



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE FARMÁCIA
DEPARTAMENTO DE FARMÁCIA



DANIEL NUNES DOURADO

**INVESTIGAÇÃO SOBRE O FATOR DE PROTEÇÃO SOLAR *in vitro* E
ANTIBACTERIANO DE FRAÇÕES DO EXTRATO ETANÓLICO DE *Jacaranda
mimosifolia***

OURO PRETO

2025

DANIEL NUNES DOURADO

**INVESTIGAÇÃO SOBRE O FATOR DE PROTEÇÃO SOLAR *in vitro* E
ANTIBACTERIANO DE FRAÇÕES DO EXTRATO ETANÓLICO DE *Jacaranda
mimosifolia***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Farmácia da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Farmácia.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique Bianco de Souza.

Co-orientador: Doutorando Lucas Resende Dutra Sousa.

OURO PRETO

2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

D739i Dourado, Daniel Nunes.

Investigação sobre o fator de proteção solar in vitro e antibacteriano de frações do extrato etanólico de Jacaranda mimosifolia. [manuscrito] / Daniel Nunes Dourado. - 2025.

51 f.: il.: color., tab.. + Quadros.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique Bianco de Souza.

Coorientador: Me. Lucas Resende Dutra Sousa.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Farmácia. Graduação em Farmácia .

1. Fator de Proteção Solar. 2. Antibacterianos. 3. Farmacorresistência Bacteriana Múltipla. 4. Extratos vegetais. 5. Cromatografia. 6. Jacaranda mimosifolia. I. de Souza, Gustavo Henrique Bianco. II. Sousa, Lucas Resende Dutra. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 615.32

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



FOLHA DE APROVAÇÃO

Daniel Nunes Dourado

Investigação sobre o fator de proteção solar *in vitro* e antibacteriano de frações do extrato etanólico de *Jacaranda mimosifolia*

Monografia apresentada ao Curso de Farmácia da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Farmácia

Aprovada em 04 de setembro de 2025

Membros da banca

Prof. Dr. Gustavo Henrique Bianco de Souza - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Farmácia
Me. Doutorando Lucas Resende Dutra Sousa - Coorientador - Universidade Federal de Ouro Preto - CIPHARMA
Profa. Dra. Juliana Cristina dos Santos Almeida Bastos - Universidade Federal de São João del-Rei - Campus Divinópolis
Dra. Viviane Flores Xavier - Universidade Federal de Ouro Preto - NUPEB

Gustavo Henrique Bianco de Souza, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 23/09/2025



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Henrique Bianco de Souza, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/09/2025, às 23:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0983357** e o código CRC **395B465C**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família, minha mãe Alba, minhas irmãs Patrícia e Nerissa por todo apoio em me aventurar em terras tão longínquas.

Ao meu grande amor Isadora por estar ao meu lado durante toda essa luta.

A minha mãe 2, Dorinha, por todo apoio e bons momentos que ajudaram a percorrer esse caminho.

A minha casa República Jardim Zoológico por me abrigar e fornecer amigos e irmãos para a vida toda.

Agradeço também a UFOP e a Escola de Farmácia por manter a tradição do ensino gratuito e de qualidade a todos que buscam o conhecimento.

Agradeço ao meu amigo e co-orientador Lucas Resende Dutra Sousa por toda a paciência em me ensinar e por fazer o impossível para me ajudar.

Agradeço ao meu orientador Gustavo Henrique Bianco de Souza por acreditar na minha capacidade e pela paciência ao desenvolver este projeto.

E por último, mas não menos importante as Lorena e Celuana que me ajudaram a entender, perceber e superar os obstáculos invisíveis que estiveram em meu caminho.

RESUMO

Introdução: A utilização de extratos vegetais acompanha a história humana como forma de tratamento e prevenção de diversas condições de saúde. O aumento da resistência microbiana aos antibióticos e o potencial danoso da radiação ultravioleta, assim como os riscos dos protetores solares a saúde e ao meio ambiente são áreas de interesse na pesquisa do potencial terapêutico e profilático dos metabólitos secundários das plantas. **Objetivos:** Diante deste cenário, o presente trabalho teve como objetivo investigar o potencial fotoprotetor e antibacteriano de diferentes frações cromatográficas obtidas a partir do extrato etanólico das folhas de *Jacaranda mimosifolia*. **Método:** Utilizando o extrato etanólico das folhas do Jacarandá-mimoso foi realizada uma separação por cromatografia em coluna utilizando três proporções distintas de sílica gel e carvão ativado como fases estacionárias (8:2, 1:1 e 8:2 respectivamente), e o metanol como solvente eluente. Em seguida foram realizados um ensaio de fotoproteção *in vitro* pelo método espectrofotométrico de (Mansur, 1986) e um ensaio de capacidade antibacteriana pela concentração inibitória mínima (CIM), utilizando quatro cepas bacterianas: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Staphylococcus aureus* resistente a meticilina (MRSA) PNCQ 357, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 e *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853. **Resultados:** Os resultados demonstraram que as frações obtidas possuem fator de proteção solar (FPS) distintos, indicando uma relação com a proporção de carvão ativado e sílica utilizados na cromatografia atingindo um FPS = 26,35 na fração obtida com menos carvão, em sua maior concentração (1000 µg/mL), assim como as duas frações obtidas pela menor proporção de carvão ativado demonstraram atividade antibacteriana na concentração de 2 mg/mL, para três das quatro cepas utilizadas no ensaio, sendo uma delas a cepa resistente a meticilina (MRSA). **Conclusão:** Dessa forma, pode-se concluir que duas frações obtidas por cromatografia em coluna possuem atividade fotoprotetora e antimicrobiana contra bactérias resistentes, assim como foi observada a interferência da proporção de carvão ativado e sílica nessas atividades. Essa relação pode indicar que os compostos responsáveis pelos efeitos observados possuem afinidades distintas pelas fases estacionárias. Além disso, as atividades observadas indicam que o extrato das folhas de jacarandá-mimoso tem o potencial de ser uma possível fonte de compostos de interesse clínico, fomentando sua utilização em estudos posteriores que se aprofundem mais em sua caracterização.

Palavras Chaves: antibacteriano, bactérias resistentes, cromatografia em coluna, extrato vegetal, fotoproteção, *Jacaranda mimosifolia*, meio ambiente, saúde.

ABSTRACT

Introduction: The use of plant extracts has accompanied human history as a form of treatment and prevention for various health conditions. The increase in microbial resistance to antibiotics and the harmful potential of ultraviolet radiation, as well as the health and environmental risks associated with sunscreens, are areas of interest in research on the therapeutic and prophylactic potential of plant secondary metabolites. **Objectives:** In this context, the present study aimed to investigate the photoprotective and antibacterial potential of different chromatographic fractions obtained from the ethanolic extract of *Jacaranda mimosifolia* leaves. **Method:** Using the ethanolic extract of *Jacaranda mimosifolia* leaves, a column chromatography separation was performed with three distinct proportions of silica gel and activated charcoal as stationary phases (8:2, 1:1, and 8:2, respectively), and methanol as the eluent solvent. Subsequently, an in vitro photoprotection assay was carried out using the spectrophotometric method of Mansur *et al.* (1986), as well as an antibacterial activity assay by determining the minimum inhibitory concentration (MIC), against four bacterial strains: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) PNCQ 357, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228, and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853. **Results:** The results demonstrated that the fractions obtained presented different sun protection factor (SPF) values, indicating a relationship with the proportion of activated charcoal and silica used in chromatography, reaching an SPF = 26.35 in the fraction obtained with less charcoal at its highest concentration (1000 µg/mL). In addition, the two fractions obtained with the lower proportion of activated charcoal exhibited antibacterial activity at a concentration of 2 mg/mL against three of the four strains tested, including the methicillin-resistant strain (MRSA). **Conclusion:** Thus, it can be concluded that two fractions obtained by column chromatography showed both photoprotective and antimicrobial activity against resistant bacteria, and that the proportion of activated charcoal and silica influenced these activities. This relationship may indicate that the compounds responsible for the observed effects have different affinities for the stationary phases. Furthermore, the observed activities suggest that the extract of *Jacaranda mimosifolia* leaves has the potential to serve as a possible source of clinically relevant compounds, encouraging its use in future studies aimed at further characterization.

Keywords: antibacterial, column chromatography, environment, health, *Jacaranda mimosifolia*, photoprotection, plant extract, resistant bacteria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Camadas da Pele.....	15
Figura 2: Câncer de pele.....	26
Figura 3 - Estrutura química da oxibenzona.....	27
Figura 4 - Modo de ação dos filtros solares.....	30
Figura 5 - Estrutura básica dos flavonóides.....	31
Figura 6 - Caule e folhas de Jacaranda mimosifolia.....	34

LISTA DE TABELAS

Quadro 1 - Microrganismos encontrados na flora residente	17
Quadro 2 - Classificação e exemplos de flavonóides.....	31
Quadro 3 - Variedades do gênero Jacaranda, suas aplicações e compostos ativos.	33
Tabela 1 - Proporção de sílica e carvão ativado para cromatografia em coluna.....	36
Tabela 2 - Função normalizada para cálculo de FPS.....	38
Tabela 3 - Massa de extrato bruto utilizado, massa obtida por cromatografia em triplicata e rendimento calculado em porcentagem e desvio padrão.....	40
Tabela 4 - Valores de FPS determinados in vitro pelo método espectrofotométrico para frações cromatográficas e padrões fenólicos e desvio padrão, “-“ indica que não foi possível calcular..	41
Tabela 5 – Concentração Inibitória Mínima (CIM) das amostras analisadas frente às diferentes cepas, “-“ indica que não foi possível calcular.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS

8-OHdG – 8-oxo-7,8-dihidro-2'-desoxiguanosina

°C - Graus Celsius

Abs (λ) - Absorbância obtida para cada comprimento de onda

AMPK – Proteína Quinase Ativada por AMP

AP-1 – Proteína Ativadora-1 (fator de transcrição)

CIM - Concentração inibitória mínima

CLAE - Cromatografia líquida de alta eficiência

CLSI - Clinical and Laboratory Standards Institute

CLUE - Cromatografia de ultra eficiência acoplada

CMH - Caldo Mueller-Hinton

DAD - Detecção de arranjo de diodos

DCP – Dímeros de Ciclobutano de Pirimidina

DME - Dose Mínima Eritematosa

DMSO - dimetilsulfóxido

DNA – Ácido Desoxirribonucleico

EE (λ) - Espectro de eficiência eritematogênica

EM - Espectrometria de massas

ERO – Espécies Reativas de Oxigênio

ESI - ionização por eletropulverização

FC - Fator de correção

FPS - Fator de Proteção Solar

Fr. 1 - Fração 1

Fr. 2 - Fração 2

Fr. 3 - Fração 3

g - Gramas

I (λ) - Espectro de intensidade da luz solar simulada;

IL-1 α – Interleucina 1 alfa

IL-6 – Interleucina 6

IPTMs - Infecções de pele e tecidos moles

LV - Luz Visível

MEC – Matriz Extracelular

mg/mL - Miligrama por mililitro
MHA - Meio Mueller-Hinton
mm - Milímetros
MMP – Metaloproteinases de Matriz
MMP-1 – Colagenase Intersticial
MMP-3 – Estromelisina-1
MMP-9 – Gelatinase de 92-kDa
MRSA - *Staphylococcus aureus* resistente à metilina
m/v - Massa por volume
nm - Nanômetros
PABA - ácido para-aminobenzoico
PBP2a - Proteína de ligação à penicilina 2a
pH - Potencial hidrogeniônico
s – Segundos
S. aureus – *Staphylococcus aureus*
TNF- α – Fator de Necrose Tumoral alfa
TTC - 2,3,5-trifeniltetrazólio
UFC/mL - Unidades Formadoras de Colônia por mililitro
UVA – Radiação Ultravioleta tipo A
UVB – Radiação Ultravioleta tipo B
UVC – Radiação Ultravioleta tipo C
UV – Radiação Ultravioleta
 μ g/mL - Micrograma por mililitro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1.	Pele	14
2.1.1.	Camadas da pele	15
2.1.1.1.	Epiderme	15
2.1.1.2.	Derme	16
2.1.1.3.	Hipoderme	16
2.1.2.	Microbiota cutânea	16
2.2.	Infecções de Pele e Tecidos Moles	18
2.3.	Desenvolvimento de Resistência	18
2.4.	Uso de compostos vegetais contra microrganismos resistentes	20
3	A Radiação solar	21
3.1.	Efeitos da radiação ultravioleta (UV) na pele humana	21
3.1.1.	Eritema	22
3.1.2.	Queimadura Solar	22
3.1.3.	Insolação	22
3.1.4.	Pigmentação	23
3.1.5.	Fotoimunossupressão	23
3.1.6.	Fotoenvelhecimento	24
3.1.7.	Câncer de pele	26
3.1.7.1.	Prevenção do câncer de pele	27
3.2.	Fotoproteção e Filtros Solares	27
3.2.1.	Filtros físicos	28
3.2.2.	Filtros químicos	29
3.3.	Compostos naturalmente fotoprotetores	30
3.4.	Família Bignoniaceae	32
3.4.1.	Usos populares das espécies de Jacarandá	32
3.4.2.	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	33
4	OBJETIVOS	35
4.1.	OBJETIVO GERAL	35
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	35
5	METODOLOGIA	35

5.1. Cromatografia de Coluna	35
5.2. Determinação do Fator de Proteção Solar (FPS)	37
5.3. Determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM)	38
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
6.1. Rendimento das cromatografias	40
6.2. Determinação do FPS <i>in vitro</i> pelo método espectrofotométrico	41
6.3. Atividade Antimicrobiana – Concentração Inibitória Mínima (CIM)	43
7 CONCLUSÃO	45
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

A busca por substâncias naturais que sejam seguras e eficazes do ponto de vista ambiental e toxicológico na prevenção de afecções cutâneas como o fotoenvelhecimento e o câncer de pele, tem impulsionado a pesquisa sobre os compostos de origem vegetal, dessa forma, os extratos das plantas do gênero *Jacaranda* destacam-se como fonte promissora pela sua composição fitoquímica, dentre essas plantas, está o Jacarandá-mimoso que é conhecido por apresentar potencial farmacológico (Simão, *et al.*, 2020; Serra *et al.*, 2020, Raffa *et al.*, 2015; Krause *et al.*, 2012;).

