento tradicional e científico

NOME POPULAR/ CIENTÍFICO	**CONHECIMENTO**		**COMPOSTOS FENÓLICOS**
	TRADICIONAL	**CIENTÍFICO**	
boldo/ *Peumusboldus molina*	Acender o apetite, tratamento de gastrite e infecções	Ações purgativa e anti-helmínticas	Ácidos orgânicos; flavonoides

camomila/ *Chamomilla recutita (L.) Rauschert*	Ação calmante; contra pressão alta	Ações antiespasmódica, ansiolítica e sedativa leve; anti-inflamatória	Ácidos fenólicos; ácidos orgânicos; flavonoides
canela/ *Cinnamomum zeylanicum*	Ação contra gripes, cólicas e ação calmante	Excitante, tônico, estimulante, carminativo, estomacal; controla a hipotensão	Ácidos orgânicos
capim-santo *Cymbopogon citratus Stapf.*	Calmante, espasmo lítico	Antiespasmódico, ansiolítico e sedativo leve	Ácidos fenólicos; ácidos orgânicos
erva-cidreira/ *Lippia alba (Mill) N. E. Browm*	Atividades calmante, ansiolítica, antifúngica e antibacteriana	Ansiolítico, sedativo leve, antiespasmódico e antidispéptico	Ácidos fenólicos; flavonoides; taninos iridoides
erva-doce/ *Foeniculum vulgare Mill*	Calmante, má digestão	Ações antioxidante, hepatoprotetora, espasmolítica, antibacteriana, diurética, analgésica, antipirética	Ácidos fenólicos; ácidos orgânicos; flavonoides
hortelã/ *Mentha piperita L*	Antiespasmódico e antiflatulento; AVC, pressão alta, má digestão, sinusite	Antiespasmódico e antiflatulento	Ácidos fenólicos; flavonoides; taninos

Fonte: LIMA; FERNANDES, 2020; GREGORIO; OLIVEIRA, 2021.

Eibel *et al.* (2021) analisaram o uso da infusão de folhas de *Sonchus oleraceus*, popularmente conhecida como serralha, para o tratamento de vitiligo. Essa planta, nativa do Brasil, foi usada, e ainda é, pela população como forma de tratamento de doenças hepáticas, gastrointestinais e anemias. O estudo, com abordagem qualitativa, analisou 11 indivíduos portadores de vitiligo que consumiram diariamente 700 mL da infusão dessa planta por um período de nove meses. Ao final do estudo, os participantes relataram melhoras nas manchas da pele, com aumento da pigmentação nas manchas brancas (Eibel *et al*., 2021).

Cota de Jesus *et al*. (2021) avaliaram a atividade antifúngica de infusões de plantas medicinais para o controle de *Candida albicans* em escovas de dente. Foi avaliada a atividade antifúngica de diversas plantas, entre elas: *Camellia sinensis* – análise com chás branco, preto e verde; *Matricaria chamomilla L.*, popularmente conhecida como camomila; *Pimpinella anisum L*., erva-doce*; Cinnamomum zeylanicum L*, canela*; Caryophyllus aromaticus L.*, cravo-da-índia; *Mentha piperita L*.,

hortelã e *Eugenia uniflora L.*, pitanga. O estudo observou que todos os tratamentos foram eficazes após 480 minutos de contato entre a infusão e as escovas; contudo, as infusões de hortelã e pitanga demonstraram a mesma eficácia da clorexidina – produto antisséptico analisado como controle no tempo de 30 minutos. As infusões testadas demonstraram eficácia na desinfecção de escovas dentais contaminadas, demonstrando o efeito antifúngico do chá e das infusões, tornando as plantas medicinais uma alternativa para desinfecção de superfícies, sendo um insumo de fácil acesso e barato (Cota de Jesus *et al*., 2021).

Mauricio (2022) avaliou a relação do uso de plantas medicinais durante o período de pandemia, avaliando se houve relação do uso das plantas em aliviar os sintomas da COVID-19 na região Norte, reconhecendo os efeitos e riscos causados pelo uso tradicional de plantas medicinais por habitantes da cidade de Amaturá, Amazonas. O estudo identificou que a infusão mais consumida foi a de jambu, mas não foi possível relacionar os efeitos da bebida a possíveis melhorias nos sintomas da COVID-19, porém os entrevistados relataram menos ansiedade e alívio nos sintomas da doença (Mauricio, 2022).

De acordo com Didelon (2009), a produção e o consumo de bebidas, incluindo chá, café e cacau, concentra-se, de modo geral, em uma região global que abrange os trópicos. Isso é evidente no caso do café, sendo o Brasil o principal produtor mundial, no caso do chocolate, a maior parte da produção é proveniente da África Ocidental, em especial da Costa do Marfim. É importante notar que todas essas bebidas têm origens em plantas tropicais: o chá tem suas raízes na China, o café tem sua origem na Etiópia e na Arábia e o chocolate nasceu na América Central (Didelon, 2009).

Quanto ao consumo, os padrões variam significativamente. Chás e infusões são consumidos em todo o mundo, com três polos principais nos países do Sul. Por um lado, o Brasil e a Argentina são conhecidos pelo consumo de chá mate, enquanto, por outro lado, a Índia e a China são notáveis consumidores de chá provenientes da *Camellia sinensis*. Esses países também são grandes produtores, o que sugere que o consumo local desempenha um papel significativo, especialmente no caso do mate sul-americano. No entanto, no caso dos chás chineses e indianos, o consumo transcende suas fronteiras. O chá é uma bebida apreciada em muitos lugares, mas sua popularidade varia, não sendo tão dominante quanto em algumas regiões, como

na Índia, Inglaterra e China. Em outras partes do mundo, seu consumo é mais marginal e o café, frequentemente, assume a posição de preferência (Didelon, 2009).

A Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) realizaram um abrangente diagnóstico realizado no Brasil sobre o potencial produtivo de plantas medicinais, aromáticas, condimentares e alimentícias. No total, foram analisadas as cadeias de valor de 26 espécies vegetais, revelando informações cruciais sobre os produtores, os canais de distribuição, os mercados potenciais e os principais desafios associados, bem como estratégias para aprimorar a produção dessas plantas (Tokarnla, 2021). Entre os produtos mapeados estão a infusão medicinal de hortelã – apresentado na tabela 1 com propriedades antiespasmódica e antiflatulenta. Além da hortelã, o mapa apresenta potencial para a semente de sucupira e de umburana, a pílula artesanal de babosa, óleo extravirgem e farinha de babaçu, assim como a amêndoa da castanha-do-pará e o repelente de andiroba (Tokarnla, 2021).

2.4 DA NANOTECNOLOGIA A BIONANOTECNOLOGIA

A nanotecnologia surge com o intuito de ratificar que a escala nano é mais eficiente que o material *bulk* (volumétrico). Assim, começa, em todo o mundo, o desenvolvimento dos nanomateriais que tenham maior eficiência que os materiais já existentes. Não há dúvidas de que foi um grande avanço para o mundo. No entanto, na busca desenfreada por descobrir nanomateriais eficientes, não se pensou nas consequências a curto e longo prazos dos nanomateriais, desde a síntese até o descarte. Com o mundo atento às demandas associadas ao meio ambiente, há um aumento nos estudos que podem associar a nanotecnologia ao meio ambiente. Surge então a nanotecnologia verde. A busca da ciência em agregar aos valores já identificados na nanotecnologia as vantagens da natureza. Inicia-se então o uso de solventes verdes, com protocolos mais sustentáveis que são eficientes e limpos. Isso foi um grande passo para a nanotecnologia. A partir daí o entendimento do potencial dos bioativos presentes em extratos naturais potencializou a nanotecnologia por uma questão sinérgica entre as nanoestruturas e os extratos. Vários estudos apontam uma potencialização das atividades dos nanomateriais quando conjugados a protocolos denominados verdes, baseados em extratos naturais. Esses protocolos são baseados

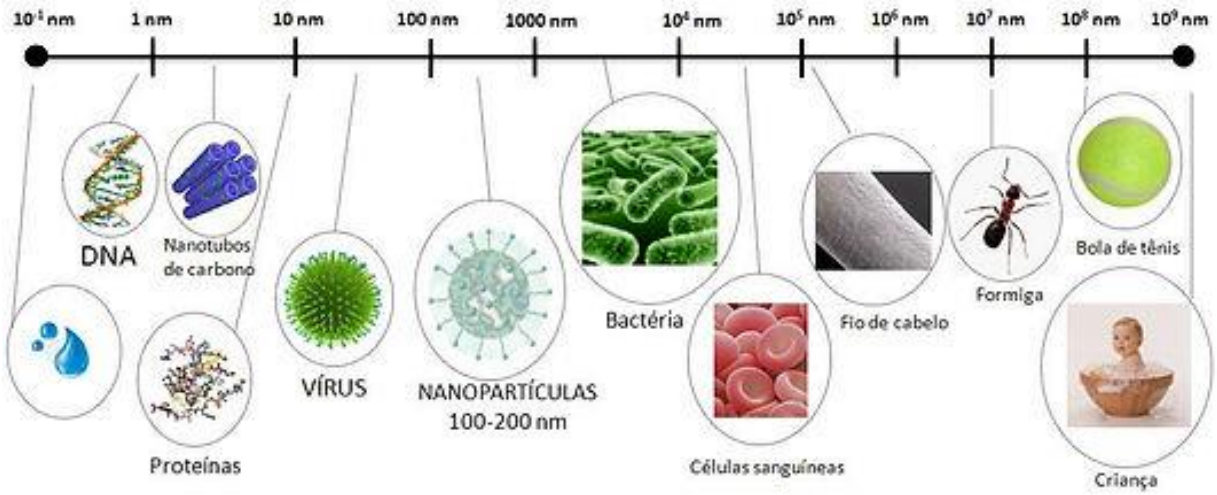
no ciclo de vida do nanomaterial, desde a obtenção da matéria-prima até o seu descarte (Backx, 2022).

Dessa forma, rejeitos de agronegócio, podas e descarte da indústria alimentícia são alguns dos exemplos de obtenção de matérias-primas para posterior síntese dos nanomateriais. Vale destacar que o ciclo de vida do nanomaterial leva em consideração o descarte também. Esse ponto ainda é muito carente na literatura. A sinergia entre as propriedades medicinais dos extratos vegetais, quando conjugadas à eficiência das nanopartículas, amplifica o potencial da bionanotecnologia na ciência e promove um novo olhar, associado à integração tecnologia e natureza em prol do meio ambiente (Backx, 2022).

A bionanotecnologia integra de forma eficiente os benefícios de extratos vegetais, como os obtidos pelas metodologias acima descritas, com a alta potência das nanoestruturas. Dessa forma, um extrato com poder medicinal e alta eficiência antioxidante promove um meio dispersivo perfeito para estabilização das nanopartículas através dos seus bioativos, que, ao mesmo tempo, agem com suas propriedades, potencializando as ações em seus alvos (Backx, 2022). Isso quer dizer que, por exemplo, um extrato vegetal possui potencial antimicrobiano, quando conjugado às nanopartículas com esse potencial, o efeito sinérgico entre esses componentes potencializa a ação, minimiza a citotoxicidade e os impactos do descarte. Isso ocorre porque o uso de precursor se torna muito baixo, pois o que sustentará o nanossistema é a ação conjugada das nanoestruturas com o extrato vegetal a que elas estão associadas (Backx, 2022).

Explorar o universo em uma extensão que não pode ser percebida diretamente é fascinante. A escala nanométrica inclui coisas tão pequenas, sendo mensurada em unidades de um bilionésimo de um metro, situando-se entre a escala microscópica e a escala atômica, apresentado na figura 10 (Silva, 2014).

Figura 10. A escala manométrica



Fonte: www.biabuchmann.wixsite.com

O estudo de nanomateriais foi particularmente proeminente no final do século XX. Os nanomateriais são substâncias cuja pequena dimensão lhes confere propriedades únicas, tornando-os mais fáceis de trabalhar e conferindo-lhes novas capacidades (Benedito; Silva; Santos, 2016).

O universo nanométrico é objeto de interesse para diversas áreas do conhecimento. Químicos, físicos, biólogos, médicos, engenheiros, cientistas de materiais e ambientalistas se unem em busca do seu desenvolvimento científico e tecnológico (Toma, 2009).

A seleção do extrato vegetal e sua aplicação, como distribuição de fármacos e ação terapêutica, dependem de suas propriedades funcionais, disponibilidade, custo-benefício, conscientização do consumidor e seus efeitos nos atributos sensoriais do produto (Perumalla; Hettiarachchy, 2011).

A efetividade de numerosos extratos provenientes de vegetais se encontra intrinsecamente entrelaçada à disponibilidade dos seus constituintes bioativos. Tais componentes, que podem englobar compostos fenólicos, flavonoides, óleos essenciais, alcaloides, carotenoides, taninos, terpenoides, entre outros, manifestam-se como elementos vitais nesse contexto. A essência reside na própria composição desses bioativos, uma mescla rica e diversificada, cuja existência em plantas não apenas assinala sua identidade, também suscita a possibilidade de sua detecção inequívoca. Essa panóplia de compostos, alguns dos quais manifestam propriedades

intrinsecamente medicinais, adquire um potencial distintivo, sendo hábeis a encontrar aplicação em uma gama de produtos, como formulações cosméticas e essências aromáticas (Gortz *et al*., 2007, Bonifácio *et al*., 2014).

Não menos relevante, a noção de biodisponibilidade irrompe como um elemento crucial nesse panorama. Em sua essência, a biodisponibilidade abarca a porcentagem de um agente medicamentoso que efetivamente se insere na corrente sanguínea, uma vez ingerido pelo paciente. É um conceito que tangencia o âmbito da eficácia terapêutica, a qual denota a habilidade de um fármaco em atingir seu propósito preconizado, estabelecendo um nexo direto com os resultados almejados no tratamento (Gortz *et al.,* 2007; Bonifácio *et al.,* 2014).

Para a utilização de extratos vegetais em sistemas alimentares, é importante desenvolver métodos que preservem os compostos bioativos da oxidação, degradação e reação com outros materiais (Abbas *et al.,* 2015). A nanotecnologia tem sido proposta como forma de melhorar a estabilidade, solubilidade, biodisponibilidade e liberação de compostos bioativos (Neves; Hashemi; Prentice, 2015).

Muitos compostos à base de plantas têm potencial medicinal e podem ser úteis na manutenção da boa saúde e na prevenção de algumas doenças. As nanopartículas podem ajudar a aumentar a solubilidade e a estabilidade dos compostos bioativos, melhorar sua absorção, protegê-los da degradação prematura no corpo e prolongar seu tempo de circulação (Cerqueira; Vicente; Teixeira, 2011). Os benefícios do uso do óleo *cannabidiol*, substância obtida a partir da *Cannabis sativa*, para fins médicos, incluem sua capacidade de prevenir a interação prematura com o ambiente biológico, melhorar os efeitos de permeação e retenção em tecidos doentes e diminuir a toxicidade (Codevilla *et al.,* 2015).

A tecnologia nano tem como foco a determinação, a produção, a manipulação e a aplicação de estruturas biológicas ou sintéticas na escala nanométrica – estruturas dessa grandeza manifestam propriedades funcionais exclusivas. São materiais híbridos em que, pelo menos um de seus componentes tem medidas nanométricas. O fator preponderante para as diferenças no comportamento entre materiais compostos e nanocompostos diz respeito à elevada área superficial dos nano materiais, produzindo como resultado intensa interatividade entre a matriz na qual estão inseridos e as nanopartículas (Assis *et al.,* 2012).

Para facilitar a compreensão, cientistas classificam a nanotecnologia em: (i) *top-down* (de cima para baixo) – começa com materiais maiores e mais volumosos e

os reduz a objetos menores, usados principalmente no setor eletrônico; (ii) *bottom-up (de baixo para cima)* – inicia-se em escala atômica ou nanométrica até formar mecanismos moleculares maiores, aplicados em medicina e no setor farmacêutico; (iii) nanotecnologia seca – estruturas em carbono, silício, materiais inorgânicos, metais e semicondutores são caracterizados por propriedades hidrofóbicas; e (iv) nanotecnologia úmida – baseia-se em sistemas biológicos em meio aquoso com material genético, membranas, enzimas e outros componentes celulares (Silva; Pinto, 2020).

As nanopartículas apresentam instabilidade termodinâmica que naturalmente tende a se agregar, formando complexos estruturais maiores, causando perda potencial ou redução de suas propriedades emergentes em nanoescala. Esse fator de agregação é um desafio para os pesquisadores, e uma das possíveis soluções disponíveis para a síntese de formulações nanotecnológicas mais estáveis é levar em consideração as características de biodegradabilidade, biocompatibilidade, capacidade de funcionalizar a superfície da partícula, conjugação, complexação e encapsulamento desses materiais (Silva; Pinto, 2020).

