

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 27/01/2028.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
Instituto de Química – Câmpus de Araraquara**

BIANCA SILVA BRAS

**Síntese verde de nanopartículas utilizando extrato padronizado de *Avena sativa* L.
(Neuravena®) como biorredutor, avaliação das atividades antioxidante, antiglicante e
antienvhecimento**

Araraquara
2026



BIANCA SILVA BRAS

Síntese verde de nanopartículas utilizando extrato padronizado de *Avena sativa* L. (Neuravena[®]) como biorredutor, avaliação das atividades antioxidante, antiglicante e antienvhecimento

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara, para obtenção do título de Mestra em Biotecnologia.

Área de Concentração: Biotecnologia

Orientador: Prof. Dr. Regildo Márcio Gonçalves da Silva

Araraquara

2026

B823s Bras, Bianca Silva
Síntese verde de nanopartículas utilizando extrato padronizado de Avena sativa L. (Neuravena®) como biorredutor, avaliação das atividades antioxidante, antiglicante e antienvhecimento / Bianca Silva Bras. -- Araraquara, 2026
106 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara
Orientador: Regildo Márcio Gonçalves da Silva

1. compostos bioativos. 2. fitoterapia. 3. envelhecimento. 4. materiais nanoestruturados. 5. radicais livres. I. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa promove a síntese verde de nanopartículas de prata, ferro e selênio obtidas com extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. O trabalho apresenta potencial impacto científico e inovador ao empregar metodologias sustentáveis no campo da biotecnologia, com possíveis aplicações nas áreas farmacêutica, cosmética e alimentícia. Esses avanços favorecem a saúde e o bem-estar social, além de reduzir impactos ambientais e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research promotes the green synthesis of silver, iron, and selenium nanoparticles obtained from standardized dry extract of *Avena sativa* L. The work has potential scientific and innovative impact by employing sustainable methodologies in the field of biotechnology, with possible applications in the pharmaceutical, cosmetic, and food industries. These advances promote health and social well-being, in addition to reducing environmental impacts and contributing to sustainable development.


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Síntese verde de nanopartículas utilizando extrato padronizado de *Avena sativa* L. (Neuravena®) como biorredutor, avaliação das atividades antioxidante, antiglicante e antienvhecimento


AUTORA: BIANCA SILVA BRAS

ORIENTADOR: REGILDO MÁRCIO GONÇALVES DA SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Biotecnologia, pela Comissão Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
REGILDO MÁRCIO GONÇALVES DA SILVA
Data: 15/02/2026 13:35:19-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. REGILDO MÁRCIO GONÇALVES DA SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Biotecnologia / Faculdade de Ciências e Letras - UNESP - Assis

 Documento assinado digitalmente
NILSON NICOLAU JUNIOR
Data: 26/01/2026 15:23:02-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. NILSON NICOLAU JUNIOR (Participação Virtual)
Instituto de Biotecnologia - IBTEC / Universidade Federal de Uberlândia - UFU - Uberlândia



Prof. Dr. PAULO EDUARDO AMARAL DEBIAGI (Participação Virtual)
Universidade de Nottingham - UNNC - China

Araraquara, 26 de janeiro de 2026.

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO	
Nome	Bianca Silva Bras
Currículo Lattes	http://lattes.cnpq.br/2089339361139038
ORCID	https://orcid.org/0000-0002-3468-7379
FORMAÇÃO ACADÊMICA	
Formação acadêmica (Química Industrial – Bacharelado e Licenciatura) Fundação Educacional do Município de Assis (FEMA)	
PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA	
<p>BRAS, B. S.; PEREIRA, I. N.; ZIBORDI, L. C.; ROSATTO, P. A. P.; SANTOS, H. H.; GRANERO, F. O.; FIGUEIREDO, C. C. M.; FARIA, M. L.; XIMENES, V. F.; MORAES, R. O.; SANTIAGO, P. S.; NICOLAU-JUNIOR, N.; SILVA, L. P.; SILVA, R. M. G. Green synthesis of silver nanoparticles using food supplement from <i>Avena sativa</i> L., and their antioxidant, antiglycation, and anti-aging activities: <i>In vitro</i> and <i>in silico</i> studies. Food and Bioproducts Processing, v.147, p.175-188, 2024. DOI https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.06.013 Disponível em <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960308524001251>.</p> <p>BRAS, B. S.; GRANERO, F. O.; FIGUEIREDO, C. C. M.; ZIBORDI, L. C.; SILVA, R. M. G. Biofabricação de nanopartículas metálica (ferro) mediadas por extrato aquoso de <i>Avena sativa</i> L. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS ON-LINE (CONBRACIB), 5, Nova Olinda/CE. Anais do V Congresso Brasileiro de Ciências Biológicas On-line. Editora Integrar, 2024, p.591. DOI 10.51189/conbracib2024/42687</p>	
PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS	
<p>Autoria: V CONGRESSO DIGITAL DE NANOBIOTECNOLOGIA E BIOENGENHARIA, 2024. Síntese verde de nanopartículas de prata obtidas a partir de (Neuravena[®]) e avaliação da atividade anti-radicalar. 2024. (Resumo simples e e-pôster).</p> <p>V CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, 2024, Nova Olinda/CE. Biofabricação de nanopartículas metálica (ferro) mediadas por extrato aquoso de <i>Avena sativa</i> L. 2024 (Modalidade on-line).</p> <p>VI CONGRESSO DIGITAL DE NANOBIOTECNOLOGIA E BIOENGENHARIA. 2025. Nanopartículas de selênio, ecologicamente obtidas com extrato de <i>Avena sativa</i> L. e avaliação contra o estresse oxidativo. 2025. (Resumo simples e e-pôster).</p> <p>XIII CONGRESSO FARMACÊUTICO DA UNESP E IX JORNADA DE BIOPROCESSOS E BIOTECNOLOGIA, 2025, Araraquara/SP. Biossíntese de nanopartículas de ferro mediada por fitoterápico a base de <i>Avena sativa</i> L. e subsequente</p>	

avaliação da atividade antioxidante. 2025. (Apresentação de painel).

Menção honrosa:

XIII CONGRESSO FARMACÊUTICO DA UNESP E IX JORNADA DE BIOPROCESSOS E BIOTECNOLOGIA, 2025, Araraquara/SP. Biossíntese de nanopartículas de ferro mediada por fitoterápico a base de *Avena sativa* L. e subsequente avaliação da atividade antioxidante. 2025. (Menção honrosa – categoria Pós-Graduação).

Outros

Avaliadora:

1ª FASE DO XXXVI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP. 2024 (Avaliadora).

Minicurso:

VI CONGRESSO DIGITAL DE NANOBIOTECNOLOGIA E BIOENGENHARIA, 2025. Minicurso: Aprenda a Aprender Nano&Bio. 2025.

Estágio de curta duração:

Estágio de curta duração no Laboratório de Biomoléculas e no Laboratório do Instituto de Estudos Avançados do Mar “Prof. Dr. Peter Christian Hackspacher” (IEAMar), da Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Câmpus de Registro, no período de 11 de agosto de 2025 a 22 de agosto de 2025, sob orientação da Profa. Dra. Patrícia Soares Santiago. O estágio teve carga horária total de 80 (oitenta) horas, durante as quais foram desenvolvidas atividades relacionadas à caracterização de nanopartículas, com ênfase nos estudos por espalhamento de luz dinâmico e fluorescência.

Palestra ministrada:

Da Graduação ao Mestrado: Carreira Acadêmica e a Atuação do Químico na Biotecnologia. XVII Fórum Científico, realizado pelo Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis (IMESA), unidade de ensino da Fundação Educacional do Município de Assis (FEMA), nos dias 07 e 08 de outubro de 2024.

Mesa redonda:

Mesa Redonda “Trajetória e Carreira com Egressos da Química”, durante o XVII Fórum Científico, realizado pelo Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis (IMESA), unidade de ensino da Fundação Educacional do Município de Assis (FEMA), nos dias 07 e 08 de outubro de 2024.

Coautoria:

XIII CONGRESSO FARMACÊUTICO DA UNESP E IX JORNADA DE BIOPROCESSOS E BIOTECNOLOGIA. 2025, Araraquara/SP. Síntese verde de nanopartículas de prata mediadas por extrato de *Copaifera langsdorffii*: avaliação da atividade herbicida e fitotóxica. 2025. (Apresentação de painel).

*“Dedico este trabalho à minha família,
por todo amor, incentivo e presença
constante ao longo de toda esta
trajetória”*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, fonte de força, sabedoria e serenidade em todas as etapas desta jornada. À Virgem Maria, expresso minha profunda gratidão por sua constante intercessão, especialmente nos momentos de maior desafio.

Aos meus pais e ao meu irmão, dedico minha eterna gratidão. Ao meu pai, por todo apoio incondicional e por ser meu porto seguro sempre que precisei. À minha mãe, por ter sido a voz que acreditou em mim quando eu mesma duvidei, oferecendo amor, incentivo e a coragem necessária para seguir em frente.

Aos meus padrinhos, meus sinceros agradecimentos a cada gesto de carinho, a cada ligação ou mensagem, a cada palavra de conforto e a todos os votos de confiança. Mesmo à distância, nunca deixaram de estar presentes.

Um agradecimento especial ao Professor Dr. Regildo Márcio Gonçalves da Silva. Não há palavras suficientes para expressar minha gratidão por toda oportunidade de aprendizado diário em seu laboratório. Sua confiança, orientação e ensinamentos foram fundamentais para o desenvolvimento e a realização deste trabalho de mestrado.

Aos amigos do laboratório, agradeço a ajuda constante, a parceria no dia a dia e todas as boas risadas que tornaram a rotina científica mais leve e agradável. A presença e o apoio de cada um foram essenciais para a conclusão desta etapa.

Aos professores membros da banca examinadora, agradeço a aceitação do convite para a defesa e as valiosas contribuições que enriqueceram e aprimoraram este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), agradeço pela concessão da bolsa de estudos (Código de Financiamento 88887.939967/2024-00), que possibilitou a realização desta pesquisa.

Por fim, a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a concretização deste trabalho, deixo meu sincero reconhecimento e gratidão.

“Para Deus tudo é possível! E quando eu digo tudo, é tudo!”

(Monsenhor Jonas Abib)

RESUMO

O extrato seco padronizado de *Avena sativa* L., rico em avenantramidas, demonstrou potencial para aplicações no desenvolvimento de novos produtos nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica. As avenantramidas apresentam diversos benefícios à saúde, devido ao potencial na prevenção de danos associados ao estresse oxidativo, à glicação de proteínas e ao envelhecimento precoce. Com o objetivo de potencializar os efeitos do extrato padronizado, foram desenvolvidas novas formulações baseadas na síntese verde de nanopartículas de prata (AgNPs), nanopartículas de ferro (FeNPs) e nanopartículas de selênio (SeNPs), as quais têm despertado crescente interesse acadêmico e industrial. Técnicas como espectrofotometria UV-Visível, Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS), Potencial Zeta (PZ), Índice de Polidispersão (IPD) e Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) foram empregadas para a caracterização das AgNPs, FeNPs e SeNPs sintetizadas a partir do extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. A atividade antioxidante foi avaliada por meio dos ensaios de eliminação do radical DPPH, poder redutor do íon férrico (FRAP), inibição da peroxidação lipídica (TBARS) e eliminação do radical ABTS. Adicionalmente, análises de acoplamento molecular foram conduzidas para avaliar as interações moleculares. Os resultados de caracterização confirmaram a formação das AgNPs, FeNPs e SeNPs. Os ensaios antioxidantes indicaram desempenho positivo para o extrato e para as nanopartículas sintetizadas. Os ensaios *in silico* demonstraram que as avenantramidas apresentaram interações com as enzimas avaliadas. De modo geral, os resultados obtidos indicam o potencial da utilização de extratos padronizados ricos em avenantramidas, derivados de *Avena sativa* L., para o desenvolvimento de novas formulações nanoestruturadas com aplicações nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica.