A relevância de investigar extratos vegetais, como os produzidos a partir do Jacarandá-mimoso, reside não apenas na sua ampla distribuição na natureza, mas também em sua diversidade química, que inclui flavonoides, terpenoides, ácidos fenólicos dentre outros que lhe atribuem propriedades antioxidante, fotoprotetora e antimicrobiana, que explicam seu uso terapêutico e profilático e serviu de direcionamento para a realização deste estudo (Costa, 2022; Serra *et al.*, 2020; Naz, *et al.*, 2020; Petruk *et al.*, 2018).

Os polifenóis são compostos abundantemente presentes no reino vegetal, e que exercem papel fundamental na proteção celular das plantas e contra os danos oxidativos e gerados pela radiação solar, devido à sua capacidade de neutralizar radicais livres. Substâncias como os flavonoides, alcalóides e triterpenos, também são conhecidos por demonstrarem atividade antibacteriana tendo seu uso tradicionalmente realizado na forma de extratos naturais (Serra *et al.*, 2020; Martins, 2011; Cowan, 1999).

Os extratos vegetais possuem metabólitos secundários como os polifenóis, que demonstram atividade antimicrobiana *in vitro*, atuando inclusive contra os microrganismos resistentes, criando um sinergismo com os antibióticos já utilizados por diminuir as defesas dos microrganismos. Levantando assim, a possibilidade de serem utilizados no tratamento de doenças infecciosas, trazendo uma nova alternativa terapêutica pelo efeito sinérgico de sua associação com antibióticos (Amparo, 2024; Abreu, McBain; Simões, 2012; Nascimento *et al.*, 2000; Cowan, 1999).

O aumento dos casos de infecção por bactérias resistentes aos antimicrobianos levanta uma séria preocupação acerca do uso dos antibióticos já estabelecidos na prática clínica representando um dos maiores desafios para a saúde pública e global em virtude do aparecimento de outras cepas resistentes, dificultam o tratamento das infecções, aumenta a morbidade, mortalidade e os custos das unidades de assistência à saúde (Guo *et al.*, 2013; Kadosaki, 2012; David; Daum, 2010; Silveira *et al.*, 2006; Nasser; Mabrouk; Maher, 2003).

Diante desse cenário, há um crescente interesse científico e mercadológico pela busca por alternativas mais seguras e sustentáveis que sejam baseadas em compostos de origem natural. Nesse contexto, os compostos polifenólicos, são considerados promissores por sua atividade fotoprotetora e antimicrobiana ao mesmo tempo em que reduzem a necessidade de altas concentrações de filtros sintéticos (Karak, 2019; Cefali *et al.*, 2016; Nascimento *et al.*, 2000).

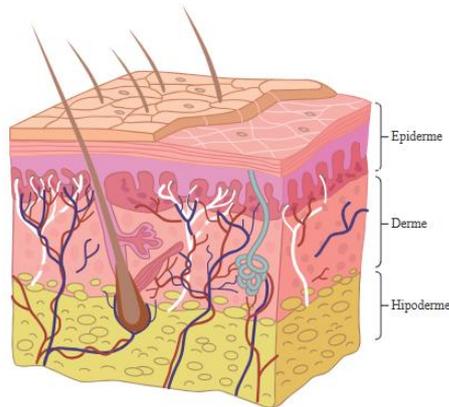
Portanto, sugere-se que, a atividade fotoprotetora e antibacteriana das frações obtidas a partir do extrato etanólico das folhas do *Jacaranda mimosifolia*, possam também ser aplicadas como opção para uma abordagem mais natural em detrimento do uso de compostos sintéticos, uma vez que a literatura relata essas atividades em substâncias presentes nesse tipo de extrato como é o caso dos flavonoides (Shoukry *et al.*, 2023; Naz *et al.*, 2020; Petruk *et al.*, 2018).

Este trabalho se propõe a explorar essa temática através da revisão da literatura científica e realização de testes de potencial fotoprotetor e antibacteriano, abordando aspectos como a estrutura química dos possíveis fitoativos do Jacarandá-mimoso e os mecanismos de ação envolvidos na sua atividade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Pele

A pele é o maior e mais complexo órgão humano, representando aproximadamente 15% do peso corporal. Possui diversas funções no organismo como, por exemplo, a proteção frente aos agentes exógenos físicos, químicos e biológicos, participa da homeostase, interage seletivamente com o ambiente entre outras. Pode ser dividida em três camadas, cada uma composta por células específicas: derme, epiderme e hipoderme, como demonstrado a seguir na figura 1 (Coalson *et al.*, 2019; Tobin, 2017).

Figura 1: Camadas da Pele

Fonte: UFPE, 2017

A pele possui diversas funções, dentre elas, a de proteção contra os danos causados pela radiação ultravioleta. Com o aumento progressivo do aquecimento global e depleção da camada de ozônio, essa proteção tem se tornado cada vez menos eficiente, uma vez que, a cada ano a incidência de doenças de pele aumenta, entre elas, o câncer de pele, é cada vez mais necessário buscar alternativas para o desenvolvimento de produtos com o potencial de proteção da pele e de prevenção dessas enfermidades (Purim, 2010).

2.1.1. Camadas da pele

2.1.1.1. Epiderme

A epiderme é a porção mais superficial da pele, caracteriza-se por ser avascular e composta pelo epitélio pavimentoso estratificado queratinizado. Seus principais constituintes celulares são os queratinócitos, os quais sofrem um processo contínuo de diferenciação celular, originando, em sentido da profundidade para a superfície, quatro estratos distintos: estrato basal, estrato espinhoso, estrato granuloso e estrato córneo (Baroni *et al.*, 2012; Weller *et al.*, 2008).

Por ser a camada mais externa da pele, apresenta variações de espessura de acordo com a região anatômica, sendo mais espessa nas palmas das mãos e plantas dos pés, e mais delgada nas pálpebras. Atua como a primeira barreira física corporal, e funciona em conjunto com a derme subjacente, que é uma camada mais espessa, altamente vascularizada e inervada (Alves, 2019).

A junção da derme com a epiderme ocorre de forma irregular por meio das papilas dérmicas, que são cavidades onde ocorre a coesão entre as duas camadas e atua como suporte

para a derme. Permite a troca de células e fluidos e serve para o direcionamento e organização dos queratinócitos (Junqueira; Carneiro, 2004).

2.1.1.2. Derme

A derme é uma camada da pele altamente vascularizada, contém as glândulas sudoríparas, sebáceas, e os folículos pilosos. É composta por fibras de colágeno e elastina sintetizadas pelos fibroblastos e está intimamente conectada à hipoderme (ou tecido conjuntivo subcutâneo), que abriga os vasos sanguíneos de maior calibre e as fibras nervosas, e desempenha um papel fundamental na termorregulação sistêmica (Alves, 2019; Kolarsick; Goodwin, 2011).

É composta por tecido conjuntivo mesenquimal e é responsável por apoiar a epiderme e se unir a hipoderme, sendo seu principal constituinte o colágeno do tipo 1. Possui duas camadas distintas, a camada papilar que se encontra em contato com a epiderme, formando as papilas dérmicas dispostas de forma aleatória, composta por fibras colágenas e tecido conjuntivo frouxo e a camada reticular, que é mais espessa composta por fibras de colágeno espessas dispostas de forma paralela e tecido conjuntivo denso que se estende da base da camada papilar até a hipoderme (Kolarsick; Goodwin, 2011; Habif, 1996).

2.1.1.3. Hipoderme

A hipoderme, também conhecida como tecido conjuntivo subcutâneo, é constituída por tecido conjuntivo frouxo. Está diretamente ligada a derme e é a camada mais interna da pele, onde está o tecido adiposo responsável pela reserva energética corporal (Junqueira; Carneiro, 2004).

Atua como uma barreira contra traumas físicos e permite o deslizamento entre a derme e órgãos subjacentes. Sua espessura varia conforme grau de nutrição do indivíduo e localização corporal (Cestari, 2018; Mcgrath, 2017; Junqueira; Carneiro, 2004).

2.1.2. Microbiota cutânea

Na superfície externa da pele humana são identificadas algumas variedades de microrganismos diferentes, essas colônias compõem a chamada microbiota ou microflora residente (quadro 1), a composição e densidade desta microflora costuma ser estável ao longo

da vida, e pode variar de acordo com o local do corpo onde ocorrem sendo influenciada por fatores como umidade e pH. O ambiente favorável da pele, também serve de suporte para a chamada microflora transitória, que pode desempenhar um papel importante na ocorrência de infecções (Mackowiak, 1982; Nobel, 1980; Price, 1938 *apud* Percival *et al.*, 2012).

Quadro 1- Microorganismos encontrados na flora residente

Microflora residente
Micrococáceas
Estafilococos coagulase-negativos
Peptococos
Espécies de <i>Micrococcus</i>
Organismos corineformes
Corinebactérias
Brevibactérias
Propionibactérias
Acinetobactérias
Pityrosporum

Fonte: Roth, 1989 (Adaptado).

As bactérias são organismos procariontes unicelulares que possuem uma parede celular de peptídeoglicano que lhes conferem proteção. São classificados pela sua forma (cocos, bacilos e espiralados) e pela técnica de coloração de Gram, em Gram-positivas que se coram em roxo, e Gram-negativas que se coram em vermelho. Essa distinção é crucial na prática clínica para orientar o tratamento com antibióticos de forma mais específica (Vieira; Fernandes, 2012).

A pele humana possui uma certa resistência a estafilococos coagulase-positivos como o *Staphylococcus aureus*, entretanto, quando há algum dano à pele, o tecido subjacente fica vulnerável ao risco de infecção, sendo comum encontrar este microrganismo, assim como espécies de enterococos, *Pseudomonas aeruginosa*, cândida e outros estafilococos em feridas e queimaduras infectadas. O *Staphylococcus epidermidis*, por exemplo, pode ser frequentemente identificado em pacientes com Acne vulgaris, e é um dos componentes da microflora residente dos adultos (Altoparlak *et al.*, 2004; Vindenes; Bjerknes, 1995; Taylor *et al.*, 1992; Leeming; Holland; Cunliffe, 1984).

As bactérias desempenham um papel importante na ecologia e equilíbrio ambiental, sendo apenas uma pequena parcela capaz de gerar infecções e doenças. A doença é comumente gerada pelo dano celular causado pela infecção ou pela resposta imunológica induzida no organismo. Comparada com infecções virais e parasitológicas, as infecções bacterianas dispõem de uma gama maior de medicamentos para combatê-las, entretanto, o desenvolvimento

de resistência a esses medicamentos gera grande preocupação em saúde por dificultar o tratamento e aumentar a morbidade, a mortalidade e os custos (Doron; Gorbach, 2008).

2.2. Infecções de Pele e Tecidos Moles

As infecções de pele e tecidos moles (IPTMs) são invasões microbianas que causam inflamação na epiderme, derme e tecidos subcutâneos como o impetigo, a foliculite, a celulite dentre outros. O *Staphylococcus aureus* é uma bactéria do grupo dos cocos gram-positivos considerada como o principal agente etiológico dessas condições, mas também podem ser causadas por *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* e *Enterococcus spp.* A morbidade e custo dessas infecções vem aumentando devido a crescente prevalência de patógenos multirresistentes, sendo esta resistência associada ao aumento de cepas produtoras de metalo- β -lactamases (Dryden, 2009; Moet, 2007; Santos, 2007).

O aumento dos casos de infecção por *S. aureus* resistente à metilina (MRSA) em pessoas que frequentam locais de assistência à saúde e não fazem parte da população de risco, levanta uma séria preocupação acerca do uso dos antibióticos já estabelecidos na prática clínica, em virtude da possibilidade de aparecerem outras cepas resistentes (Guo *et al.*, 2013; David; Daum, 2010; Nasser; Mabrouk; Maher, 2003).

A resistência bacteriana aos antibióticos representa um dos maiores desafios para a saúde pública e global, pois além de dificultar o tratamento das infecções, também aumenta a probabilidade de complicações, o tempo de internação e conseqüentemente os custos das unidades de assistência à saúde. Este é um problema que possui múltiplas origens, sendo reforçado pelo uso inadequado de antimicrobianos, pela disseminação de microrganismos resistentes em estabelecimentos de saúde e na comunidade, longos períodos de internação e ausência de medidas rigorosas de controle (De Oliveira *et al.*, 2025; Kadosaki, 2012; Silveira *et al.*, 2006).

2.3. Desenvolvimento de Resistência

O desenvolvimento de resistência a medicamentos faz parte do processo evolutivo das bactérias, entretanto, o tratamento de infecções com antibióticos pode ser uma forma de selecionar os indivíduos mais adaptados. A interrupção precoce do tratamento, uso indiscriminado ou prescrição equivocada contra infecções virais, são práticas que contribuem

para o aparecimento de cepas resistentes. Esse processo compromete a eficácia dos tratamentos disponíveis atualmente e representa um grande desafio em saúde pública, assim como exige a implementação de estratégias de conscientização e controle sobre o uso desses medicamentos pelas instituições de saúde (BATISTA *et al.*, 2024).

Os antibióticos são medicamentos direcionados a combater os microrganismos invasores, mas podem gerar alterações na ecologia microbiana individual com o potencial de influenciar a saúde de outras pessoas, desse modo, há uma preocupação permanente sobre a disseminação de cepas resistentes em comunidades a partir dos ambientes nosocomiais, por serem locais de alto uso desses medicamentos e serem frequentados por indivíduos mais suscetíveis a infecção (Monroe; Polk, 2000; Jones, 1998).

Os principais mecanismos de resistência bacteriana são a captação diminuída das moléculas de medicamento, a modificação e degradação enzimática dos medicamentos, a alteração de proteínas de ligação à penicilina, o efluxo do medicamento da célula, e a produção de um alvo alterado (Giedraitienė *et al.*, 2011).

O *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (MRSA) é uma das espécies resistentes mais distribuída pelo mundo, sendo capaz de resistir a antibióticos β -lactâmicos, como as penicilinas, cefalosporinas e carbapenêmicos pela modificação da proteína de ligação à penicilina 2a (PBP2a), que diminui sua afinidade por antibióticos β -lactâmicos (Pinho; De Lencastre; Tomasz, 2001).

A formação de biofilme aumenta a virulência do *Staphylococcus aureus*, por se aderir em superfícies bióticas e abióticas. O biofilme é formado por células inseridas em uma matriz extracelular composta por proteínas, material genético e um polissacarídeo de adesão. Essas células são naturalmente mais resistentes aos antibióticos por possuir menor atividade metabólica e se dividirem menos, o que dificulta a ação de alguns antibióticos (Otto; Stewart; Franklin, 2008; Lewis, 2001 *apud* Yoshii *et al.*, 2017).