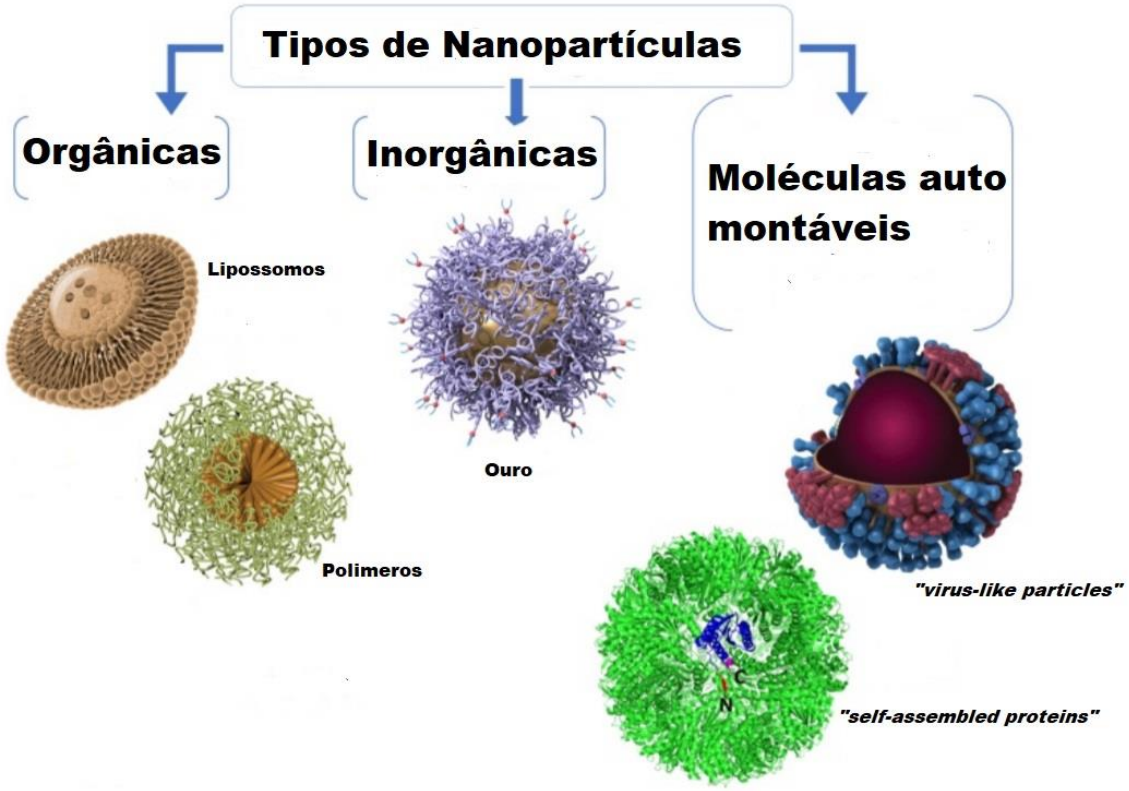
Uma das estratégias preconizadas para alçar formulações nanotecnológicas a patamares mais estáveis reside na consideração meticulosa de uma série de parâmetros cruciais. Dentre esses, destaca-se a imposição de critérios de biodegradabilidade, viabilidade biocompatível e a intrínseca capacidade de funcionalizar a superfície das partículas. Além disso, a busca por soluções abarca a exploração da conjugação molecular, a formação de complexos controlados e o encapsulamento estratégico desses materiais. Nesse panorama, a combinação criteriosa desses elementos configura uma empreitada multidimensional que se propõe a contrapor os desafios da agregação, promovendo, assim, a preservação das propriedades essenciais das nanopartículas no âmbito das formulações nanotecnológicas (Silva; Pinto, 2020).

Os nanomateriais usados na indústria são tipicamente encapsulados para protegê-los da degradação pela luz ou oxigênio, para melhorar a estabilidade do composto e evitar a sedimentação. Um exemplo de método de encapsulamento é a solubilização, em que a nanopartícula é dissolvida em um solvente. Outro exemplo é a retenção, em que a nanopartícula é mantida no lugar. A conjugação envolve a ligação da nanopartícula a outra molécula, enquanto a absorção envolve a ligação da nanopartícula a uma superfície (Lazzaretti; Hupffer, 2019).

Partículas caracterizadas pelo diâmetro, entre 1 e 100 nanômetros, são usadas para aumentar a solubilidade e estabilidade de compostos bioativos, além de melhorar a absorção, proteger da degradação prematura no corpo e prolongar seu tempo de circulação. As nanopartículas são eficazes na absorção das células, impedindo-as de interagir com o ambiente circundante. Isso resulta em melhor entrega e retenção do medicamento no tecido doente e toxicidade reduzida. Existem diferentes tipos de carreadores nanométricos, que devem ser formulados com cuidado e processados sob condições específicas para se tornarem eficazes, como nanopartículas de carbono, cerâmica, de metal, semicondutoras, poliméricas, lipídicas sólidas (SLNs), lipossomas e nanoemulsões (Codevilla *et al.,* 2015).

Classificadas de acordo com sua composição química, os três principais grupos de nanopartículas são: inorgânicos, orgânicos e híbridos, figura 11 (Lazzaretti; Hupffer, 2019).

Figura 11. Classificação das nanopartículas



Fonte: www.profissãobiotec.com.br/nanovacinas-era-da-nanovacinologia

Dentro do vasto espectro dos nanomateriais, uma distinção proeminente emerge no conjunto inorgânico: destacam-se os óxidos metálicos, como dióxido de

titânio e óxido de ferro, ambos estabelecendo sua presença como constituintes notáveis. Paralelamente, estão os metais de transição, com enfoque ao ouro e à prata. Adicionalmente, os pontos quânticos se impõem como uma categoria proeminente, compostos primordialmente por elementos como cádmio e selênio, os quais conferem um caráter distintivo. (Lazzaretti; Hupffer, 2019).

Diversificando as opções, no domínio orgânico, ganham destaque as nanopartículas que se configuram a partir de átomos de carbono: fulerenos, grafeno e nanofibras de carbono, além de lipossomas e nanoemulsões, proporcionando uma variada gama de alternativas orgânicas. (Lazzaretti; Hupffer, 2019).

Em um arranjo híbrido, surge uma intrigante classe de nanomateriais que mescla características distintivas de duas categorias, apresentando a singularidade de incorporar dois tipos de nanocomponentes, orquestrados de forma a alinhar funções que são simultaneamente complementares e coesivas. Em um exemplo emblemático, observamos a conjunção de biomoléculas a nanopartículas metálicas, uma fusão que desencadeia efeitos sinergéticos notáveis. De forma análoga, a ligação de nanopartículas orgânicas a matrizes de nanopolímeros ganha destaque, visando aprimorar propriedades térmicas, mecânicas e ópticas de maneira holística e integrada (Lazzaretti; Hupffer, 2019).

Na base de carbono, as partículas nano compõem dois tipos principais: nanotubos de carbono e fulerenos. Eles têm muitas aplicações diferentes, inclusive nas áreas de medicina e tecnologia. As folhas de grafeno são simplesmente tubos enrolados do material. Esses materiais são usados principalmente para contribuição estrutural, pois são 100 vezes mais resistentes que o aço. Tais materiais são empregados em aplicações comerciais devido à sua condutividade elétrica, estrutura, alta resistência e afinidade eletrônica. As nanopartículas cerâmicas são sólidos inorgânicos compostos por óxidos, carbonetos, carbonatos e fosfatos. As nanopartículas têm uma alta resistência a calor e produtos químicos. Eles têm aplicações em fotocatálise, fotodegradação de corantes, administração de medicamentos e imagens (Sintra, 2019).

Por sua vez, as nanopartículas metálicas são preparadas a partir da redução dos precursores metálicos e podem ser sintetizadas por vários métodos, incluindo métodos químicos, eletroquímicos e fotoquímicos. Podem ser produzidas por meio da redução química de íons metálicos em solução, usando um agente redutor químico. São capazes de se associarem a pequenas moléculas e possuem alta energia

superficial. Isso as torna úteis para uma variedade de aplicações que incluem pesquisa, detecção e imagem de biomoléculas, bem como aplicações ambientais e bioanalíticas (Alves dos Santos, 2015).

As nanopartículas poliméricas são orgânicas. As estruturas desses nanomateriais podem ser nanocapsulares ou nanoesféricas, dependendo do método de preparação. Uma partícula nanoesfera tem uma estrutura semelhante a uma matriz, enquanto a partícula nanocapsular tem uma morfologia núcleo-casca. No primeiro caso, os compostos ativos e o polímero são distribuídos uniformemente; no último caso, os compostos ativos são restritos e cercados por um invólucro de polímero. São utilizados na administração e aplicação de medicamentos e em diagnósticos (Marcato, 2009).

2.4.1 A evolução da nanotecnologia nos diversos setores da indústria

No setor energético, a nanotecnologia permitiu células solares mais eficientes com maior conversão de energia. Para os carros elétricos, baterias mais leves, compartimentos e componentes nanoestruturados. (Santos, 2023).

Na fabricação, a nanotecnologia permitiu o desenvolvimento de materiais de alto desempenho, como nanotubos de carbono e grafeno – nanomateriais com alto desempenho em propriedades mecânicas, elétricas e térmicas, garantindo materiais leves e resistentes (Santos, 2023; Wager *et al.,*2019).

As nanopartículas possuem e apresentam enorme potencial na saúde e em diversos outros setores. Quando associadas a bioativos – substâncias com propriedades farmacológicas e nutricionais benéficas à saúde – as nanopartículas se transformam em veículos de entrega, permitindo que as substâncias sejam entregues nos locais específicos do organismo de forma mais eficiente e controlada (Oliveira; Gnoatto; Aguirre, 2023).

Na esfera da saúde, a nanotecnologia tem viabilizado avanços notáveis, destacando-se a entrega altamente direcionada de agentes terapêuticos por meio de nanopartículas: uma estratégia que transforma a abordagem convencional de tratamento. Essa modalidade não apenas otimiza a eficácia dos medicamentos, mas também tem o potencial de mitigar consideravelmente os efeitos colaterais indesejados. Simultaneamente, a nanotecnologia tem promovido aprimoramentos

significativos nos processos diagnósticos por intermédio da integração de biossensores altamente sensíveis. Tal aperfeiçoamento não só aprofunda a precisão dos diagnósticos médicos, mas, também viabiliza uma detecção mais precoce e acurada de patologias (Moradi et al., 2020; Prasher; Mudila, 2018; Souza, 2020).

A capacidade de direcionar terapias especificamente para as áreas afetadas, com precisão nanométrica, realça uma abordagem verdadeiramente individualizada. A aplicação diligente dessas terapias também se traduz em uma democratização dos cuidados de saúde, tornando-as mais acessíveis e equitativos. O resultado é um horizonte médico caracterizado pela exatidão, personalização e acessibilidade – um testemunho eloquente do potencial transformador da nanotecnologia no domínio da saúde. (Moradi et al., 2020; Prasher; Mudila, 2018; Souza, 2020).

A aplicação da nanotecnologia na medicina é chamada de nanomedicina. Este campo científico, que se beneficia da tecnologia, aprimora as habilidades médicas em nível molecular, em que são desenvolvidos materiais, ferramentas, componentes e sistemas que auxiliam na terapia, no desenvolvimento de medicamentos e em cirurgias. É possível obter retornos positivos realizando essa junção que favorece médicos, pacientes e a sociedade envolvida (Sintra, 2019).

Os fármacos usados no âmbito da saúde experimentam inúmeros impactos com o avanço da nanotecnologia, pois os que contêm a tecnologia nano possuem maior eficácia no seu transporte e liberação no organismo, cumprindo seu papel analgésico, anti-inflamatório e antitumoral. As próteses com nanorrevestimentos, fabricadas com nanocompósitos, materiais híbridos em que pelo menos um dos componentes tem dimensões nanométricas, permitem maior compatibilidade com o organismo humano. Essa propriedade permite que o sistema imunológico do paciente não encare aquele revestimento como corpo estranho, reduzindo a chance de rejeição após os procedimentos cirúrgicos (Antunes Filho; Backx, 2020).

O tratamento de pacientes com câncer está se tornando um desafio, pois, apesar dos avanços da tecnologia e das pesquisas, a terapia ainda consiste em quimioterapia, radioterapia, cirurgia, imunoterapia e medicamentos em alguns casos. No entanto, pode haver falhas nessas medidas. Por exemplo, o câncer pode já ter se espalhado por todo o corpo ou o paciente pode ser resistente aos medicamentos usados. Além disso, problemas particulares com o medicamento, como sua farmacodinâmica, toxicidade e efeitos colaterais, podem diminuir a qualidade de vida do paciente (Viana *et al.,* 2021).

A medicina teranóstica é o uso da nanotecnologia para tratar e diagnosticar doenças, como o câncer, usando nanopartículas magnéticas biocompatíveis. Inúmeros avanços tecnológicos ocorreram nesse campo, possibilitando o desenvolvimento de novas tecnologias, tais como ressonância magnética nuclear, orientação de drogas e hipertermia magnética. Acredita-se que a eficiência da terapia com nanopartículas magnéticas se deva à biossuscetibilidade de fluidos magnéticos e células tumorais (Silva *et al.,* 2021).

No momento em que as nanopartículas carregadas entram no corpo do paciente, a distribuição do fármaco ocorre diretamente na célula patológica, aliviando que as células saudáveis sejam danificadas juntamente com as tumorais – a nanotecnologia consegue gerar o benefício de diminuir os efeitos colaterais agressivos. De uma maneira ampla e abrangente, as nanopartículas se mostram altamente versáteis quando empregadas no encapsulamento das propriedades inerentes aos bioativos presentes nos chás. Essa abordagem propicia um aumento substancial na biodisponibilidade desses compostos, além de aprimorar sua solubilidade em meios aquosos, facilitando assim sua absorção pelo organismo (Silva *et al*., 2021)

2.4.2 Nanopartículas de prata

Nanopartículas de prata (AgNPs) são um dos tipos mais estudados de nanopartículas devido às suas propriedades antimicrobianas e anti-inflamatórias. Por causa dessas propriedades, as AgNPs têm sido aplicadas em diversas áreas da saúde, como em tratamentos de feridas, infecções, cânceres e doenças neurodegenerativas. Essas nanopartículas podem ser utilizadas em formulações farmacêuticas, revestimentos de dispositivos médicos e em materiais odontológicos para prevenir a colonização de bactérias e fungos. Além disso, as AgNPs também apresentam potencial no desenvolvimento de biossensores para detecção precoce de doenças e como agentes de contraste em exames de imagem, como a ressonância magnética (Araujo *et al.,* 2022; Dourado *et al*, 2020; Souza, 2020).

O recente desenvolvimento da nanotecnologia tornou possível a produção de nanopartículas de prata metálica, que são mais eficientes que íons de prata em concentrações mais baixas. Dentre os diversos tipos de nanomateriais, as nanopartículas de prata ocupam lugar de destaque nas exigências desinfetantes e

antissépticas (Melo JR. et al., 2012). Com dimensões extremamente pequenas, da ordem de 1 a 100 nanômetros, contêm cerca de 15 a 20.000 átomos. Como resultado, têm grande área de superfície que aumenta a taxa de formação de íons de prata, resultando em propriedades ópticas, magnéticas, químicas e mecânicas diferentes daquelas de partículas em grandes superfícies (Benedito; Silva; Santos, 2016).

A solução coloidal de metais como prata e ouro é um sistema em nanoescala, é de particular interesse devido à sua facilidade de uso, preparação e modificação química possíveis. Há relatos de sistemas semelhantes que datam de tempos anteriores à ciência moderna, em que nanopartículas de metal foram colocadas para criar efeitos de cor em vidro e cerâmica. Um bom exemplo é o magnífico Copo de Licurgo *(Lycurgus Cup*), figura 12, feito em Roma, no século 4 d.C., pela fusão de nanopartículas de ouro e prata. Quando a luz bate no vidro, os elétrons dos metais ali contidos vibram de maneira que alteram a cor dependendo da posição do observador, apresentando a cor esverdeada quando a luz é refletida e avermelhada quando é transmitida (Backx, 2022; Melo JR. *et al*., 2012).

Figura 12. *Lycurgus Cup* **–** Copo de Licurgo com nanopartículas de ouro e prata

Fonte: Arquivo pessoal do autor - British Museum, 2022.

Os principais métodos usados para sintetizar nanopartículas de prata utilizam boro-hidreto de sódio, nitrato de prata, PVP (polivinilpirrolidona) e glicose. O uso de nanoprata vem aumentando ao longo do tempo; novas pesquisas abordam a eficácia da atividade anticorrosiva. A toxicidade das partículas de nanoprata para os organismos varia de acordo com a concentração e duração da exposição, conforme estudos. Os efeitos tóxicos das nanopartículas no meio ambiente e nos seres vivos não são totalmente compreendidos, mas a quantidade de nanopartículas produzidas está aumentando. Portanto, é essencial reunir mais informações sobre os riscos potenciais dessas partículas (Benedito; Silva; Santos, 2016).

Existem alguns desafios associados à síntese de nanopartículas metálicas, sendo o principal deles a estabilização da suspensão coloidal. Isso ocorre porque as nanopartículas têm uma alta energia de superfície, o que facilita a união e a formação de ligações metal-metal. Para evitar a união das nanopartículas, a manipulação dos sistemas coloidais é realizada na presença de estabilizadores, que se aderem às superfícies das nanopartículas, produzindo uma camada auto-organizada, evitando a interação (Melo JR. et al., 2012).