Palavras-chave: AGEs; fitoterapia; envelhecimento; materiais nanoestruturados; radicais livres.

ABSTRACT

The standardized dry extract of *Avena sativa* L., rich in avenanthramides, has demonstrated potential for applications in the development of new products in the food, cosmetic, and pharmaceutical industries. Avenanthramides have several health benefits due to their potential to prevent damage associated with oxidative stress, protein glycation, and premature aging. With the aim of enhancing the effects of the standardized extract, new formulations were developed based on the green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs), iron nanoparticles (FeNPs), and selenium nanoparticles (SeNPs), which have attracted growing academic and industrial interest. Techniques such as UV-Visible Spectrophotometry, Dynamic Light Scattering (DLS), Zeta Potential (ZP), Polydispersity Index (PDI), and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) were used to characterize the AgNPs, FeNPs, and SeNPs synthesized from the standardized dry extract of *Avena sativa* L. Antioxidant activity was evaluated using DPPH radical scavenging, ferric ion reduction (FRAP), lipid peroxidation inhibition (TBARS), and ABTS radical scavenging assays. Additionally, molecular coupling analyses were conducted to evaluate molecular interactions. The characterization results confirmed the formation of AgNPs, FeNPs, and SeNPs. Antioxidant assays indicated positive performance for the extract and the synthesized nanoparticles. *In silico* tests demonstrated that avenanthramides interacted with the enzymes evaluated. Overall, the results obtained indicate the potential for using standardized extracts rich in avenanthramides, derived from *Avena sativa* L., for the development of new nanostructured formulations with applications in the food, cosmetic, and pharmaceutical industries.

Keywords: AGEs; herbal medicine; aging; nanostructured materials; free radicals.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1** - Alterações na cor da solução durante o processo de síntese verde. (A) extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (ESPA); (B) sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$); (C) Solução de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e ESPA; (D) nanopartículas de ferro (FeNPs) biorremediadas com $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ a 0,02 mol/L, ESPA a 4,0 mg/mL, pH 6 a 50 °C por 30 minutos..... 51
- Figura 2** - Espectro de extinção de nanopartículas de ferro (FeNPs) sintetizados sob diferentes condições: (A) concentração de extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (ESPA), (B) concentração de sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), (C) pH, (D) temperatura/tempo..... 52
- Figura 3** - Espectro de extinção das nanopartículas de ferro (FeNPs) sintetizadas sob os melhores parâmetros: sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,02 mol/L), extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (ESPA, 4,0 mg/mL), pH 6 e 50 °C por 30 minutos. 53
- Figura 4** - Distribuição do tamanho das nanopartículas de ferro (FeNPs) a partir da análise de espalhamento dinâmico de luz (DLS). 55
- Figura 5** - Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR): extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (ESPA, 4,0 mg/mL), nanopartículas de ferro (FeNPs, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ a 0,02 mol/L, ESPA a 4,0 mg/mL, pH 6 a 50 °C por 30 minutos) e sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,02 mol/L). 56
- Figura 6** - Alterações na cor da solução durante o processo de síntese verde. (A) extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (ESPA); (B) selenito de sódio (Na_2SeO_3); (C) Solução de Na_2SeO_3 e ESPA; (D) nanopartículas de selênio (SeNPs) biorremediadas com Na_2SeO_3 a 2,5 mmol/L, ESPA a 5,0 mg/mL, pH 6 a 30 °C por 60 minutos. 58
- Figura 7** - Espectro de extinção de nanopartículas de selênio (SeNPs) sintetizados sob diferentes condições: (A) concentração de extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (ESPA), (B) concentração de selenito de sódio (Na_2SeO_3), (C) pH, (D) temperatura/tempo. 59
- Figura 8** - Espectro de extinção das nanopartículas de selênio (SeNPs) sintetizadas sob os melhores parâmetros: selenito de sódio (Na_2SeO_3 , 2,5 mmol/L), extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (ESPA, 5,0 mg/mL), pH 6 e 30 °C por 60 minutos. 60
- Figura 9** - Distribuição do tamanho das nanopartículas de selênio (SeNPs) a partir da análise de espalhamento dinâmico de luz (DLS). 62
- Figura 10** - Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR): extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (ESPA, 5,0 mg/mL), nanopartículas de selênio (SeNPs,

Na₂SeO₃ a 2,5 mmol/L, ESPA a 5,0 mg/mL, pH 6 a 30 °C por 60 minutos) e selenito de sódio (Na₂SeO₃, 2,5 mmol/L)..... 63

Figura 11 - (A) Porcentagem de grupos amino livres determinada pelo teste OPA. Albumina de soro bovino (BSA), Ribose (RIB), Aminoguanidina (AMG), extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (ESPA) em diferentes concentrações (1,0, 2,0 e 4,0 mg/mL) e nanopartículas de ferro (FeNPs); Colunas com letras iguais representam ausência de diferença significativa pelo teste de Tukey (p≤0,05). (B) Teste da mobilidade relativa em eletroforese (MRE) para avaliação da atividade antiglicante: 1 = BSA; 2 = BSA+RIB; 3 = BSA+RIB+AMG; 4 = BSA+RIB+ESPA (1,0 mg/mL); 5 = BSA+RIB+ESPA (2,0 mg/mL); 6 = BSA+RIB+ESPA (4,0 mg/mL) e 7 = BSA+RIB+FeNPs. 69

Figura 12 - (A) Porcentagem de grupos amino livres determinada pelo teste OPA. Albumina de soro bovino (BSA), Ribose (RIB), Aminoguanidina (AMG), extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (ESPA) em diferentes concentrações (1,0, 5,0 e 10,0 mg/mL) e nanopartículas de selênio (SeNPs); Colunas com letras iguais representam ausência de diferença significativa pelo teste de Tukey (p≤0,05). (B) Teste da mobilidade relativa em eletroforese (MRE) para avaliação da atividade antiglicante: 1 = BSA; 2 = BSA+RIB; 3 = BSA+RIB+AMG; 4 = BSA+RIB+ESPA (1,0 mg/mL); 5 = BSA+RIB+ESPA (5,0 mg/mL); 6 = BSA+RIB+ESPA (10,0 mg/mL) e 7 = BSA+RIB+SeNPs. 70

Figura 13 - *Crosslinking* proteico realizado em eletroforese SDS-PAGE. Albumina de soro bovino (BSA), Metilglioxal (MGO), aminoguanidina (AMG), extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (ESPA) em diferentes concentrações (4,0 e 5,0 mg/mL), nanopartículas de ferro (FeNPs) e nanopartículas de selênio (SeNPs). (A) 1 = BSA; 2 = BSA+MGO; 3 = BSA+AMG; 4 = BSA+AMG+MGO. (B) 1 = BSA; 2 = BSA+ESPA a 4,0 mg/mL; 3 = BSA+ESPA a 4,0 mg/mL+MGO; 4 = BSA+FeNPs; 5 = BSA+FeNPs+MGO; 6 = BSA+ESPA a 5,0 mg/mL; 7 = BSA+ESPA a 5,0 mg/mL+MGO; 8 = BSA+SeNPs; 9 = BSA+SeNPs+MGO. 72

Capítulo 2

Figura 1 - Cromatogramas de HPLC do padrão de avenantramida (AVA-C) e do suplemento alimentar derivado do extrato seco de *Avena sativa* (AsDE).85

Figura 2 - Alterações na cor da solução durante o processo de síntese verde. (A) Solução incolor de nitrato de prata (AgNO₃); (B) Extrato aquoso de suplemento alimentar de extrato seco de *Avena sativa* (AsDE); (C) Solução de AgNO₃ e AsDE; (D) Cor marrom escura de uma dispersão coloidal, que indica a formação de nanopartículas de prata (AgNPs) usando AgNO₃ a 10 mM, AsDE a 1,0 mg/mL, pH 10 a 30 °C por 60 min.85

- Figura 3** - Espectros de extinção de AgNPs sintetizadas sob diferentes condições: (A) concentração do extrato, (B) concentração de AgNO₃, (C) pH, (D) temperatura/tempo.86
- Figura 4** - Espectros de extinção de nanopartículas de prata (AgNPs) sintetizadas sob os melhores parâmetros: AgNO₃ (10 mM), extrato aquoso de suplemento alimentar de extrato seco de *Avena sativa* (AsDE) (1,0 mg/mL), pH 10 e 30 °C por 60 min.86
- Figura 5** - Imagens de microscopia eletrônica de transmissão por varredura (STEM) de nanopartículas de prata (AgNPs) secas em grades. (A) AgNPs depositadas em grades revestidas com carbono. Barra de escala = 2,00 µm. (B) Distribuição de tamanho das AgNPs obtida por análise de espalhamento dinâmico de luz (DLS).87
- Figura 6** - Curva de decaimento da fluorescência do suplemento alimentar de extrato seco de *A. sativa* (AsDE) em diferentes concentrações (0,1, 0,5 ou 1,0 mg/mL), AgNPs, controle negativo (CN) e controle positivo (CP - Trolox) no ensaio ORAC. Alterações na intensidade de fluorescência medidas de 0 a 90 minutos.89
- Figura 7** - (A) Percentagem de grupos amino livres determinada pelo teste OPA e (B) Inibição da formação de produtos finais de glicação avançada (AGEs) por fluorescência; onde albumina sérica bovina (BSA), ribose (RIB), aminoguanidina (AMG), suplemento alimentar de extrato seco de *Avena sativa* (AsDE) em diferentes concentrações (0,1, 0,5 ou 1,0 mg/mL) e AgNPs. Colunas com letras iguais representam ausência de diferença significativa pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).89
- Figura 8** - Teste de mobilidade eletroforética relativa para avaliação da atividade antiglicação: 1 = BSA; 2 = BSA+Ribose; 3 = BSA+Ribose+AMG; 4 = BSA+Ribose+AsDE (0,1 mg/mL); 5 = BSA+Ribose+AsDE (0,5 mg/mL); 6 = BSA+Ribose+AsDE (1,0 mg/mL) e 7 = BSA+Ribose+AgNPs.89
- Figura 9** - Determinação da atividade inibitória do suplemento alimentar de extrato seco de *A. sativa* (AsDE) em diferentes concentrações (0,1, 0,5 ou 1,0 mg/mL) e controle positivo (CP) sobre colagenase (A), elastase (B) e tirosinase (C).90
- Figura 10** - Visualização 3D e 2D das interações entre o ligante e os alvos moleculares. A: Avenantramida (AVA) e colagenase; B: AVA e elastase; C: AVA e tirosinase; D: AVA-A e DNA. Os alvos moleculares 3D são apresentados em visualização de superfície hidrofóbica e as análises 2D mostram as principais interações atômicas entre a AVA e os alvos moleculares, em que as linhas pontilhadas verdes representam ligações de hidrogênio e as linhas pontilhadas vermelhas, magenta e roxas representam diferentes tipos de interações hidrofóbicas (empilhamento π - π , π -alquila e π - σ , respectivamente).91

Capítulo 3

Figura 1 – Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR): ESPA (1,0 mg/mL), nanopartículas de prata (AgNPs) e nitrato de prata (AgNO₃, 10 mmol/L). 98

Figura 2 – *Crosslinking* correspondente as amostras de albumina de soro bovino (BSA), metilglioxal (MGO), aminoguanidina (AMG), extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (ESPA, 1,0 mg/mL) e nanopartículas de prata (AgNPs). 1 = BSA; 2 = BSA+MGO; 3 = BSA+AMG; 4 = BSA+AMG+MGO; 5 = BSA+ESPA a 1,0 mg/mL; 6 = BSA+ESPA a 1,0 mg/mL+MGO; 7 = BSA+AgNPs; 8 = BSA+AgNPs+MGO. 100