Diante deste cenário, existe um crescente interesse em melhorar os fármacos já existentes para o tratamento de infecções bacterianas, a busca por novas alternativas traz a luz a utilização de compostos de origem natural, como os extratos vegetais, que têm demonstrado proporcionar um sinergismo de atuação com os antibióticos, como a capacidade de aumentar a permeabilidade das membranas bacterianas e facilitar a entrada do fármaco, representando assim, uma possível estratégia contra cepas de bactérias resistentes e para o tratamento de

doenças infecciosas (Amâncio, 2019; Oliveira *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2006; Nascimento *et al.*, 2000).

2.4. Uso de compostos vegetais contra microrganismos resistentes

A partir da matéria prima vegetal, novos fármacos costumam ser desenvolvidos com o foco em um único metabólito secundário que seja responsável pelo efeito terapêutico, em contrapartida, o extrato vegetal pode ser mais benéfico no contexto da atividade biológica combinada entre os compostos presentes. Em doenças complexas como as infecções de pele e tecidos moles (IPTM) a combinação de efeitos como antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano e cicatrizante pode facilitar o tratamento por agir no processo fisiopatológico da doença (Carmona; Pereira, 2013; Williamson, 2001).

A composição complexa dos extratos pode gerar um sinergismo de ação entre as diferentes moléculas podendo melhorar a solubilidade, reabsorção e biodisponibilidade dos medicamentos. O sinergismo também se estende a substâncias que não estão presentes no extrato como enzimas e receptores bacterianos, podendo tanto antagonizar os mecanismos de resistência dos microrganismos, como aumentar a permeabilidade da membrana do microrganismo, inibir a degradação enzimática ou bloquear as bombas de efluxo dos fármacos (Abreu, Mcbain; Simões, 2012).

Os extratos vegetais demonstram atuar no combate aos microrganismos resistentes. Diversos metabólitos secundários vegetais, possuem atividade antimicrobiana *in vitro* como os polifenóis, flavonoides, terpenoides, taninos e alcaloides levantando a possibilidade de serem utilizados no tratamento de doenças infecciosas, trazendo uma nova alternativa terapêutica pelo efeito sinérgico de sua associação com antibióticos, possibilitando inclusive o uso de antibióticos que não são mais eficazes contra determinado microrganismo (Nascimento *et al.*, 2000; Cowan, 1999).

Foi demonstrado por (Amparo, 2024) que o extrato de *Protium spruceanum* é capaz de aumentar a atividade da mupirocina contra *S. aureus* e MRSA por aumentar a permeabilidade da membrana facilitando a entrada da mupirocina nas células bacterianas. Alguns compostos polifenólicos como a quercetina, também demonstram esse efeito de aumentar a permeabilidade da membrana de microrganismos, as plantas do gênero Bignoniaceae possui exemplares ricos em compostos polifenólicos, a exemplo o Jacarandá-mimoso, que apresenta atividade antibacteriana contra bactérias gram-positivas e gram-negativas (Eid *et al.*, 2021; Aguirre-Becerra *et al.*, 2020; Amparo *et al.*, 2020; Sidjui *et al.*, 2016).

2.5. A Radiação solar

A radiação solar é um conjunto de ondas eletromagnéticas que podem ser analisadas a partir das características das três faixas principais do seu espectro, de acordo com comprimentos de onda específicos, sendo elas o infravermelho (IR), a luz visível (LV) e a radiação ultravioleta (UV), que corresponde entre 4 a 6% de toda a radiação solar que incide sobre nosso planeta (Bezerra, 2023; Alves *et al.*, 2021; Franco, 2018).

Sendo a radiação ultravioleta o componente da radiação solar que possui maior energia e potencial danoso à pele humana, a mesma também pode ser classificada em três faixas principais de acordo com o comprimento de onda: UVA (320–400 nm) que representa cerca de 90% da radiação UV, possui maior penetração na pele (cerca de 1 mm) atingindo a epiderme e a derme e induzindo a geração de espécies reativas de oxigênio (ERO) que são capazes de danificar estruturas da derme gerando flacidez e o envelhecimento precoce da pele. A radiação UVB (280–320 nm), por sua vez, representa até 5% da radiação UV e atinge principalmente a epiderme e camada superior da derme (entre 160 a 180 nm) gerando efeitos diretos e indiretos como queimaduras, formação de fotoprodutos de pirimidina, indução da atividade da ornitina descarboxilase, estimulação da síntese de DNA, produção de radicais livres, fotoenvelhecimento, fotocarcinogênese e imunossupressão, além do câncer de pele, que é o tipo de neoplasia mais comum no Brasil, representando cerca de 30% dos casos no país (Ministério Da Saúde, 2025). A radiação UVC (200–280 nm) apesar de poder causar danos para a pele humana, é totalmente absorvida pela atmosfera e não chega até nós.

2.5.1. Efeitos da radiação ultravioleta (UV) na pele humana

A radiação UV promove diversas alterações celulares que podem resultar em fotoenvelhecimento, imunossupressão cutânea e desenvolvimento de cânceres de pele como o carcinoma basocelular, o carcinoma espinocelular e o melanoma, sendo este último, o tipo mais agressivo. O principal mecanismo desses efeitos está relacionado à geração de espécies reativas de oxigênio (ERO), dentre elas, radicais superóxidos, peróxido de hidrogênio e oxigênio singlete que promovem estresse oxidativo, danos ao DNA, oxidação de proteínas e peroxidação lipídica, além de ativação de vias inflamatórias e apoptóticas (Chiari-Andréo *et al.* 2020).

2.5.1.1. Eritema

O eritema é uma reação da pele à exposição à luz solar caracterizada por vermelhidão, ardor, edema e em casos mais graves leva ao surgimento de vesículas e bolhas no local. O edema e a vermelhidão são atribuídos a dilatação dos vasos sanguíneos na derme e consequentemente aumento do volume sanguíneo no local que pode levar ao acúmulo de glóbulos brancos como uma resposta inflamatória, o eritema tem início entre 2 a 7 horas após uma intensa exposição solar e pode perdurar por horas e até dias, geralmente peles mais claras têm essa reação mais intensa. A dose mínima eritematosa (DME) é um parâmetro utilizado para avaliar a sensibilidade da pele à exposição ultravioleta referente à dose mínima de energia no qual o eritema com bordas bem definidas se torna visível na pele entre 16 e 24h após a exposição (Yang *et al.*, 2023; Schalka *et al.*, 2014; Brasil, 2002).

2.5.1.2. Queimadura Solar

A queimadura solar é uma reação inflamatória aguda resultante em maior parte da ação da radiação UVB que induz a formação de substâncias vasodilatadoras como prostaglandinas, migração de leucócitos polimorfonucleares, e em menor parte pela radiação UVA e IR que atuam diretamente sobre os vasos sanguíneos da derme promovendo sua dilatação e eritema imediato. A radiação UV é absorvida pelo DNA das células epidérmicas, principalmente pelas bases pirimidinas provocando a quebra da cadeia e posterior reparo enzimático. Ocorre também a elevação da temperatura corporal e consequente sudorese para regulação térmica (Schalka *et al.*, 2014).

2.5.1.3. Insolação

A insolação é composta por um conjunto de sintomas que são resultados da elevação excessiva da temperatura corporal seguida pela ineficiência do resfriamento pelo mecanismo fisiológico da sudorese, após intensa exposição ao sol. Esses sintomas incluem desidratação, taquicardia, cefaléia, vertigem, náuseas, vômito, dispneia, confusão mental, perda da consciência e pode ser fatal. Fatores como idade, obesidade, febre e desidratação também podem influenciar na regulação da temperatura corporal (Schalka *et al.*, 2014).

2.5.1.4. Pigmentação

A pigmentação da pele ocorre inicialmente minutos após a exposição à radiação UVA e luz visível, através do fenômeno de Meirrowsky que consiste na oxidação da melanina pela luz (fotooxidação), e sua transferência dos melanócitos aos queratinócitos, podendo ser classificada como escurecimento pigmentário imediato (IPD) que pode durar até duas horas, e como escurecimento pigmentário persistente (PPD) que acontece logo em seguida e pode durar até 24 horas. Entre três e cinco dias após a exposição à radiação UVB, os melanócitos aumentam de número, tamanho e atividade, produzindo assim mais melanina que se acumula na pele e gera o bronzeamento tardio (DT) que é mais duradouro e permanece por meses. A pigmentação da pele depende da genética individual e é mais intensa em peles escuras (Schalka *et al.*, 2014).

2.5.1.5. Fotoimunossupressão

A radiação ultravioleta é capaz de suprimir o sistema imunológico de muitas formas diferentes, desde a apresentação de antígenos, estimulando a liberação de citocinas e até mesmo induzindo a geração de linfócitos supressores. Essa supressão tem grande relevância, pois, além de contribuir para a piora de doenças infecciosas, também é um componente ligado ao desenvolvimento de cânceres. (Schwarz, 2002).

A radiação UV promove uma série de alterações que modificam a resposta das células linfóides presentes na pele como as células de Langerhans e células dendríticas langerina positivas, que participam do processo de apresentação de antígenos e comunicação com os linfócitos T, a irradiação UV demonstrou atrapalhar o processo de maturação dessas células impedindo sua normal migração aos linfonodos, estimulando inclusive o deslocamento de monócitos e células dendríticas imaturas para a pele como forma de compensar essa disfunção. Além disso, a imunossupressão induzida com a exposição UV também é modulada conforme a produção de citocinas pelos queratinócitos, dentre elas a IL-1 β , TNF- α , IL-10 e IL-12 (Achachi *et al.*, 2015; Bursch *et al.*, 2007; Mittelbrunn, 2005; Grewe; Gyufko; Krutmann, 1995).

Sendo assim, com a apresentação de antígenos prejudicada, pode ocorrer a resposta inespecífica no contato com alérgenos, o desequilíbrio na flora bacteriana comensal da pele, favorecer o desenvolvimento de infecções, assim como permitir o prosseguimento de processos neoplásicos (Patra *et al.*, 2019; Hanahan *et al.*, 2011; Toews *et al.*, 1980).

2.5.1.6. Fotoenvelhecimento

Fisiologicamente, a produção endógena de substâncias oxidantes é essencial para a sinalização celular, assim como na regulação da morte programada das células, que garante o bom funcionamento geral dos tecidos, além de participar no encurtamento dos telômeros durante o processo de envelhecimento intrínseco (senescência). Entretanto, a pele como o nosso órgão mais externo e sendo a primeira barreira contra agressões ambientais e xenobióticos, também enfrenta um processo de envelhecimento extrínseco no qual fatores externos podem induzir a formação de substâncias oxidantes que danificam as células e contribuem para o envelhecimento da pele, dentre esses fatores, a exposição excessiva à luz solar. A capacidade de penetração da radiação UV contribui para o dano direto ao DNA das células, em especial a radiação UVB, que promove reações de dimerização entre bases de pirimidina próximas, enquanto a radiação UVA excita diretamente os cromóforos endógenos e outras moléculas que levam a produção de ERO (Petruk *et al.*, 2018; Von Zglinicki *et al.* 1995).

Naturalmente as ERO são neutralizados por moléculas antioxidantes que promovem a regulação desse mecanismo de sinalização celular sem gerar maiores danos ao indivíduo, mas, quando a produção de ERO é excessiva, os antioxidantes endógenos não são capazes de neutralizá-los e é possível a ocorrência de danos a proteínas, enzimas, lipídios e ácidos nucleicos. O oxigênio singlete, por exemplo, pode reagir com as bases nitrogenadas do ácido desoxirribonucleico (DNA) como a guanina, gerando 8-oxo-7,8-dihidro-2'-desoxiguanosina (8-OHdG), que por sua vez, emparelha-se erroneamente com a adenosina provocando uma mutação na proteína que será traduzida, sendo considerada um marcador de danos gerados pela radiação UVA, enquanto os dímeros de ciclobutano de pirimidina (DCP) são relacionados às modificações causadas pela radiação UVB (Gromkowska-Kępka *et al.*, 2021; Petruk *et al.*, 2018).

A oxidação induzida pela radiação UVA sobre as estruturas celulares como fosfolipídios e colesterol, assim como a produção de ERO, são capazes de estimular a autofagia das células da epiderme, este processo tem como objetivo remover moléculas oxidadas de forma a reduzir a necessidade de resposta antioxidante endógena, entretanto, a exposição frequente a radiação UVA demonstra promover alterações do sistema lisossomal celular diminuindo a eficácia da degradação intracelular, comprometendo a autofagia e contribuindo para o fotoenvelhecimento dos fibroblastos. Os danos ao DNA desencadeados pela radiação UVB por sua vez, favorecem a apoptose dos queratinócitos gerando as chamadas “células de queimadura solar” pela indução do ativador de apoptose Proteína Quinase Ativada por AMP (AMPK) e conseqüentemente a

liberação de citocinas responsáveis pela resposta inflamatória: Interleucina-1 alfa (IL-1 α), Interleucina-6 (IL-6) e Fator de Necrose Tumoral alfa (TNF- α) (Gromkowska-Kępa *et al.*, 2021; Endo *et al.* 2020; Cavinato; Jansen-Dürr, 2017; Dong *et al.*, 2008).

Os efeitos mais graves da exposição excessiva à radiação UV são as modificações que ocorrem no DNA das células cutâneas, uma vez que essas modificações precedem os processos de fotoenvelhecimento e fotocarcinogênese, e são dependentes da dose de radiação UV absorvida pelos pares de bases. A longo prazo, os fibroblastos dérmicos e queratinócitos epidérmicos sofrem modificações que alteram a aparência e função da pele. O fotoenvelhecimento é acompanhado da menor expressão de fibras dérmicas e prejuízo às proteínas estruturais como o colágeno e a elastina induzido pelas ERO, sendo a elastose solar uma condição comum desse processo na qual as fibras elásticas são degradadas e a formação da matriz extracelular (MEC) promove uma reorganização estrutural da pele (Gromkowska-Kępa *et al.*, 2021).