Alguns dos estabilizadores mais eficientes são os poliméricos, como o poli (álcool vinílico) ou PVA, poli (vinilpirrolidona), conhecido como PVP e ácido poli-acrílico (PAA), com alta afinidade pelas nanopartículas de prata, além de cadeias orgânicas longas que geram um impedimento esotérico, impossibilitando interações entre elas. Também é possível garantir essa estabilidade adicionando íons boro-hidreto e citrato de sódio, que adsorvem nas superfícies, criando repulsões eletrostáticas entre as nanopartículas. Logo, para que isso ocorra, é preciso adicionar tais reagentes em excesso (Solomon et al., 2007).

As propriedades antimicrobianas das nanopartículas de prata têm sido demonstradas contra uma variedade de microrganismos, incluindo bactérias gram-positivas e gram-negativas, fungos, vírus e parasitas (Araujo et al., 2022; Dourado et al, 2020), embora o surgimento de resistência a essas nanopartículas seja uma preocupação que requer maior atenção (Backx, 2021).

Backx. (2021) destaca a potente combinação entre nanotecnologia e microbiologia, tendo a capacidade de promover novas oportunidades para o desenvolvimento de fármacos e vacinas antimicrobianas, com nanopartículas de prata sintetizadas usando métodos verdes – ambientalmente sustentáveis. Além de

possuírem admirável capacidade promissora no combate a vários microrganismos – fungos, vírus e parasitas. Os pesquisadores utilizaram métodos de síntese verde como opção para fornecer rotas sustentáveis e ecológicas no processo de produção de nanopartículas de prata. A tabela 2 traz algumas aplicações das nanopartículas de prata. As rotas de síntese tradicionais são tóxicas ao meio ambiente, além de desprender materiais e quantidade de energia exacerbada. A biossíntese oferece alternativa atóxica e energeticamente amigável aos processos tradicionais. (Backx, 2021).

Tabela 2. Aplicações e propriedades de nanopartículas de prata.

NANOMATERIAL	APLICAÇÃO	PROPRIEDADES	FONTE
AgNPs	Saúde	Potencial antimicrobiano	BACKX, 2021
AgNPs	Saúde	Potencial antibacteriano; propriedade adesiva	ARAUJO *et al.,* 2022
AgNPs	Saúde	Potencial antimicrobiano – mel de abelha	DOURADO *et al*, 2020
AgNPs com fucana A (AgFuc)	Saúde	Potencial tripanocida - agente anti *Trypanosoma cruzi*	SOUZA, 2020
AgNPs sintéticas	Agricultura/ meio ambiente	Atividade miticida – ácaros no campo	ABDEL *et al*., 2023
AgNPs	Saúde	Material a base de celulose	KRISHNA *et al*., 2023
AgNPs	Saúde	Propriedade antimicrobiana – aplicações dentárias	AFKHAMI *et al*., 2023
AgNPs	Saúde	Propriedade antiviral	MISIRLI *et al*., 2020
AgNPs	Saúde	Propriedades antifúngica e antibacteriana	ALOTIBI *et al*., 2020
AgNPs	Saúde/ plantas medicinais	Propriedades antibacteriana e antioxidante	MORADI *et al*., 2020
AgNPs	Saúde	Propriedade antibacteriana – tratamento	SABLE *et al*., 2019
AgNPs	Terapias	Potencial antimicrobiano	PRASHER; MUDILA, 2019
AgNPs	Agricultura	Potenciais antibacteriano, antifúngico e antioxidante	SIDDIQI *et al*., 2019

AgNPs	Agricultura e saúde	Propriedades antiparasitárias – tratamento da malária	MAHENDRA *et al*., 2017
AgNPs	Saúde	Propriedade antibacteriana	NGUYEN *et al*., 2018

Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa tecnologia emergente, impulsionada por resultados efetivos e com o compromisso de causar o mínimo ou nenhum impacto ao meio ambiente, projeta um horizonte de otimismo quanto à resolução de desafios há muito tempo existentes. Com uma ênfase nítida na eficácia dessas abordagens, aliada à sua natureza ecoamigável, ela se revela como uma perspectiva promissora para a superação de obstáculos históricos por meio da aplicação de tecnologias inovadoras e ecologicamente sustentáveis (Backx et al., 2021).

No âmbito da pesquisa de Araujo *et al*. (2022), foi empreendido um estudo exaustivo destinado a avaliar a resistência de união de um adesivo notavelmente inovador, consistindo em nanopartículas de prata e nanopartículas de hidroxiapatita (NHA) à dentina. Os resultados dessa pesquisa promissora lançaram luz sobre o potencial revolucionário desses materiais na otimização das ligações adesivas a procedimentos odontológicos. A implementação de componentes suplementares em sistemas adesivos, visando à prevenção de cáries e à maximização da longevidade das restaurações, representa uma estratégia crucial. Nesse contexto, as nanopartículas de prata despontam, destacando-se pela sua notória ação antimicrobiana. O escopo dessa pesquisa se estendeu para a avaliação da resistência de união ao longo do período de 24 horas a 1 ano, representando uma tentativa de simular o envelhecimento do adesivo modificado por AgNPs associado à NHA (Araujo et al., 2022).

A perspectiva promissora de materiais enriquecidos com nanopartículas de prata reside na concretização de um material bioativo de natureza antibactericida (ARAUJO et al., 2022). As AgNPs possuem propriedades antimicrobianas de amplo espectro e podem desinfetar eficazmente os canais radiculares na odontologia, tornando-se uma opção terapêutica para inúmeras infecções bucais. As AgNPs têm a capacidade de penetrar profundamente nas complexidades dos sistemas de canais radiculares e túbulos dentinários, aprimorando suas propriedades antibacterianas e promovendo a dureza da dentina em dentes tratados endodonticamente (Afkhami *et al*., 2023).

As AgNPs sintetizadas a partir de vários extratos de plantas demonstram propriedades antimicrobianas promissoras contra bactérias gram-positivas e gram-negativas. O tamanho e a forma das nanopartículas de prata desempenham um papel de extrema importância na atividade antimicrobiana e citotoxicidade. A síntese verde, utilizando extratos de plantas, oferece um método sustentável e eficaz para a produção de nanopartículas com propriedades antimicrobianas (Prasher; Singh, Mudila, 2018).

Nessa perspectiva, Dourado *et al*. (2020) sintetizaram nanopartículas de prata a partir de amostras de mel de abelhas, *Apis mellifera,* demonstrando potencial atividades antimicrobiana e antifúngicas contra *Staphylococcus aureus, Staphylococus epidermidis* e *Candida krusei*, com maior eficácia contra bactérias gram-negativas. Souza (2020) avaliou a aplicação de nanopartículas de prata com fucana A como agente tripanocida, contra *Trypanosoma cruzi*, e obteve 60% de inibição parasitária.

As nanopartículas de prata sintetizadas apresentaram estabilidade, homogeneidade e uma grande área de superfície. Nos últimos anos, as nanopartículas de prata – AgNPs – têm chamado a atenção devido a sua ampla gama de aplicações em diversos campos da saúde, com propriedades antimicrobiana, antifúngica, antiparasitária e antibactericida (Dourado et al., 2020).

Há grande potencial das AgNPs tornarem-se um componente-chave em futuros antibióticos devido às suas propriedades antimicrobianas. Contudo, a estabilidade das AgNPs em escala nanométrica é fundamental para garantir sua baixa toxicidade e alta eficácia em várias aplicações. O tamanho, a forma e o conteúdo iônico de prata das AgNPs influenciam diretamente na sua atividade microbiológica e toxicidade (Mirsili; Patricio; Abrantes, 2022).

O mecanismo de ação das nanopartículas de prata envolve a ligação de Ag/Ag^{+} com biomoléculas nas células microbianas – comprometendo a integridade e a função celular; a produção de espécies reativas de oxigênio – causando a oxidação e a possível morte celular. O mecanismo de ação mostra-se como fator principal para as AgNPs possuírem capacidade antimicrobiana (Siddiqi *et al*., 2019). Além disso, as nanopartículas podem interferir nos processos de divisão celular dos microrganismos, afetando a síntese de DNA e da parede celular, causando stress metabólico que interrompe os ciclos de crescimento e multiplicação (Siddiqi *et al*., 2018).

As AgNPs podem ser sintetizadas por métodos químicos, físicos ou biológicos, sendo este último preferido devido à sua simplicidade, custo-efetividade e amigabilidade ambiental. A toxicidade das AgNPs depende de fatores como tamanho, concentração, pH e tempo de exposição. Podem ser usadas em embalagens para prevenir a contaminação de alimentos (Al-Otibi *et al*., 2020).

Metodologias verdes para a biossíntese de nanomateriais apresenta-se cada vez mais como tecnologia inovadora, sustentável e rentável. A produção de nanopartículas a partir de plantas dispensa o uso de solventes, apresentando menor toxicidade. Devido à sua rápida produção, torna-se rentável em comparação aos métodos químicos e físicos, que são metodologias caras e tóxicas para o meio ambiente (De Freitas, 2019).

A biossíntese verde de nanopartículas de prata utilizando extratos da planta *Aaronsohnia factorovskyi* mostrou atividades antibacteriana e antifúngica significativas. O extrato da planta contém constituintes ativos – fenólicos e terpenoides – conhecido por suas propriedades antioxidante e antimicrobiana. No estudo, os pesquisadores investigaram a propriedade antimicrobiana da planta *Aaronsohnia factorovskyi*, uma margarida encontrada na Arábia Saudita. O extrato da planta foi utilizado para sintetizar nanopartículas de prata, estas foram testadas quanto à atividade antibacteriana contra *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis, Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli*, bem como à atividade antifúngica contra *Fusarium oxysporum, Fusarium solani, Helminthosporium rostratum* e *Alternaria alternata*. Os resultados mostraram que as nanopartículas de prata sintetizadas a partir do extrato da planta apresentaram atividade antibacteriana significativa contra *Staphylococcus aureus* e atividade antifúngica contra *Fusarium solani*. O estudo destaca o potencial da síntese verde de nanopartículas usando extratos de plantas como um método simples, econômico e ecologicamente amigável para produzir nanopartículas de prata estáveis, com possíveis aplicações medicinais (Al-Otibi *et al.,*2020).

Para produzir nanopartículas de prata de alta pureza é importante utilizar reagentes com a mesma limpidez, de modo a evitar impurezas que possam atuar como sítio de nucleação das nanopartículas. Conforme já descrito, o boro-hidreto de sódio atua como agente redutor na síntese de nanopartículas de prata, gerando cargas em suas superfícies. Isso estabiliza as nanopartículas e evita que elas se agreguem. O controle das condições da reação, incluindo o tempo de agitação e as

proporções relativas dos reagentes, é importante para a obtenção de um produto estável (Melo Jr. *et al.,* 2012).

O método de síntese verde consiste em utilizar agentes redutores com baixa ou nenhuma toxicidade, em substituição aos reagentes convencionais. Isso torna o método sustentável. Nessa via biológica, são utilizados extratos vegetais que contêm moléculas capazes de reduzir íons Ag^+ a nanopartículas em apenas uma etapa. Esse é um processo altamente eficiente que pode ser usado para produzir nanopartículas para diversas aplicações. Os agentes redutores encontrados nas plantas incluem enzimas, proteínas, aminoácidos, flavonoides, compostos heterocíclicos e metabólitos solúveis em água. Esses podem ser encontrados em caules, cascas, folhas, sementes ou em uma mistura de todos eles. A vantagem desse método é que as plantas produzem biomoléculas redutoras que aderem à superfície das nanopartículas, proporcionando estabilidade e proteção. Eles também têm altos rendimentos e baixos custos de produção (Luoma, 2008).

A eficiência da síntese e as características das nanopartículas de prata dependem da parte da planta utilizada no extrato, ou seja, sumo das folhas, talos, cascas ou sementes. Essa síntese geralmente é realizada misturando o extrato com uma solução aquosa de um sal metálico (geralmente nitrato de prata) seguida de biorredução ou redução química. Existem vários fatores que podem afetar a velocidade da reação na extração de nanopartículas, como o pH, a temperatura e a concentração do extrato, bem como a concentração do sal metálico (EMBRAPA, 2014).

Devido à sua alta atividade bactericida e fungicida, as nanopartículas de prata têm uma ampla gama de aplicações em medicina, biotecnologia, cosméticos, têxteis, eletrônicos e embalagens. As nanopartículas de prata têm se mostrado eficazes na área médico-hospitalar, principalmente em próteses ósseas, equipamentos cirúrgicos, tecidos e implantes. Revestimentos de nanoprata sob superfícies de válvulas cardíacas artificiais, cateteres para diálise, marca-passos, entre outros têm grande capacidade de prevenir o crescimento de bactérias e diminuir as taxas de infecção (Luoma, 2008).

2.4.3 Nanopartículas de ouro

As nanopartículas de ouro (AuNPs) são estruturas com dimensões na escala nanométrica, constituídas por átomos de ouro, e apresentam propriedades físicas, ópticas e químicas únicas. Essas propriedades tornam as AuNPs altamente atraentes para diversas aplicações em diferentes áreas, como medicina, eletrônica, fotônica e meio ambiente. As AuNPs são frequentemente utilizadas em aplicações biomédicas, como agentes de contraste em exames de imagem, veículos de entrega de fármacos, terapia fototérmica e diagnóstico de doenças entre outras. Além disso, as AuNPs também apresentam potencial quando aplicadas em eletrônica, como em sensores e dispositivos ópticos (Benelli, 2018).

Nanopartículas de ouro podem ser adquiridas por diversos métodos – físicos, químicos e biológicos –, podem ser fabricadas como esferas, cubos, tubos, prismas, octaedros e uma variedade de formas. Cada configuração exibe distintas características físicas – elétricas, magnéticas, catalíticas e ópticas – podendo ser ajustadas através da alteração entre relação, comprimento e o diâmetro das nanopartículas. Essas distintas características físicas, por sua vez, abrem portas para diversas aplicações (Attia *et al.,* 2015).

As nanopartículas de ouro exibem características físico-químicas únicas e podem ser úteis para fins terapêuticos relacionados com a farmacocinética – fator importante para a biodistribuição das AuNPs, pois possuem propriedades optoeletrônicas ajustáveis. As AuNPs podem ser conjugadas com diversos peptídeos sem a necessidade de outros reagentes químicos, minimizando a toxicidade dos medicamentos e reduzindo os resíduos químicos em escala industrial. O uso das AuNPs inclui exames de diagnósticos – testes de gravidez e testes rápidos de COVID-19; imagem *in vivo* – fotoacústica, tomografia computadorizada; e terapêutica – terapia fototérmica, radioterapia e terapia catalítica (Milezi, 2023).

As nanopartículas de ouro têm sido objeto de extensas investigações devido às suas notáveis propriedades físicas e químicas, sendo aplicáveis nos campos biológicos, biomédicos e ambientais. A produção dessas nanopartículas por meio de técnicas de síntese sustentável tem se revelado uma opção vantajosa, pois é ecologicamente responsável e não implica o uso de substâncias prejudiciais. Pesquisas têm evidenciado a capacidade das nanopartículas de ouro de atuarem como inseticidas e agentes antiparasitários, revelando-se tóxicas para mosquitos,

parasitas da malária, filariose entre outros. Adicionalmente, essas nanopartículas têm encontrado aplicação no diagnóstico de doenças parasitárias e como coadjuvantes em vacinas contra a malária (Benelli, 2018).

Diversos estudos demonstram os benefícios farmacológicos das nanopartículas de ouro, visto a ampla aplicação no setor da saúde. Nanopartículas de ouro possuem uma atividade antimicrobiana de amplo espectro, podem ser consideradas como uma alternativa futura a muitos agentes antimicrobianos (Baz *et al.,* 2022). Nanopartículas podem ser usadas tanto sozinhas quanto em combinação com outros medicamentos, proporcionando medicamentos mais eficazes e menos prejudiciais, bem como valiosas vacinas para a prevenção e controle de parasitas (Baz *et al.,* 2022).

Devido ao seu potencial terapêutico, as AuNPs vêm sendo alvo de estudos para o tratamento de diversas doenças, incluindo condições oculares como a retinopatia, devido à sua capacidade de atravessar as barreiras oculares e apresentar propriedades antiangiogênicas e anti-inflamatórias. Além disso, as AuNPs mostram potencial neuroprotetor, podendo ser aplicadas no tratamento de doenças neurodegenerativas como Alzheimer e Parkinson, graças à sua habilidade de atravessar a barreira hematoencefálica e exercer efeitos benéficos no cérebro (Ko *et al.,* 2022).

A singularidade das propriedades físicas e químicas das nanopartículas de ouro, devido ao seu tamanho nanométrico, confere-lhes habilidades notáveis de reconhecimento molecular e biocompatibilidade. Isso possibilita a utilização dessas nanopartículas em diversas aplicações biológicas, como testes biomédicos, diagnóstico de doenças e detecção de genes. Elas podem se ligar a proteínas, como anticorpos, enzimas ou citocinas e serem empregadas como ferramentas para direcionar células cancerosas. As nanopartículas de ouro exibem propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, tornando-as úteis no tratamento de doenças relacionadas à inflamação e ao estresse oxidativo (Ko *et al.,* 2022).