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1 – Análises de espalhamento dinâmico de luz (DLS) de nanopartículas de ferro (FeNPs) obtidas por síntese verde utilizando extrato seco padronizado de <i>Avena sativa</i> L. (ESPA)	55
Tabela 2 - Análises de espalhamento dinâmico de luz (DLS) de nanopartículas de selênio (SeNPs) obtidas por síntese verde utilizando extrato seco padronizado de <i>Avena sativa</i> L. (ESPA)	62
Tabela 3 - Determinação do teor total de polifenóis e flavonoides de extrato seco padronizado de <i>Avena sativa</i> L. (ESPA) e nanopartículas de ferro (FeNPs)	64
Tabela 4 - Determinação do teor total de polifenóis e flavonoides de extrato seco padronizado de <i>Avena sativa</i> L. (ESPA) e nanopartículas de selênio (SeNPs)	65
Tabela 5 – Atividade antioxidante de extrato seco padronizado de <i>Avena sativa</i> L. (ESPA), nanopartículas de ferro (FeNPs) e controles positivos (ácido gálico para o teste DPPH e Trolox para os testes TBARS e FRAP)	66
Tabela 6 - Atividade antioxidante de extrato seco padronizado de <i>Avena sativa</i> L. (ESPA), nanopartículas de selênio (SeNPs) e controles positivos (ácido gálico para o teste DPPH e Trolox para os testes TBARS e FRAP)	67

Capítulo 2

Tabela 1 - Análises DLS de nanopartículas de prata (AgNPs) obtidas por síntese verde utilizando extrato aquoso de extrato seco de <i>Avena sativa</i> (AsDE)	87
Tabela 2 - Determinação do teor total de polifenóis e flavonoides do extrato aquoso do suplemento alimentar obtido a partir do extrato seco de <i>A. sativa</i> (AsDE) e AgNPs	87
Tabela 3 - Atividade antioxidante do extrato aquoso do suplemento alimentar de extrato seco de <i>A. sativa</i> (AsDE), AgNO ₃ , AgNPs e controles positivos (ácido gálico para o teste DPPH e Trolox para os testes TBARS e FRAP)	88
Tabela 4 - Os melhores resultados de interação entre a avenantramida (AVA) e alvos moleculares selecionados	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAPH	Dicloridrato de 2,2'-azobis(2-amidinopropano) (do inglês <i>2,2'-azobis-(2-amidine-propane)-dihydrochloride</i>)
ABTS	Ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) (do inglês <i>2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid</i>)
AGEs	Produtos Finais de Glicação Avançada (do inglês <i>Advanced Glycation End-products</i>)
AgNPs	Nanopartículas de Prata (do inglês <i>Silver Nanoparticles</i>)
AMG	Aminoguanidina
ANOVA	Análise de Variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AsDE	Extrato Seco de <i>Avena sativa</i> L. (do inglês <i>Avena sativa</i> L. <i>dry extract</i>)
AVAs	Avenantramidas
BSA	Albumina de Soro Bovino (do inglês <i>Bovine Serum Albumin</i>)
CAT	Catalase
DLS	Espalhamento Dinâmico de Luz (do inglês <i>Dynamic Light Scattering</i>)
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazil
DPR	Desvio Padrão Relativo
EDS	Espectrometria de Dispersão de Energia (do inglês <i>Energy-Dispersive Spectrometry</i>)
ERNs	Espécies Reativas de Nitrogênio
EROs	Espécies Reativas de Oxigênio
ESPA	Extrato Seco Padronizado de <i>Avena sativa</i> L.
FeNPs	Nanopartículas de Ferro (do inglês <i>Iron Nanoparticles</i>)
FRAP	Poder Redutor do Íon Férrico (do inglês <i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i>)
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (do inglês <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>)
GO	Glioxal
GPx	Glutathione Peroxidase
GSH	Glutathione
HNE	4-hidroxi-2-nonenal
HPLC-MS	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência, acoplada à Espectrometria de Massas (do inglês <i>High-Performance Liquid Chromatography - Mass Spectrometry</i>)
IPD	Índice de Polidispersão
MAO-B	Monoamina Oxidase B
MDA	Malondialdeído
MEC	Matriz Extracelular
MGO	Metilglioxal
MRE	Mobilidade Relativa em Eletroforese
NADPH	Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato Reduzido
NPs	Nanopartículas
OPA	Ortoftalaldeído
ORAC	Capacidade de Absorção de Radicais de Oxigênio (do inglês <i>Oxygen Radical Absorption Capacity</i>)
PBS	Tampão Fosfato Salino (do inglês <i>Phosphate Buffered Saline</i>)
CP	Controle Positivo

PDE4	Fosfodiesterase 4
PZ	Potencial Zeta
RIB	Ribose
SDS	Dodecil Sulfato de Sódio (do inglês <i>Sodium Dodecyl Sulfate</i>)
SeNPs	Nanopartículas de Selênio (do inglês <i>Selenium Nanoparticles</i>)
SOD	Superóxido Dismutase
TBARS	Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (do inglês <i>Thiobarbituric Acid Reactive Substances</i>)
TEM	Microscopia Eletrônica de Transmissão (do inglês <i>Transmission Electron Microscopy</i>)
UV-Vis	Ultravioleta-Visível

LISTA DE SÍMBOLOS

®	Marca Registrada
H ₂ O ₂	Peróxido de Hidrogênio
H ₂ O	Água
O ₂ • ⁻	Ânion Superóxido
HO•	Radical Hidroxila
HO ₂ •	Radical Hidroperoxila
¹ O ₂	Oxigênio Singlete
NO•	Radical Óxido Nítrico
NO ₂ •	Radical Dióxido de Nitrogênio
HOCl	Ácido Hipocloroso
ONOOH	Ácido Peroxinitroso
HOSCN	Ácido Hipotiocianoso
Fe ²⁺	Íon Ferro (II)
Cu ⁺	Íon Cobre (I)
FeSO ₄ .7H ₂ O	Sulfato Ferroso Heptahidratado
Na ₂ SeO ₃	Selenito de Sódio
mg EAG/g PS	Miligrama de Equivalente de Ácido Gálico por Grama de Peso Seco
mg ER/g PS	Miligrama de Equivalente de Rutina por Grama de Peso Seco
µM ET/g	µM Equivalente de Trolox por grama de amostra
Fe	Ferro
β	Beta (Alfabeto Grego)
OH	Hidroxila
SO ₄ ²⁻	Ânion Sulfato
CO ₂	Dióxido de Carbono
Poli-OH	Grupos Hidroxila
C=O	Carbonila
C-O-C	Éter
C-H	Hidrocarbonetos
C=C	Alcenos
Fe-O	Óxido de Ferro
CH ₂	Metileno
CH ₃	Metil
kDa	Kilodalton
TM	Trademark (Marca Comercial)
Mw/Mn	Massa molecular/Massa Molecular Média Numérica (do inglês <i>Molecular weight/Number-average molecular weight</i>)
AgNO ₃	Nitrato de Prata

SUMÁRIO

1 REFERENCIAL TEÓRICO	25
1.1 <i>Avena sativa</i> L. (Aveia)	25
1.1.1 Fitoterápicos	25
1.1.2 Fitoterápico Neuravena® a base de <i>Avena sativa</i> L.	27
1.2 Nanotecnologia	28
1.2.1 Síntese verde de nanopartículas (NPs)	29
1.2.2 Nanopartículas de prata (AgNPs)	30
1.2.3 Nanopartículas de ferro (FeNPs)	31
1.2.4 Nanopartículas de selênio (SeNPs)	32
1.3 Estresse oxidativo	32
1.3.1 Antioxidantes	34
1.4 Glicação	35
1.4.1 Antiglicantes	36
1.5 Envelhecimento	37
1.5.1 Antienvelhecimento	38
2 OBJETIVOS GERAIS	39
3 REFERÊNCIAS	40
4 CAPÍTULO 1	45
1 INTRODUÇÃO	45
2 OBJETIVOS	46
3 MATERIAL E MÉTODOS	46
3.1 Obtenção do extrato seco padronizado de <i>Avena sativa</i> L. (ESPA)	46
3.2 Síntese verde de nanopartículas (NPs)	47
3.2.1 Síntese verde de nanopartículas de ferro (FeNPs)	47
3.2.2 Síntese verde de nanopartículas de selênio (SeNPs)	47
3.2.3 Caracterização das NPs	47
3.3 Perfil fitoquímico de ESPA, FeNPs e SeNPs	48
3.3.1 Determinação do teor total de polifenóis	48
3.3.2 Determinação do teor total de flavonoides	48
3.4 Atividade antioxidante de ESPA, FeNPs e SeNPs	48
3.4.1 Teste de eliminação do radical DPPH	48
3.4.2 Poder redutor do íon férrico (FRAP)	49
3.4.3 Inibição de peroxidação lipídica (TBARS)	49
3.4.4 Teste de eliminação de radicais ABTS	49
3.5 Atividade antiglicante de ESPA, FeNPs e SeNPs	50
3.5.1 Preparação da mistura de reação de glicação	50
3.5.2 Determinação de grupos amino livres	50
3.5.3 Mobilidade relativa em eletroforese (MRE)	50
3.5.4 <i>Crosslinking</i>	51
3.6 Análise estatística	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Síntese verde de nanopartículas (NPs).....	51
4.1.1 Síntese verde de nanopartículas de ferro (FeNPs)	51
4.1.1.1 Caracterização das nanopartículas de ferro (FeNPs)	54
4.1.2 Síntese verde de nanopartículas de selênio (SeNPs)	58
4.1.2.1 Caracterização das nanopartículas de selênio (SeNPs)	61
4.2 Determinação do teor de polifenóis e flavonoides	64

4.3 Atividade antioxidante de ESPA, FeNPs e SeNPs	66
4.4 Atividade antiglicante de ESPA, FeNPs e SeNPs	68
4.4.1 Determinação de grupos amino livres e mobilidade relativa em eletroforese (MRE)	68
4.4.2 <i>Crosslinking</i>	71
5 CONCLUSÃO	73
6 REFERÊNCIAS	74
5 CAPÍTULO 2	81
1 INTRODUÇÃO	82
2 MATERIAIS E MÉTODOS	82
2.1 Obtenção de suplemento alimentar a partir de extrato seco de <i>Avena sativa</i> L. (Neuravena [®]) (AsDE)	82
2.2 Análise por HPLC de AsDE	82
2.3 Síntese verde de nanopartículas de prata (AgNPs) utilizando AsDE	83
2.3.1 Síntese de nanopartículas de prata (AgNPs)	83
2.3.2 Caracterização de AgNPs	83
2.4 Determinação do teor total de polifenóis e flavonoides	83
2.5 Atividade antioxidante de AsDE e AgNPs	83
2.5.1 Teste de eliminação do radical DPPH	83
2.5.2 Poder redutor do íon férrico (FRAP)	83
2.5.3 Inibição da peroxidação lipídica	83
2.5.4 Teste de eliminação de radicais ABTS	83
2.5.5 Capacidade de absorção de radicais de oxigênio (ORAC)	83
2.6 Avaliação da atividade antiglicante de AsDE e AgNPs	83
2.6.1 Preparação da mistura de reação de glicação	83
2.6.2 Determinação de grupos amino livres	84
2.6.3 Mobilidade relativa em eletroforese (MRE)	84
2.7 Ação inibitória sobre as atividades da colagenase, elastase e tirosinase	84
2.7.1 Determinação da ação inibitória sobre a atividade da colagenase	84
2.7.2 Determinação da ação inibitória sobre a atividade da elastase	84
2.7.3 Determinação da ação inibitória sobre a atividade da tirosinase	84
2.8 Análise de acoplamento molecular	84
2.9 Análise estatística	84
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
3.1 Análise por HPLC de AsDE	84
3.2 Síntese verde de nanopartículas de prata (AgNPs) utilizando AsDE	85
3.2.1 Síntese de nanopartículas de prata (AgNPs)	85
3.2.2 Caracterização de nanopartículas de prata (AgNPs)	87
3.3 Determinação do teor total de polifenóis e flavonoides	87
3.4 Atividade antioxidante de AsDE e AgNPs	88
3.5 Avaliação da atividade antiglicante de AsDE e AgNPs	88
3.5.1 Determinação de grupos amino livres e inibição da formação de AGEs	88
3.5.2 Mobilidade relativa em eletroforese (MRE)	88
3.6 Ação inibitória sobre as atividades da colagenase, elastase e tirosinase	88
3.7 Análise de acoplamento molecular	89
4 CONCLUSÃO	92
6 CAPÍTULO 3	95
1 INTRODUÇÃO	95
2 OBJETIVOS	96
3 MATERIAL E MÉTODOS	97

