



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA HELIOTERAPIA  
NO TRATAMENTO DA PSORÍASE FRENTE ÀS  
MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO**

**Luiz Gustavo de Oliveira**

**Itajubá, MG, Brasil  
2024**

# **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA HELIOTERAPIA NO TRATAMENTO DA PSORÍASE FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

**por**

**Luiz Gustavo de Oliveira**

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciências Atmosféricas.**

**Orientador: Marcelo de Paula Corrêa**  
**Coorientador: Ana Leticia Campos Yamamoto**

**Itajubá, MG, Brasil**  
**2024**

**Universidade Federal de Itajubá**  
**Instituto de Recursos Naturais**  
**Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA HELIOTERAPIA NO  
TRATAMENTO DA PSORÍASE FRENTE ÀS MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS**

elaborada por

**Luiz Gustavo de Oliveira**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Bacharel em Ciências Atmosféricas**

**Comissão Examinadora:**

Documento assinado digitalmente



**MARCELO DE PAULA CORREA**  
Data: 26/11/2024 15:46:44-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Marcelo de Paula Corrêa, Dr. (UNIFEI)**  
**(Presidente/Orientador)**

Documento assinado digitalmente



**ANA LETICIA CAMPOS YAMAMOTO**  
Data: 26/11/2024 12:48:29-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Ana Letícia Campos Yamamoto, Dra. (UNIFEI)**  
**(Coorientadora)**

Documento assinado digitalmente



**ENRIQUE VIEIRA MATTOS**  
Data: 26/11/2024 14:08:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Enrique Vieira Mattos, Dr. (UNIFEI)**

Documento assinado digitalmente



**IVANA RIERA PEREIRA BASTOS**  
Data: 26/11/2024 11:47:17-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Ivana Riera Pereira Bastos, Msc. (UNIFEI)**

Itajubá, 26 de novembro de 2024.

Aos meus pais, Robert Augusto de Oliveira  
e Luciana Maria de Almeida.

“Nada é permanente, exceto a mudança”  
— Heráclito (500 - 450 a.c.)

## RESUMO

Moografia de Graduação

Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas

Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

### **Avaliação do potencial da helioterapia no tratamento da psoríase frente às mudanças climáticas**

AUTOR: Luiz Gustavo de Oliveira

ORIENTADOR: Marcelo de Paula Corrêa

CO-ORIENTADOR: Ana Leticia Campos Yamamoto

Local e Data da Defesa: Itajubá, 26 de novembro de 2024.

A psoríase, doença inflamatória crônica, se caracteriza por placas eritematosas e escamação. Tal enfermidade traz ao seu portador coceira, queimação e dor. Por se tratar de uma doença crônica, não há cura; entretanto, existem diversas metodologias de tratamento para controle e/ou remissão da doença. Uma das metodologias utilizadas é a helioterapia, que consiste na exposição do paciente à luz solar. A dependência da helioterapia às condições atmosféricas e geográficas pode implicar na impossibilidade de tratamento em algumas regiões do globo. Em um contexto de mudanças climáticas, o aumento e/ou redução de gases e aerossóis resulta em alterações no fluxo de radiação ultravioleta, alterando o tempo de exposição do paciente ou até mesmo impossibilitando a implementação do tratamento. Nesse contexto, o presente trabalho visa avaliar o potencial da helioterapia frente às mudanças climáticas. Para tal, foi integrada ao *Tropospheric Ultraviolet and Visible (TUV) Radiation Model* a formulação proposta por Krzyścin et al. (2012), que define o espectro de ação antipsoríase. As simulações foram realizadas para 12 cidades, para o intervalo de  $\pm 1$ h em torno do meio-dia solar, para cálculos do índice ultravioleta e das doses: eritematosa e antipsoríase. Para os parâmetros atmosféricos, foram utilizados dados de simulações e projeções climáticas de seis modelos do sistema terrestre (ESMs, *Earth System Models*), provenientes do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6)* e disponibilizados pelo *Earth System Grid Federation (ESGF)*. Para a análise das projeções, foram calculadas as diferenças absolutas e relativas entre o período histórico (1995-2014) e o final do século (2090-2100), considerando 4 Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs), sendo eles: SSP1-2.6 (sustentabilidade), SSP2-4.5 (meio do caminho), SSP3-7.0 (Rivalidade Regional) e SSP5-8.5 (Desenvolvimento com combustíveis fósseis). As projeções demonstraram potencial para tratamento na maioria das cidades, com doses antipsoríase acima do mínimo necessário ( $45 \text{ mJ cm}^{-2}$ ). Contudo, regiões de latitude elevada, como Belsk, na Polônia, e Camberra, na Austrália, apresentaram impossibilidade de tratamento durante parte do ano. As demais cidades apresentaram alta disponibilidade para tratamento. No entanto, níveis elevados de radiação ultravioleta podem acarretar efeitos indesejados, como eritemas, envelhecimento precoce e, em casos mais graves, a formação de carcinomas cutâneos.