Os danos sofridos pelo tecido conjuntivo dérmico em decorrência da ação oxidante desencadeada pela exposição excessiva à radiação UV são características marcantes do processo de fotoenvelhecimento. A modificação estrutural do tecido conjuntivo da pele é notável pela aparência envelhecida que provoca, mas também é acompanhada de prejuízos à função da pele como a perda de elasticidade. A radiação UV induz a expressão de uma classe de proteases contendo zinco chamadas metaloproteinasas de matriz (MMP) que são enzimas que degradam o colágeno e outras proteínas da MEC. Essas enzimas também participam de outros processos fisiológicos e patológicos como cicatrização, inflamação, embriogênese, angiogênese e câncer (Salminen *et al.*, 2022; Quan *et al.*, 2009).

A principal proteína estrutural do tecido conjuntivo dérmico é o colágeno tipo 1 que se forma a partir do pró colágeno sintetizado pelos fibroblastos dérmicos. Após ser secretado para os espaços extracelulares, o pró colágeno é amadurecido enzimaticamente e forma espontaneamente fibrilas de colágeno estabilizadas por ligações cruzadas e são responsáveis pela força e resiliência da pele. A radiação UV além de estimular a quebra de colágeno, também é capaz de inibir a biossíntese de pró colágeno. As principais MMPs capazes de degradar as principais proteínas da MEC são a collagenase intersticial (MMP-1), a estromelisina-1 (MMP-3) e a gelatinase de 92-kDa (MMP-9), essas três MMPs são reguladas pelo fator de transcrição proteína ativadora-1 (AP-1) que é rapidamente induzido e ativado pela radiação UV (Quan *et al.*, 2009).

2.5.1.7. Câncer de pele

O câncer de pele do tipo melanoma é o mais agressivo, ele surge a partir das células produtoras de melanina e atinge mais frequentemente adultos acima de 40 anos sendo menos frequente em crianças e pessoas negras. Já o câncer do tipo não melanoma, é o mais comum e possui maiores chances de cura quando iniciado o tratamento precocemente. De acordo com o Instituto Nacional de Câncer (INCA), o câncer do tipo não melanoma representa 31,3% do total de casos de todos os tipos de câncer que ocorrem no Brasil, sendo mais incidente nas regiões sul e sudeste (INCA, 2022).

Segundo o Ministério da Saúde, o câncer de pele (figura 2) é mais prevalente em pessoas de pele branca e olhos claros, que trabalham sob exposição solar, que apresentam histórico de doenças na pele e tem como sintomas mais comuns: manchas pruriginosas que sangram, feridas que não cicatrizam há mais de 4 semanas, sinais e pintas que se alteram de cor ou tamanho. Pode acometer qualquer segmento do corpo sendo mais comum o aparecimento de lesões em áreas mais frequentemente expostas ao sol (Ministério da Saúde, 2020).

O diagnóstico é feito por um dermatologista por meio de exames clínicos, podendo ser utilizados procedimentos como a “dermatoscopia” e ou biópsia das lesões, além de outros exames complementares para se determinar o tipo de câncer, estágio e o tratamento mais adequado à doença (Ministério da Saúde, 2020).

Figura 2: Câncer de pele



Fonte: Sociedade Brasileira de Cirurgia Oncológica, 2024

A predisposição genética e o aumento da radiação que ultrapassa a atmosfera são fatores não controláveis que podem aumentar as chances de desenvolvimento da doença, entretanto, a prevenção é de suma importância para a redução da incidência não somente do câncer de pele,

mas também de todas as outras enfermidades causadas pela exposição excessiva à radiação solar.

2.5.1.8. Prevenção do câncer de pele

Atitudes simples podem reduzir significativamente as chances de desenvolvimento do câncer de pele, entre elas estão:

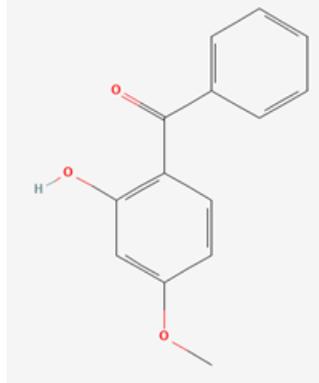
- Evitar a exposição ao sol entre 10h e 16h;
- Utilizar métodos físicos de proteção durante a exposição solar, das áreas expostas à radiação, como chapéus, guarda-sol, blusas com proteção UV, óculos, etc;
- Utilizar filtro solar durante todo o período de exposição, mesmo em dias nublados, sem sol aparente, reaplicando segundo o intervalo preconizado pelo fabricante ou após transpiração excessiva ou contato com a água;
- Ficar atento aos sinais que aparecem na pele e consultar regularmente o dermatologista.

Dentre todos os métodos de proteção mencionados, a aplicação tópica de protetores solares é uma das principais estratégias profiláticas adotadas para minimizar os efeitos deletérios da radiação ultravioleta (Sociedade Brasileira De Cirurgia Oncológica, 2024; World Health Organization *et al.* 2002).

2.5.2. Fotoproteção e Filtros Solares

A proteção contra a luz solar gerada por substâncias contidas nas formulações fotoprotetoras é obtida por meio de dois tipos principais de filtros solares, que se diferenciam entre si pela forma que interagem com a radiação solar, sendo eles classificados em filtros físicos (ou inorgânicos) e químicos (ou orgânicos). Estes últimos possuem em sua composição compostos aromáticos conjugados com carbonila, como a oxibenzona (figura 3), um derivado da benzofenona, que age absorvendo e neutralizando a radiação tornando-a de baixa energia, levando à absorção completa ou parcial, impedindo a penetração da radiação na pele (Pierote, 2022; Montero-Cordero, 2019; Santos, 2017; Serpone, 2007).

Figura 3 - Estrutura química da oxibenzona



Fonte: PUBCHEM, 2025

2.5.2.1. Filtros físicos

Os filtros solares físicos (ou inorgânicos), atuam criando uma barreira física de proteção sobre a pele, utilizando-se dos princípios de reflexão e/ou dispersão da luz incidente e são capazes inclusive de bloquear e impedir que todo o espectro UVA/UVB (290–400 nm) penetre na pele (Serpone, 2007). Os compostos mais utilizados são o dióxido de titânio (TiO_2) e o óxido de zinco (ZnO), embora outros agentes como o talco, carbonato de cálcio e óxido de ferro também sejam descritos na literatura (Fonseca; Prista, 2000 *apud* Da Silva Cabral; De Oliveira Pereira; Partata, 2013).

Uma vantagem significativa desses compostos é o seu baixo potencial alergênico, o que os torna particularmente indicados para a formulação de produtos infantis e para indivíduos com pele sensível. Em contrapartida, devido a suas propriedades reflexivas tais substâncias apresentam uma opacidade característica que pode conferir um tom esbranquiçado à pele, de forma que essas substâncias também são utilizadas em formulações cosméticas como bases e sombras, associados a outros óxidos metálicos como o óxido de ferro III (Fe_2O_3) para gerar uma gama cores. Uma forma de contornar esse inconveniente está na manipulação do tamanho das partículas, pois na granulometria abaixo de 400 nm o fenômeno de espalhamento da luz supera a reflexão da região visível diminuindo significativamente a opacidade (Serpone, 2007).

A grande eficiência do dióxido de titânio e do óxido de zinco não se deve apenas à barreira física, tais compostos também são capazes de absorver parte da radiação UV, o que justifica seu emprego preferencial nas formulações fotoprotetoras, sendo inclusive utilizados para melhorar a estabilidade de filtros químicos e atribuir maior FPS as formulações. Entretanto, os óxidos metálicos também são conhecidos por possuir fotoatividade como fotocatalisadores, na presença de umidade, podem gerar espécies reativas como os radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$), que, em meio ácido pode levar a formação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

Por isso, há uma preocupação sobre a absorção desses compostos pela pele e a possibilidade de geração de substâncias oxidantes que possam causar danos ao DNA humano (Flor, Davolos, Correa, 2007; Serpone, 2007).

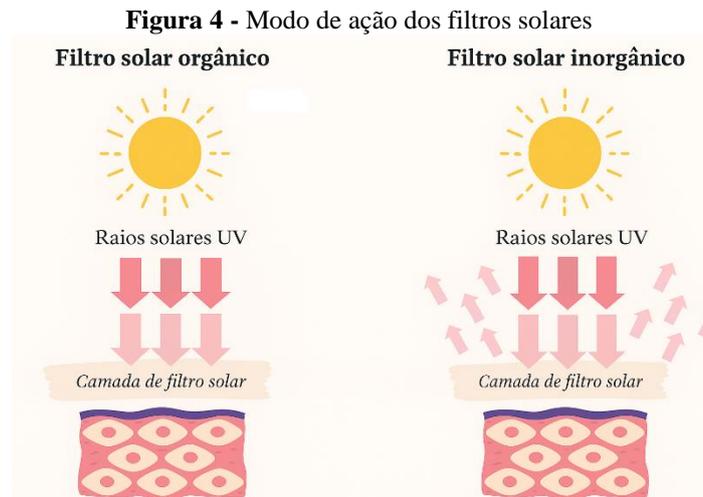
2.5.2.2. Filtros químicos

Os filtros químicos (ou orgânicos) atuam por meio da transformação da radiação ultravioleta pela sua estrutura molecular em níveis de radiação menos energéticos como o infravermelho (figura 4), isso se dá pelo efeito batocrômico, no qual os elétrons excitados saem do orbital π HOMO (orbital molecular preenchido de mais alta energia) para o orbital π^* LUMO (orbital molecular vazio de mais baixa energia) e liberam energia ao retornarem ao orbital inicial. A maioria dos filtros químicos são moléculas que possuem anéis aromáticos em sua estrutura, frequentemente substituídos nas posições orto e para, por grupos carboxílicos doadores de elétrons. A depender de qual grupo está substituindo, o filtro químico tende a absorver a radiação solar em porções específicas do espectro UV, possuindo uma maior variedade de aplicações, geralmente sendo associadas a outros compostos capazes de aumentar sua abrangência, como os filtros físicos por exemplo. (Flor, Davolos, Correa, 2007).

Os filtros químicos podem ser classificados pela sua semelhança estrutural, bem como sua capacidade de absorver a região do espectro UV, como exemplo as benzofenonas, os antralinatos e os dibenzoilmetanos que absorvem na região UVA, assim como aqueles que absorvem na região UVB como os derivados do ácido para-aminobenzóico (PABA), os salicilatos, os cinamatos e os derivados da cânfora (Da Silva *et al.*, 2015; D'avila, 2020).

Contudo, o uso frequente e crescente desses filtros sintéticos tem gerado preocupações do ponto de vista toxicológico e ambiental. Estudos demonstram que algumas dessas substâncias podem ser absorvidas pela pele, atingindo a circulação sistêmica, com potencial de bioacumulação e interferência no sistema endócrino, sendo encontrados até mesmo no leite materno. Do ponto de vista ecológico, a presença de filtros sintéticos nos ambientes aquáticos tem sido associada a efeitos adversos na vida marinha, como o branqueamento de corais, alterações reprodutivas em peixes, moluscos e outras formas de vida (Suh *et al.* 2020; Raffa *et al.*, 2019; Krause *et al.*, 2012; Schlumpf *et al.*, 2010).

Em virtude desses riscos para a saúde e para o meio ambiente, observa-se um interesse crescente por alternativas mais seguras, eficazes e sustentáveis, como o uso de compostos naturalmente fotoprotetores e antioxidantes, especialmente os derivados de plantas, que tenham o potencial de melhorar as características das formulações atuais reduzindo o uso de filtros sintéticos sem que haja perda do FPS.



Fonte: O autor, 2025

2.5.3. Compostos naturalmente fotoprotetores

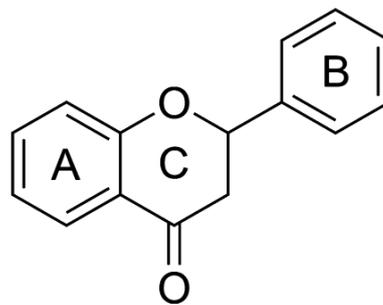
Os compostos naturais que podem gerar fotoproteção partem do mesmo princípio de absorção da radiação UV dos filtros químicos, a diferença é que são produzidos através do metabolismo de organismos vivos de onde podem ser extraídos gerando o menor impacto possível ao meio ambiente, utilizando menos energia e gerando menos poluição, além de se originar em fontes renováveis. Há também uma expectativa que tais compostos sejam mais compatíveis com a fisiologia humana, de forma a gerar menos reações indesejadas como alergias e intoxicações, por teoricamente serem metabolizados mais rapidamente sem sobrecarregar o nosso organismo e nem gerar uma resposta imunológica grave, assim como seus metabólitos serem inócuos às outras formas de vida. Dessa forma, sendo uma opção mais ecológica e sustentável (Chermahini; Majid; Sarmidi, 2011).

Sob esta perspectiva, é possível observar uma crescente busca pelo mercado na utilização de formulações que incorporem a característica de serem mais naturais, muitas vezes utilizando-se de extratos vegetais e outras substâncias de origem não-sintéticas (Cefali *et al.*, 2016; Sampaio *et al.*, 2016). Neste contexto existem algumas classes de substâncias que são conhecidamente compatíveis com as características que geram a fotoproteção, dentre elas estão

os compostos polifenólicos como os taninos, cumarinas, alcalóides e flavonóides, nos quais, suas estruturas de ressonância são capazes de absorver a radiação UV nos comprimentos de onda adequados e também proteger as estruturas celulares da pele por seu efeito antioxidante (Simão *et al.*, 2020; Petruk *et al.*, 2018).

Dentre as classes de substâncias mais pesquisadas atualmente para a aplicação em formulações fotoprotetoras estão os flavonóides, que graças a suas estruturas de ressonância são capazes de atribuir melhor fotoestabilidade (Figura 5), e aumentar o FPS quando combinado a outros filtros, sendo capaz de diminuir os danos causados a pele por possuir atividade antioxidante combatendo os radicais livres e atuando na sinalização antioxidante endógena. Na natureza, os flavonóides podem ocorrer sob três formas principais: agliconas, glicosídeos e derivados metilados (Karak, 2019; Cefali *et al.*, 2016; Ribeiro; De Andrade; Grignoli, 2015).

Figura 5 - Estrutura básica dos flavonóides



Fonte: Cefali *et al.*, 2016.

A estrutura básica dos flavonóides é composta por dois anéis benzênicos unidos por uma unidade de três membros que pode ou não formar um terceiro anel heterocíclico, dessa forma, os flavonóides podem ser classificados em várias classes a partir do nível de oxidação, insaturação e posição deste anel heterocíclico (C) onde o anel B está acoplado, sendo que, quando não há a formação deste terceiro anel (C), o flavonóide é denominado de chalcona. A seguir no Quadro 2, estão descritos algumas dessas classes com seus respectivos exemplos (Graf; Milbury; Blumberg; 2005; Harborne, 1988; Middleton, 1984 *apud* Karak, 2019).