3.1	Análise de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	97
3.2	Avaliação da atividade antiglicante por <i>crosslinking</i>	97
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
4.1	Análise de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de AgNPs, ESPA e AgNO ₃	97
4.2	Atividade antiglicante por <i>crosslinking</i>	99
5	CONCLUSÃO	101
6	REFERÊNCIAS	102
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	104

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 *Avena sativa* L. (Aveia)

Avena sativa L. (aveia) é uma planta herbácea anual pertencente à família *Poaceae*, amplamente cultivada em diferentes regiões do mundo (Kim *et al.*, 2021). Reconhecida desde a antiguidade por seus benefícios nutricionais e terapêuticos (Perrelli *et al.*, 2018), esse cereal ocupa a sexta posição entre os principais grãos de importância global, destacando-se por sua adaptabilidade a variadas condições edafoclimáticas e por seu alto valor nutricional e funcional (Wankhede *et al.*, 2023). Sua composição é caracterizada por elevados teores de proteínas e lipídios, além de aminoácidos essenciais, como a lisina, e de 2 a 6% de β -glucanas, polissacarídeos solúveis amplamente reconhecidos por sua capacidade de reduzir os níveis de colesterol e, conseqüentemente, o risco de doenças cardiovasculares (Kim *et al.*, 2021; Wankhede *et al.*, 2023). A aveia contém ainda diversos compostos bioativos, como tocoferóis, tocotrienóis, flavonoides e avenantramidas, que apresentam atividades antioxidante, anti-inflamatória, antiproliferativa e anticancerígena, justificando o crescente interesse no seu consumo e na pesquisa de seus componentes (Perrelli *et al.*, 2018; Wankhede *et al.*, 2023).

Os subprodutos do farelo de aveia, compostos por proteínas, saponinas, albuminas, prolaminas e glutelinas, possuem relevância nutricional e tecnológica devido à sua composição bioquímica diversificada (Malanchen *et al.*, 2019). Além disso, a presença de compostos fenólicos, antioxidantes, carboidratos e aminoácidos contribui significativamente para os efeitos benéficos da aveia sobre o organismo. No entanto, a composição química e o valor funcional do grão podem variar conforme fatores como o método de cultivo, o processamento e o tratamento térmico, os quais influenciam diretamente sua qualidade nutricional (Kim *et al.*, 2021; Malanchen *et al.*, 2019).

Entre os compostos de maior interesse, destacam-se as avenantramidas, são solúveis em água encontradas exclusivamente na aveia, às quais são atribuídas propriedades neuroprotetoras, com potencial terapêutico em doenças cardiovasculares, câncer, diabetes, distúrbios neurológicos e dermatológicos. Estudos recentes relatam que esses compostos podem atuar na melhora de patologias neurodegenerativas, como Alzheimer e Parkinson, reduzindo déficits de memória e alterações comportamentais em modelos experimentais (Wankhede *et al.*, 2023).

1.1.1 Fitoterápicos

Os fitoterápicos constituem uma importante classe de medicamentos obtidos exclusivamente de matérias-primas vegetais, podendo ser classificados como simples, quando

derivados de uma única espécie, ou compostos, quando elaborados a partir da associação de diferentes plantas (Ferreira *et al.*, 2014). A velocidade e intensidade de ação desses produtos dependem da natureza química e da concentração dos compostos ativos, da dose administrada e de possíveis interações medicamentosas, aspectos que também influenciam a farmacocinética dos fármacos sintéticos (Faustino *et al.*, 2010).

Embora a eficácia dos fitoterápicos não seja necessariamente superior ou inferior à dos medicamentos sintéticos, estes geralmente apresentam menores concentrações de princípios ativos, o que pode reduzir a ocorrência de efeitos adversos. Ainda assim, tais produtos não são isentos de riscos, podendo causar efeitos colaterais, contraindicações e toxicidades. Dessa forma, sua administração deve ser prescrita e acompanhada por profissionais habilitados, assegurando a utilização racional e segura (Ameh *et al.*, 2010).

No âmbito regulatório, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é o órgão responsável por normatizar e controlar a qualidade de plantas medicinais e fitoterápicos no Brasil. Sua atuação visa garantir segurança, eficácia, padronização e qualidade sanitária desses produtos, assegurando a proteção da saúde pública e consumo responsável de terapias baseadas em plantas (Zonner *et al.*, 2022).

Com fundamentos históricos sólidos e respaldo científico crescente, a fitoterapia tem se destacado como uma alternativa promissora no controle e prevenção de doenças crônicas. Diversos estudos demonstram que os fitoterápicos contêm moléculas bioativas, como flavonoides, alcaloides e outros fitoquímicos, com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, anticancerígenas e antidiabéticas, tornando-os candidatos relevantes para o desenvolvimento de novos tratamentos (Ebadi, 2025). O renovado interesse por esses produtos está associado, em parte, à busca por terapias naturais e à preocupação com os efeitos adversos e limitações dos medicamentos sintéticos, que muitas vezes oferecem apenas alívio sintomático e apresentam riscos de dependência ou toxicidade (Ebadi, 2025).

Os mecanismos moleculares de ação dos fitoterápicos envolvem a modulação de vias de sinalização associadas à inflamação, ao estresse oxidativo, à apoptose e à resposta imune, contribuindo para a melhora da fisiopatologia de diversas doenças, como diabetes e enfermidades cardiovasculares. Além disso, certos fitoquímicos atuam sobre enzimas e fatores de transcrição, influenciando a expressão gênica e regulando processos celulares relacionados ao desenvolvimento e à progressão de patologias (Ebadi, 2025). A compreensão desses mecanismos é essencial para otimizar a utilização dos fitoterápicos e integrar seus benefícios à medicina convencional, ampliando o potencial de inovação em terapias baseadas em produtos naturais.

1.1.2 Fitoterápico Neuravena[®] a base de *Avena sativa* L.

O Fitoterápico Neuravena[®] é obtido a partir do extrato da parte aérea da aveia verde silvestre (*Avena sativa* L.), cuja utilização tem despertado crescente interesse científico. Estudos recentes indicam que esse composto pode exercer efeitos positivos sobre a função cognitiva, especialmente na melhoria da memória e da atenção, além de contribuir para a redução do estresse e o aumento da disposição mental (Wong *et al.*, 2013). Tais evidências apontam para o potencial do Neuravena[®] como uma alternativa natural promissora no tratamento de transtornos cognitivos e condições associadas ao estresse, visto que seus efeitos benéficos também se estendem a indivíduos saudáveis, promovendo maior capacidade de concentração. Ademais, o fitoterápico tem sido reconhecido como uma opção segura e bem tolerada, apresentando poucos efeitos colaterais relatados (Kennedy *et al.*, 2017).

O fitoterápico Neuravena[®] demonstrou melhora na otimização dos recursos neurais e de forma positiva influenciou o desempenho cognitivo em tarefas associadas ao desempenho na execução de funções, bem como, velocidade de processamento e atenção (Jibril *et al.*, 2023). Esse fitoterápico está associado à otimização dos recursos neurais, evidenciando aumento da eficiência do desempenho e da atividade cerebral em indivíduos saudáveis (Martinez-Horta *et al.*, 2021). De forma complementar, o fitoterápico demonstrou efeitos positivos em tarefas de recordação de palavras, com redução do tempo de raciocínio, do tempo total de execução e aumento da capacidade de memória de trabalho (Kennedy *et al.*, 2017).

Os extratos de *Avena sativa* apresentam potencial para inibir seletivamente as enzimas monoamina oxidase B (MAO-B) e fosfodiesterase 4 (PDE4). As enzimas MAO estão envolvidas no metabolismo de monoaminas, como dopamina, noradrenalina e serotonina, processo que leva à formação de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) como subproduto. Esse composto reativo pode contribuir para o aumento do estresse oxidativo celular. Assim, a inibição da MAO-B promove uma redução na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), ao mesmo tempo em que eleva as concentrações de neurotransmissores monoaminérgicos, fundamentais para a manutenção da função cognitiva e da regulação do humor (Jibril *et al.*, 2023).

Dessa forma, a manutenção dos níveis de monofosfato de adenosina cíclico e monofosfato de guanosina cíclico favorece a ativação de vias de sinalização intracelular relacionadas à plasticidade sináptica, à memória e ao aprendizado. Esses mensageiros secundários também desempenham papel fundamental na modulação da liberação de neurotransmissores e na proteção neuronal contra o estresse oxidativo. Portanto, a ação inibitória sobre a PDE4 pode contribuir para o aprimoramento das funções cognitivas e para a estabilidade emocional,

reforçando o potencial terapêutico dos extratos de *A. sativa* na promoção da saúde cerebral e na prevenção de distúrbios neurodegenerativos (Jibril *et al.*, 2023).

1.2 Nanotecnologia

A nanotecnologia pode aumentar a biodisponibilidade oral de fitoquímicos bioativos presentes em extratos vegetais por meio da síntese de nanopartículas (NPs), que podem ser formadas por diferentes métodos e compostas por materiais biocompatíveis. Devido à sua alta razão superfície/volume e às suas propriedades químicas e físicas singulares, como solubilidade e resistência, apresentam ampla aplicabilidade em engenharia de tecidos, terapia celular, liberação controlada de fármacos, diagnóstico, biomateriais e sinalização celular (Arshad *et al.*, 2021).

A nanotecnologia refere-se ao estudo e à aplicação de sistemas e materiais cujos componentes apresentam dimensões na escala nanométrica, capazes de exibir propriedades químicas, físicas e biológicas inovadoras e significativamente aprimoradas em comparação aos materiais convencionais (Nasrollahzadeh *et al.*, 2019). O termo “nano”, derivado do grego *nanos* (anão), designa uma ordem de grandeza correspondente a 10^{-9} metros. Quando as dimensões de um material são reduzidas para valores inferiores a 100 nm, podem ocorrer mudanças expressivas em suas propriedades estruturais e funcionais. Assim, o controle do tamanho e da morfologia permite a produção de materiais nanoestruturados com desempenho direcionado e características únicas, não observadas em suas formas macroscópicas (Nasrollahzadeh *et al.*, 2019).

Em virtude dessas propriedades singulares, as NPs têm se destacado por apresentarem comportamento superior em diversas aplicações tecnológicas e científicas quando comparadas aos materiais em escala maior. A nanotecnologia, portanto, constitui um campo estratégico para o desenvolvimento de métodos inovadores voltados à criação de novos produtos, otimização de processos produtivos e formulação de materiais e substâncias químicas com melhor desempenho. Tais avanços contribuem para a redução do consumo de matérias-primas e energia, além de possibilitarem práticas mais sustentáveis e menos agressivas ao meio ambiente. Ademais, a nanotecnologia oferece perspectivas promissoras para remediação ambiental, destacando-se como uma ferramenta relevante na busca por soluções sustentáveis (Nasrollahzadeh *et al.*, 2019).

Nos últimos anos, o alcance da nanotecnologia expandiu-se significativamente, dando origem à nanobiotecnologia, área que integra princípios da biologia e da engenharia de materiais em nanoescala. Entre suas vertentes mais promissoras está a nanomedicina, campo

emergente que tem revolucionado a área da saúde ao permitir o desenvolvimento de diagnósticos mais precisos, terapias direcionadas e sistemas de liberação controlada de fármacos. Além disso, a nanomedicina abrange aplicações em genômica, engenharia de tecidos e terapia gênica, abrindo novas perspectivas para a prevenção e o tratamento de doenças (Malik, Muhammad e Waheed, 2023).