Na tabela 3, são apresentados alguns estudos utilizando nanopartículas de ouro e suas aplicações.

Tabela 3. Aplicações e propriedades de nanopartículas de ouro

TIPOS DE NANOESTRUTURAS	APLICAÇÃO	PROPRIEDADES	FONTE
AuNPs	Saúde	Ação contra Infecções de protozoários (giárdia)	BAZ *et al*., 2022
AuNPs	Saúde	*Delivery* da droga; capacidade de cruzar a barreira hematoencefálica	CRUZ LOPES *et al*., 2022
AuNPs	Saúde	Propriedade antiparasitária	BENELLI, 2018
AuNPs + *C. colocynthis*	Saúde	Propriedade antiparasitária – tratamento de parasitas	MUSAFER, 2020
AUNPs + Ácido tânico	Saúde	Ação cancerígena	SPADREZANO *et al.,* 2023

Fonte: Elaborado pelo autor.

Giardia lamblia é um parasita que causa severa diarreia, má absorção intestinal e perda de peso, especialmente em lactantes e crianças. O tratamento padrão apresenta limitações e baixa eficácia. Baz *et al.* (2022) avaliaram o uso de nanopartículas de ouro como uma terapia alternativa para a infecção por *Giardia lamblia*. O estudo foi realizado em ratos e os efeitos do metronidazol e das nanopartículas de ouro, isoladamente ou em combinação, foram avaliados. Os resultados mostraram que as nanopartículas de ouro tiveram a maior eficácia na redução da contagem de parasitas nas fezes e no intestino, melhoraram os danos intestinais causados pelo parasita, mas mostraram toxicidade para o fígado. O estudo sugere que as nanopartículas de ouro podem ser um agente terapêutico potencial para a infecção por *G. lamblia*, apesar disso são necessárias mais pesquisas para determinar as dosagens ideais e a duração do tratamento (Baz *et al*., 2022).

Musafer (2020) avaliou a eficácia da utilização combinada de nanopartículas de ouro e nanopartículas de *C. colocynthis* – fruta típica do mediterrâneo – no tratamento da giardíase em camundongos infectados. Os resultados demonstraram que a terapia combinada, envolvendo ambas as nanopartículas, revelou-se mais eficaz do que a administração isolada de qualquer uma delas. Além disso, não foram identificados efeitos significativos nos parâmetros hematológicos e bioquímicos dos

animais submetidos ao tratamento. Entretanto, observou-se uma redução na presença de cistos nas fezes e de trofozoítos no intestino dos animais tratados. Conclui-se, portanto, que a utilização conjunta de nanopartículas de *C. colocynthis* e nanopartículas de ouro apresenta a maior eficácia no tratamento da giardíase, embora não tenha sido alcançada a completa erradicação da doença (Musafer, 2020).

As propriedades únicas das nanopartículas de ouro, juntamente com a capacidade de entrega, tornam-nas uma opção adequada para a quimioterapia (MUSAFER, 2020). Spadrezano *et al.* (2023) visou avaliar a síntese de nanopartículas de ouro (AuNPs) com ácido tânico (AT) como agente redutor e estabilizante, com foco na aplicação potencial dessas AuNPs na inibição de proteínas tirosina quinases (PTKs) e seu efeito citotóxico em células tumorais e não tumorais. O método de síntese das AuNPs com AT demonstrou eficácia na formação das nanopartículas com tamanhos em torno de 39,08 nm. A centrifugação foi efetiva na segregação de tamanhos de nanopartículas. As AuNPs-AT apresentaram baixa citotoxicidade em células não tumorais em concentração de 50%. No entanto, em células tumorais, as AuNPs-AT em concentração de 25% causaram morte celular, indicando um efeito antitumoral. Conclui-se que as nanopartículas – AuNPs-AT–, sintetizadas pelo método de síntese verde, apresentaram eficiência na inibição de PTKs e efeito antitumoral, com tamanhos e revestimento compatíveis para aplicações médicas (Musafer, 2020; Spadrezano *et al*., 2023).

As nanopartículas de ouro têm demonstrado notáveis aplicações em diagnóstico e tratamento, abrangendo campos como biossensores, direcionamento de terapias contra câncer e entrega precisa de medicamentos para áreas afetadas. Essas nanopartículas têm sido amplamente empregadas em diversas áreas devido às suas propriedades físico-químicas (Hammami *et al*., 2021). No campo da eletrônica, a nanotecnologia possibilitou a redução de tamanho de componentes por meio da nano-fabricação, resultando no desenvolvimento de dispositivos flexíveis e elásticos. Os nanomateriais permitiram uma maior compactação, resultando em um desempenho aprimorado em dispositivos como smartphones e smartwatches, bem como em aplicações médicas como marca-passos e microchips (Wager *et al*., 2019).

Vidros coloridos com nanopartículas de ouro são solução surpreendente para a purificação do ar quando expostos à luz solar, de acordo com uma equipe de especialistas da Universidade de Tecnologia de Queensland. Esse conceito remonta aos vidraceiros das forjas medievais que, sem saber, foram pioneiros na

nanotecnologia ao criar cores usando nanopartículas de ouro de diferentes tamanhos, elaborando trabalhos belíssimos. Quando essas minúsculas partículas de ouro recebem energia solar, ganham a capacidade de desintegrar poluentes atmosféricos, como compostos orgânicos voláteis (COVs) (Chen *et al.*, 2008).

Essa inovação aponta para um futuro onde vidros de edifícios, graças à nanotecnologia do ouro, poderiam desempenhar um papel ativo na melhoria da qualidade do ar urbano. Ao aproveitar a luz solar, esses vidros transformam-se em catalisadores naturais que quebram as moléculas poluentes no ar, contribuindo assim para a redução da poluição. Essa abordagem *eco-friendly* oferece uma perspectiva empolgante para enfrentar desafios ambientais nas cidades e melhorar a saúde pública, transformando nossos edifícios em aliados na luta contra a poluição do ar.

As nanopartículas de ouro, quando reduzidas a um tamanho muito pequeno, exibem uma propriedade fascinante quando expostas à luz solar: a ressonância de plásmon de superfície (*Surface Plasmon Resonance*, SPR na sigla em inglês). Esse fenômeno ocorre quando o campo eletromagnético da luz solar se acopla às oscilações dos elétrons dessas nanopartículas. Quando a luz solar interage com essas pequenas partículas de ouro, desencadeia uma oscilação coletiva dos elétrons da superfície conhecida como SPR. Esse efeito geralmente ocorre dentro do espectro eletromagnético visível ou no infravermelho próximo (Chen *et al.*, 2008).

A ressonância de plásmon de superfície resulta em um significativo aumento do campo elétrico ao redor das nanopartículas de ouro. Embora muitas vezes seja chamado de aumento do campo magnético, é principalmente o campo elétrico que experimenta essa amplificação. Esse campo elétrico intensificado pode ser aproveitado para várias aplicações. Uma aplicação notável está na remediação ambiental. Os campos eletromagnéticos intensificados próximos às nanopartículas podem facilitar reações químicas que quebram moléculas poluentes no ambiente circundante. Essa propriedade tem implicações promissoras para abordar a poluição do ar e da água, promovendo a degradação ou transformação de contaminantes como compostos orgânicos voláteis (COVs) (Chen *et al.*, 2008).

Em resumo, a capacidade das nanopartículas de ouro de passarem por ressonância de plásmon de superfície sob a luz solar é um testemunho da intrigante interação entre luz e matéria em escala nanométrica. Os pesquisadores estão explorando ativamente maneiras de aproveitar esse fenômeno em campos como

catálise, desenvolvimento de sensores e ciência ambiental, a fim de criar soluções inovadoras para enfrentar desafios ambientais e avançar a tecnologia.

2.4.4 Nanopartículas de cobre

As nanopartículas de cobre (CuNPs) são, por sua vez, frequentemente utilizadas em aplicações em diversas áreas, como eletrônica, catálise, meio ambiente e em aplicações biomédicas, devido às suas propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias e anticancerígenas (Lewisoscar *et al*., 2015).

O cobre é amplamente utilizado na indústria devido às suas propriedades físico-químicas, que incluem ductilidade, resistência à corrosão e altas condutividades térmica e elétrica. Além disso, as nanopartículas de cobre, devido à sua área superficial, apresentam maior reatividade em comparação com os materiais convencionais. Existem diversos métodos para a obtenção de nanopartículas de cobre, incluindo microemulsão, biossíntese, redução térmica, redução química, síntese por poliol, eletroquímica, fotoquímica e irradiação por micro-ondas com reação química (Gomes *et al.,* 2019).

As CuNPs são capazes de inibir o crescimento de diversos tipos de microrganismos, tornando-se promissoras para a fabricação de revestimentos antimicrobianos para superfícies hospitalares. Além disso, as CuNPs também apresentam potenciais em aplicações em terapia fotodinâmica, que consiste no uso de uma substância fotossensível associada a uma fonte de luz para matar células cancerosas (Lewisoscar *et al*., 2015).

Materiais enriquecidos com cobre têm o potencial de combater a contaminação pelo Sars-CoV-2. Quando em contato com o microrganismo, o mineral danifica sua membrana externa, resultando em sua destruição. Portanto, superfícies como maçanetas ou corrimãos revestidos com uma tinta contendo esse aditivo poderiam impedir a sobrevivência do vírus, reduzindo assim a sua propagação através do toque humano. Nanopartículas de cobre, seja em estado líquido ou em forma de pó, encontram aplicações em diversas áreas, como na indústria hospitalar, construção civil, indústria automobilística, setor têxtil entre outros. Essas partículas são produzidas por meio de uma reação química de oxirredução envolvendo o sulfato de cobre, com o nanocobre protegido por um revestimento, um processo conhecido como nanoencapsulação, que assegura a sua estabilidade (Abcobre, 2021).

Na tabela 4, estão apresentadas algumas aplicações das CuNPs.

Tabela 4. Aplicações e propriedades de nanopartículas de cobre

TIPOS DE NANOESTRUTURAS	APLICAÇÃO	PROPRIEDADES	FONTE
CuNPs	Alimentos/ Medicina	Ações antibiofilme bacteriano	LEWISOSCAR *et al*., 2015
CuNPs	Medicina	Ações antibiofilme patogênico	SENGAN *et al.,* 2014
CuONPs	Agricultura	Proteção contra estresse oxidativo	KOHATSU *et al.,* 2021
CuNPs	Agricultura	Indução de crescimento	NAIR; CHUNG, 2015
CuONPs	Têxtil e Alimentos	Ação antibacteriana	NAIKA *et al*., 2015

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O estudo realizado por LewisOscar e colaboradores (2015) investigou a capacidade de nanopartículas de cobre sintetizadas através do método *one pot* de combater biofilmes de *Pseudomonas aeruginosa*. Os resultados revelaram que o tratamento com CuNPs resultou em uma redução significativa do biofilme, da hidrofobicidade da superfície celular e dos exopolissacarídeos, porém não apresentou atividade bactericida direta. Esses achados sugerem que as CuNPs possuem potencial como agentes antibiofilme e podem ser aplicadas em dispositivos médicos para prevenir infecções relacionadas a biofilmes – uma vez que biofilmes bacterianos podem ser altamente resistentes a tratamentos convencionais, tornando-se uma fonte significativa de infecções associadas a dispositivos médicos (Lewisoscar *et al.,* 2015).

Na agricultura, o uso de CuONPs sintetizadas com extrato de chá verde tem sido objeto de considerável pesquisa e discussão. O cobre é um micronutriente essencial para as plantas. Kohatsu *et al.* (2021) analisou a aplicação de CuONPs no setor agrícola, agindo tanto como fertilizantes quanto como pesticidas. O estudo demonstrou melhoria na absorção de nutrientes pelas plantas, contribuindo para um melhor crescimento e desenvolvimento da cultura. Além disso, a aplicação de CuONPs aumentou a atividade antioxidante nas plantas, ou seja, tais nanopartículas podem ajudar as plantas a se protegerem contra os danos causados por espécies

reativas de oxigênio, o que pode ser particularmente benéfico em condições de estresse ambiental (Kohatsu *et al.,* 2021).

Sengan *et al.* (2019) destaca a eficácia das nanopartículas de cobre na eliminação de biofilmes formados por patógenos transmitidos pela água. As CuNPs demonstraram uma notável atividade antibiofilme, incluindo *Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, Salmonella typhi* e *Shigella flexneri*. Análises de microscopia revelaram que as nanopartículas de cobre foram capazes de eliminar biofilmes maduros com uma concentração mínima de 12,5 µM. Além disso, a atividade antimicrobiana foi observada, com uma concentração inibitória mínima de 25 µM, indicando um efeito genuíno na inibição de biofilmes (Sengan *et al*., 2019)

Naika *et a*l. (2015) realizaram a síntese de nanopartículas de óxido de cobre utilizando o extrato de *Gloriosa superba L.* – uma espécie de lírio – como fonte de energia por meio da síntese de combustão em solução. As CuONPs demonstraram ser altamente eficazes com notável atividade antibacteriana contra bactérias patogênicas específicas. A abordagem de síntese verde de nanopartículas utilizando o extrato de *Gloriosa superba L.* como combustível é não apenas prática, mas também sustentável. O resultado obtido apresenta potencial considerável em aplicações de revestimentos, plásticos e têxteis (Naika *et al*., 2015).

Nair e Chung (2015) investigaram os efeitos morfológicos, fisiológicos e moleculares de CuONPs em uma cultura de semente oleaginosa, a *Brassica juncea L* – popularmente conhecida como mostarda-castanha. O estudo buscou avaliar os impactos das CuONPs no crescimento e no sistema de defesa da planta. Os resultados indicam que a exposição às CuONPs teve efeitos significativos nas plantas de *Brassica juncea*, incluindo a redução do crescimento, modificações na morfologia das raízes, aumento na formação de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica, além de alterações nos níveis de expressão gênica relacionados à resposta antioxidante (Nair; Chung, 2015).

2.4.5 Nanopartículas de zinco

Nanopartículas de óxido de zinco, ZnO, possuem a notável propriedade de serem transparentes, o que as torna eficazes na filtragem de luz ultravioleta A (UVA) e ultravioleta B (UVB). Tais nanopartículas têm diversas aplicações, demonstrado na tabela 5, incluindo o uso em bloqueadores solares, onde desempenham um papel

crucial na proteção contra os raios ultravioletas. Além disso, são empregadas como agentes antibacterianos e fungistáticos em revestimentos transparentes. Vernizes para superfícies de madeira, revestimentos protetores UV para filmes de plástico em janelas e óculos, tecidos fabricados a partir de polímeros sintéticos e biossensores já possuem ZnO (Tettey *et al.,*2019).

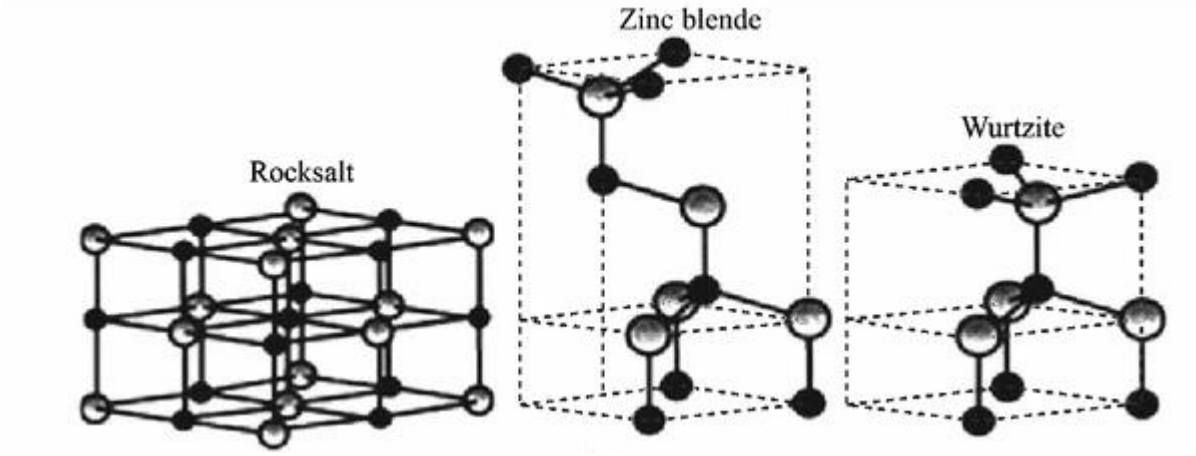
Devido à sua notável versatilidade, o óxido de zinco encontra aplicações em diversos setores. No entanto, a conformação das partículas desempenha um papel fundamental nas suas aplicações. O ZnO pode existir em três diferentes formas cristalinas na natureza: sal-gema (*rocksalt*), esfalerita (*zinc blend*) e wurtzita (*wurtzite*) (Ozgur *et al.,* 2005). Na estrutura da wurtzita, cada átomo de zinco no tetraedro está rodeado por quatro átomos de oxigênio e vice-versa, resultando em um empilhamento hexagonal como sua célula unitária. Em condições ambientais de pressão e temperatura, essa estrutura demonstra uma estabilidade termodinâmica significativa, tornando-se a forma mais prevalente do ZnO na natureza. Devido a essa estabilidade em relação a variações de temperatura e pressão, a estrutura wurtzita é amplamente estudada quando se trata de inibir o crescimento de microrganismos (Aljelehawy *et al.,* 2020).