Quadro 2 - Classificação e exemplos de flavonóides

Subclasse de Flavonóide	Exemplo de compostos
Flavonóis	Kaempferol, quercetina, miricetina e tamarixetina
Flavonas	Crisina, apigenina, rutina, luteolina e glicosídeos de tangeretina
Flavanonas	Naringina, naringenina, taxifolina e hesperidina

Flavanóis	Catequina, epicatequina, epigallocatequina, glausano-3-epicatequina, proantocianidinas
Antocianidinas	Apigenidina, cianidina, delphinidina, pelargonidina, malvidina
Isoflavonas	Genisteína, daidzeína

Fonte: Karak, 2019 (adaptado).

Os flavonóides costumam apresentar dois picos de absorção máxima no espectro ultravioleta, localizados entre 240 e 280 nm e 300 e 550 nm, que evidencia sua aplicabilidade de fotoproteção tanto para o espectro UVB quanto para o UVA (Shantanu Kale *et al.*, 2010; Violante *et al.*, 2008 *apud* Nunes *et al.*, 2018).

Dois flavonóides foram avaliados separadamente quanto à sua capacidade fotoprotetora em formulações do tipo creme contendo 10% de quercetina e rutina (quercetina-3-O-rutinósido), e em seguida, estes flavonóides foram avaliados em associação com o dióxido de titânio, os resultados foram que, quando em formulação creme, os flavonóides apresentaram valores de FPS semelhantes a uma formulação contendo homosalato, que é um filtro químico amplamente utilizado, e quando associados ao filtro físico, esses dois flavonoides isoladamente atuaram em sinergismo com o TiO₂ gerando níveis significativos de fotoproteção na faixa UVA (Choquenet *et al.*, 2008 *apud* Saewan, Jimtaisong, 2013).

2.6. Família Bignoniaceae

A família Bignoniaceae Juss., é composta por plantas dicotiledôneas classificadas entre 100 a 125 gêneros, nos quais estão distribuídas entre 700 a 800 espécies, das quais são mais comuns principalmente árvores lenhosas, arbustos, trepadeiras e, raramente, plantas herbáceas. Possuindo maior ocorrência em vários países entre os trópicos, principalmente na América do Sul, tais plantas são predominantemente lenhosas, com muitos representantes de interesse econômico, conhecidos por seu uso na indústria madeireira e também como plantas ornamentais (Souza, Lorenzi, 2005 *apud* Alves, Peruchi, Agostini, 2010; Gachet; Schühly, 2009).

2.6.1. Usos populares das espécies de Jacarandá

O gênero *Jacaranda* possui utilização tradicional em diversos tipos de afecções de saúde ao longo do seu território de ocorrência, sendo possível encontrar muitas evidências do seu potencial farmacológico na literatura, dentre eles estão o tratamento de ferimentos, úlceras,

doenças reumáticas, desordens do trato urinário e gastrointestinal entre outras, a seguir estão descritas no Quadro 3 algumas das espécies utilizadas para fins medicinais e suas aplicações (Serra *et al.*, 2020).

Diversos fitoquímicos biologicamente ativos foram identificados no gênero *Jacaranda*, incluindo triterpenos, flavonoides, derivados de fenilpropanoides, esteróis, acetosídeos, ácidos graxos, quinonas, antocianinas dentre outros, podendo ser encontrados nas folhas, flores e cascas que são as partes frequentemente usadas em preparações medicinais (Rana, Bhangalia, Singh, 2013; Naz *et al.*, 2020; Rahmatullah *et al.*, 2012).

Quadro 3 - Variedades do gênero *Jacaranda*, suas aplicações e compostos ativos.

Espécie	Nome Popular	Uso tradicional	Compostos identificados
<i>Jacaranda oxyphylla</i>	Caroba-de-São-Paulo	Infecções microbianas	Terpenóides
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacarandá-Mimoso	Ferimentos, úlceras, diarreia e desinteria	Triterpenos, flavonoides, acetosídeos, fenilpropanóides, antocianinas
<i>Jacaranda acutifolia</i>	Yaravisco, paravisco	Antimicrobiano	Flavonóides, taninos
<i>Jacaranda decurrens</i>	Carobinha, caroba	Pressão alta, depurativo, processos infecciosos e desordens do fígado	Triterpenos, ácido ursólico, flavonoides, flavonas, ácido oleico
<i>Jacaranda caroba</i>	Caroba-miúda, caroba-do-campo, caroba-do-carrasco	Adstringente, diurético, cicatrizante, anti-sífilis, úlceras	Triterpenos, iridóides, esteroides, cumarinas, flavonoides, ácido ursólico,
<i>Jacaranda cuspidifolia</i>	Pau-de-colher, Pau-santo, Bolacheira	Escabiose, depurativo do sangue, infecções bacterianas, sífilis, gonorreia, antipirético	Ácido ursólico, taninos, flavonoides, terpenos, cumarinas e esteroides
<i>Jacaranda caucana</i>	Pinón de oreja, Palo de buba	Atividade citotóxica,	Jacaranona, glicosídeos, neolignananas
<i>Jacaranda obtusifolia</i>	Gualanday, clavellina-montanhesa, rabo-de-iguana	Ferimentos, anti-sífilis	Flavonóides

Fonte: Serra *et al.*, 2020; Gachet, Schühly, 2009 (adaptado).

2.6.2. *Jacaranda mimosifolia* D. Don

Nativo do Brasil e de outros países da América do Sul, o Jacarandá-mimoso (figura 6) atinge a altura de até 15 metros, possui uma casca fina de coloração cinza, sua madeira é clara e densa com boa durabilidade e aplicação para marcenaria, possui folhas opostas, compostas e bipinadas, com folíolos pequenos, de bordo serrilhado e glabros que caem no inverno. As flores são muito bonitas e aparecem na primavera com a planta ainda sem folhas, o que lhe atribui grande valor ornamental, suas flores possuem uma coloração arroxeadada entre o azul e o lilás,

arranjadas em densas inflorescências no formato de panícula. Os frutos são cápsulas lenhosas e duras que abrigam sementes aladas e permanecem na planta por muito tempo. O jacarandá-mimoso é uma árvore pioneira que pode ser cultivada em solo pobre e ao sol pleno e por isso é indicada para ações de reflorestamento (Lorenzi, 1998 *apud* Mininel *et al.*, 2025).

Figura 6 - Caule e folhas de *Jacaranda mimosifolia*



Fonte: o autor.

Dentre os metabólitos secundários inerentes a espécie, os polifenóis se destacam por possuírem representantes com atividade antiinflamatória e antioxidante, em um estudo realizado por (Shoukry *et al.*, 2023) utilizando diferentes amostras de *J. mimosifolia*, foram identificados 53 compostos diferentes, dentre eles, 21 flavonoides como a rutina e a isoquercetina, explicitando a riqueza desse tipo de metabólito por essa espécie.

Já em uma prospecção fitoquímica realizada na Universidade Federal de Ouro Preto por (Amâncio, 2019), foram caracterizados os metabólitos β -hidroxiverbascosídeo, rutina, isoverbacosídeo e feniletanoide glicosídeo no extrato etanólico das folhas do Jacarandá-mimoso através das técnicas de cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à detecção de arranjo de diodos (CLAE-DAD) e Cromatografia de ultra eficiência acoplada a espectrometria de massas (CLUE-EM) com técnica de ionização por eletropulverização (ESI).

Um estudo realizado utilizando a casca do caule do Jacarandá-mimoso avaliou a atividade antibacteriana do extrato bruto e de algumas frações obtidas por cromatografia, nas quais foram identificados os compostos ácido benzóico, ácido 1-naftalenoacético, ácido betulínico, lupeol e ácido ursólico, os quais demonstraram atividade tanto contra bactérias

gram-positivas quanto para gram-negativas e microrganismos entéricos, superando até mesmo o controle de amoxicilina na mínima concentração inibitória (Sidjui *et al.*, 2016).

Extratos metanólicos e várias frações obtidas a partir das folhas do Jacarandá-mimoso foram avaliados quanto à atividade antibacteriana antioxidantes, anti-inflamatórias e anticancerígenas, sendo considerado como uma fonte promissora de polifenóis e compostos bioativos. (Naz *et al.*, 2020).

Esses achados reforçam a possibilidade de utilização dos extratos do Jacarandá-mimoso como fonte de compostos naturais capazes de demonstrar atividades multivariadas desde o potencial antioxidante, como fotoprotetor e como antibacteriano. As moléculas de origem natural são muito diversas ao mesmo tempo que são específicas em sua ação, e por originar da biossíntese geralmente são compatíveis com algum receptor fisiológico, representando assim, a maior fonte de inspiração para o desenvolvimento de novos fármacos, uma vez que a síntese costuma buscar reproduzir e/ou melhorar a ação das moléculas naturais (Villas Bôas, 2007).

3 OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o FPS *in vitro* e atividade antibacteriana das frações do extrato etanólico das folhas de Jacarandá-mimoso.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar cromatografia em coluna utilizando diferentes proporções de carvão ativado e sílica como fase estacionária e metanol como fase móvel;
- Analisar as frações metanólicas do extrato bruto quanto à atividade fotoprotetora, e determinar seu FPS pelo método de (Mansur *et al.*, 1986);
- Realizar ensaio de Concentração Inibitória Mínima (CIM).

4 METODOLOGIA

4.1. Cromatografia de Coluna

A obtenção das frações foi feita a partir de um extrato etanólico bruto previamente obtido pelo Laboratório de Fitotecnologia da Universidade Federal de Ouro Preto a partir da técnica de percolação exaustiva utilizando álcool etílico 70%, a utilizando das folhas do Jacarandá-mimoso, colhidas no Campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto (20°23'44.8"S; 43°30'33.9"W), em abril de 2023, devidamente selecionadas, secas e estabilizadas, registrada em exsicata no Herbário “Professor José Badini” e registrada como OUPR 41732.

Para realizar a separação de compostos presentes neste extrato, foi utilizado a técnica de cromatografia em coluna realizada em triplicata, a qual consistiu na utilização de três colunas de sílica com carvão ativado em diferentes proporções como descrito a seguir:

Tabela 1 – Proporção de sílica e carvão ativado para cromatografia em coluna.

Coluna	Massa de sílica em gramas	Massa de Carvão ativado em gramas	Proporção Sílica:Carvão ativado
1	19,20	4,80	8:2
2	12,00	12,00	1:1
3	4,80	19,20	2:8

Tais proporções levaram a obtenção de três frações distintas conforme suas características de polaridade e afinidade cromatográfica que possivelmente gerou perfis de composição fitoquímica diferentes.

Antes de se adicionar a mistura de sílica e carvão ativado a cada coluna, foi posicionado no interior de cada coluna, um círculo de papel de filtro para evitar o extravasamento do carvão ativado para o eluído. Em seguida, 5 gramas de sílica foram acrescentadas em cada coluna antes de preenchê-las com as proporções de sílica/carvão ativado descritas anteriormente, tomando-se o cuidado de manter a superfície desta sílica o mais uniforme possível.

Antes de iniciar a cromatografia, cada coluna foi preparada adicionando 50 mL de metanol sob vácuo, de forma a empacotar a sílica e o carvão ativado no interior de cada uma delas. Em seguida, três amostras de 1 grama do extrato etanólico bruto foram pesadas com exatidão em uma balança analítica, cada uma dessas amostras foi então dissolvida com a mínima quantidade de metanol suficiente para incorporar o extrato em 2 gramas de sílica seca, que em seguida, foi cuidadosamente posicionada no topo de cada coluna cromatográfica de forma a manter a superfície desta sílica o mais uniforme possível. Em seguida, a extração prosseguiu adicionando 250 mL de metanol em cada coluna com o auxílio de vácuo e o eluído coletado em balão de fundo redondo.

O eluído foi então reduzido utilizando um equipamento rota-vapor Fisatom 802® que recuperou o metanol a baixa pressão, concentrando as amostras cromatográficas. Em seguida as amostras foram transferidas para placas de petri e armazenadas em um dessecador contendo sílica-gel até que estivessem totalmente secas.

4.2. Determinação do FPS *in vitro*

A análise de FPS *in vitro* para produtos com características fotoprotetoras é um artifício utilizado por muitas empresas para a avaliação dessa capacidade, por ser um método barato e de rápida execução, essa avaliação prévia permite o ajuste de suas formulações antes de submetê-los a testagem *in vivo* que é o preconizado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (Brasil, 2022) para a obtenção de registro e autorização para comercialização sob essa rotulagem (Ribeiro, 2004).

A determinação do FPS foi realizada em triplicata através dos métodos espectrofotométricos propostos por (Mansur, *et al.*, 1986) utilizando o espectrofotômetro de UV-VIS Tecan Infinite 200 PRO® acoplado a um computador realizando leituras entre as faixas de 290 nm a 320 nm com incrementos de 5 nm a cada leitura. Foi utilizado o software *Tecan i-control* para a coleta dos dados e o cálculo do FPS foi realizado através da equação a seguir:

$$FPS = FC \times \sum_{290}^{320} \times EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abs(\lambda)$$

Equação 1 - Definida por (MANSUR, *et al.* 1986) para determinação de FPS *in vitro*.

Legenda:

FPS = Fator de Proteção Solar;

FC = 10 (Fator de correção);

EE (λ) = Espectro de eficiência eritematogênica;

I (λ) = Espectro de intensidade da luz solar simulada;

Abs (λ) = Absorbância obtida para cada comprimento de onda.

(Sayre, *et al.* 1979) obteve por meio da análise de diferentes formulações de filtros solares a função produto normalizada para cada comprimento de onda entre o Espectro de eficiência eritematogênica (EE) e o Espectro de intensidade da luz solar simulada (I), definindo como 1.0 o fator de proteção solar para um produto que permita a transmitância de toda a luz

eritematosa, sendo a definição de fator de proteção solar o inverso da transmitância. A tabela 2 a seguir enumera essa relação para cada comprimento de onda:

Tabela 2 - Função normalizada para cálculo de FPS.

Comprimento de onda (nm)	EE x I (Normalizado)
290	0.0150
295	0.0817
300	0.2874
305	0.3278
310	0.1864
315	0.0839
320	0.0180

Fonte: (Sayre, *et al.* 1979).