Dessa forma, observa-se que a nanotecnologia vem desempenhando um papel central na transformação das ciências médicas e biotecnológicas. Em diversos procedimentos clínicos, pesquisadores têm explorado seus potenciais benefícios, particularmente no avanço de áreas como a genômica e a proteômica, que vêm proporcionando novos *insights* sobre os mecanismos moleculares envolvidos em doenças, inclusive as de origem microbiana (Malik, Muhammad e Waheed, 2023).

1.2.1 Síntese verde de nanopartículas (NPs)

Os métodos convencionais de síntese de NPs, baseados em abordagens químicas e físicas, são amplamente utilizados, porém apresentam limitações significativas, como alto custo, baixa sustentabilidade e potencial toxicidade ambiental. Tais métodos frequentemente requerem condições severas de temperatura, pressão e pH, além da utilização de reagentes perigosos e solventes orgânicos, o que torna o processo ambientalmente desfavorável (El-Seedi *et al.*, 2019).

Nesse contexto, a síntese verde de NPs tem ganhado destaque nas últimas décadas, impulsionada por princípios da química e engenharia sustentáveis. Essa abordagem propõe a utilização de sistemas biológicos, como plantas, fungos, bactérias, leveduras, algas e vírus, como agentes redutores e estabilizantes naturais na formação das NPs. A substituição de reagentes sintéticos por biomoléculas presentes em extratos vegetais ou microrganismos torna o processo mais econômico, seguro e ambientalmente amigável (El-Seedi *et al.*, 2019; Arora, Manchanda e Gupta, 2026).

Embora os mecanismos moleculares envolvidos na síntese verde ainda não estejam completamente elucidados, sabe-se que compostos como flavonoides, terpenoides, fenóis, proteínas e polissacarídeos participam ativamente na redução e estabilização das NPs, atuando de forma simultânea como biorredutores e agentes de recobrimento. Dessa forma, a síntese verde não apenas elimina a necessidade de reagentes tóxicos, mas também evita a geração de subprodutos nocivos, resultando em NPs não tóxicas, biodegradáveis e ecologicamente corretas (Arora, Manchanda e Gupta, 2026).

A integração entre a nanotecnologia e os sistemas biológicos, denominada nanobiotecnologia, tem impulsionado o desenvolvimento de novas estratégias para a obtenção de nanomateriais funcionais. Entre suas aplicações, destaca-se a capacidade desses sistemas em ultrapassar barreiras biológicas, como a barreira hematoencefálica, permitindo a entrega direcionada de substâncias bioativas a órgãos específicos, como o cérebro. Além do campo biomédico, os nanomateriais obtidos por síntese verde vêm sendo explorados em áreas como a conservação e o aprimoramento da qualidade de alimentos, controle microbiano e desenvolvimento de produtos farmacêuticos e cosméticos, demonstrando seu potencial interdisciplinar e sustentável (Arshad *et al.*, 2021).

1.2.2 Nanopartículas de prata (AgNPs)

As nanopartículas de prata (AgNPs) obtidas por síntese verde apresentam dimensões inferiores a 100 nm e podem conter entre 20 e 15.000 átomos de prata, características que lhes conferem morfologia controlada e propriedades físico-químicas distintas (Dias *et al.*, 2021; Thapa *et al.*, 2026). O interesse crescente por essas NPs decorre de suas qualidades excepcionais, como alta estabilidade química, excelente condutividade elétrica, atividade catalítica e expressivas ações biológicas, incluindo efeitos anti-inflamatórios, antibacterianos e antifúngicos (Thapa *et al.*, 2026).

Nos últimos anos, as AgNPs têm demonstrado grande potencial em aplicações biomédicas, especialmente no combate a infecções resistentes a antibióticos, no tratamento de câncer e na modulação do estresse oxidativo. Essas NPs podem ser funcionalizadas com moléculas bioativas, seja por ligação superficial ou encapsulamento, o que aprimora sua estabilidade, seletividade e eficácia terapêutica. Em células tumorais, as AgNPs podem induzir estresse oxidativo, danos mitocondriais e apoptose, em decorrência do aumento na produção de EROs. Sua alta área superficial também favorece uma atividade antioxidante expressiva, contribuindo para a neutralização de radicais livres (Shahabadi *et al.*, 2025).

As AgNPs se destacam por exibirem ampla atividade antimicrobiana, incluindo ações antibacterianas, antifúngicas, antivirais e anti-inflamatórias, o que justifica sua incorporação em pomadas cicatrizantes, curativos e formulações médicas à base de prata, voltadas à prevenção e tratamento de infecções bacterianas (Koçak *et al.*, 2025). No campo odontológico, essas NPs têm sido utilizadas no revestimento de implantes, conferindo resistência à formação de biofilmes bacterianos e fúngicos, como os de *Streptococcus mutans* e *Candida spp.*, além de favorecerem a integração óssea e biocompatibilidade dos dispositivos. Para fins de cicatrização

de feridas, as AgNPs vêm sendo amplamente estudadas, sendo incorporadas em géis, filmes e curativos poliméricos, com resultados promissores na regeneração tecidual (Thapa *et al.*, 2026).

Durante a síntese verde, metabólitos secundários de origem vegetal, como flavonoides, polifenóis, terpenoides e alcaloides, desempenham papel crucial como agentes redutores e estabilizantes na formação das AgNPs. Esses compostos naturais não apenas substituem reagentes sintéticos potencialmente tóxicos, como também contribuem para o desempenho biológico e a biocompatibilidade das NPs obtidas. Dessa forma, as AgNPs sintetizadas por síntese verde representam uma alternativa sustentável e eficiente para diversas aplicações, consolidando-se como um dos nanomateriais mais versáteis e relevantes da atualidade (Ashraf *et al.*, 2025).

1.2.3 Nanopartículas de ferro (FeNPs)

A síntese verde de nanopartículas de ferro (FeNPs) tem se destacado como uma alternativa promissora às rotas químicas e físicas tradicionais, que apresentam diversas limitações, como maior toxicidade, custos elevados e risco de aglomeração das NPs (Haider *et al.*, 2024). Nesse contexto, a utilização de extratos biológicos tem se mostrado particularmente vantajosa, uma vez que essas matrizes naturais contribuem para superar problemas como a agregação e a oxidação das FeNPs, conferindo ao processo características mais sustentáveis, econômicas e eficientes (Kumar *et al.*, 2023).

As biomoléculas presentes nos extratos vegetais, desempenham papel fundamental no processo de síntese verde, atuando simultaneamente como agentes redutores, estabilizantes e de revestimento. Essa atuação multifuncional favorece a formação de NPs mais estáveis e homogêneas, prevenindo a aglomeração que comumente ocorre nas rotas sintéticas convencionais (Mondal, Anweshan e Purkait, 2020). Como consequência, as FeNPs obtidas por síntese verde tendem a apresentar propriedades bioquímicas e físico-químicas superiores às aquelas produzidas por métodos físico-químicos tradicionais (Kumar *et al.*, 2023). Além disso, as FeNPs sintetizadas por síntese verde têm demonstrado baixa toxicidade e elevada dispersibilidade, características que ampliam significativamente suas possibilidades de aplicação. Essas propriedades tornam essas NPs especialmente adequadas para utilização em sistemas de liberação controlada de fármacos, bem como em abordagens terapêuticas direcionadas. Ademais, estudos indicam que apresentam atividade antimicrobiana e anticancerígena, reforçando seu potencial para diferentes aplicações no campo da biotecnologia (Kumar *et al.*, 2023).

1.2.4 Nanopartículas de selênio (SeNPs)

A busca por alternativas mais seguras e sustentáveis para a produção de nanopartículas de selênio (SeNPs) tem impulsionado o avanço das rotas de síntese verde. Esse interesse decorre das limitações associadas aos métodos físico-químicos tradicionais, que frequentemente envolvem alto custo, riscos ambientais e problemas de biossegurança, além de favorecerem a formação de aglomerados, reduzindo a biocompatibilidade, a biodisponibilidade e a atividade biológica das NPs obtidas (Xiao *et al.*, 2023). Em contraste, a síntese verde mediada por extratos vegetais tem se destacado por propiciar a formação de SeNPs mais estáveis, uma vez que os fitoquímicos presentes nesses extratos atuam como agentes redutores e estabilizantes, promovendo o revestimento superficial das NPs e evitando sua agregação (Abdulmumini *et al.*, 2025).

A síntese verde apresenta vantagens significativas relacionadas à disponibilidade de matérias-primas, menor toxicidade, caráter ambientalmente amigável e excelente relação custo-benefício, o que reforça seu potencial para aplicações farmacológicas e biotecnológicas (Xiao *et al.*, 2023). Nesse contexto, as SeNPs têm ganhado grande destaque devido ao seu amplo espectro de atividades biológicas. Estudos demonstram que essas NPs possuem propriedades antioxidantes e antimicrobianas, apresentando ainda maior biodisponibilidade e menor toxicidade quando comparadas ao selênio na forma iônica (Chen *et al.*, 2025).

O interesse científico por SeNPs também está relacionado ao papel essencial do selênio como micronutriente para a saúde humana e animal. As SeNPs participam de mecanismos de defesa antioxidante e contribuem para o funcionamento adequado do sistema imunológico, o que, por sua vez, pode estar associado à prevenção de diversas doenças (Mourad *et al.*, 2025). Assim, devido às suas propriedades multifuncionais e ao potencial terapêutico, as SeNPs têm emergido como um dos nanomateriais mais promissores para aplicações biomédicas, especialmente quando obtidas por síntese verde que combinam eficácia, segurança e sustentabilidade (Abdulmumini *et al.*, 2025; Xiao *et al.*, 2023).

1.3 Estresse oxidativo

O estresse oxidativo caracteriza-se a partir do desequilíbrio entre a geração de espécies reativas de oxigênio (EROs) e a capacidade dos sistemas antioxidantes endógenos em neutralizá-las (Jelic *et al.*, 2021). As EROs podem originar-se de fontes exógenas, como álcool, tabaco, exposição à radiação ultravioleta, administração de antibióticos, fármacos, quimioterápicos, contaminantes ambientais e fatores de estresse (Romero *et al.*, 2013), ou de fontes endógenas, que fazem parte da própria fisiologia celular. Quando produzidas em excesso,

independentemente da origem, desencadeiam processos de dano oxidativo considerados centrais na fisiopatologia de diversas doenças (Jelic *et al.*, 2021).

As fontes endógenas de EROs incluem principalmente mitocôndrias, peroxissomos e células inflamatórias. Na respiração celular mitocondrial, cerca de 95% do oxigênio consumido é reduzido a água (H_2O), enquanto até 5% pode ser convertido em ânion superóxido ($O_2^{\bullet-}$) (Jelic *et al.*, 2021). Os peroxissomos, por sua vez, geram grandes quantidades de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e também de ânions superóxido ($O_2^{\bullet-}$). Essas organelas abrigam principalmente a enzima antioxidante catalase (CAT) responsável por neutralizar o H_2O_2 produzido. Células inflamatórias, como neutrófilos, eosinófilos e macrófagos, também representam uma fonte relevante de EROs, produzindo-as principalmente via ativação da enzima NADPH oxidase durante o processo inflamatório (Jelic *et al.*, 2021).

Em condições fisiológicas, as EROs também podem ser formadas por outras vias metabólicas, incluindo reações catalisadas pelas enzimas NADPH oxidase, xantina oxidase, lipoxigenases e L-aminoácido oxidases, além de reações de radicais livres induzidas por metais, como a reação de Fenton (Żukowski *et al.*, 2018). A formação desses radicais pode decorrer da homólise de ligações covalentes, de reações de oxirredução envolvendo transferência de um único elétron ou ainda da exposição à radiação ionizante e ultrassom. Entre os radicais derivados de oxigênio, destacam-se o radical hidroxila (HO^{\bullet}), o ânion superóxido ($O_2^{\bullet-}$), o radical hidroperoxila (HO_2^{\bullet}) e o oxigênio singlete (1O_2). Já entre as espécies reativas de nitrogênio (ERNs), incluem-se o óxido nítrico (NO^{\bullet}) e o dióxido de nitrogênio (NO_2^{\bullet}). Além disso, há EROs não radicalares com alta relevância biológica, como H_2O_2 , ácido hipocloroso ($HOCl$), ácido peroxinitroso ($ONOOH$) e ácido hipotiocianoso ($HOSCN$) (Żukowski *et al.*, 2018). O H_2O_2 , em particular, apresenta elevada difusibilidade através de membranas biológicas e pode reagir com metais de transição (Fe^{2+} e Cu^+) gerando o radical HO^{\bullet} , considerando um dos mais perigosos, pois não há um mecanismo de defesa biológico eficiente contra ele (Żukowski *et al.*, 2018).