Na forma de *rocksalt,* o ZnO adota uma estrutura cúbica centrada nas faces, onde os átomos de zinco (Zn) e oxigênio (O) estão dispostos de forma regular. Essa estrutura é chamada de "sal-gema" devido à sua semelhança com a estrutura do cloreto de sódio, popularmente conhecido como sal de mesa/cozinha. No entanto, essa forma é menos comum em condições naturais e geralmente é obtida através de processos de síntese controlada (Ozgur *et al.,* 2005).

A estrutura de esfalerita é cúbica e centrada no corpo, onde os átomos de Zn e O estão dispostos de maneira alternada naturalmente. A wurtzita é a forma mais predominante do ZnO na natureza e é a mais estudada devido à sua estabilidade termodinâmica em condições ambientais de temperatura e pressão. Nessa estrutura, o ZnO adota uma configuração hexagonal compacta, com átomos de Zn e O dispostos em camadas hexagonais alternadas. A wurtzita é frequentemente preferida em aplicações de inibição de microrganismos devido a sua estabilidade em ambientes variáveis (Ozgur *et al.,* 2005).

As três formas são apresentadas na figura 13.

Figura 13. Estruturas cristalinas de ZnO



Fonte: Ozgur *et al.,* 2005.

Cada uma dessas formas cristalinas possui propriedades físicas e químicas específicas que a tornam adequada para diferentes aplicações. A escolha da forma do ZnO depende das necessidades e requisitos de cada aplicação, sendo o ZnO um material extremamente versátil, com aplicação em diversas áreas (Ozgur *et al.,* 2005).

Um dos principais problemas da indústria alimentícia é o processo de deterioração microbiana dos alimentos, que resulta em perdas econômicas significativas devido à degradação causada por microrganismos e/ou à contaminação de alimentos por patógenos. Compostos que inibem ou interferem na comunicação entre as bactérias e na formação de biofilmes estão ganhando importância como uma nova classe de conservantes alimentares para a vindoura geração, bem como agentes antimicrobianos (Al-Shabib *et al.*, 2016).

As ZnONPs apresentam uma solução para a problemática da deterioração microbiana na indústria de alimentos e a necessidade de novos conservantes alimentares. São potenciais inibidores da formação de biofilme contra patógenos transmitidos por alimentos, como *Listeria monocytogenes, Pseudomonas aeruginosa, E. coli* e *Chromobacterium violaceum* (Al-Shabib *et al.*, 2016).

As nanopartículas de óxido de zinco (ZnONPs) também têm encontrado aplicações na remoção de metais pesados da água, sendo um valioso candidato fotocatalítico no tratamento de água e efluentes. Devido às suas propriedades únicas, incluindo alta capacidade de oxidação e boas propriedades fotocatalíticas, são ecologicamente amigáveis, compatíveis com organismos, tornando-as ideais para o tratamento de esgotos (Alizad Oghyanous, 2022).

Tabela 5. Aplicações e propriedades de nanopartículas de zinco

TIPOS DE NANOESTRUTURAS	APLICAÇÃO	PROPRIEDADES	FONTE
ZnONPs	Estética/ terapia	Propriedade antiviral em máscaras faciais	HEMKEMAIER et al., 2022
ZnNPs	Saúde	Propriedades antibacteriana e antioxidante	ALJELEHAWY *et al*., 2020
ZnNPs	Saúde	Propriedade antioxidante	TETTEY *et al*., 2019
ZnNPs com extrato de semente – *Nigella sativa*	Alimentícia/agricultura	Material (biofilme) com propriedades não tóxica para alimentos	AL-SHABIB *et al*., 2016
ZnONPs	Saúde/ terapia	Entrega de drogas – terapias contra câncer	ANJUM *et al*., 2021
ZnONPs	Saúde/ terapia	Propriedades antimicrobiana e anticâncer (tratamento)	VASEEHARAN *et al*., 2018

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Nanotexturas e biofilmes de ZnO têm despertado interesse como materiais para biossensores devido à sua biocompatibilidade, estabilidade química, alto ponto isoelétrico, atividade eletroquímica, alta mobilidade eletrônica, facilidade de síntese por diversos métodos e elevada relação entre superfície e volume (ARYA *et al.,* 2012). As nanoestruturas de ZnO apresentam boa ligação entre as biomoléculas em orientações promissoras, com melhor conformação e alta atividade biológica, resultando em características únicas para sua aplicação. Demonstraram possuir propriedades de adsorção de proteínas, o que pode ser utilizado para modular a citotoxicidade nas nanopartículas e promover outras respostas celulares (Al-Shabib *et al.,*2016).

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa delineou uma revisão bibliográfica criteriosa, concentrando-se na identificação e análise dos bioativos presentes em ervas e chás. Para atingir esse propósito, esta investigação se apoiou em renomadas plataformas de pesquisa, tais como SciELO, Science Direct, Google Acadêmico e PubMed. A seleção dessas plataformas objetivou uma abrangência ampla, assegurando a incorporação de perspectivas e resultados relevantes.

A definição de palavras-chave constituiu um elemento essencial para orientar a busca de maneira precisa e focalizada. Portanto, a pesquisa foi delimitada por um conjunto de termos-chave interconectados, incluindo "Bioativos", "Bionanotecnologia", "*Camellia sinensis*", "Chá" e "Nanociência". Essa estratégia de pesquisa direcionada visou à compreensão abrangente e profunda do tema.

A temporalidade da pesquisa foi circunscrita entre os anos 2000 e 2023, englobando um período significativo e representativo das evoluções científicas no campo. A abordagem qualitativa, com enfoque exploratório e explicativo, conduziu a análise, que se fundamentou essencialmente em fontes bibliográficas e documentais.

A coleta abarcou um notável número de fontes bibliográficas, majoritariamente constituídas por artigos científicos. A seleção dessas fontes foi criteriosa, ancorada em títulos atrativos e subtítulos elucidativos que descreviam de forma concisa e direta tanto o conteúdo quanto o método do estudo. A ferramenta Qualis, desenvolvida pela CAPES, também se incorporou ao processo de escolha, garantindo a seleção de periódicos científicos qualificados.

A convergência de pesquisas interdisciplinares é imperativa para atender às demandas atuais da educação, como evidenciado pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Diante dessa dinâmica, esta pesquisa se alinhou à inovação educacional e visou à criação de um livro que amalgama as descobertas consolidadas com as últimas contribuições da tecnologia. O produto final não apenas enriquecerá a formação docente, mas também servirá como uma iniciativa pedagógica enriquecedora, sintonizada com o cenário educacional contemporâneo.

3.1 MATERIAL PARADIDÁTICO

Com vistas a amplificar a qualidade do processo de ensino e aprendizagem no âmbito das ciências, uma iniciativa central deste trabalho residiu na concepção e produção de um livro paradidático. O material paradidático é um recurso educacional utilizado como complemento ao processo de ensino e aprendizagem em sala de aula. Tem a finalidade de auxiliar a compreensão e a assimilação dos conteúdos abordados, além de proporcionar uma abordagem mais rica e diversificada da matéria.

O objetivo de criar um material paradidático desse trabalho consistiu em enriquecer a experiência de aprendizado, tornando-a mais interativa, dinâmica e contextualizada. Sendo assim, este livro tem o objetivo claro de preencher lacunas e potencializar a compreensão das novas fronteiras tecnológicas, notadamente a nanotecnologia e a bionanotecnologia, no âmbito educacional.

O material produzido foi organizado em cinco capítulos, sendo apresentados a seguir:

CAPÍTULO I. A ORIGEM DA CULTURA DO CHÁ

Esse capítulo inicial constitui uma introdução envolvente ao tema, delineando aspectos que envolvem as cerimônias, a história, as raízes e os padrões de crença que permeiam a cultura do chá. A transformação do ato de consumir chá em Chaísmo, a expressão de devoção à estética no contexto do tempo humano; a intrínseca relação entre o chá e a arte de viver são minuciosamente explanados.

As abordagens contextual e histórica da cultura do chá podem ser exploradas de maneiras diversas e estimulantes, proporcionando compreensão mais profunda dos aspectos culturais, sociais e filosóficos associados ao consumo dessa bebida milenar.

CAPÍTULO II: *CAMELLIA SINENSIS*
SUBCAPÍTULO: PROPRIEDADES DA *C. SINENSIS*

Nesse segundo capítulo, dedicado à planta que origina uma das bebidas mais consumidas globalmente, a ênfase recai sobre a *Camellia sinensis*. Através da análise minuciosa, serão explorados os aspectos inerentes a essa espécie vegetal. A

abrangência desse capítulo estende-se desde a planta em si, suas folhas e botões, até a produção dos diferentes tipos de chá (branco, verde, *oolong* e preto) por meio de processos de oxidação distintos. Salientando a dimensão química, o capítulo realçará como esses compostos são empregados para impulsionar a saúde e a vitalidade do organismo humano.

CAPÍTULO III: INFUSÕES

O terceiro capítulo mergulha na prática de infusões, examinando como outras plantas, como camomila e hortelã, são utilizadas para criar bebidas medicinais. A narrativa abarca a riqueza da sabedoria popular que, ao longo do tempo, tratou e aliviou males diversos através do conhecimento ancestral. Além disso, destaca-se a relevância do consumo de infusões com propriedades medicinais no Brasil, enriquecido pelas influências culturais e indígenas.

CAPÍTULO IV: A NANOTECNOLOGIA E O SURGIMENTO DA BIOTECNOLOGIA

O quarto capítulo aborda a nanotecnologia e o surgimento da bionanotecnologia, delineando a simbiose entre bioativos e nanotecnologia, que emerge como uma abordagem pioneira para a utilização efetiva desses compostos. Nesse contexto, o foco recai sobre o vínculo entre possíveis agentes antioxidantes e a gênese de nanoestruturas.

A bionanotecnologia é um campo interdisciplinar que envolve conceitos científicos avançados. Ao apresentar esses conceitos de maneira acessível e contextualizada, o capítulo paradidático permite que alunos, professores e pessoas interessadas no assunto compreendam tópicos complexos de maneira mais clara e envolvente, como a interseção entre bioativos e nanotecnologia, estimulando a curiosidade e a motivação para explorar tópicos além do currículo tradicional.

Explorar a simbiose entre bioativos e nanotecnologia é uma oportunidade de mostrar como conceitos científicos abstratos têm aplicações tangíveis em suas vidas diárias, desde a saúde até a indústria alimentícia e a produção de materiais, desenvolvendo habilidades de pesquisa e de avaliação de informações e proporcionando aos indivíduos capacidade crítica para visualizar projetos futuros.

CAPÍTULO V: PANORAMA E FUTUROS DESAFIOS

No cenário científico atual, existem várias pesquisas em andamento relacionadas à interseção entre chá e nanotecnologia, a encapsulação de bioativos dos chás em nanopartículas, como exemplo, para melhorar a estabilidade e a biodisponibilidade dos ativos – como fármacos. A pesquisa também está focada no desenvolvimento de sistemas de liberação controlada para os bioativos, melhorando a biodisponibilidade dos bioativos e otimizar o efeito terapêutico. Isso é visto no setor alimentício – incorporação de nanopartículas de chá em produtos alimentícios, como barras de cereais, chocolates e iogurtes. Sendo assim, o capítulo aborda os avanços nos mecanismos de ação dos bioativos e na otimização das tecnologias de nanotecnologia para melhorar a eficácia e a aplicação desses compostos.

Figura 14. Capa do livro O Poder das Plantas: do Chá à Bionanotecnologia

Fonte: Editora Multifoco, 2023.

4 O ENSINO BRASILEIRO À BIONANOTECNOLOGIA

A BNCC (Base Nacional Comum Curricular) é um documento elaborado pelo Ministério da Educação do Brasil que estabelece os conhecimentos, competências e habilidades que todos os estudantes devem desenvolver ao longo da Educação Básica, que compreende a educação infantil, o ensino fundamental e o ensino médio. A qualidade da escola é fundamental para a inclusão e democratização das oportunidades no Brasil. Garantir uma educação básica de qualidade é um desafio que envolve todos, visando à inserção dos alunos, ao desenvolvimento do país e à consolidação da cidadania (MEC, 2017a).

A BNCC é uma referência nacional que orienta a elaboração dos currículos das redes de ensino públicas e privadas em todo o país; define os objetivos de aprendizagem para cada etapa escolar, bem como os conteúdos que devem ser trabalhados nas diferentes disciplinas. Além disso, destaca as competências gerais que os estudantes devem desenvolver, como o pensamento crítico, a criatividade, a comunicação, a colaboração e a ética (MEC, 2017a).

O objetivo da BNCC é garantir uma formação mais igualitária e de qualidade para todos os estudantes brasileiros, independentemente de sua localização geográfica ou de sua origem socioeconômica. Através da BNCC, busca-se estabelecer uma base comum de conhecimentos e habilidades que todos os estudantes devem adquirir, ao mesmo tempo em que permite flexibilidade para que as escolas e os professores possam adaptar os currículos às necessidades e realidades locais.

As ementas de ciências no ensino fundamental podem variar dependendo do sistema educacional, da rede de ensino e das diretrizes curriculares de cada estado ou município no Brasil. Abaixo está um resumo geral dos principais temas abordados nas ementas de ciências do ensino fundamental:

i. Introdução ao método científico: os alunos aprendem sobre os processos científicos, como observação, coleta de dados, experimentação, análise e conclusões.
ii. O corpo humano: estuda-se a anatomia e a fisiologia humana, incluindo os sistemas circulatório, respiratório, digestivo, nervoso, entre outros. Também devem ser abordados temas como higiene, saúde e prevenção de doenças.

iii. Ecologia e meio ambiente: explora-se a relação dos seres vivos com o ambiente, cadeias alimentares, ecossistemas, preservação do meio ambiente e sustentabilidade.
iv. Astronomia: inicia-se o estudo do Sistema Solar, estrelas, galáxias e outros fenômenos cósmicos.
v. Matéria e energia: estudam-se as propriedades da matéria, estados físicos, mudanças de estado, energia e suas formas, como calor, luz e som.
vi. Biodiversidade: explora-se a diversidade de seres vivos, classificação, evolução, importância da conservação da biodiversidade e preservação das espécies.
vii. Eletricidade e magnetismo: introduzem-se os conceitos básicos de eletricidade e magnetismo, circuitos elétricos simples e suas aplicações.
viii. Noções de química: conceitos básicos de química, como átomos, elementos químicos, compostos, reações químicas e suas aplicações práticas.

A implementação da BNCC é um processo gradual e envolve a participação de toda comunidade educativa: alunos, professores, gestores educacionais, família, estado. O Novo Ensino Médio – mais flexível, contextualizado e adequado às necessidades dos estudantes – foi aprovada pela Lei nº 13.415/2017, com previsão da implementação completa até 2023. A institucionalização do ensino médio integrado à educação profissional busca superar a dualidade histórica entre a preparação para o ensino superior e a formação profissional no Brasil, contribuindo para a melhoria da qualidade nessa etapa final da educação básica (MEC, 2023b).

As principais mudanças propostas pelo Novo Ensino Médio incluem:

i. Flexibilização curricular: os estudantes passam a ter maior autonomia na escolha das disciplinas e no direcionamento de seus estudos. Além das disciplinas obrigatórias, são oferecidas áreas de conhecimento nas quais os estudantes podem aprofundar seus estudos, de acordo com seus interesses e projetos de vida.
ii. Itinerários formativos: são oferecidos diferentes itinerários formativos, que correspondem a áreas específicas do conhecimento, como Linguagens e suas Tecnologias, Matemática e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas

Tecnologias, Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, e Formação Técnica e Profissional.

iii. Educação Profissional: o novo ensino médio busca uma maior integração entre a educação regular e a educação profissional, permitindo que os estudantes realizem cursos técnicos ou profissionalizantes durante o ensino médio.

iv. Ampliação da carga horária: a carga horária do ensino médio será ampliada gradualmente de 800 para 1.000 horas anuais, permitindo uma maior dedicação a atividades práticas, projetos de pesquisa, estágios e outras atividades extracurriculares.

No Brasil, a BNCC é dividida em dois módulos principais: a parte comum e a parte diversificada. Esses módulos abrangem diferentes áreas do conhecimento e definem as competências e habilidades que os estudantes devem desenvolver ao longo da educação básica.

A parte comum é composta por conhecimentos, competências e habilidades considerados fundamentais para todos os estudantes e abrange áreas do conhecimento em linguagens (Língua Portuguesa, Língua Estrangeira Moderna, Artes, Educação Física e Tecnologias da Informação e Comunicação), matemática (conhecimentos matemáticos, incluindo números, operações, álgebra, geometria, estatística e probabilidade), ciências da natureza (Biologia, Química e Física, com enfoque na compreensão dos fenômenos naturais, investigação científica e desenvolvimento de atitudes científicas), Ciências Humanas e Sociais Aplicadas (História, Geografia, Sociologia, Filosofia e Ensino Religioso, abordando temas como as formações histórica e cultural, geografia física e humana, processos sociais e culturais) e Ensino Religioso (estudo das religiões e suas manifestações culturais). (MEC, 2016).