Foram pesadas com exatidão alíquotas de cada uma das três frações obtidas pela cromatografia em coluna, assim como foram pesadas com exatidão alíquotas dos padrões ácido gálico, quercetina e rutina, todas em microtubos, para que fossem solubilizadas em metanol com o auxílio de ultrassom, de forma que se obtivesse soluções de 2 mg/mL de cada uma das frações e dos padrões.

Foram utilizadas duas placas de microtitulação com 96 poços, uma para as frações cromatográficas e a outra para os padrões de ácido gálico, rutina e quercetina, partindo da concentração de 2000 µg/mL em diluição seriada com fator de diluição de 50% até a concentração de 15,6 µg/mL tanto para os padrões, quanto para as amostras, utilizando o metanol como solvente e “branco” nos últimos poços de cada placa gerando assim as concentrações de 1000 µg/mL, 500 µg/mL, 250 µg/mL, 125 µg/mL, 62,5 µg/mL, 31,25 µg/mL, 15,6 µg/mL e metanol puro.

4.3. Determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM)

A atividade antimicrobiana das frações cromatográficas foi avaliada por meio da determinação da sua Concentração Inibitória Mínima (CIM). O ensaio foi conduzido pelo método da microdiluição em caldo, seguindo as diretrizes do Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2008), com adaptações, e utilizando o indicador de viabilidade celular cloreto de 2,3,5-trifeniltetrazólio (TTC) para a interpretação dos resultados.

4.3.1. Preparo do Inóculo

Para o ensaio, foram utilizadas as seguintes cepas bacterianas: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, MRSA (methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* ou *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina) PNCQ 357, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 e *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853.

O inóculo bacteriano foi preparado a partir de colônias cultivadas por 24 horas em meio Mueller-Hinton (MHA) a 37 °C. As colônias foram suspensas em solução salina estéril (NaCl 0,9%) e a turbidez da suspensão foi ajustada para um valor equivalente ao padrão 0,5 da escala McFarland, que corresponde a aproximadamente $1,5 \times 10^8$ Unidades Formadoras de Colônia por mililitro (UFC/mL), e novamente diluída em Caldo Mueller-Hinton (CMH) estéril a 1:50 em para se obter uma concentração final de 5×10^5 UFC/mL.

4.3.2. Preparo das Amostras

Alíquotas de 20,0 mg das frações cromatográficas (Fr. 1, Fr. 2, Fr. 3) foram pesadas com exatidão em microtubos e solubilizadas em 1 mL de DMSO com o auxílio de ultrassom, em seguida, a solução estoque foi diluída em caldo Mueller-Hinton até se obter a concentração inicial de 8 mg/mL.

4.3.3. Ensaio de Microdiluição em Caldo

O ensaio foi conduzido em placas de microtitulação estéreis com 96 poços. Primeiramente, 50 µL de CMH estéril foram distribuídos nos poços das colunas 2 a 12 de cada linha de teste. Em seguida, 100 µL das soluções das amostras a 8 mg/mL foram adicionados aos poços da primeira coluna, e se prosseguiu com a diluição seriada com fator de diluição de 50% até o poço 11. Desta forma, foram obtidas as concentrações das amostras de 4 mg/mL até aproximadamente 0,004 mg/mL. Após a diluição das amostras, 50 µL do inóculo bacteriano foram adicionados a todos os poços de teste (colunas 1 a 11), as placas foram então seladas e incubadas em estufa a 37 °C por 24 horas. O ensaio foi realizado em triplicata para cada amostra, assim como para os controles de crescimento (50 µL de CMH + 50 µL de inóculo), controle do meio (100 µL de CMH) e o controle do solvente (50 µL de DMSO + 50 µL de inóculo).

4.3.4. Interpretação da CIM com Indicador TTC

Após o período de incubação, foram adicionados 20 µL da solução estéril do indicador TTC a 0,5% (m/v) em todos os poços, em seguida, as placas foram novamente incubadas a 37 °C por 1 hora para que se ocorresse a reação.

A presença de crescimento bacteriano foi indicada pelo desenvolvimento de uma coloração rosa/avermelhada e a ausência de crescimento, por sua vez, foi evidenciada pela manutenção da cor original do meio. Desta forma, a CIM foi definida como a menor concentração da amostra-teste capaz de inibir completamente o metabolismo bacteriano, correspondendo ao último poço que não apresentou mudança de cor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Rendimento das cromatografias

As três frações obtidas por cromatografia de coluna em triplicata demonstraram rendimentos bastante diferentes entre si, o que pode ser atribuído as diferentes proporções de sílica e carvão ativado, indicando que os compostos presentes no extrato podem ter maior afinidade pelo carvão, gerando assim uma menor massa de fração obtida. O rendimento de cada fração foi calculado e descritos na tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Massa de extrato bruto utilizado, massa obtida por cromatografia em triplicata e rendimento calculado em porcentagem e desvio padrão.

Frações	Massa de extrato bruto (g)	Massa obtida após cromatografia (g)	Rendimento (%)
Fração 1	1,00 ± 0,01	0,69 ± 0,06	69,67 ± 6,43
Fração 2	1,00 ± 0,00	0,39 ± 0,13	39 ± 13
Fração 3	1,00 ± 0,01	0,2 ± 0,04	20 ± 3,60

A diferença no rendimento das frações obtidas pelas diferentes proporções de sílica e carvão ativado pode estar relacionada à diferença de afinidade desses compostos pelas fases. Os flavonoides são majoritariamente polifenóis de caráter polar, tendendo a apresentar uma maior interação com superfícies ricas em grupos hidroxila, como a sílica. No entanto, o carvão ativado é conhecido por sua grande área superficial e capacidade de adsorção por interações

hidrofóbicas, sua presença no sistema modifica a interação dos compostos pelas fases estacionárias, podendo favorecer interações com sistemas conjugados e dessa forma aumentando a retenção dessas substâncias (Prelac *et al.*, 2023; Kumar; Pandey, 2013).

Pelo que foi observado no rendimento das cromatografias, uma maior quantidade de carvão ativado como fase estacionária foi capaz de reter parte significativa dos compostos presentes no extrato. A redução da eluição de substâncias bioativas nas frações coletadas refletiu em diminuição das atividades analisadas de fotoproteção e capacidade antimicrobiana.

5.2. Valores de FPS *in vitro*

Após analisadas, o FPS das frações e dos padrões foram calculados, revelando que as frações que obtidas com menos carvão ativado obtiveram maiores valores de FPS, indicando a possibilidade de o carvão ativado reter mais substâncias com potencial fotoprotetor como os polifenóis, na Tabela 4 estão discriminados os valores de FPS com desvio padrão obtidos para cada concentração de frações e padrões analisados.

Tabela 4 - Valores de FPS determinados *in vitro* pelo método espectrofotométrico para frações cromatográficas e padrões fenólicos e desvio padrão, “-“ indica que não foi possível calcular.

Fator de Proteção Solar - FPS						
Conc . (µg/mL)	Fr. 1	Fr. 2	Fr. 3	Ácido Gálico	Quercetina	Rutina
1000	26,35 ± 0,28	20,61 ± 0,33	13,53 ± 2,42	29,71 ± 0,32	-	-
500	12,35 ± 0,22	8,97 ± 0,17	6,97 ± 0,09	24,95 ± 0,33	-	-
250	6,71 ± 0,14	5,04 ± 0,12	3,91 ± 0,05	18,54 ± 0,35	21,28 ± 0,20	23,41 ± 0,33
125	3,80 ± 0,04	2,62 ± 0,03	2,19 ± 0,03	10,29 ± 0,16	12,91 ± 0,08	14,03 ± 0,38
62,5	2,07 ± 0,04	1,59 ± 0,09	1,37 ± 0,03	5,69 ± 0,13	7,05 ± 0,04	7,55 ± 0,16
31,25	1,10 ± 0,05	0,70 ± 0,05	0,76 ± 0,06	3,20 ± 0,20	4,20 ± 0,94	4,56 ± 0,12
15,6	0,68 ± 0,08	0,52 ± 0,05	0,56 ± 0,05	1,51 ± 0,10	1,92 ± 0,96	2,00 ± 0,14

Os padrões de quercetina e a rutina, atingiram valores de absorvância muito elevados nas concentrações de 1000 µg/mL e 500 µg/mL que ultrapassaram a sensibilidade do equipamento, não sendo possível gerar uma leitura adequada nessas concentrações.

A Fração 1, por sua vez, apresentou o maior valor de FPS (26,35) entre as amostras analisadas, demonstrando o potencial fotoprotetor mais relevante do ensaio *in vitro*, sugerindo que seus constituintes possuem capacidade significativa de absorção da radiação UVB na faixa de 290 a 320 nm.

Este resultado pode estar relacionado à presença de compostos fenólicos como observado nos padrões de ácido gálico, quercetina e rutina, que apresentaram valores de FPS mais altos em concentrações menores. É possível observar que as frações obtidas pela cromatografia com maior teor de carvão obtiveram menor valor de FPS, indicando uma possível correlação.

O FPS encontrado para a Fração 1 aponta para a possibilidade de aplicação do extrato de *Jacaranda mimosifolia* em formulações fotoprotetoras como alternativa complementar aos filtros sintéticos. De acordo com a literatura, compostos fenólicos, especialmente flavonoides e ácidos fenólicos, possuem capacidade de absorver radiação UV, assim como neutralizar EROs induzidas pela radiação UV, contribuindo para a fotoproteção da pele (Ribeiro; De Andrade; Grignoli, 2015; Stevanato; Bertelle; Fabris, 2014).

Nesse sentido, a incorporação de frações ricas em polifenóis em formulações cosméticas poderia diminuir a concentração de filtros sintéticos, minimizando potenciais efeitos adversos associados a esses compostos, como toxicidade e impacto ambiental. Além disso, seu uso poderia promover maior aceitação pelo consumidor devido à crescente demanda por produtos mais naturais e sustentáveis (Cefali *et al.*, 2016; Sampaio *et al.*, 2016; Stevanato; Bertelle; Fabris, 2014).

Dessa forma, os resultados sugerem que as frações obtidas possuem potencial para serem exploradas como adjuvantes fotoprotetores, estimulando pesquisas futuras voltadas à padronização e caracterização química dessas substâncias, com vistas ao desenvolvimento de formulações inovadoras e ambientalmente mais seguras.

A incorporação de compostos naturais em formulações fotoprotetoras dependem da realização de testes laboratoriais e clínicos que permitam avaliar sua estabilidade e segurança. A avaliação da real proteção contra a radiação ultravioleta conferida à pele humana só pode ser

confirmada através de ensaios *in vivo*, uma vez que esses métodos permitem a verificação de possíveis efeitos adversos, como irritação ou fotossensibilização (Pereira *et al.*, 2024; Brasil, 2022).

Além disso, a estabilidade dos compostos em formulação e a possibilidade da padronização dos extratos são fatores determinantes para a sua viabilidade clínica, uma vez que a eficácia do protetor solar depende não apenas do FPS, mas também da resistência à água, uniformidade de aplicação e capacidade de manter a atividade ao longo do tempo (Pereira *et al.*, 2024).

Dessa forma, o valor de FPS encontrado sugere um potencial promissor para aplicação em formulações, mas deve ser interpretado apenas como um ponto de partida para estudos futuros. A validação final de sua real aplicação, depende de ensaios adicionais que confirmem tanto a eficácia fotoprotetora em ensaios *in vivo*, quanto a sua segurança dermatológica, assim como sua estabilidade e compatibilidade em formulações reforçando assim, a necessidade de estudos complementares para consolidação de sua aplicabilidade clínica (Brasil, 2022; Soto *et al.*, 2018; Caswell, 2001).

5.3. Atividade Antimicrobiana – Concentração Inibitória Mínima (CIM)

A atividade antimicrobiana das amostras Fr. 1, Fr. 2 e Fr. 3 foi avaliada a partir de bactérias de importância clínica, incluindo cepas Gram-positivas (*Staphylococcus aureus*, MRSA, *Staphylococcus epidermidis*) e uma Gram-negativa (*Pseudomonas aeruginosa*). A Concentração Inibitória Mínima (CIM) de cada amostra foi determinada pelo método da microdiluição em caldo, e os resultados obtidos estão compilados na Tabela 5.

Tabela 5 – Concentração Inibitória Mínima (CIM) das amostras analisadas frente às diferentes cepas, “-” indica que não foi possível calcular.

Microorganismo	CIM (mg/mL)		
	Fr. 1	Fr. 2	Fr. 3
<i>Staphylococcus aureus</i>	2	2	-
MRSA	2	2	-
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	-	-	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2	2	-

A análise dos resultados, apresentados na Tabela 5, demonstra que as amostras Fr. 1 e Fr. 2 exibiram perfis de atividade antimicrobiana semelhantes e seletivos. A amostra Fr. 1 apresentou um valor de CIM de 2 mg/mL para *S. aureus*, para a cepa de MRSA e para *P. aeruginosa*. Para *S. epidermidis*, contudo, não foi detectada atividade inibitória na faixa de concentrações avaliada (CIM > 4 mg/mL).

De forma análoga, a amostra Fr. 2 também demonstrou atividade contra *S. aureus*, MRSA e *P. aeruginosa*, todas com um valor de CIM de 2 mg/mL. Assim como a amostra Fr. 1, não foi observada inibição do crescimento para *S. epidermidis* (CIM > 4 mg/mL). Em contraste com as demais, a amostra Fr. 3 não apresentou atividade antimicrobiana detectável contra nenhuma das cepas bacterianas testadas, ou seja, com valores de CIM superiores a 4 mg/mL para todos os microrganismos.

Em resumo, os ensaios indicam que as amostras Fr. 1 e Fr. 2 demonstram atividade contra uma importante cepa bacteriana com características de resistência (MRSA), enquanto a amostra Fr. 3 se mostrou inativa para a inibição do crescimento dos microrganismos nas concentrações utilizadas, mas isso não significa que sua composição fitoquímica não seja relevante.

Esses achados são particularmente relevantes diante do crescente desafio gerado pelo aumento da resistência bacteriana, que representa uma ameaça global à saúde pública. A literatura aponta que os extratos vegetais são capazes de atuar de forma sinérgica com os antibióticos convencionais, potencializando sua ação e possivelmente atribuindo maior eficácia no tratamento contra cepas resistentes (Amparo, 2024; Eid *et al.*, 2021; Abreu, Mcbain; Simões, 2012).