Palavras-chave: psoríase, helioterapia, radiação ultravioleta, mudanças climáticas.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - (a) e (b) Psoríase em placas, (c) Psoríase Eritrodérmica, (d) Psoríase Pustulosa, (e) Psoríase Gutata, (f) Psoríase Artropática. ....12
- FIGURA 2 - Profundidade óptica do aerossol em 550 nm: Média anual (meio-dia  $\pm$  1h), à esquerda, e variação relativa (%) entre o final do século e período histórico, à direita. ....22
- FIGURA 3 - Concentrações de ozônio: Média Anual (Meio-dia  $\pm$  1h) e Variação Relativa entre o final do século e período histórico. .... 23
- FIGURA 4 - Dose Antipsoríase: Média Anual (Meio-dia  $\pm$  1h) e Variação Relativa entre o final do século e período histórico. ....25
- FIGURA 5 – Variabilidade sazonal da dose antipsoríase e dose eritematosa. .... 27

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 - Cidades avaliadas neste estudo. . . . .	19
TABELA 2 - Modelos do sistema terrestre utilizados para as projeções. . . . .	20

**LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

AOD - *Aerosol Optical Depth*

AOD550 - Profundidade Óptica de Aerossol em 550

BB-RUV-B - *Broad Band UV-B*

CFCs - Clorofluorcarbonetos

CIE - *Commission Internationale de l'Eclairage*

CMIP6 - *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*

CO - Monóxido de Carbono

COV - Compostos Orgânicos Voláteis

epso - Espectro de Ação Antipsóricas

ERF - *Effective Radiative Forcing*

ESGF - *Earth System Grid Federation*

ESMs - *Earth System Models*

GEEs - Gases de Efeito Estufa

IUV - Índice Ultravioleta

NB-RUV-B - *Narrow Band UV-B*

NOX - Óxidos de Nitrogênio

O<sub>3</sub> - Ozônio

OMS - Organização Mundial da Saúde

PUVA - *Psoralen Photochemotherapy*

RUV - Radiação Ultravioleta

RUV-A - Radiação Ultravioleta-A

RUV-B - Radiação Ultravioleta-B

RUV-C - Radiação Ultravioleta-C

SSPs - *Shared Socioeconomic Pathways*

WHO - *World Health Organization*

WGCM - *Working Group on Coupled Modeling*

**SUMÁRIO**

<b>RESUMO.</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTADE FIGURAS.</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTA DE TABELAS.</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DEABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.</b> .....	<b>VII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.</b> .....	<b>10</b>
<b>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1 Psoríase.</b> .....	<b>11</b>
2.1.1 Caracterização, patogênese e tratamentos. ....	11
2.1.2 Fototerapia e Helioterapia: fundamentos e mecanismos de ação contra a psoríase. ....	13
<b>2.2 Radiação ultravioleta.</b> .....	<b>14</b>
2.2.1 Radiação ultravioleta e os processos atmosféricos. ....	14
2.2.2 Respostas fotobiológicas da radiação ultravioleta. ....	15
<b>2.3 Mudanças climáticas, projeções e cenários.</b> .....	<b>16</b>
<b>3. DADOS E METODOLOGIA.</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1 Modelagem dos fluxos de RUV: aspectos teóricos.</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2 Avaliação das projeções.</b> .....	<b>20</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.</b> .....	<b>21</b>
<b>4.1 Projeções e cenários.</b> .....	<b>21</b>
<b>4.2 Potencial helioterápico para a psoríase.</b> .....	<b>24</b>
<b>5. CONCLUSÃO.</b> .....	<b>28</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.</b> .....	<b>29</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As dermatoses são doenças que apresentam aspectos diversos e comumente, apresentam sintomas como escamação, coceira, manchas e bolhas. Tais enfermidades abrangem uma gama de alterações cutâneas, como a acne, dermatite, urticária, herpes, rosácea e psoríase. Em particular, a psoríase é uma doença inflamatória cutânea, comumente, apresenta placas bem definidas, de coloração avermelhada acompanhada de escamação esbranquiçada (Bologna et al., 2017).