Por sua vez, a parte diversificada é destinada à ampliação da formação dos estudantes, com a oferta de diferentes disciplinas e áreas de conhecimento, que podem variar de acordo com as escolas e redes de ensino. A proposta é permitir a flexibilização curricular, possibilitando a inclusão de conteúdos locais, projetos interdisciplinares e aprofundamento em áreas específicas de interesse dos estudantes.

Antunes Filho, Santos e Backx (2023) discutem a importância da incorporação da nanotecnologia no ensino de ciências e os desafios da adaptação a novos

paradigmas no ensino e aprendizagem. Os autores argumentam que o caráter multidisciplinar e transdisciplinar da nanotecnologia estimula os alunos a pensarem criticamente e fazer conexões entre diferentes áreas do conhecimento. Destacam a necessidade de uma pedagogia da construção e não da transmissão de informações e enfatizam a importância do engajamento emocional no processo de aprendizagem.

O ensino de conceitos ultrapassados em ciências deve ser evitado, e novos paradigmas devem ser adaptados ao processo de ensino e aprendizagem. É de suma importância trazer a bionanotecnologia para a sala de aula de forma acessível ao público. A pedagogia da construção, que envolve participação ativa e pensamento crítico, é mais efetiva no ensino de ciências do que a transmissão de informações, de modo qu, a integração de conceitos de nanotecnologia nos currículos escolares pode fomentar o pensamento interdisciplinar e promover a alfabetização científica (Antunes Filho; Santos; Backx, 2023).

Conforme exposto, a nanotecnologia não é abordada nas ementas de ensino brasileiro. A percepção da ciência no Brasil, de certo modo, é limitada tanto no nível educacional como no contexto socioeconômico, assim como o acesso à informação. A ciência é uma ferramenta essencial para o avanço do conhecimento, o desenvolvimento tecnológico e a solução de problemas.

Por um lado, existe um reconhecimento da relevância da ciência para o progresso do país, especialmente em áreas como medicina, agronomia, engenharia e tecnologia. No entanto, há inúmeros desafios e obstáculos – como financiamento, investimento, o que afeta a divulgação e a compreensão pública da ciência – áreas que ainda precisam ser aprimoradas no Brasil. A linguagem científica muitas vezes é complexa e de difícil compreensão para o público, dificultando a disseminação e a valorização dos resultados científicos.

A abordagem da nanotecnologia de forma aplicada nas escolas pode despertar o interesse científico e promover novos entendimentos e conexões. A interdisciplinaridade é um aspecto importante no processo de ensino, já que a nanotecnologia está relacionada às grandes áreas da Ciência e pode integrar o ensino de acordo com os preceitos estabelecidos pela BNCC.

Em sua grande maioria, as escolas públicas de educação básica no Brasil enfrentam dificuldades para promover o ensino da nanociência devido à falta de estrutura e incentivos educacionais e sociais. Além disso, a escassez de estudos e

artigos que indiquem caminhos e metodologias viáveis para o ensino de ciências em contextos de vulnerabilidade social.

A falta de familiaridade com o avanço científico e a leitura de artigos científicos dentro do ensino básico resulta no negacionismo da ciência – fator observado em questões envolvendo microrganismos e a pandemia. A familiarização dos alunos com artigos científicos adequados à sua faixa etária e que não os distanciem do futuro é excelente ferramenta para a formação científica. A nanotecnologia é uma forma indireta de introduzir abordagens interdisciplinares nas novas rotinas propostas pela BNCC, ampliando os horizontes tanto dos alunos quanto dos professores (Antunes Filho; Santos; Backx, 2023).

A educação em ciências deve se pautar em ideais de cultura científica, o que engloba a alfabetização científica dos alunos, ou seja, é um processo de alfabetização científica que visa não apenas transmitir conhecimentos científicos, mas, principalmente, desenvolver habilidades, atitudes e valores que permitam aos alunos compreender, questionar e participar ativamente da sociedade de forma fundamentada e crítica. A capacidade de compreender, identificar e avaliar evidências facilita criar e fazer conexões entre conceitos científicos e fenômenos do cotidiano, bem como reconhecer a importância da ciência na tomada de decisões pessoais e coletivas (Pereira; Honório; Sannomiya, 2010).

A participação social efetiva dos alunos na área científica implica não apenas a compreensão dos avanços científicos e tecnológicos, mas também a capacidade de avaliar seus impactos sociais, econômicos e ambientais. Capacitar os estudantes a se tornarem cidadãos críticos, ativos e participantes na sociedade, contribui para o progresso científico e para o bem-estar coletivo. Paulo Freire influenciou e influencia a educação do Brasil e no mundo através de uma educação libertadora e crítica, usando abordagens pedagógicas centradas na emancipação, no diálogo e na transformação social.

A educação tem papel ousado, sendo a ferramenta fundamental para transformar pessoas, tornando-as agentes do desenvolvimento, do progresso e da transformação social. A BNCC reconhece a importância de considerar a realidade e os contextos dos estudantes como ponto de partida para o processo educativo; enfatiza a necessidade de promover uma educação que dialogue com as experiências e vivências dos alunos, tornando o aprendizado mais significativo e relevante.

Em síntese, é fundamental possuir enfoque na formação integral, com visão ampliada da educação, promovendo um ensino que vai além do ensino padrão de conteúdos acadêmicos, todavia é improtelável desenvolver competências socioemocionais, éticas, críticas e cidadãs nos estudantes. O ensino deve formar indivíduos autônomos, reflexivos e comprometidos com a transformação social.

4.1 NANOCIÊNCIA E O ENSINO

A partir dos argumentos apresentados nesta dissertação, fica evidente a importância dos avanços e descobertas associados à nanociência. Diante disso, torna-se essencial a introdução da nanoescala no ensino básico, a fim de que a sociedade em formação compreenda as potencialidades da nanotecnologia. Ademais, a compreensão de que a natureza desempenha um papel fundamental na ciência e não apenas como uma vítima estabelece claramente a sinergia existente entre os avanços científicos e o meio ambiente, em uma relação simbiótica. Nessa perspectiva, o meio ambiente depende da ciência para solucionar os problemas existentes, ao passo que a resolução desses problemas também é possível, recorrendo-se ao meio ambiente. A bionanotecnologia permitiu essa nova perspectiva e cabe ao ensino básico a construção do conhecimento baseado nessa inseparabilidade.

A introdução da nanoescala na educação básica é fundamental para que a nova sociedade em formação compreenda as potencialidades associadas à nanotecnologia. Além dos avanços e principais descobertas relacionados à nanociência, é essencial destacar a compreensão da natureza como protagonista da ciência, de modo que é importante abordar os impactos sociais e éticos da nanotecnologia. Explorar os possíveis efeitos na equidade social, sustentabilidade, privacidade e segurança, permitindo que os estudantes compreendam as implicações mais amplas dessa tecnologia na sociedade em que vivem, assim como o envolvimento da conscientização ambiental, a promoção de discussões sobre o uso responsável de recursos naturais, a minimização de resíduos e a prevenção de possíveis impactos ambientais.

Além de compreender os conceitos básicos da nanoescala, devem-se apresentar aos estudantes exemplos concretos de como a nanotecnologia está sendo

aplicada em diversas áreas, como medicina, eletrônica, energia e materiais. Isso ajudará a despertar o interesse dos estudantes e a mostrar a relevância dessa área de estudo em suas vidas cotidianas, estimulando a criatividade e o pensamento crítico, no qual, através de novas aplicações da nanotecnologia, os estudantes, e possíveis cientistas, possam propor soluções para desafios atuais.

O Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP) lançou a cartilha *online* "Nanotecnologia para todos! – Cartilha educativa para divulgação e ensino da nanotecnologia". O objetivo é disponibilizar um conteúdo acessível aos alunos e professores do ensino médio, com linguagem didática e ilustrações. A cartilha aborda os conceitos da nanociência e nanotecnologia, bem como seus avanços e aplicações, que são uma realidade consolidada no Brasil e no mundo (Valle, 2019).

A cartilha estabelece conexões entre a nanotecnologia e disciplinas como química, física, biologia e matemática no currículo escolar. Começando com os conceitos matemáticos de escala e tamanho, a cartilha explora a dimensão nanométrica e o trabalho com materiais muito pequenos, destacando as diferenças entre o mundo macroscópico e o mundo nanométrico. Além disso, ressalta que, ao reduzir o tamanho dos materiais drasticamente, novas propriedades emergem. Um ponto extremamente positivo em relação à cartilha é a abordagem de que a nanotecnologia não é algo artificial ou restrito a laboratórios de pesquisa, mas que a natureza também possui seres vivos que exploram os efeitos na nanoescala (Gomes; Toma, 2021).

Dos Santos (2013) propôs introduzir a temática da nanotecnologia no ensino de ciências em Foz do Iguaçu/Paraná, em turma do nono ano, de forma a possibilitar aos alunos a percepção das modificações e avanços científicos recentes. A proposta de aula discute a extrema importância para uma formação progressiva, que integre conhecimentos consolidados aos em desenvolvimento. Embora as pesquisas na área da nanotecnologia sejam uma tendência mundial e já mobilizem diversos níveis de ensino, sua inserção no contexto educacional, especialmente no ensino público, ainda é incipiente. O estudo visa difundir o conhecimento científico, despertar o interesse dos alunos pela ciência e tecnologia e estabelecer conexões entre os conceitos químicos e a realidade cotidiana dos estudantes. A autora aborda a necessidade de adotar novas metodologias e tecnologias que permitam uma abordagem adequada e integrada da nanotecnologia, de forma interdisciplinar, para uma melhor compreensão dos conceitos e fenômenos químicos relacionados, fornecendo subsídios para os

alunos conhecerem os processos científicos e tecnológicos envolvidos na produção de bens utilizados no cotidiano, além de abordar questões éticas relacionadas à ciência e à nanotecnologia (Dos Santos, 2013).

Por intermédio de uma história narrada – entre aluna e professora – Silva, Viana e Mohallem (2009) trazem a discussão de nanociência e nanotecnologia para dentro da sala de aula. Abordando dúvidas e conceitos básicos, apresentando de forma didática o que é a nanotecnologia e suas aplicações na sociedade, servindo de apoio aos professores que necessitam cada vez mais preparo para as argumentações e curiosidades dos estudantes. É primordial visualizar que a nanociência não é uma temática nova, muito menos um conhecimento novo, mas sim uma abordagem de moléculas e átomos para formação de novas tecnologias e produtos (Silva; Viana; Mohallem, 2009).

Ao integrar diferentes abordagens que envolvam os princípios da relação entre ciência-tecnologia-sociedade-ambiente (CTSA), espera-se alcançar uma aprendizagem mais significativa dos conceitos científicos relacionados aos fenômenos e processos do cotidiano. A abordagem CTSA reconhece que a ciência não deve ser ensinada de forma isolada, mas sim relacionada aos aspectos tecnológicos, sociais e ambientais que estão presentes no contexto em que os alunos vivem. Ao estabelecer essa conexão entre os conceitos científicos e sua aplicação prática e relevância na vida diária, os estudantes são incentivados a desenvolver uma compreensão mais profunda e significativa da ciência, envolvendo nanotecnologia e nanociência. A aprendizagem contextualizada e conectada com a realidade proporciona uma base sólida para a compreensão e a aplicação dos conceitos científicos (Pereira; Honório; Sannomiya, 2010).

Ainda há grande deficiência em fontes e materiais didáticos relacionados à nanotecnologia no Brasil. Muitas fontes ainda se encontram em línguas estrangeiras, dificultando seu uso pelos estudantes dos ensinos fundamental e médio. É importante salientar que a ciência nano é contemporânea e de aplicação direta no cotidiano dos alunos, sendo extremamente relevante do ponto de vista educacional e social.

Tomkelski, Seremin e Fagan (2019) discutem as perspectivas de inserção de tópicos de nanociência e nanotecnologia no ensino na visão de professores. No estudo, fica evidente que os professores têm conhecimento das recomendações e orientações oficiais sobre a inserção dos tópicos de nanociência e nanotecnologia no ensino e afirmam utilizá-los no planejamento das práticas de sala de aula. Os autores

concluem que existe respaldo legal para a implementação dos tópicos de nanociência e nanotecnologia nos currículos escolares, uma vez que a maioria dos professores já os inserem, mesmo que de forma discreta por meio de discussões. Há demanda por inserir tópicos mais específicos e aprofundados nos currículos, especialmente nos cursos de nível superior, para atender às necessidades sociais, econômicas e ambientais emergentes. Por fim, destaca-se a importância da formação inicial e continuada dos professores nessa área, além da necessidade de investimentos mais significativos na educação, tanto em recursos humanos quanto em infraestrutura, visando valorizar os profissionais da educação (Tomkelski; Seremin; Fagan, 2019).

5 CONCLUSÃO

O uso de nanopartículas contendo bioativos do chá – como as catequinas – tem se mostrado uma alternativa promissora para a entrega de tais biocompostos de maneira eficaz. Essa tecnologia tem o potencial de melhorar a biodisponibilidade, a estabilidade e a atividade dos bioativos, resultando em benefícios para a saúde humana.

No contexto da indústria, a utilização de nanopartículas com bioativos pode contribuir para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios e farmacêuticos, com propriedades funcionais que atendam às demandas do mercado e da população, desde terapias a biofilmes.

Contudo, as pesquisas realizadas destacaram a ausência de materiais que fazem o cruzamento entre esses dois temas: extratos naturais e as nanotecnologias, principalmente com linguagem acessível e construção didática cuidadosa para que o tema fosse explorado e aplicado em salas de aulas de todo país. A nanotecnologia é uma área da ciência que tem recebido cada vez mais atenção nos últimos anos, devido às suas múltiplas aplicações e potenciais impactos benéficos à sociedade. Na educação, a nanotecnologia pode ser utilizada como um tema transversal para abordar conceitos científicos e tecnológicos em diferentes disciplinas.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estabelece que as escolas devem promover o desenvolvimento de competências e habilidades relacionadas à ciência e tecnologia, como a capacidade de identificar e explicar fenômenos naturais e tecnológicos, compreender a relação entre ciência, tecnologia e sociedade, e desenvolver soluções criativas e inovadoras para problemas complexos. Nesse contexto, a nanotecnologia pode ser uma ferramenta valiosa para o ensino e aprendizagem, pois permite a exploração de fenômenos científicos complexos em níveis micro e nanoestruturais, além de apresentar diversas aplicações práticas em diferentes áreas, como a medicina, a eletrônica, a energia e o meio ambiente.

Assim, a aplicação da nanotecnologia nas escolas pode contribuir para a formação de uma educação mais integrada e multidisciplinar, permitindo que os alunos desenvolvam competências e habilidades essenciais para o mundo contemporâneo e futuro. Além disso, pode estimular o interesse e a curiosidade dos estudantes por ciência e tecnologia, incentivando a busca por soluções inovadoras e criativas para problemas locais e globais.

Um livro paradidático sobre o tema, possibilitará uma discussão mais direcionada aos alunos de todos os segmentos. Nesse sentido, será possível o desenvolvimento de atividades que estimulem a visão integrada sugerida pela BNCC, através da qual as relações de valores entre o meio ambiente e a ciência consigam construir novos sentidos para a sociedade atual e a sociedade do futuro. Integrar as novas tecnologias com uma visão ambiental responsável permitirá que futuros cientistas avancem em novas descobertas, com um “fazer ciência” de forma responsável e eficiente. E esse avanço só será possível se as conscientizações científica e ambiental sejam cada vez mais discutidas e disseminadas nas escolas.

REFERÊNCIAS

ABBAS, S.; KARANGWA, E.; BASHARI, M.; HAYAT, K.; HONG, X.; SHARIF, H.R.; ZHANG, X. **Fabrication of polymeric nanocapsules from curcumin-loaded nanoemulsion templates by self-assembly**. Ultrasonics Sonochemistry, vol. 23, pg. 81– 92, 2015.

ABCOBRE – Associação Brasileira do Cobre. **O Poder do Cobre.** ABCobre Artigos, 2021. Disponível em: www.abcobre.org.br/o-poder-do-cobre/ Acesso em 12 jun. 2023.

ABREU, A. **Estudo do poder antioxidante em infusões de ervas medicinais**. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Dissertação de Mestrado, Santa Maria, RS, 2013. Disponível em: www.repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5742/ABREU%2c%20LUCIANA%20DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 10 junho 2022

AFKHAMI, F.; FORGHAN, P.; GUTMANN, J.L.; KISHEN, A. **Silver Nanoparticles and Their Therapeutic Applications in Endodontics: A Narrative Review**. *Pharmaceutics* 2023, *15*, 715.

ALVES DOS SANTOS, C.E. **Síntese e Caracterização de nanopartículas metálicas e suas aplicações em biologia.** Programa de Pós-Graduação em Materiais, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Alagoas, Maceió, 2015.

ALBUQUERQUE, A. P. **Avaliação do uso de chás (Camellia sinensis) e infusão da casca de cebola (Allium cepa L.) como corantes naturais para tingimento de tecidos de algodão**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013.