Nesse contexto, os resultados deste estudo reforçam a importância da pesquisa com produtos naturais, não apenas pela sua atividade antibacteriana intrínseca, mas também pela possibilidade da associação com os antibióticos em terapia combinada, fomentando mais estudos que possam caracterizar sua ação e associação a fármacos já utilizados na prática clínica.

Embora a atividade antibacteriana exercida pelas frações na concentração 2 mg/mL não seja excepcionalmente baixa, ao combiná-las com os antibióticos, há a possibilidade de ocorrência do efeito de sinergismo, que permita baixar tanto a concentração efetiva do antibiótico quanto das frações, potencializando o efeito de ambos contra as cepas resistentes. Este tipo de estratégia pode ser particularmente importante contra cepas como MRSA, onde as

opções terapêuticas são limitadas, uma vez que foi possível demonstrar a atividade das frações contra essa cepa.

A demonstração das propriedades fotoprotetoras e antimicrobianas é particularmente relevante para o contexto de indivíduos imunossuprimidos, seja por condições patológicas (HIV, câncer, doenças autoimunes) ou por tratamentos imunossupressores (quimioterapia, corticoides). Pois, nesses casos, a pele se torna mais suscetível para os danos causados pela radiação UV que também gera imunossupressão, acelerando o fotoenvelhecimento e aumentando o risco de câncer, assim como o aparecimento de infecções oportunistas. (SANTOS, 2022).

A ação combinada das propriedades de fotoproteção e atividade antimicrobiana observada nas frações, poderiam ser exploradas na formulação de produtos voltados para cicatrização de feridas e prevenção de infecções pós-procedimentos dermatológicos, especialmente em áreas expostas à radiação solar.

Além de seu potencial como ingrediente ativo em formulações fotoprotetoras e antimicrobianas, o extrato de Jacarandá-mimoso é uma fonte relevante de compostos bioativos naturais, que já demonstrou a presença de compostos polifenólicos e outras estruturas de potencial farmacológico na literatura, sendo necessária a realização de mais estudos de isolamento, caracterização, assim como ensaios *in vivo* e de estabilidade para confirmar a eficácia e segurança dos compostos presentes nesta planta, que podem servir inclusive como ponto de partida para o desenvolvimento de novos fármacos, a partir da identificação dos metabólitos bioativos servindo de modelos moleculares para síntese de derivados estruturais (Shoukry *et al.*, 2023; Amâncio, 2019).

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram que as proporções de sílica/carvão ativado utilizados na cromatografia influenciaram diretamente o rendimento e o FPS das frações obtidas. Observou-se que as frações obtidas com menor proporção de carvão ativado em relação à sílica gel apresentaram maior rendimento, maior FPS e atividade antimicrobiana, sugerindo que o carvão retém uma maior quantidade de substâncias orgânicas que absorvem a luz UV, como os polifenóis. Os resultados reforçam o potencial do extrato de *Jacaranda mimosifolia* como fonte natural de substâncias com atividade fotoprotetora, sugerindo uma possível aplicabilidade em formulações cosméticas como alternativa para reduzir as quantidades de

filtros sintéticos, contribuindo não apenas para a eficácia da proteção solar, mas também para a segurança e sustentabilidade dessas formulações.

Além disso, as frações demonstraram ser capazes de combater o crescimento de microrganismos resistentes aos antibióticos convencionais, indicando uma possível alternativa aos tratamentos atualmente utilizados e suscitando a sua aplicabilidade para uso concomitante com esses antibióticos para avaliação de um possível sinergismo entre essas moléculas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, Ana Cristina; MCBAIN, Andrew J.; SIMÕES, Manuel. Plants as sources of new antimicrobials and resistance-modifying agents. **Natural product reports**, v. 29, n. 9, p. 1007-1021, 2012.
- ACHACHI, A. et al. UV radiation induces the epidermal recruitment of dendritic cells that compensate for the depletion of Langerhans cells in human skin. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 135, p. 2058–2067, 2015. doi: 10.1038/jid.2015.118.
- AGUIRRE-BECERRA, Humberto et al. Jacaranda flower (*Jacaranda mimosifolia*) as an alternative for antioxidant and antimicrobial use. **Heliyon**, v. 6, n. 12, 2020.
- ALTOPARLAK, Ulku et al. The time-related changes of antimicrobial resistance patterns and predominant bacterial profiles of burn wounds and body flora of burned patients. **Burns**, v. 30, n. 7, p. 660-664, 2004.
- AMÂNCIO, E. A. M. Estudo fitoquímico de extratos etanólicos de espécies do gênero *Jacaranda* (Bignoniaceae) ocorrentes no Estado de Minas Gerais e avaliação da atividade citotóxica. **Universidade Federal de Ouro Preto**, 2019.

- AMPARO, Tatiane Roquete et al. Herbal medicines to the treatment of skin and soft tissue infections: advantages of the multi-targets action. **Phytotherapy Research**, v. 34, n. 1, p. 94-103, 2020.
- AMPARO, Tatiane Roquete et al. *Protium spruceanum* Extract Enhances Mupirocin Activity When Combined with Nanoemulsion-Based Hydrogel: A Multi-Target Strategy for Treating Skin and Soft Tissue Infections. **Pharmaceutics**, v. 16, n. 6, p. 700, 2024.
- ALVES, Francisco Caíque Rodrigues et al. Análise da praticabilidade de investimento financeiro em gerador solar fotovoltaico-Estudo de caso. 2021.
- ALVES, Gustavo Rodrigues; PERUCHI, Aline; AGOSTINI, Kayna. Polinização em área urbana: o estudo de caso de *Jacaranda mimosifolia* D. Don (Bignoniaceae). **Bioikos-Título não-corrente**, v. 24, n. 1, 2010.
- BATISTA, Paulo Henrique Mariano et al. Implicações da resistência antimicrobiana na prática clínica. **International Journal of Health Management Review**, v. 10, n. 1, p. e356-e356, 2024.
- BEZERRA, Márcia Maria de Siqueira Leite et al. Avaliação do fator de fotoproteção solar do óleo essencial da *Lavandura hybrida grosso*: Um estudo *in silico* e *in vitro*. 2023.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RDC nº 629, de 10 de março de 2022. Dispõe sobre protetores solares e produtos multifuncionais em cosméticos e internaliza a Resolução GMC MERCOSUL nº 08/2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, 11 mar. 2022. Seção 1, p. 87.
- INCA – Instituto Nacional de Câncer. *INCA estima 704 mil casos de câncer por ano no Brasil até 2025*. Brasília: INCA, 23 nov. 2022. Disponível em: [<https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/noticias/2022/inca-estima-704-mil-casos-de-cancer-por-ano-no-brasil-ate-2025>]. Acesso em: 14 set. 2025.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 629, de 10 de março de 2022. Dispõe sobre protetores solares e produtos multifuncionais em cosméticos e internaliza a Resolução GMC MERCOSUL nº 08/2011. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 16 mar. 2022.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Câncer de pele. Saúde de A a Z. Brasília, DF: Ministério da Saúde, [19--?]. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/c/cancer-de-pele>. Acesso em: 6 jul. 2025.
- BURSCH, L. S. et al. Identification of a novel population of Langerin⁺ dendritic cells. **Journal of Experimental Medicine**, v. 204, p. 3147–3156, 2007. DOI: 10.1084/jem.20071966.
- Photobiology B: Biology**, v. 84, n. 1, p. 21-27, 2006.
- CASWELL, Michael. Sunscreen formulation and testing. **Cosmetics and toiletries**, v. 116, n. 9, p. 49-60, 2001.
- CAVINATO, Maria; JANSEN-DÜRR, Pidder. Molecular mechanisms of UVB-induced senescence of dermal fibroblasts and its relevance for photoaging of the human skin. **Experimental gerontology**, v. 94, p. 78-82, 2017.
- CEFALI, L. C. et al. Plant-based active photoprotectants for sunscreens. **International journal of cosmetic science**, v. 38, n. 4, p. 346-353, 2016.
- CHERMAHINI, Siavash Hosseinpour; MAJID, FA Abdul; SARMIDI, Mohamad Roji. Cosmeceutical value of herbal extracts as natural ingredients and novel technologies in anti-aging. **J. Med. Plants Res**, v. 5, n. 14, p. 3074-3077, 2011.
- CHIARI-ANDRÉO, Bruna Galdorfini et al. Can natural products improve skin photoprotection?. **Rodriguésia**, v. 71, p. e00672019, 2020.
- CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE (CLSI). Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically. 4. ed. Wayne, PA: **CLSI**, 2008. (Approved Standard M7-A4).

- COSTA, Eliane Cristina. Identificação de compostos fenólicos e avaliação do potencial biológico de plantas do gênero *Jacaranda* (Bignoniaceae). 2022. 141 f. 2022. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Química)–Programa de Pós-Graduação em Química, **Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri**, Diamantina.
- COWAN, Marjorie Murphy. Plant products as antimicrobial agents. **Clinical microbiology reviews**, v. 12, n. 4, p. 564-582, 1999.
- D'AVILA, Lana Yuri. Protetores solares: Avaliação da toxicidade e da segurança relacionadas ao seu uso. **Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo**. São Paulo, 2020.
- DA SILVA CABRAL, Lorena Dias; DE OLIVEIRA PEREIRA, Samara; PARTATA, Anette Kelsei. Filtros solares e fotoprotetores–uma revisão. **Infarma-Ciências Farmacêuticas**, v. 25, n. 2, p. 107-110, 2013.
- DA SILVA, Roberto R. et al. A luz e os filtros solares: Uma temática sociocientífica. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 218-241, 2015.
- DAVID, Michael Z.; DAUM, Robert S. Community-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: epidemiology and clinical consequences of an emerging epidemic. **Clinical microbiology reviews**, v. 23, n. 3, p. 616-687, 2010.
- DE OLIVEIRA, Rebeca dos Santos Miranda et al. Impacto das infecções por bactérias multirresistentes em unidades de terapia intensiva. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 7, n. 4, p. 705-715, 2025.
- DONG, Kelly K. et al. UV-induced DNA damage initiates release of MMP-1 in human skin. **Experimental dermatology**, v. 17, n. 12, p. 1037-1044, 2008.
- DORON, Shira; GORBACH, Sherwood L. Bacterial infections: overview. **International encyclopedia of public health**, p. 273, 2008.
- DRYDEN, Matthew S. Skin and soft tissue infection: microbiology and epidemiology. **International journal of antimicrobial agents**, v. 34, p. S2-S7, 2009.
- EID, Jad et al. Effect of quercetin on lipid membrane rigidity: Assessment by atomic force microscopy and molecular dynamics simulations. **BBA advances**, v. 1, p. 100018, 2021.
- ENDO, Karin et al. Impairment of the autophagy system in repetitively UVA-irradiated fibroblasts. **Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine**, v. 36, n. 2, p. 111-117, 2020.
- FAHLMAN, Brian M.; KROL, Ed S. UVA and UVB radiation-induced oxidation products of quercetin. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 97, n. 3, p. 123-131, 2009.
- FIGUEIREDO, Sônia Aparecida et al. In vitro and in vivo photoprotective/photochemopreventive potential of *Garcinia brasiliensis* epicarp extract. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 131, p. 65-73, 2014.
- FISHER, Gary J. et al. Pathophysiology of premature skin aging induced by ultraviolet light. **New England Journal of Medicine**, v. 337, n. 20, p. 1419-1429, 1997.
- FISHER, Michael S.; KRIPKE, Margaret L. Systemic alteration induced in mice by ultraviolet light irradiation and its relationship to ultraviolet carcinogenesis. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 80, p. 908-912, 2002.
- FLOR, Juliana; DAVOLOS, Marian Rosaly; CORREA, Marcos Antonio. Protetores solares. **Química nova**, v. 30, p. 153-158, 2007.
- FRANCO, L. W. Radiação UV: efeitos, riscos e benefícios à saúde humana – proposta de sequência didática para o ensino médio. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, **Universidade Estadual Paulista**, Presidente Prudente, SP.
- GACHET, M. S.; SCHÜHLY, W. *Jacaranda*-An ethnopharmacological and phytochemical review. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 121, n. 1, p. 14-27, 2009.

- GASPARRO, Francis P.; MITCHNICK, Mark; NASH, J. Frank. A review of sunscreen safety and efficacy. **Photochemistry and photobiology**, v. 68, n. 3, p. 243-256, 1998.
- GIEDRAITIENĖ, Agnė et al. Antibiotic resistance mechanisms of clinically important bacteria. **Medicina**, v. 47, n. 3, p. 19, 2011.
- GREWE, M.; GYUFKO, K.; KRUTMANN, J. Interleukin-10 production by cultured human keratinocytes: regulation by ultraviolet B and ultraviolet A1 radiation. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 104, p. 3–6, 1995. doi: 10.1111/1523-1747.ep12613446.
- GROMKOWSKA-KĘPKA, Krystyna Joanna et al. The impact of ultraviolet radiation on skin photoaging—review of in vitro studies. **Journal of cosmetic dermatology**, v. 20, n. 11, p. 3427-3431, 2021.
- GUO, Yi et al. In vivo bioluminescence imaging to evaluate systemic and topical antibiotics against community-acquired methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*-infected skin wounds in mice. **Antimicrobial agents and chemotherapy**, v. 57, n. 2, p. 855-863, 2013.
- HANAHAN, Douglas; WEINBERG, Robert A. Hallmarks of cancer: the next generation. **cell**, v. 144, n. 5, p. 646-674, 2011.
- JONES, Ronald N. Important and emerging β -lactamase-mediated resistances in hospital-based pathogens: the Amp C enzymes. **Diagnostic microbiology and infectious disease**, v. 31, n. 3, p. 461-466, 1998.
- KADOSAKI, Líria Leimy; SOUSA, SF de; BORGES, Jaqueline Cibene Moreira. Análise do uso e da resistência bacteriana aos antimicrobianos em nível hospitalar. **Rev. Bras. Farm**, v. 93, n. 2, p. 128-135, 2012.
- KARAK, Prithviraj. Biological activities of flavonoids: An overview. **Int. J. Pharm. Sci. Res**, v. 10, n. 4, p. 1567-1574, 2019.
- KRAUSE, Marianna et al. Sunscreens: are they beneficial for health? An overview of endocrine disrupting properties of UV-filters. **International journal of andrology**, v. 35, n. 3, p. 424-436, 2012.
- LEEMING, John P.; HOLLAND, K. T.; CUNLIFFE, W. J. The microbial ecology of pilosebaceous units isolated from human skin. **Microbiology**, v. 130, n. 4, p. 803-807, 1984.
- LESSEVA, M. I.; HADJIISKI, O. G. Staphylococcal infections in the Sofia Burn centre, Bulgaria. **Burns**, v. 22, n. 4, p. 279-282, 1996.
- LORIGO, Margarida; MARIANA, Melissa; CAIRRAO, Elisa. Photoprotection of ultraviolet-B filters: Updated review of endocrine disrupting properties. **Steroids**, v. 131, p. 46-58, 2018.
- MARTINS, Amanda Franco et al. Incidência de lesões relacionadas à exposição solar em pacientes com carcinoma basocelular-como prevenir o câncer de pele na Atenção Básica. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 17, n. 6, p. e8721-e8721, 2025.
- MARTINS, Nicolas Fernandes. Uma síntese sobre aspectos da fotossíntese. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 11, n. 2, p. 10-14, 2011.
- MININEL, Francisco José et al. PROSPECÇÃO FITOQUÍMICA PRELIMINAR DE FRUTOS DE *JACARANDA MIMOSIFOLIA* (JACARANDÁ-MIMOSO). **Revista Tópicos**, v. 3, n. 22, p. 1-14, 2025.
- MITTELBRUNN, María et al. Solar-simulated ultraviolet radiation induces abnormal maturation and defective chemotaxis of dendritic cells. **Journal of General Internal Medicine**, v. 20, n. 5, p. 334-342, 2005.
- MOET, Gary J. et al. Contemporary causes of skin and soft tissue infections in North America, Latin America, and Europe: report from the SENTRY Antimicrobial Surveillance Program (1998–2004). **Diagnostic microbiology and infectious disease**, v. 57, n. 1, p. 7-13, 2007.
- MONROE, Sara; POLK, Ronald. Antimicrobial use and bacterial resistance. **Current opinion in microbiology**, v. 3, n. 5, p. 496-501, 2000.
- MONTERO-CORDERO, Andrea. El protector solar:¿ un nuevo enemigo?. **Revista de Biología Tropical**, p. Blog-Blog, 2019.