O impacto das EROs é particularmente relevante em sistemas neurológicos. Considerando que o fitoterápico Neuravena[®] é utilizado para otimização de parâmetros cognitivos, destaca-se que o estresse oxidativo desempenha um papel crítico na progressão da doença de Alzheimer. A agressão oxidativa leva à ruptura de lipídios de membrana, proteínas estruturais e funcionais e moléculas de DNA, contribuindo para a morte neuronal e a deterioração funcional do tecido cerebral (Dhapola *et al.*, 2024). As principais fontes de EROs no sistema nervoso central são os sistemas de transformação de energia, nos quais elétrons são transferidos entre doadores e receptores, formando intermediários altamente reativos, como HO^{\bullet} , NO^{\bullet} e H_2O_2 . A disfunção

mitocondrial, característica da doença de Alzheimer, aumenta ainda mais o vazamento de elétrons da cadeia respiratória, intensificando o estresse oxidativo que favorecem a neurodegeneração (Dhapola *et al.*, 2024).

1.3.1 Antioxidantes

Antioxidantes representam uma categoria de compostos cruciais para a proteção dos sistemas biológicos. Sua função primária reside na prevenção ou minimização da oxidação. Estas substâncias possuem a notável capacidade de inibir reações oxidativas, atuando eficazmente mesmo em concentrações reduzidas (Prevedello e Comachio, 2021). De uma perspectiva biológica, os antioxidantes resguardam as estruturas celulares e moléculas contra os efeitos deletérios das reações que conduzem ao dano oxidativo (Prevedello e Comachio, 2021).

O organismo humano dispõe de um sistema de defesa antioxidante intrinsecamente organizado, cuja finalidade é modular e eliminar o excesso de EROs e ERN, prevenindo, assim, a ocorrência de danos prejudiciais. Este complexo sistema é composto por mecanismos antioxidantes endógenos e um sistema exógeno, derivado primariamente da alimentação (Mendes, Pereira e Angelis-Pereira, 2020; Simas, Granzoti e Porsch, 2019). O sistema de defesa interno inclui diversas enzimas e peptídeos. Entre os antioxidantes produzidos pelo próprio organismo estão enzimas como a Glutathione Peroxidase (GPx), a Catalase (CAT) e a Superóxido Dismutase (SOD), além do peptídeo Glutathione (GSH) (Simas, Granzoti e Porsch, 2019).

Em complemento à linha de defesa endógena, os compostos antioxidantes provenientes da dieta agem para evitar a sobrecarga oxidativa. Merecem destaque especial os compostos fenólicos, notavelmente os flavonoides, bem como as vitaminas C e E, o β -caroteno (precursor da vitamina A) e o mineral selênio. A principal fonte destes componentes é a alimentação de origem vegetal, abrangendo frutas, hortaliças, grãos integrais e oleaginosas (Mendes, Pereira e Angelis-Pereira, 2020; Simas, Granzoti e Porsch, 2019).

Os flavonoides são o subgrupo mais abundante da classe dos compostos fenólicos encontrados em matrizes alimentares como frutas, hortaliças, cereais e sementes. Sua estrutura química básica é caracterizada por anéis aromáticos que possuem um ou mais grupos hidroxilas. A presença desses grupos confere aos compostos fenólicos uma capacidade antioxidante significativa, uma vez que os torna eficientes doadores de hidrogênio (Mendes, Pereira e Angelis-Pereira, 2020).

Acredita-se que o consumo regular de uma dieta rica em alimentos vegetais com funções antioxidantes é uma estratégia eficaz para a inibição do dano oxidativo e a subsequente produção excessiva de radicais livres. Tal controle é fundamental, pois o desequilíbrio oxidativo é um fator que contribui para o surgimento e progressão de diversas doenças crônicas não transmissíveis (Prevedello e Comachio, 2021).

1.4 Glicação

Os produtos finais da glicação avançada (AGEs) compreendem um conjunto de compostos formados por reações não enzimáticas entre grupos carbonila de açúcares redutores e grupos amino livres de proteínas, lipídios ou ácidos nucleicos. Inicialmente, ocorre a formação de bases de Schiff instáveis, que, por rearranjos de Amadori, originam produtos intermediários mais estáveis. Esses intermediários sofrem degradação sucessiva, gerando compostos dicarbonílicos altamente reativos, como glioxal (GO) e metilglioxal (MGO), os quais reagem de forma irreversível com macromoléculas celulares, culminando na formação de AGEs (Han *et al.*, 2025).

A presença de AGEs no organismo pode ter origem endógena ou exógena. Os AGEs endógenos resultam de reações químicas que ocorrem fisiologicamente, sendo modulados por fatores como disponibilidade de agentes glicantes, pH e meia-vida das proteínas. Em contraste, AGEs dietéticos correspondem àqueles gerados durante o processamento térmico de alimentos, mediante fritura, assamento ou tostagem, e ingeridos por meio da dieta (Ávila *et al.*, 2025). Alimentos ricos em proteínas, especialmente produtos processados como carnes assadas ou fritas, apresentam maior propensão à formação dos AGEs que são os produtos finais e avançados da reação de Maillard. Além de reduzir a qualidade nutricional dos alimentos, a ingestão prolongada de AGEs provenientes da dieta contribui para seu acúmulo sistêmico e eleva o risco de doenças crônicas, incluindo diabetes, distúrbios cardiovasculares e doença de Alzheimer (Han *et al.*, 2025; Qiang *et al.*, 2024).

O processamento de alimentos exerce papel determinante nesse contexto, uma vez que altera propriedades físico-químicas, como índice glicêmico, composição química e equilíbrio ácido-base. Produtos ultraprocessados, devido à alta densidade energética e teores elevados de açúcares, gorduras e sódio, favorecem condições propícias à formação de AGEs. Evidências recentes indicam, inclusive, que a formação endógena de AGEs ocorre em escala significativamente menor que a exposição exógena decorrente da alimentação, reforçando o impacto da dieta como principal fonte desses compostos para o organismo humano (Ávila *et al.*, 2025; Qiang *et al.*, 2024).

A presença de AGEs e de seus precursores, como o MGO, está fortemente associada ao estresse oxidativo e ao dano celular. No sistema nervoso central, a formação de AGEs contribui para a geração de espécies reativas e para modificações estruturais em proteínas neuronais. Por outro lado, o próprio estresse oxidativo favorece reações de glicação, evidenciando um ciclo bidirecional que intensifica danos celulares. Proteínas de longa meia-vida presentes no cérebro, como aquelas envolvidas na fisiopatologia da doença de Alzheimer e da doença de Parkinson, constituem alvos preferenciais para glicação, acelerando processos de agregação e comprometimento funcional (Ávila *et al.*, 2025).

O MGO desempenha papel central nesse processo por ser o principal precursor da glicação não enzimática. Derivado da glicólise, o MGO reage com proteínas, DNA e lipídios, provocando disfunções estruturais e bioquímicas. No cérebro diabético, concentrações elevadas de MGO resultam em maior glicação proteica e intensificação do estresse oxidativo ou carbonílico. Conseqüentemente, o acúmulo de AGEs endógenos e exógenos está implicado em distúrbios do neurodesenvolvimento, envelhecimento e em diversas doenças neurodegenerativas (Ávila *et al.*, 2025). Em condições de hiperglicemia, por exemplo, observa-se aumento significativo da produção de agentes glicantes, sendo relatado que dietas de alto índice glicêmico pode elevar em até 34 vezes a formação de AGEs no cérebro (Ávila *et al.*, 2025).

Desse modo, o conjunto de evidências demonstra que a glicação avançada constitui um processo bioquímico complexo, influenciado tanto por fatores metabólicos quanto dietéticos. A exposição excessiva a AGEs, especialmente os de origem alimentar, representa um fator crítico para o desenvolvimento e a progressão de doenças metabólicas e neurodegenerativas, reforçando a importância de estratégias nutricionais e terapêuticas direcionadas à redução desses compostos no organismo (Ávila *et al.*, 2025; Qiang *et al.*, 2024).

1.4.1 Antiglicantes

A busca por estratégias eficazes para reduzir a formação de AGEs tem crescido nos últimos anos, especialmente diante do impacto desses compostos sobre a qualidade dos alimentos e a saúde humana. Nesse contexto, substâncias naturais derivadas de plantas têm recebido atenção crescente, sobretudo devido aos seus efeitos na inibição da glicação e na prevenção da formação de compostos nocivos, como AGEs e aminas heterocíclicas. Diversos extratos vegetais demonstram capacidade de suprimir esses processos especialmente em razão das suas propriedades antioxidantes e de eliminação de radicais livres (Han *et al.*, 2025). Entre os fitocompostos relevantes, os polifenóis se destacam por apresentarem múltiplos grupos

hidroxila fenólicos, conferindo-lhes elevada atividade antioxidante e potencial de sequestro de espécies reativas. Esses compostos atuam na mitigação da glicosilação e da reticulação proteica por diferentes mecanismos, incluindo a inibição da enzima NADPH oxidase, a eliminação direta de radicais livres e a consequente redução da produção de EROs (Wang *et al.*, 2025). Assim, sua presença em alimentos ou ingredientes bioativos pode contribuir de forma significativa para a atenuação do estresse oxidativo e carbonílico associado ao processo de glicação.

Embora inibidores sintéticos de AGEs, como aminoguanidina, piridoxamina e anlodipino, tenham sido amplamente investigados e se mostrem eficazes na interrupção das etapas iniciais e intermediárias da glicação, sua utilização é limitada por questões de segurança e potenciais efeitos colaterais. Diante disso, intensificaram-se os esforços para identificar compostos fitoquímicos com atividade antiglicante comparável, mas com menor risco toxicológico. Ácidos fenólicos, flavonoides e outros metabólitos secundários de plantas apresentam características estruturais que lhes permitem atuar por múltiplos mecanismos: proteção direta dos sítios de glicação nas proteínas, atividade antioxidante capaz de reduzir o estresse carbonílico, quelação de íons metálicos favorecendo a supressão da glicoxidação, captura de intermediários dicarbonílicos reativos ou, ainda, modulação da glicemia (Al-Bagmi *et al.*, 2024).

Nesse cenário, a utilização de compostos naturais como agentes antiglicantes surge como uma estratégia promissora tanto para o processamento de alimentos quanto para a prevenção de doenças relacionadas ao acúmulo de AGEs. Assim, a inibição da formação de AGEs tem se consolidado como uma abordagem essencial para mitigar riscos associados ao consumo de alimentos processados e contribuir para a promoção da saúde (Han *et al.*, 2025).

1.5 Envelhecimento

O envelhecimento cutâneo é caracterizado por alterações estruturais e funcionais na matriz extracelular (MEC), que comprometem a firmeza, elasticidade e uniformidade da pele. A MEC é composta por diversas proteínas essenciais, como colágeno e elastina, cuja integridade é fundamental para a manutenção da resistência e elasticidade cutâneas. Entretanto, processos fisiológicos e fatores externos, como radiação ultravioleta e estresse oxidativo, aumentam a atividade de enzimas proteolíticas que degradam esses componentes, favorecendo o surgimento de rugas, flacidez e alterações pigmentares (Deniz *et al.*, 2020; Pintus *et al.*, 2022a).