Os tratamentos para psoríase envolvem uma série de preceitos, os quais dependem do grau de inflamação, local da manifestação e histórico da doença (França et al., 2021), características essas que devem ser avaliadas por um profissional da saúde para tratamento adequado. A helioterapia é uma das modalidades de tratamento, na qual o paciente portador da doença se expõe à luz solar durante determinado período. O efeito terapêutico obtido pela helioterapia assemelha-se ao tratamento fototerápico convencional, realizado em laboratório ou consultório médico, onde as placas psoriáticas são expostas à radiação ultravioleta (RUV), espectro de maior eficácia no tratamento da psoríase, emitida por lâmpadas artificiais, proporcionando remissão da doença.

Contudo, a radiação solar, em particular, a RUV, é fortemente afetada pelas condições atmosféricas. Gases, nuvens e material particulado (aerossóis) espalham ou absorvem a RUV, desse modo alteram os níveis desse tipo de radiação em superfície. Em vista das mudanças climáticas, alterações nas concentrações destes elementos, terão influência direta na RUV de ação terapêutica para a psoríase.

A helioterapia é uma importante alternativa de tratamento para a psoríase, principalmente para populações desfavorecidas e com acesso limitado à saúde. No entanto, depende diretamente da disponibilidade de RUV em um determinado local. O presente estudo tem como objetivo avaliar os fluxos de RUV, ponderados pelo espectro de ação antipsóricica ( $\epsilon_{\text{pso}}$ ) proposto por Krzyścin et al. (2012), com vistas a avaliar o potencial da helioterapia no presente e em cenários de mudanças climáticas, em diferentes partes do planeta.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 Psoríase

#### 2.1.1 Caracterização, patogênese e tratamentos

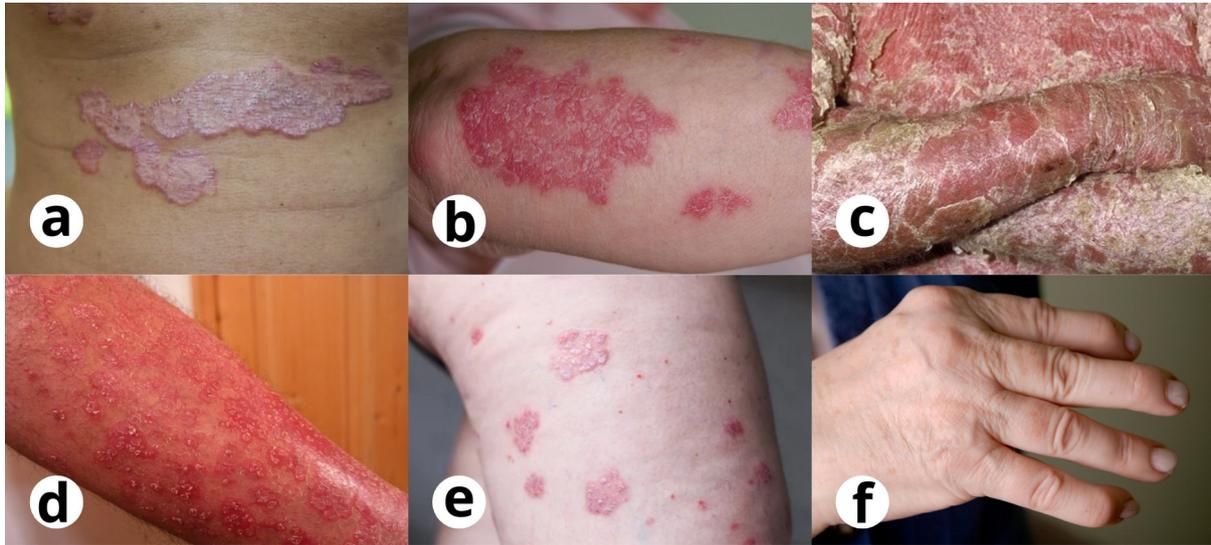
A psoríase é uma doença cutânea poligênica imunomediada (Nestlé et al., 2009) que apresenta características multifatoriais, podendo ser desencadeada e/ou agravada por diversos fatores, como traumas físicos, uso de medicamentos (lítio, interferons (ifns),  $\beta$ -bloqueadores e antimaláricos), infecções, hiv, estresse psicogênico, obesidade, consumo de álcool e tabagismo (Bowcock; Cookson, 2004; Bologna et al., 2017; Ladizinski et al., 2013). Trata-se de uma doença inflamatória conhecida desde os primórdios da medicina, no corpus hippocraticum (Nickoloff; Nestle, 2004).