ALJELEHAWY, Q.A.H.; KARIMI, N.; NALAVI, M. **Comparison of antibacterial and cytotoxic activities of phytosynthesized ZnONPs by leaves extract of Daphne mucronata at different salt sources.** Materials Technology, nº 36, pg. 1-13, 2020.

AL-SHABIB, N. *et al*. **Biogenic synthesis of Zinc oxide nanostructures from Nigella sativa seed: Prospective role as food packaging material inhibiting broad-spectrum quorum sensing and biofilm**. Scientific Reports, nº 6, 2016.

AL-OTIBI, F.; AL-AHAIDIB, R.; ALHARBI, R.; AL-OTAIBI, R.; ALBASHER, G. **Antimicrobial Potential of Biosynthesized Silver Nanoparticles by Aaronsohnia factorovskyi Extract.** Molecules, 2020.

ALIZAD OGHYANOUS, F. **Nanoparticles in Wastewater Treatment [Internet]. Water Conservation - Inevitable Strategy**. IntechOpen; 2022. Available from: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.100239

ANTUNES FILHO, S.; BACKX, B. P. **Nanotecnologia e seus impactos na sociedade.** Revista Tecnologia e Sociedade, vol. 16, nº40, 2020.

ANTUNES FILHO, Sérgio; SANTOS, Mayara Santana dos; BACKX, Bianca Pizzorno. **É possível falar de nanotecnologia na escola? Uma proposta de artigo científico para crianças e adolescentes**. Revista Educação Pública, Rio de Janeiro, v. 23, nº 20, 30 de maio de 2023.

ARAUJO L.M.P.; AGUIAR J.D.; TOMA S.H.; ARAKI, K.; MEDEIROS, I.S. **Avaliação da resistência de união à dentina de um adesivo com nanopartículas de prata associado ao uso de nanopartículas de hidroxiapatita**. Brazilian Oral Research. 2022.

ARGENTA, S.C.; ARGENTA, L.C.; GIACOMELLI, S.R.; CEZAROTTO, V.S. **Plantas medicinais: cultura popular versus ciência.** Vivências: Revista Eletrônica de Extensão da URI., vol. 7, nº 12, pg. 51-60, 2011.

ARNOSO, B.J.M.; COSTA, G.F.C.; SCHMIDT, B. **Bioavailability, and classification of phenolic compounds.** Nutrição Brasil, vol. 18, nº 1, 2019.

ARYA, S.K.; SAHA, S.; RAMIREZ-VICK, J.E.; GUPTA, V.; BHANSALI, S.; SINGH, S.P. **Recent advances in ZnO nanostructures and thin films for biosensor applications: review**. Anal Chim Acta., vol. 6, nº 737, pg. 1-21, 2012.

ASSIS, L.M.; ZAVAREZE, E.R.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C.; SOUZA-SOARES, L.A. **Características de nano partículas e potenciais aplicações em alimentos.** Brazilian Journal of Food Technology, vol. 15, nº 2, p. 99-109, 2012.

ATTIA, Y. A.; BUCETA, D.; REQUEJO, F. G.; GIOVANETTI, L. J.; LÓPEZ-QUINTELA, M. A. **Photostability of gold nanoparticles with different shapes: the role of Ag clusters.** Nanoscale, vol. 26, 2015.

ÁVILA, S. et al. **Compostos Bioativos Presentes Nos Chás Verde e Preto**. Revista UNILUS Ensino e Pesquisa, vol. 14, nº37, pg. 47–57, 2017.

AZEVEDO, R. S. A.; TEIXEIRA, B. S.; SAUTHIER, M. C. S.; SANTANA, M. V. A.; SANTOS, W. N. L.; SANTANA, D.A. **Multivariate analysis of the composition of bioactive in tea of the species Camellia sinensis**. Food Chemistry, v. 273, p. 39-44, 2019.

BACKX, B. P. **Green nanotechnology: only the final product that matters?** Natural Product Research, 36:13, pg. 3507-3509, 2022

BACKX, B.P. **The Role of Biosynthesized Silver Nanoparticles in Antimicrobial Mechanisms**. Current pharmaceutical biotechnology 2021.

BAZ, M.G.; ELMARHOUMY, S.M.; SAIED, E.M.; ZOGHROBAN, H.S. **Evaluation of the Efficacy of Gold Nanoparticles on Giardia Lamblia Infection in Experimental Animals**. Experimental Parasitolog, 2022.

BENEDITO, A.S.; SILVA, F.F.; SANTOS, I.V.S. **Nanopartículas de Prata: Aplicações E Impacto Ambiental**. Revista Oswaldo Cruz, vol. 16, 2016.

BENELLI, G. **Gold nanoparticles – against parasites and insect vectors**. Acta Tropical, vol. 178, pg. 73-80, 2018.

BOIKO, Leonardo. **Breve história do chá no Japão**. São Paulo: Universidade de São Paulo, PG. 5-6, 2011.

BONIFÁCIO, B. V.; SILVA, P. B.; RAMOS, M. A. S.; NEGRI, K. M. S.; BAUAB, T. M.; CHORILLI, M. **Nanotechnology-Based Drug Delivery Systems and Herbal Medicines: A Review**. International Journal of Nanomedicine, vol. 9, pg. 1-15, 2014.

BRAIBANTE, M. E. F.; SILVA, D.; BRAIBANTE, H. S.; PAZINATO, M. S. **A química dos chás.** Química e Sociedade, São Paulo, vol. 36, nº 3, p. 168-175, 2014.

BRASIL. BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR BRASIL, 2018.

BRENELLI, E.C.S. **A extração de cafeína em bebidas estimulantes** – uma nova abordagem para um experimento clássico em química orgânica. Química Nova, v. 26, n. 1, p. 136-138, 2003.

BRÜCKNER, M.; WESTPHAL, S.; DOMSCHKE, W.; KUCHARZIK, T.; LÜGERING, A. **Green tea polyphenol epigallocatechin-3-gallate shows therapeutic antioxidative effects in a murine model of colitis**. J. Crohns.Colitis, vol. 6, pg. 226–235, 2012.

CAMARGO, L.E.A. **Avaliação das atividades antioxidante e antifúngica da Camellia sinensis (L.) Kuntze obtida por diferentes formas de produção**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós -Graduação em Ciências Farmacêuticas. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Curitiba, 2011

CAMBRUSSI, A. N. C. O.; CONCEIÇÃO, I. D.; FREITAS, A. R.; SANTOS, P. S.; SOUSA, R. R. M.; EIRAS, C.; RIBEIRO, A. B. **The role of nanotechnology in reducing oxidative stress: a review.** Boletim Informativo Geum, v. 9, nº 2, p. 1-11, 2018.

CARMO, J. L.; SILVESTRE, M. D. **Design emocional aplicado no desenvolvimento de embalagens para chá**. Monografia (Bacharel em Design). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7755.

CERQUEIRA, M. A.; VICENTE, A. A.; TEIXEIRA, J. A. **Nanotecnologia na Indústria Alimentar.** Ingenium, Braga, Portugal. Nanotecnologias, dezembro, 2011.

CHANG, K.; BRATTLOF, M. **Socio-economic implications of climate change for tea-producing countries. Market and Policy Analyses of Raw Materials, Horticulture and Tropical (RAMHOT),** Products Team, Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, p. 11. 2015.

CHENG, T.O. **All teas are not created equal**. The Chinese green tea and cardiovascular health. International Journal of Cardiology, vol. 108, n. 3, pg. 301-308, 2006.

CHEN, X. et al. **Visible-Light-Driven Oxidation of Organic Contaminants in Air with Gold Nanoparticle Catalysts on Oxide Supports**. Angewandte Chemie, v. 120, n. 29, p. 5433–5436, 7 jul. 2008.

CODEVILLA, C.F.; BAZANA, M.T.; BONA DA SILVA, C.; BARIN, J.S.; MENEZES, C.R. **Nanoestruturas contendo compostos bioativos extraídos de plantas.** Ciência e Natura v.37, Ed. Especial-Nano e Microencapsulação de compostos bioativos e probióticos em alimentos, p. 142– 151, 2015.

COMMITTEE, E. S. **Cartilha Nanotecnologia – A manipulação do invisível.** ASA Brasil, Ipê, Serra. Assessoria e Formação em Agricultura Ecológica, 2015.
Scientific Opinion on Guidance on the risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain.

COOK, N.C.; SAMMAN, S. **Flavonoids-Chemistry, Metabolism, Cardioprotective Effects, and Dietary Sources**. The Journal of Nutritional Biochemistry, vol. 7, pg. 66-76, 1996

COTA DE JESUS, T.; SANTOS, G.A.B.; KOZUSNY-ANDREANI, D.I.; FRIAS, D.F.R. **Uso de infusões de plantas medicinais no controle da *Candida albicans* em escovas dentarias**. Revista Cubana de Plantas Medicinales, vol. 24, nº 4, 2021.

COOPER, R.; MORRÉ, D. J.; MORRÉ, D.M. **Medicinal Benefits of Green Tea: Part I. Review of Noncancer Health Benefits.** The Journal of Alternative and Complementary Medicine, vol. 11, nº 3, pg. 521-528, 2005.

CUBO, M.F. **Estudo do potencial antioxidante de extratos hidroalcóolicos de *Pereskia aculeata* (ora-pro-nobis), *Camellia sinensis* (chá verde e chá branco) e suas misturas em matriz lipídica.** Programa de Pós-Graduação, Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2021.

DE FREITAS, I. **Síntese Verde para obtenção de Nanopartículas de Prata a partir de Extratos Naturais**. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/ Escola Politécnica, Trabalho de Conclusão de Curso, 2019.

DEL AGUILA, E. M. **Nanopartículas de Quitosana: Produção, Características Físico-Químicas e Aplicações Nutracêuticas**. Revista Virtual de Química, v. 9, n. 1, 2017

DIDELON, C. **Cartes des goûts, cartes du monde**. Confins, Revista Franco-Brasileira de Geografia, vol. 6, 2009.

DINIZ, P.H.G.D. **Novas estratégias para classificação simultânea do tipo e origem geográfica de chás.** Tese de doutorado. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013. Disponível em: www.repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/7145/1/arquivototal.pdf

DOURADO, G.S. *et al*. **Avaliação da Capacidade Antimicrobiana de Nanopartículas de Prata Sintetizadas com Mel de Abelha**. Ensaios, v. 24, n. 3, p. 305-309, 2020.

DOS SANTOS, Geovana. **Nanotecnologia no ensino de ciências: integrando o saber científico de ponta no ensino fundamental.** Produção didática-pedagógica, Unioeste, Programa de Desenvolvimento Educacional, Unioeste, 2013. Disponível em: www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2013/2013_unioeste_cien_artigo_geovana_dos_santos.pdf

DUBOC, P. P. **Determinação de arsênio, cádmio e chumbo nas folhas e na Infusão de chás de Camellia sinensis comercializados no Rio de Janeiro**, Brasil. Monografia (Especialista em Vigilância Sanitária). Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde da Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2015.

EIBEL, G.S.B.; ZILLY, A.; SILVA, R.M.M.; FERREIRA, H. **Uso da infusão de folhas de *Sonchus oleraceus* para o tratamento de viti**ligo. Research, Society and Development, v. 10, n. 4, 2021.

EMBRAPA. **Portal Embrapa – Nanotecnologia.** Disponível em: www.embrapa.com.br/nanotecnologia Acesso em 10 Ago, 2022

ESPINOZA, F.E.; BARREIRO, J.V.; GARCIA, L.S.; GALARZA, G.V. **Aceitação de uma infusão de Camomila (*Chamaemelum nobile*) com stevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*) com benefícios para a saúde, como alternativa econômica para pequenos empreendedores da cidade de Babahoyo, Ecuador.** Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, vol. 5, nº 2, p. 2163-2171, 2022.

FALLER, A. L.K.; FIALHO, E. **Disponibilidade de polifenóis em frutas e hortaliças consumidas no Brasil.** Artigos Originais. Rev. Saúde Pública, vol. 43, nº 2, pg. 211-218, 2011.

FAN, F.Y.; SANG, L.X.; JIANG, M. **Catechins and their therapeutic benefits to inflammatory bowel disease**. Molecules, vol. 22, nº 3, pg. 484, 2017.

FAO – Food and Agricultura Organization. **Global tea consumption and production are driven by robust demand in China and India,** 2018. Disponível em: http://www.fao.org/news/story/en/item/1136255/icode/ Acesso em: 05 Ago, 2022.

FARRINGTON, R.; MUSGRAVE, I.F.; BYARD, R.W. **Evidence for the efficacy and safety of herbal weight loss preparations**. Journal of Integr. Medicine, vol. 17, nº 2, pg. 87-92, 2019.

FEIJÓ, A.J.L.; LOPES, M.A.L.; SIMIONATO, C.P.; BIAVATTI, M.W.; MARCOS, M.L.; SANTOS, A.P.; TESSER, C.D. **Construção do guia de plantas medicinais de Florianópolis, SC, Brasil**. Interface, Botucatu, vol. 25., 2021.

FOTAKIS, C.; TSIGRIMANI, D.; TSIAKA, T.; LANTZOURAKI, D. Z.; STRATI, I. F.; MAKRIS, C.; TAGKOULI, D.; PROESTOS, C.; SINANOGLOU, V. J.; ZOUMPOULAKIS, P. **Metabolic and antioxidant profiles of herbal infusions and decoctions**. Food Chemistry, v. 211, p. 963-971, 2016.

GEORGIEV, V.; ANANGA, A.; TSOLOVA, V. **Recent advances and uses of grape flavonoids as nutraceuticals**. Nutrients. Vol. 6, nº 1, pg. 391-415, 2014.

GOMES, R. A. **Aplicações da nanotecnologia na indústria de alimentos**. Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2015.

GOMES, Delmárcio; TOMA, Henrique Eisi. **Ensinano**. Ensino no Brasil, 2021. Disponível em: https://www.ensinano.com.br/. Acesso em: 15 de junho de 2023.

GOMES, K. E.; MARTINS, T. A. G.; BOTELHO JUNIOR, A. B.; ESPINOSA, D. C. R.; TENÓRIO, J. A. S. **Estudo da Síntese de Nanopartículas de Cobre metálico por redução química em micro-ondas.** ABM Week, 20º Simpósio de Mineração, São Paulo, 2019.

GONDOIN, A.; GRUSSU, D.; STEWART, D.; MCDOUGAL, G. J. **White and green tea polyphenols inhibit pancreatic lipase in vitro**. Food Research International, vol. 43, n. 5, p.1537-1544, Jun 2010.

GORTZ, O.; LALAS, S.; CHINOU, I.; TSAKNIS, J. **Evaluation of the Antimicrobial and Antioxidant Activities of Origanum dictamnus Extracts before and after Encapsulation in Liposomes**. Molecules, vol. 12, pg. 932-945, 2007.

GREGÓRIO, W.; OLIVEIRA, V.B. A**nálise quimiométrica de infusões medicinais utilizadas popularmente**. Scientific Electronic Archives, vol. 13, nº 6, jul. p. 68-74 2021.

HAMAD, A. F. **The intertwining of nanotechnology with the food industry**. Saudi journal of biological sciences, v. 25, n. 1, p. 27-30, 2018.

HAMMAMI, I.; ALABDALLAH, N. M.; JOMAA, A. A.; KAMOUN, M. **Gold nanoparticles: Synthesis properties and applications**. Journal of King Saud University, Science, vol. 33, nº 7, 2021.

HILAL, Y.; ENGELHARDT, U. **Characterisation of white tea –Comparison to green and black tea**. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, vol. 2, nº 4, pg. 414-421, 2007.

HORST, M.A.; CRUZ, A.C.; LAJOLO, F.M. **Biodisponibilidade de compostos bioativos de alimentos**. In: Biodisponibilidade de Nutrientes, Barueri: Manole, 2016

IISD. Instituto Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (IISD). Global Market Report: Tea. Manitoba, Canadá, 2019.

ISO 20715:2023 **TEA - Classification Of Tea.** typeshttps://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:20715:ed-1:v1:en/acesso: 20/11/2023

JANKUN, J.; SELMAN, S.H.; SWIERCZ, R.; SKRZYPCZAK-JANKUN, E. **Why drinking green tea could prevent cancer**. Nature, 1997.

KO, W.C.; WANG, S.J.; HSIAO, C.Y.; HUNG, C.T.; HSU, Y.J.; CHANG, D.C.; HUNG, C.-F. **Pharmacological Role of Functionalized Gold Nanoparticles in Disease Applications**. *Molecules* , vol. *27*, nº 1551, 2022.

KOHATSU, M.Y.; LANGE, C. N.; PELEGRINO, M. T.; PIERETTI, J. C.; TORTELLA, G.; RUBILAR, O.; BATISTA, B. L.; SEABRA, M. B.; ARAUJO DE JESUS, T. **Foliar spraying of biogenic CuO nanoparticles protects the defence system and photosynthetic pigments of lettuce *(Lactuca sativa).*** Journal of Cleaner Production, vol. 324, 2021.

KUAN, C. Y.; YEE-FUNG, W.; YUEN, K. H.; LIONG, M.T. **Nanotech: Propensity in Foods and Bioactives**. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, vol. 52, nº 1, p. 55-57, 2011.