A elastina é responsável por conferir a elasticidade da pele, enquanto o colágeno constitui o principal componente fibroso da derme, fornecendo resistência à tração e suporte estrutural a

tecidos como ossos, tendões e vasos sanguíneos. Ambas as proteínas sofrem degradação mediada por elastase e colagenase, membros da família das metaloproteínases da matriz. A elastase participa da degradação fisiológica da elastina, mas sua atividade excessiva tem sido associada a condições inflamatórias, psoríase, dermatites e ao envelhecimento precoce da pele. De modo semelhante, a colagenase degrada a tripla hélice do colágeno, contribuindo para a perda da firmeza cutânea. A ativação dessas enzimas pode ser intensificada por EROs, o que acelera a remodelação tecidual e promove a formação de rugas (Deniz *et al.*, 2020; Pintus *et al.*, 2022a; Pintus *et al.*, 2022b).

A exposição crônica à radiação UV é um dos principais desencadeadores da superprodução de EROs, que ativam a expressão de elastase e promovem a degradação da rede de fibras elásticas dérmicas. Estudos indicam que inibidores de elastase podem contribuir para a preservação da linearidade das fibras elásticas e para a manutenção da elasticidade da pele, reduzindo rugas e flacidez (Pintus *et al.*, 2022b).

Além das alterações estruturais, o envelhecimento cutâneo também está associado a distúrbios de pigmentação. A tirosinase, uma monooxigenase dependente de cobre, é a enzima limitante na síntese de melanina, catalisando a conversão de L-tirosina em L-DOPA e sua subsequente oxidação para formar dopaquinona. Embora a melanina desempenhe função essencial ao absorver até 75% da radiação UV e neutralizar EROs, seu excesso resulta em hiperpigmentação. Manchas senis, melasma e sardas solares são exemplos de distúrbios pigmentares relacionadas ao aumento da atividade da tirosinase, frequentemente intensificadas devido ao envelhecimento e por processos inflamatórios. Nesse sentido, inibidores da tirosinase têm ganhado importância como agentes clareadores e como adjuvantes em terapias destinadas a reduzir alterações pigmentares associadas ao envelhecimento cutâneo (Pintus *et al.*, 2022a; Pintus *et al.*, 2022b; Younis *et al.*, 2022).

1.5.1 Antienvelhecimento

Os produtos derivados de plantas têm recebido destaque crescente na pesquisa voltada ao desenvolvimento de estratégias antienvelhecimento, sobretudo devido à ampla variedade de atividades biológicas atribuídas aos seus compostos bioativos. Polifenóis, flavonoides, terpenos e outros metabólitos secundários apresentam propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e moduladoras de enzimas-chave envolvidas nos processos de degradação cutânea. No entanto, apesar de seu elevado potencial terapêutico, muitos desses compostos apresentam limitações significativas, como baixa solubilidade em água, instabilidade química e limitada biodisponibilidade, fatores que comprometem sua eficácia clínica ou cosmética. Nesse

contexto, a nanotecnologia surge como alternativa promissora, pois permite proteger esses bioativos, favorecendo sua absorção, promovendo liberação controlada, aumentando a eficácia e reduzindo possíveis efeitos adversos (Pintus *et al.*, 2022a).

Uma das principais abordagens antienvhecimento baseia-se na inibição de enzimas relacionadas à degradação da MEC e ao desequilíbrio pigmentar. A ação conjunta de inibidores de elastase, colagenase e tirosinase pode atenuar sinais característicos do envelhecimento cutâneo, como rugas, flacidez, discromias, sardas e perda de luminosidade. A modulação dessas enzimas é especialmente relevante porque elas participam de processos centrais no envelhecimento, incluindo a degradação de fibras estruturais e a superprodução de melanina (Pintus *et al.*, 2022b). Entre os agentes capazes de exercer essa inibição, encontra-se os compostos de origem vegetal, pois se destacam como alternativas eficazes e de baixo risco toxicológico, reforçando seu potencial como ingredientes funcionais para formulações cosméticas (Pintus *et al.*, 2022a; Pintus *et al.*, 2022b).

A crescente preocupação dos consumidores com os efeitos adversos associados a ingredientes sintéticos, como irritações, reações alérgicas e toxicidade acumulativa, tem impulsionado a demanda por produtos cosméticos formulados com ativos naturais. Em consequência, a pesquisa científica na área cosmética tem se expandido na busca por novos recursos bioativos provenientes de plantas, reconhecendo-os como fontes ricas e diversificadas de moléculas com propriedades antioxidantes e antienvhecimento. Esses produtos naturais são amplamente reconhecidos como potenciais aliados no combate a diferentes condições cutâneas e como promissores candidatos para aplicação em tratamentos dermatológicos e cosméticos voltados à prevenção e ao retardo do envelhecimento (Younis *et al.*, 2022).

2 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver métodos de obtenção de nanopartículas de prata, de ferro e de selênio obtidas a partir do extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (Neuravena[®]) (rico em avenantramidas) e subsequente avaliação das atividades antioxidante, antiglicante e antienvhecimento, além de avaliar o perfil fitoquímico do extrato e das nanopartículas obtidas.

3 REFERÊNCIAS

ABDULMUMINI, S. A.; YUSUF-SALIHU, B. O.; ELEGBEDE, J. A.; LATEEF, A. Green synthesis of selenium nanoparticles using *Ficus platyphylla* leaf and bark extracts: antimicrobial activity against mrsa and other pathogens, anticoagulant and antioxidant properties. **Next Nanotechnology**, v. 8, p. 100282, 2025. DOI <https://doi.org/10.1016/j.nxnano.2025.100282>.

AL-BAGMI, M. S.; ALOKAIL, M. S. ALENAD, A. M. ALNAAMI, A. M. ABULGASSIM, A. A. KHAN, M. S. Mechanisms of inhibition of advanced glycation end-products (AGEs) and α -glucosidase by *Heliotropium bacciferum*: Spectroscopic and molecular docking analysis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 268, p. 131609, 2024. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131609>.

AMEH, S. J.; Obodozie, O. O.; INYANG, U. S.; ABUBAKAR, M. S.; GARBA, M. Current phytotherapy - A perspective on the science and regulation of herbal medicine. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 4, n. 2, p. 072-081, 2010. DOI 10.5897/JMPR09.005.

ARORA, N.; MANCHANDA, H.; GUPTA, M. Recent advances in green synthesis, characterization and emerging applications of nanoparticles and derived nanofluids. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 226, p. 116354, 2026. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116354>.

ARSHAD, R.; GULSHAD, L. LAHTISHAM-UL-HAQ; FAROOQ, M.A., AL-FARGA, A.; SIDDIQUE, R.; MANZOOR, M. F.; KARRAR, E. Nanotechnology: A novel tool to enhance the bioavailability of micronutrients. **Food Science & Nutrition**, v. 9, n. 6, p. 3354-3361, 2021. DOI <https://doi.org/10.1002/fsn3.2311>.

ASHRAF, G. J.; SAHA, A.; DUA, T. K.; PAUL, P.; NANDI, G.; DEY, S.; LIMBU, D.; ADHIKARI, M. D.; KUMAR, A.; SAHU, R. Phytochemical profiling and evaluation of antimicrobial properties of Papilionanthe teres leaves extracts and their green synthesized silver nanoparticles. **The Microbe**, v. 8, p. 100475, 2025. DOI <https://doi.org/10.1016/j.microb.2025.100475>.

ÁVILA, F.; CRUZ, N.; GONZALELZ, M. A.; FUENTES, E. WEHINGER, S. LUTZ, M. Dietary Advanced Glycation End Products (AGEs): A Modifiable Risk Factor in the Prevention of Chronic Diseases Associated with Aging?. **Biochimie**, v. 235, p. 80-91, 2025. DOI <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2025.06.001>.

CHEN, C.; AMONA, F. M.; SHA, Z. LI, J.; KE, Y.; YOU, Y.; YANG, L. LIAO, G; CHEN, X. PANG, Y. LIU, Y. Green synthesis of purple sweet potato-derived selenium nanoparticles accelerates wound healing through pyroptosis regulation. **Materials Today Bio**, v. 35, p. 102269, 2025. DOI <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2025.102269>.

DENIZ, F. S. S.; SALMAS, R. E.; EMERCE, E.; CANKAYAD, I. I. T.; YUSUFOGLUE, H. S.; ORHANA, I. E. Evaluation of collagenase, elastase and tyrosinase inhibitory activities of *Cotinus coggygia* Scop. through *in vitro* and *in silico* approaches. **South African Journal of Botany**, v. 132, p. 277-288, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.05.017>.

DHAPOLA, R.; BEURA, S. K.; SHARMA, P.; SINGH, S. K.; HARIKRISHNAREDDY, D. Oxidative stress in Alzheimer's disease: current knowledge of signaling pathways and therapeutics. **Molecular biology reports**, v. 1, p. 48, 2024. DOI <https://doi.org/10.1007/s11033-023-09021-z>.

DIAS, D. V. S.; ZANCANELLA, C. A.; BANDEIRA, D. M.; CORREA, J. M. PINTO, F. G. S. EISING, R. Green synthesis of silver nanoparticles using methanol extract of *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 42062-42072, 2021. DOI <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-595>.

EBADI, A. G. The role of herbal medicine in combating chronic diseases: mechanisms and therapeutic potential. **International Journal of Human and Health Sciences**, v. 9, n. 2, 2025. DOI <http://dx.doi.org/10.31344/ijhhs.v9i2.816>.

EL-SEEDI, H. R.; EL-SHABASY, R. M.; KHALIFA, S. A. SAEED, A. SHAH; SHA, R.; IFTIKHAR, F.; ABDEL-DAIM, M. M.; OMRI, A.; HAJRAHAND, N. H.; SADIR, J. S.; ZOU, X.; HALABI, M. F.; SARHAN, W. GUO, W. Metal nanoparticles fabricated by green chemistry using natural extracts: Biosynthesis, mechanisms, and applications. **RSC advances**, v. 9, n. 42, p. 24539-24559, 2019. DOI <https://doi.org/10.1039/C9RA02225B>.

FAUSTINO, T. T.; ALMEIDA, R. B.; ANDREATINI, R. Medicinal plants for the treatment of generalized anxiety disorder: a review of controlled clinical studies. **Brazilian Journal of Psychiatry**, v. 4, p. 429-436, 2010. DOI <https://doi.org/10.1590/S1516-44462010005000026>.

FERREIRA, T. S.; MOREIRA, C. Z.; CÁRIA, N. Z.; VICTORIANO, G.; SILVA Jr, W. F.; MAGALHÃES, J. C. Phytotherapy: an introduction to its history, use and application. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 2, p. 290-298, 2014. DOI <https://doi.org/10.1590/S1516-05722014000200019>.

HAIDER, F. U.; ZULFIQAR, U.; AIN, N. U.; HUSSAIN, S.; MAQSOOD, M. F.; EJAZ, M.; YONG, J. W. H. LI, Y. Harnessing plant extracts for eco-friendly synthesis of iron nanoparticle (Fe-NPs): Characterization and their potential applications for ameliorating environmental pollutants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 281, p. 116620, 2024. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116620>.

HAN, X.; SUN, X.; SHI, Z.; FAN, X.; HU, Y.; CHEN, C.; XIA, Q.; SUN, Y.; PAN, D.. Study on the inhibitory effects and mechanisms of four polyphenolic compounds from *perilla* extract on advanced glycation end products (AGEs). **Food Chemistry: X**, v. 29, p. 102857, 2025. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102857>.

JELIC, M. D.; MANDIC, A. D.; MARICIC, S. M.; SRDJENOVIC, B. U. Oxidative stress and its role in cancer. **Journal of Cancer Research and Therapeutics**, v. 1, p. 22-28, 2021. DOI [10.4103/jcrt.JCRT_862_16](https://doi.org/10.4103/jcrt.JCRT_862_16).

JIBRIL, A. T.; ARERO, A. G.; KANKAM, S. B.; FUSEINI, M. Effect of *Avena sativa* (Oats) on cognitive function: A systematic review of randomized controlled trials. **Clinical Nutrition ESPEN**, v. 53, p. 144-150, 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2022.12.011>.