- NASCIMENTO, Gislene GF et al. Antibacterial activity of plant extracts and phytochemicals on antibiotic-resistant bacteria. **Brazilian journal of microbiology**, v. 31, p. 247-256, 2000.
- NASSER, Salah; MABROUK, Amr; MAHER, Ashraf. Colonization of burn wounds in Ain Shams University burn unit. **Burns**, v. 29, n. 3, p. 229-233, 2003.
- NAZ, R. et al. GC-MS analysis, antimicrobial, antioxidant, antilipoxygenase and cytotoxic activities of *Jacaranda mimosifolia* methanol leaf extracts and fractions. **PLoS ONE**, v. 15, n. 7 July, p. 1–24, 2020.
- NUNES, Alesandra R. et al. Use of flavonoids and cinnamates, the main photoprotectors with natural origin. **Advances in Pharmacological and Pharmaceutical Sciences**, v. 2018, n. 1, p. 5341487, 2018.
- OLIVEIRA, Iris S. et al. Triagem da atividade antibacteriana in vitro do látex e extratos de *Croton urucurana* Baillon. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 18, p. 587-593, 2008.
- OLIVEIRA, Rinalda A. et al. Estudo da interferência de óleos essenciais sobre a atividade de alguns antibióticos usados na clínica. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, p. 77-82, 2006.
- PATRA, V. et al. Skin microbiome modulates the effect of ultraviolet radiation on cellular response and immune function. **iScience**, v. 15, p. 211–222, 2019. doi: 10.1016/j.isci.2019.04.026.
- PETRUK, Ganna et al. Antioxidants from plants protect against skin photoaging. **Oxidative medicine and cellular longevity**, v. 2018, n. 1, p. 1454936, 2018.
- PERCIVAL, Steven L. et al. Microbiology of the skin and the role of biofilms in infection. **International wound journal**, v. 9, n. 1, p. 14-32, 2012.
- PEREIRA, Beatriz Spinelli Santos et al. Avaliação da Eficácia e Segurança de Novos Filtros Solares: Uma Revisão Integrativa. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 6, n. 7, p. 2373-2387, 2024.
- PIEROTE, GF.; SILVA, N.R.; LACERDA, MCC.; CAFÉ, JF.; BACELAR, JA.; MOURA, NRF.; VIRGENS, AP das.; SILVA, T.P. Desenvolvimento e caracterização de formulação cosmética para proteção solar física contendo extrato de camomila. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 15, pág. e309111537177, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i15.37177. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/37177>. Acesso em: 6 jul. 2025.
- PINHO, Mariana G.; DE LENCASTRE, Hermínia; TOMASZ, Alexander. An acquired and a native penicillin-binding protein cooperate in building the cell wall of drug-resistant staphylococci. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 98, n. 19, p. 10886-10891, 2001.
- PRELAC, Melissa et al. Biochar from grapevine pruning residues as an efficient adsorbent of polyphenolic compounds. **Materials**, v. 16, n. 13, p. 4716, 2023.
- PURIM, Kátia Sheylla Malta; LEITE, Neiva. Fotoproteção e exercício físico. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 16, p. 224-229, 2010.
- QUAN, Taihao et al. Matrix-degrading metalloproteinases in photoaging. In: **Journal of Investigative Dermatology Symposium Proceedings**. Elsevier, 2009. p. 20-24.
- RAFFA, Robert B. et al. Sunscreen bans: Coral reefs and skin cancer. **Journal of clinical pharmacy and therapeutics**, v. 44, n. 1, p. 134-139, 2019.
- RAHMATULLAH, M., SAMARRAI, W., JAHAN, R., RAHMAN, S., SHARMIN, N., EMDAD, Z. U. M., MIAJEE, U., CHOWDHURY, M. H., BARI, S., JAMAL, F., ANWARUL BASHAR, A. B. M., AZAD, A. K., & AHSAN, S. (2010). An Ethnomedicinal, Pharmacological and Phytochemical Review of Some Bignoniaceae Family Plants and a Description of Bignoniaceae Plants in Folk Medicinal Uses in Bangladesh. **Advances in Natural and Applied Sciences**, 4(3), 236–253.

- RANA, Ajay; BHANGALIA, Shalika; SINGH, Harsh Pratap. A new phenylethanoid glucoside from *Jacaranda mimosifolia*. **Natural Product Research**, v. 27, n. 13, p. 1167-1173, 2013.
- RIBEIRO, Jenifer Adriane Ortulan; DE ANDRADE, Jessica Tais; GRIGNOLI, Laura Cristina Esquisatto. Associação dos filtros solares com antioxidantes na prevenção do envelhecimento cutâneo. **Revista Científica da FHO| Uniararas**, v. 3, n. 2, p. 38-46, 2015.
- RIBEIRO, Renata Pietsch et al. Avaliação do Fator de Proteção Solar (FPS) in vitro de produtos comerciais e em fase de desenvolvimento. **Infarma-Ciências Farmacêuticas**, v. 16, n. 7/8, p. 85-88, 2004.
- ROBERTO, Ana Rosa Teixeira et al. Depressão e deficiência de vitamina D. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 3, p. e0112340509-e0112340509, 2023.
- ROTH, Rudolf R.; JAMES, William D. Microbiology of the skin: resident flora, ecology, infection. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 20, n. 3, p. 367-390, 1989.
- SAEWAN, Nisakorn; JIMTAISONG, Ampa. Photoprotection of natural flavonoids. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 3, n. 9, p. 129-141, 2013.
- SALMINEN, Antero; KAARNIRANTA, Kai; KAUPPINEN, Anu. Photoaging: UV radiation-induced inflammation and immunosuppression accelerate the aging process in the skin. **Inflammation Research**, v. 71, n. 7, p. 817-831, 2022.
- SAMPAIO, Pedrita Alves et al. Flavonoids as photoprotective agents: a systematic review. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 10, n. 47, p. 848-864, 2016.
- SANTOS, André Luis dos et al. *Staphylococcus aureus*: visitando uma cepa de importância hospitalar. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, v. 43, p. 413-423, 2007.
- SANTOS, Maria Victoria Pinto Quaresma. Análise histológica e imuno-histoquímica da pele de transplantados renais submetidos a três esquemas de imunossupressão. 2022. Tese de Doutorado. **Universidade de São Paulo**.
- SANGEETHA, S. et al. Antioxidant activity of different solvent extracts of *Jacaranda mimosifolia* D. Don bark and leaf. **International Journal of Current Pharmaceutical Review and Research**, v. 6, n. 5, p. 215-221, 2015.
- SCHALKA S, STEINER D, RAVELLI FN, STEINER T, TERENA AC, MARÇON CR, et al. Consenso Brasileiro de Fotoproteção. **Anais Brasileiros de Dermatologia**. 2014;89(6):873-87.
- SCHLUMPF, Margret et al. Exposure patterns of UV filters, fragrances, parabens, phthalates, organochlor pesticides, PBDEs, and PCBs in human milk: correlation of UV filters with use of cosmetics. **Chemosphere**, v. 81, n. 10, p. 1171-1183, 2010.
- SCHWARZ, T. Photoimmunosuppression. **Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine**, v. 18, n. 3, p. 141-145, 2002.
- SERPONE, N.; DONDI, D. ALBINI, A.; Inorganic and organic UV filters: Their role and efficacy in sunscreens and suncare products, **Anais Brasileiros de dermatologia**, vol 360, p 794-802, 2007.
- SERPONE, Nick; DONDI, Daniele; ALBINI, Angelo. Inorganic and organic UV filters: Their role and efficacy in sunscreens and suncare products. **Inorganica chimica acta**, v. 360, n. 3, p. 794-802, 2007.
- SERRA, M. B. Pharmacological Evidence from Plants of Genus *Jacaranda*. **Biomedical Journal of Scientific & Technical Research**, v. 28, n. 4, p. 21730–21734, 2020.
- SHOUKRY, S. M. et al. Unraveling putative antiulcer phytoconstituents against *Helicobacter pylori* urease and human H⁺/K⁺-ATPase from *Jacaranda mimosifolia* using UPLC-MS/MS coupled to chemometrics and molecular docking. **Microchemical Journal**, v. 189, n. January, p. 108550, 2023.
- SHOUKRY, S. M. et al. Unraveling putative antiulcer phytoconstituents against *Helicobacter pylori* urease and human H⁺/K⁺-ATPase from *Jacaranda mimosifolia* using UPLC-MS/MS

- coupled to chemometrics and molecular docking. **Microchemical Journal**, v. 189, n. January, p. 108550, 2023.
- SIDJUI, L. C. et al. Antibacterial activity of the crude extracts, fractions and compounds from the stem barks of *Jacaranda mimosifolia* and *Kigelia africana* (Bignoniaceae). **Pharmacologia**, v. 7, n. 1, p. 22-31, 2016.
- SILVEIRA, Gustavo Pozza et al. Estratégias utilizadas no combate a resistência bacteriana. **Química Nova**, v. 29, p. 844-855, 2006.
- SIMÃO, Karla de Lima Alves et al. ANÁLISE IN VITRO DA ATIVIDADE FOTOPROTETORA DE *Jacaranda duckei* Vattimo (CAROBA). **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 18, n. 1, p. 314-320, 2020).
- SOCIETY BRAZILEIRA DE CIRURGIA ONCOLÓGICA – SBCO. Câncer de pele: tudo que você precisa saber. Brasília: **SBCO**, 8 dez. 2024. Disponível em: <https://sbco.org.br/cancer-de-pele-tudo-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 6 jul. 2025.
- SOTO, Maria Luisa et al. Personal-care products formulated with natural antioxidant extracts. **Cosmetics**, v. 5, n. 1, p. 13, 2018.
- STEVANATO, Roberto; BERTELLE, Mariangela; FABRIS, Sabrina. Photoprotective characteristics of natural antioxidant polyphenols. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 69, n. 1, p. 71-77, 2014.
- SUH, Susie et al. The banned sunscreen ingredients and their impact on human health: a systematic review. **International journal of dermatology**, v. 59, n. 9, p. 1033-1042, 2020.
- TAYLOR, G. D. et al. Predominance of staphylococcal organisms in infections occurring in a burns intensive care unit. **Burns**, v. 18, n. 4, p. 332-335, 1992.
- TOEWS, G. B.; BERGSTRESSER, P. R.; STREILEIN, J. W. Epidermal Langerhans cell density determines whether contact hypersensitivity or unresponsiveness follows skin painting with DNFB. **Journal of Immunology**, v. 124, p. 445–453, 1980.
- TOLOTTI, Michele Fabricia. Protetores solares à base de filtros inorgânicos: desenvolvimento e caracterização. 2012. 124p. Dissertação (MESTRADO) - **Universidade Estadual do Centro Oeste**, Guarapuava, 2012. Disponível em <https://docplayer.com.br/4727185-Michele-fabricia-tolotti-protetores-solares-a-base-defiltros-inorganicos-desenvolvimento-e-caracterizacao-guarapuava-2012.html>. Acesso em 02 de julho de 2025.
- VIEIRA, Darlene Ana de Paula; FERNANDES, Nayara Cláudia de Assunção Queiroz. **Microbiologia Geral: Roteiro Prático**. Santa Maria, 2012. p. 41-44. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/12/05_microbiologia_geral.pdf. Acesso em: 20 ago. 2025.
- VILLAS BÔAS, Glauco de Kruse; GADELHA, Carlos Augusto Grabois. Oportunidades na indústria de medicamentos e a lógica do desenvolvimento local baseado nos biomas brasileiros: bases para a discussão de uma política nacional. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, p. 1463-1471, 2007.
- VINDENES, H.; BJERKNES, R. Microbial colonization of large wounds. **Burns**, v. 21, n. 8, p. 575-579, 1995.
- VON ZGLINICKI, Thomas et al. Mild hyperoxia shortens telomeres and inhibits proliferation of fibroblasts: a model for senescence?. **Experimental cell research**, v. 220, n. 1, p. 186-193, 1995.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. Global solar UV index: a practical guide. In: **Global solar UV index: a practical guide**. 2002.
- YANG, Jing-Wen et al. The role and safety of UVA and UVB in UV-induced skin erythema. **Frontiers in Medicine**, v. 10, p. 1163697, 2023.
- YOSHII, Yutaka et al. Norgestimate inhibits staphylococcal biofilm formation and resensitizes methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* to β -lactam antibiotics. **npj Biofilms and Microbiomes**, v. 3, n. 1, p. 18, 2017.