LAMARÃO, R.C.; FIALHO, E. **Aspectos funcionais das catequinas do chá verde no metabolismo celular e sua relação com a redução da gordura corporal.** Ver. Nutrição, vol. 22, n. 2, 2009.

LAZARY, V.M.D. **Efeitos do consumo do isoflavona na prevenção do câncer de mama**. Universidade de Brasília, Faculdade de Ciências da Saúde, Núcleo de Estudos em Educação e Promoção da Saúde, Monografia, NESPROM, Brasília, 2010.

LAZZARETTI, L.L.; HUPFFER, H.M. **Nanotecnologia e sua regulamentação no Brasil.** Revista Gestão e Desenvolvimento, vol. 16, nº 3, p. 153-177, 2019

LEE, K.W.; LEE, H.J. **The roles of polyphenols in cancer chemoprevention**. BioFactors, vol. 26, pg.105–121, 2016.

LEWISOSCAR, F.; MUBARAKALI, D.; NITHYA, C.; PRIYANKA, R.; GOPINATH, V.; ALHARBI, N.S.; THAJUDDIN, N. **One Pot Synthesis and Anti-Biofilm Potential of Copper Nanoparticles (CuNPs) against Clinical Strains of Pseudomonas Aeruginosa**. Biofouling, vol. 31, pg. 379–391, 2015.

LIMA, B.B.; FERNANDES, F. **Uso e diversidade de plantas medicinais no município de Aracati/CE, Brasil.** Journal of Applied Pharmaceutical Sciences, vol 7, p. 24-42, 2020.

LOPES, S.A.; DUARTE, L.T.O.; RODRIGUES, J.L.G. **Effects of consumption of green tea or green tea extract as slimming: a literature review.** Revista Fitos, Rio de Janeiro. 2022.

LUOMA, S. N. **Silver Nanotechnologies and The Environment: Old Problems Or New Challenges?** Woodrow Wilson International Center for Schollars. Project on Emerging Nanotechnologies, 2008.

MAGALHÃES, B. E. A.; SANTOS, W. N. L. **Capacidade antioxidante e conteúdo fenólico de infusões e decocções de ervas medicinais.** Produtos Naturais e suas aplicações – da comunidade para o laboratório, Capítulo 15, p. 234-347, Editora Científica Digital, 2018.

MANACH, C.; SCALBERT, A.; MORAND, C.; RÉMÉSY, C.; JIMÉNEZ, L. **Polyphenols: food sources and bioavailability**. Am. Journal Clin. Nutr., vol. 79, nº 5, pg. 727-747, 2004.

MARCATO, P.D. **Preparação, caracterização e aplicações em fármacos e cosméticos de nanopartículas lipídicas sólidas.** Revista Eletrônica de Farmácia, vol. IV, nº 2, p. 01-37, 2009.

MATSUI, T. **Condensed catechins and their potential health benefits**. Eur. J. Pharmacol, vol. 765, pg. 495–502, 2015.

MAURICIO, A.C. **Diagnóstico dos efeitos e riscos do uso de plantas medicinais durante a pandemia, Amaturá, Amazonas, Brasil.** Licenciatura em Ciências e Biologia, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Amazonas, 2022.

MEC – Ministério da Educação. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio** - Volume 2. Volume 2.pdf (mec.gov.br)

MELO JR., M.A.; SANTOS, L.S.S.; GONÇALVES, M.C.; NOGUEIRA, A.F. **Preparação de nanopartículas de prata e ouro:** método simples para introdução da nanociência em laboratorio de ensino. Revista Química Nova, vol. 35, nº 9, 2012.

MERKEN, H. M.; BEECHER, G. R. **Measurement of food flavonoids by high-performance liquid chromatography: a review**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 48, n. 3, p. 577-599, 2000.

MILEZI, B. **Nanopartículas de ouro no tratamento de doenças.** NanoEach, USP, 2023. Disponível em: www.each.usp.br/nanoeach/?p=2721. Acesso em 10 de Ago. 2023.

MIRANDA, A.S. **A utilização do chá verde para o emagrecimento: uma breve revisão.** Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Graduação em Farmácia, Trabalho de Conclusão de Curso, 2013.

MISIRLI, G.M.; PATRICIO, B.F.C.; ABRANTES, S.M.P. **Nanopartículas de Prata para uso Bactericida: Fatores Extrínsecos e Intrínsecos para Aumento da Estabilidade**. Revista Virtual de Química, v. 14, n. 5, 2022.

MORAIS, S. M.; CAVALCANTI, E. S. B.; COSTA, S. M. O.; AGUIAR, L. **A. Ação antioxidante de chás e condimentos de grande consumo no Brasil.** Revista Brasileira de Farmacognosia, v. 19, p. 315-320, 2009.

MORADI, F.; SEDAGHAT, S.; MORADI, O.; SALMANABADI, S. **Review on green nano-biosynthesis of silver nanoparticles and their biological activities: with an emphasis on medicinal plants**. Inorganic and Nano-Metal Chemistry, nº 51. pg. 1-10. 2020.

MUSAFER H. Al-Ardi. **The uses of gold nanoparticles and Citrullus colocynthis L. nanoparticles against Giardia lamblia in vivo.** Clinical Epidemiology and Global Health, Volume 8, Issue 4, pages 1282-1286, 2020.

MUTHUMANI, T.; SENTHIL, R.S.K. **Influence of fermentation time on the development of compounds responsible for quality in black tea**. Food Chem., vol. 101, pg. 98–102, 2007.

NAIR, P. M. G.; CHUNG, M. **Study on the correlation between copper oxide nanoparticles induced growth suppression and enhanced lignification in Indian mustard (*Brassica juncea L*.).** Ecotoxicology and Environmental Safety, vol. 113, p. 302-313, 2015.

NAIKA, H.R.; LINGARAJU, K.; MANJUNATH, K.; KUMAR, D.; NAGARAJU, G.; SURESH, D.; NAGABHUSHANA, H. **Green synthesis of CuO nanoparticles using Gloriosa superba L. extract and their antibacterial activity**. Journal of Taibah University for Science, vol. 9, Issue 1, p. 7-12, 2015.

NAMITA, P.; MUKESH, R.; VIJAY, K.J. **Camellia Sinensis (Green Tea): A Review.** Global Journal of Pharmacology, vol. 6, nº 2, pg. 52-59, 2012.

NEVES, M.A.; HASHEMI, J.; PRENTICE, C. **Development of novel bioactives delivery systems by micro/nanotechnology**. Current Opinion in Food Science, vol. 1, pg. 7-12, 2015.

OEC. The Observatory of Economic Complexity. The Atlas of Economic Complexity – Mapping paths to prosperity. OEC, 2018.

OLIVEIRA, V.P.; ESPESCHIT, A.C.R.; PELUZIO, M.C.G. **Flavonoides e doenças cardiovasculares: ação antioxidante.** Rev Med Minas Gerais, vol. 16, nº 4, pg 234-238, 2006.

OLIVEIRA, J.V.R.; GNOATTO, J.A.; AGUIRRE, T.A.S. **Nanopartículas de sílica ($NPSiO_2$) utilizadas para o tratamento de distúrbios associados ao sistema nervoso central (SNC).** Quim. Nova, Vol. XY, No. 00, 1-13, 2023.

OKAKURA, K. **The tea books**. Stone Bridge Press, Yohan Classics, Fifht version, California, 2011.

OZGUR, U.; ALIVOV, Ya. I.; LIU, C.; TEKE, A.; RESHCHIKOV, M. A.; DOGAN, S.; AVRUTIN, V.; CHO, S.-J.; MORKOC, H. **A comprehensive review of ZnO materials and devices***.* Journal of Applied Physics, vol. 98, nº 4, pg. 41301-41395, 2005.

PAGANINI-COSTA, P.; CARVALHO DA SILVA, D. **Uma xícara (chá) de química.** Rev. Virtual Quim., vol. 3, nº 1, pg. 27-36, 2011.

PEREIRA, Fábio Delgado; HONÓRIO, Káthia M.; SANNOMIYA, Miriam. **Nanotecnologia: Desenvolvimento de Materiais Didáticos para uma Abordagem no Ensino Fundamental.** Química Nova na Escola, vol. 32, n° 2, 2010.

PÉREZ, M. G. F.; ROCHA-GUZMÁN, N. E.; MERCADO-SILVA, E.; LOARCA-PIÑA, G.; REYNOSO-CAMACHO, R. **Effect of chemical elicitors on peppermint (Mentha piperita) plants and their impact on the metabolite profile and antioxidant ability to result in infusions**. Food Chemistry, v. 156, p. 273-278, 2014.

PERUMALLA, A.V.S.; HETTIARACHCHY, N. **Green tea and grape seed extracts – Potencial applications in food safety and quality.** Food Research International, 2011

POLYCHRONOPOULOS, E.; ZEIMBEKIS, A.; KASTORINI, C.M.; PAPAIRAKLEOUS, N.; VLACHOU, I.; BOUNTZIOUKA, V.; PANAGIOTAKOS, D.B. **Effect of black and green tea consumption on blood glucose levels in non-obese elderly men and women from Mediterranean islands**. Medis Epidemiological Study. Eur J Nutr., vol. 47, pg. 10-60, 2008.

PRASHER, P.; MUDILA, H. **Silver nanoparticles as antimicrobial therapeutics: current perspectives and future challenges.** Biotech, 2018.

RABELO, D.M. **Determinação Da Atividade Antioxidante In Vitro Das Bebidas de Café e Chás Verde e Preto**. Artigos Originais. Rev. Saúde Pública, vol. 36, nº 2, pg. 167–171, 2014.

RAVISHANKAR, D.; RAJORA, A. K.; GRECO, F.; OSBORN, H. M. **Flavonoids as prospective compounds for anti-cancer therapy**. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, v. 45, n. 12, p. 2821-2831, 2013.

RIETVELD, A.; WISEMAN, S. **Antioxidant effects of tea: evidence from human clinical trials.** The Journal of nutrition, vol.133, nº 10, pg. 3285S-3292S, 2003.

RODRIGUES DA COSTA, O.B.; TINOCO, T.M.L. **Chadô: um caminho percursor da filosofia e estética no *Chanoyu*.** Revista do Instituto de Ciências Humanas, vol. 13, nº 18, 2017.

RODRIGUES DA SILVA, L.; MARTINS, L.V.; BANTIM, I.F.C.; MEIRELES DE DEUS, M.S.; FERREIRA, P.M.P.; PERON, A.P. **Flavonóides: constituição química, ações medicinais e potencial tóxico**. Acta toxicológica argentina, vol. 23, nº. 1, pg. 36-43, 2015.

RHOMER, F. **O livro do chá**. Trad. M. Dadonas. São Paulo: Aquariana, 2002.

SCHMITZ, W.; SAITO, A.Y.; ESTEVÃO, D.; SARIDAKIS H.D. **O chá verde e suas ações como quimioprotetor.** Semina: Ciências Biológicas e da Saúde, Londrina, vol. 26, nº. 2, p.119-130, jul./dez. 2005.

SENGAN, M.; SUBRAMANIYAN, S.B.; ARUL-PRAKASH, S.; KAMLEKAR, R.; VEERAPPAN, A. **Effective elimination of biofilm formed with waterborne pathogens using copper nanoparticles**. Microb Pathog., vol. 127, p. 341-346, 2019.

SHARMA, K.; BARI, S.S.; SINGH, H.P. **Biotransformation of tea catechins into theaflavins with immobilized polyphenol oxidase**. J Mol Catal B: Enz., vol. 56, nº 4, pg. 253-258, 2009.

SIDDIQI, K.; HUSEN, A.; RAO, R. **A review on biosynthesis of silver nanoparticles and their biocidal properties**. Journal of Nanobiotechnology, 2018.

SILVA, S.R.S.; OLIVEIRA, T.T.; NAGEM, T.J. **Uso do chá preto (Camellis sinensis) no controle do diabetes mellitus.** Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada, vol. 3, nº 3, pg. 13-142, 2010.

SILVA, Suzeley Leite Abreu; VIANA, Marcelo Machado; MOHALLEM, Nelcy Della Santina. **Afinal, o que é Nanociência e Nanotecnologia? Uma Abordagem para o Ensino Médio.** Química Nova na Escola, vol. 31, n° 3, 2009.

SILVA, R. DE F. E (ED.). **Introdução a Nanociência e Nanotecnologia**. São Paulo - SP: Senai Editora, p. 188- 197, 2014.

SILVA, T.M.; PINTO, G.S. **Nanotecnologia e sua influência na medicina.** Interface Tecnológica, vol. 17 nº 2, 2020.

SILVA, L.R.; VILELA, D.M. **Tea technology and its process: a review.** Revista UNINGÁ Review, vol. 34, nº 2, 2019.

SILVA, V.M.; COSTA, I.F.; DIAS DE BARROS, R.C.; ALMEIDA, C.G.; GONZAGA, M.F.N. **Nanotecnologia aplicada ao tratamento do câncer.** Revista Saúde em Foco, Edição nº 13, 2021.

SIMÕES, M.F.G. **Relação benefício/risco do consumo de chá preto e chá verde: os antioxidantes e os estimulantes.** Dissertação de Mestrado, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2020.

SIMÕES, C.M.O.; SCHENKEL, E.P.; GOSMANN, G.; MELLO, J.C.P.; MENTZ, L.A.; PETROVICK, P.R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5ª Edição, Revista Porto Alegre: UFRGS/UFSC, 2003.

SINGH, V.; VERMA, D.K.; SINGH, G. **Processing Technology and Healthy benefits of green tea.** Popular Kheti, vol. 2, issue 1, 2014.

SINTRA, R. **A importância da nanotecnologia para a saúde**. Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo - IFSC/USP, 2019. Disponível em: www2.ifsc.usp.br/portal-ifsc/a-importancia-da-nanotecnologia-para-a-saude/. Acesso em: 09 Ago, 2022.

SOLOMON, S.D.; BAHADORY, M.; JEYARAJASINGAM, A.V.; ROTKOWSKY, S.A.; BORITZ, B.; MULFINGER, L. **Synthesis and study of silver nanoparticles.** Journal of Chemical Education, vol. 84, nº2, pg. 322-325, 2007.

SOUZA, A.O. de. **Síntese e caracterização de nanopartículas de prata com atividade Anti-Trypanosoma cruzi que contém fucana A da alga Spatoglossum schröederi**. Dissertação, Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em: Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SOSHITSU E.N. **Vivência e Sabedoria do Chá**. São Paulo, T.A. Queiroz Editor, 1981.

SPADREZANO, I; de FREITAS, L.F.; BATISTA, J.G.; SOUSA, T. D.; LUGAO, A.B. **Aplicação de nanopartículas de ouro preparadas com ácido tânico em células cancerígenas.** IPEN, Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2023.

SUPERBAC. [webpage] **O que são compostos bioativos e qual sua importância para a saúde?** Blog Ambiental, Biosolutions, 2022. Disponível em: www. superbac.com.br/blog/o-que-sao-compostos-bioativos-e-qual-sua-importancia-para-a-saude/ Acesso em: 15 jun. 2022

TETTEY, C.O.; SHIN, H. **Evaluation of the Antioxidant and Cytotoxic Activities of Zinc Oxide Nanoparticles Synthesized Using Scutellaria baicalensis Root**. Scientific African, vol. 6, 2019.

TOMA, Henrique E. **O mundo nanométrico: a dimensão do novo século**. 2ª ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2009.

TOKARNLA, MARLANA. Fiocruz e Mapa mapeiam produção de plantas medicinais no Brasil. Agência Brasil, Saúde, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: www.agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2021-05/fiocruz-e-mapa-mapeiam-producao-de-plantas-medicinais-no-brasil. Acessado em 15 de jun. 2023.

TOMKELSKI, M. L.; FAGAN, S. B.; SCREMIN, G. **Ensino de Nanociência e Nanotecnologia: perspectivas manifestadas por professores da educação básica e superior.** Ciênc. Educ., Bauru, v. 25, n. 3, pg. 665-683, 2019.

UN - United Nations. **Consumo de chá aumenta no mundo, graças à demanda da Índia e da China.** ONU News, Desenvolvimento econômico, 2018. Disponível em: www.news.un.org/pt/story/2018/05/1625141 Acesso em: 20 de jun. 2022.

VALLE, Leonardo. **Cartilha da USP explica nanotecnologia para estudantes do ensino médio**. Instituto Claro, Educação, 2019. Disponível em: https://www.institutoclaro.org.br/educacao/nossas-novidades/noticias/cartilha-da-usp-explica-nanotecnologia-para-estudantes-do-ensino-medio/. Acesso em: 15 jun. 2023.

VELDERRAIN-RODRÍGUEZ, G.R.; PALAFOX-CARLOS, H.; WALL-MEDRANO, A. **Phenolic compounds: their journey after intake**. Food Funct., vol. 5, nº 2, pg.189-197, 2014.

VIANA, A.V.; VIANA, D.S.F.; FIGUERÊDO, G.S.; BRITO, J.E.; VIANA, V.G.F.; VIANA JUNIOR, V.G.F. **Potencial antimicrobiano das nanopartículas de prata estabilizadas em curcumina e extrato de folhas de cajueiro (Anacardium occidentale L.).** Research, Society and Development, v. 10, n. 9, 2021.