KENNEDY, D. O.; JACKSON, P. A.; FORSTER, J.; KHAN, J.; GROTHE, T.; PERRINJAQUET-MOCCHETTI, T.; HASKELL-RAMSAY, C. F. Acute effects of a wild green oat (*Avena sativa*) extract on cognitive function in middle-aged adults: A double-blind, placebo-controlled, within-subjects trial. **Nutritional neuroscience**, v. 20, n. 2, p. 135-151, 2017. DOI <https://doi.org/10.1080/1028415X.2015.1101304>.

KIM, I.; HWANG, C.; YANG, W.; KIM, C. Multiple Antioxidative and Bioactive Molecules of Oats (*Avena sativa* L.) in Human Health. **Antioxidants**, v. 10, n. 9, p. 1454, 2021. DOI <https://doi.org/10.3390/antiox10091454>.

KOÇAK, N.; CEILÃO, R.; ARSLAN, E.; EKSI, B. Ö.; KOYGUN, G. Green Synthesis of *Betula pendula* Roth. Mediated Silver Nanoparticles and Their Cytotoxic Effect on MCF-7 and MCF-12A Cell Lines. **Journal of Herbal Medicine**, v. 54, p. 101068, 2025. DOI <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2025.101068>.

KUMAR, V.; KAUSHIK, N. K.; TIWARI, S. K.; SINGH, D.; SINGH, B. Green synthesis of iron nanoparticles: Sources and multifarious biotechnological applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 253, p. 127017, 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127017>.

MALANCHEN, B. E.; SILVA, F. A.; GOTTARDI, T.; TERRA, D. A. Composition and functional physiological properties of the oat. **Fag Journal of Health (FJH)**, v. 2, p. 185-200, 2019. DOI [10.35984/fjh.v1i2.86](https://doi.org/10.35984/fjh.v1i2.86).

MALIK, S.; MUHAMMAD, K.; WAHEED, Y. Nanotechnology: a revolution in modern industry. **Molecules**, v. 28, n. 2, p. 661, 2023. DOI <https://doi.org/10.3390/molecules28020661>.

MARTINEZ-HORTA, S.; IVANIR, E.; PERRINJAQUET-MOCCEITI, T. KEUTER, M. H.; KULISEVSKY. Effects of a green oat herb extract on cognitive performance and neurophysiological activity: a randomized double-blind placebo-controlled study. **Frontiers in Neuroscience**, v. 15, p. 748188, 2021. DOI <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.748188>.

MENDES, A. P. A.; PEREIRA, R. C.; ANGELIS-PEREIRA, M. C. ESTRESSE OXIDATIVO E SISTEMAS ANTIOXIDANTES: CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOB OS ASPECTOS DA NUTRIÇÃO E DA CIÊNCIA DOS ALIMENTOS. In : **Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos - Volume 2** . 1.ed. [s/l]: Editora Científica Digital, 2020, p. 296–312.

MONDAL, P.; ANWESHAN, A.; PURKAIT, M. K. Green synthesis and environmental application of iron-based nanomaterials and nanocomposite: A review. **Chemosphere** , v. 259, p. 127509, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127509>.

MOURAD, A. N.; ELARINY, E. Y.; SHINDIA, A.; EL-SABER, M. M.; ALSHARIF, A.; SOLIMAN, M. M.; GABER, A.; ALOTAIBI, K. S.; OSMAN, A. Green synthesis of selenium nanoparticles, and its conjugation with antibacterial proteins for enhancing their antibacterial activity. **Bioorganic Chemistry**, v. 160, p. 108443, 2025. DOI <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2025.108443>.

NASROLLAHZADEH, M.; SAJADI, S. M.; SAJJADI, M.; ISSAABADI, Z. Uma introdução à nanotecnologia. **Ciência e tecnologia de interfaces**, v. 28, p. 1-27, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00001-8>.

PERRELLI, A.; BÓCIO, L.; SALZANO, A. M.; MOGLIA, A.; SCALONI, A.; RETTA, S. F. Atividades biológicas, benefícios para a saúde e propriedades terapêuticas das avenantramidas: da proteção da pele à prevenção e ao tratamento de doenças cerebrovasculares. **Medicina oxidativa e longevidade celular**, v. 2018, n. 1, p. 6015351, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/6015351>.

PINTUS, F.; FLORIS, S.; FAIS, A.; ERA, B.; PORCEDDA, C. TUBEROSO, C. I. G.; CADDEO, C. *Euphorbia characias* extract: inhibition of skin aging-related enzymes and nanoformulation. **Plants**, v. 11, n. 14, p. 1849, 2022a. DOI <https://doi.org/10.3390/plants11141849>.

PINTUS, F.; FLORIS, S.; FAIS, A.; ERA, B.; KUMAR, A.; GATTO, G.; URIARTE, E.; MATOS, M. J. Hydroxy-3-phenylcoumarins as multitarget compounds for skin aging diseases:

Synthesis, molecular docking and tyrosinase, elastase, collagenase and hyaluronidase inhibition, and sun protection factor. **Molecules**, v. 27, n. 20, p. 6914, 2022b. DOI <https://doi.org/10.3390/molecules27206914>.

PREVEDELLO, M. T.; COMACHIO, G. Antioxidants and their relationship with free radicals, and Chronic Non communicable Diseases: a literature review. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 55244-55285, 2021. DOI 10.34117/bjdv7n6-096.

QIANG, X.; LIANG, S.; LV, Y.; WANG, X.; ZHANG, H. ZHAN, J. Advanced glycation end products (AGEs) impair the intestinal epithelial barrier via STAT3 activation mediated by macrophages. **Food and Chemical Toxicology**, v. 192, p. 114966, 2024. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.114966>.

ROMERO, A. C.; HERNÁNDEZ, E. G. O.; CERÓN, T. F.; CHÁVEZ, A. A. The exogenous antioxidants. In: MORALES-GONZALES, José Antonio (Org.). **Oxidative Stress and Chronic Degenerative Diseases-A Role for Antioxidants**. [s/]: InTech, 2013. DOI 10.5772/52490.

SHAHABADI, N.; SHOKRAEI, S.; SHALMASHI, K.; SALTANI, L. Green synthesis of *Bupleurum rotundifolium*–Silver nanoparticles: Characterization, biological activities, and preliminary environmental risk assessment. **Industrial Crops and Products**, v. 237, p. 122159, 2025. DOI <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.122159>.

SIMAS, L. A. W.; GRANZOTI, R. O.; PORSCH, L. Estresse oxidativo e o seu impacto no envelhecimento: uma revisão bibliográfica. **Brazilian Journal of Natural Sciences**, v. 2, n. 2, p. 80, 2019. DOI <https://doi.org/10.31415/bjns.v2i2.53>.

THAPA, A.; MANDAL, S.; KHANRA, R.; DUA, T. K.; PAUL, P.; NANDI, G.; DEY, S.; LIMBU, D.; ADHIKARI, M. D.; KUMAR, R. S. Phytofabricated silver nanoparticles formulated from *Macropanax undulatus* leaf extract: green synthesis, characterization, biological evaluations, and protein and DNA interactions. **Journal of Molecular Structure**, v. 1349, p. 143711, 2026. DOI <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2025.143711>.

WANG, S.; ZHANG, Y.; LI, W.; ZHAO, X.; ZHANG, M.; WANG, M.; XIE, J. Effects and mechanisms of dietary polyphenols in ameliorating glycolipid metabolic disorders: Inhibition of advanced glycation end products. **Fitoterapia**, v. 184, p. 106668, 2025. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2025.106668>.

WANKHEDE, N. L.; KALE, M. B.; BAWANKULE, A. K.; AGLAWE, M. M.; TAKSANDE, B. G.; TRIVEDI, R. V.; UMEKAR, M. J.; JAMADAGNI, A.; WALSE, P.; KOPPULA, S. Visão geral sobre o polifenol avenantramida na aveia (*Avena sativa* Linn.) como regulador da sinalização PI3K no tratamento de doenças neurodegenerativas. **Nutrients**, v. 15, n. 17, p. 3751, 2023. DOI <https://doi.org/10.3390/nu15173751>.

WONG, R. H.; HOWE, P. C.; COATES, A. M.; BUCLEY, J. D.; BERRY, N. M. Chronic consumption of a wild green oat extract (Neuravena) improves brachial flow-mediated dilatation and cerebrovascular responsiveness in older adults. **Journal of Hypertension**, v. 31, n. 1, p. 192-200, 2013. DOI 10.1097/HJH.0b013e32835b04d4.

XIAO, X.; DENG, H.; LIN, X.; ALI, A. S. M.; VISCARDI, A.; GUO, Z.; QIAO, L.; HE, Y.; HAN, J. Selenium nanoparticles: Properties, preparation methods, and therapeutic applications. **Chemico-biological interactions**, v. 378, p. 110483, 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2023.110483>.

YOUNIS, M. M.; AYOUB, I. M.; MOSTAFA, N. M.; HASSAB, M. A. E.; ELDEHNA, W. M.; AL-RASHOOD, S. T.; ELDAHSHAN, O. A. GC/MS profiling, anti-collagenase, anti-elastase, anti-tyrosinase and anti-hyaluronidase activities of a *Stenocarpus sinuatus* leaves extract. **Plants**, v. 11, n. 7, p. 918, 2022. DOI <https://doi.org/10.3390/plants11070918>.

ZONNER, A. M.; MATIUSSU, J. R.; MELO, P. G. B.; COGO, J.; JACOMASSI, E.; HOSCHEID, J.; BOLETA-CERANTO, D. C. F.; ZARDETO, G. Medicinal plants and their use in phytotherapy. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 35006-35016, 2022. DOI [10.34117/bjdv8n5-151](https://doi.org/10.34117/bjdv8n5-151).

ŻUKOWSKI, P.; MACIEJCZYK, M.; WASZKIEL, D. Sources of free radicals and oxidative stress in the oral cavity. **Archives of Oral Biology**, v. 92, p. 8-17, 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2018.04.018>.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. (ESPA), comercialmente conhecido como Neuravena[®], foi eficaz na síntese verde de nanopartículas de prata (AgNPs), ferro (FeNPs) e selênio (SeNPs), atuando simultaneamente como agentes biorredutores e estabilizantes. Essa abordagem evidencia o potencial desse extrato como matriz funcional para a obtenção de sistemas nanoestruturados por rotas sustentáveis.

Além disso, o ESPA apresentou atividade antioxidante, antiglicante e antienvhecimento, com capacidade de inibição de enzimas envolvidas nos processos de envelhecimento cutâneo, como colagenase, elastase e tirosinase, conforme demonstrado por ensaios *in vitro* e *in silico*. Tais efeitos estão associados à presença de compostos bioativos no extrato, incluindo avenantramidas, flavonoides e saponinas, como vitexina e isovitexina.

De forma inédita, este estudo aplica uma abordagem nanotecnológica para a obtenção de AgNPs, FeNPs e SeNPs utilizando o ESPA como agente redutor e estabilizante, ampliando o potencial de utilização desse extrato além de sua aplicação isolada. As AgNPs destacaram-se por potencializar a atividade antioxidante do extrato. Por sua vez, as FeNPs e SeNPs apresentaram maior destaque na atividade antiglicante, evidenciando que a natureza do precursor de cada nanopartícula influencia as propriedades biológicas finais, mesmo quando sintetizadas a partir do mesmo extrato.

Nesse contexto, a incorporação do extrato seco padronizado de *Avena sativa* L. em sistemas nanoestruturados mostrou-se uma estratégia mais vantajosa em comparação a utilização do extrato isoladamente, uma vez que permite a obtenção de materiais com propriedades multifuncionais e potencial de aplicação ampliado.

Por fim, embora os resultados sejam promissores, estudos adicionais ainda se fazem necessários para aprofundar a compreensão dos mecanismos de ação dessas nanopartículas, bem como para avaliar sua segurança e aplicabilidade, visando o desenvolvimento futuro de bioprodutos com potencial aplicação nos setores alimentício, farmacêutico e cosmético.