O termo psoríase tem origem no grego ψώρα (psora) que significa prurido ou coceira. De acordo com Rezende (2014), Hipócrates (460-377 a.C.) empregou o termo ψωρία (psoria) em duas passagens, no livro *Natureza do homem* e, posteriormente, em *Aforismo IV*, ambas no sentido de descamação. Entretanto, essa enfermidade cutânea foi, durante muito tempo, confundida com a lepra, se distinguindo apenas no século XIX por Hebra (1866) (Rezende, 2014). Sua variante mais comum é a psoríase vulgar (psoríase em placas), que pode se apresentar de diferentes formas, cujas nomenclaturas dependem da localização, como couro cabeludo, tronco, cotovelos e joelhos, e caracterização das lesões (Moscardi; Ogava, 2017). Além desse tipo, há outras manifestações como a psoríase gutata, eritrodérmica, artropática e pustulosa (Moscardi; Ogava, 2017; Bologna et al., 2017). A figura 1 ilustra essas diferentes manifestações da doença no corpo humano.

A principal caracterização da psoríase é a apresentação de lesões em placas eritematosas bem definidas, de coloração avermelhada acompanhada de escamação da pele (psoríase em placas), podendo em casos raros, apresentar eritemas generalizados acima de 75% do corpo, denominada de psoríase eritrodérmica (Moscardi; Ogava, 2017; Bologna et al., 2017). A psoríase gutata, por exemplo, é comumente encontrada em crianças e adolescentes, apresentando pequenas lesões em forma de gota precedida frequentemente de processos infecciosos (Leung et al., 2023; Moscardi; Ogava, 2017; Bologna et al., 2017; Ladizinski et al., 2013). A psoríase artropática ocorre nas articulações como joelhos e cotovelos, bem como na ponta dos dedos das mãos e pés (Umezawa, 2021; Moscardi; Ogava, 2017; Bologna et al., 2017; Ladizinski et al., 2013). Já a psoríase

pustulosa é a manifestação mais incomum da doença, sendo caracterizada pela erupção de pústulas estéreis, podendo ocorrer localmente ou generalizada em casos mais graves (Choon et al., 2022; Gooderham et al., 2019; Moscardi; Ogava, 2017; Bologna et al., 2017; Ladizinski et al., 2013).

Figura 1 - (a) e (b) Psoríase em placas, (c) Psoríase Eritrodérmica, (d) Psoríase Pustulosa, (e) Psoríase Gutata, (f) Psoríase Artropática



Fonte: (a) mdsauade (2024), (b) Nhs.uk (2022), (c) mdsauade (2024), (d) medicalxpress (2021), (e) mdsauade (2024), (f) Nhs.uk (2023)

A psoríase é considerada uma doença causada pelos linfócitos T, células responsáveis por diversas funções imunológicas. Wu et al. (2023) apontam que as células T, em especial as Th17, desempenham um papel fundamental na patogênese da psoríase. Entretanto, a resposta dos linfócitos T não compreende uma explicação completa da mesma. O desenvolvimento da doença envolve processos inflamatórios mediados por queratinócitos, linfócitos t, células dendríticas, macrófagos, neutrófilos e células gama t (Wu et al., 2023; Zhou et al., 2022; Kerkhof, 2022; Wong et al., 2013). Apesar de ser considerada uma doença autoimune por muitos autores, nenhum autoantígeno verdadeiro foi identificado (Bologna et al., 2017; Branisteanu et al., 2022). Contudo, as extensas pesquisas que abordaram a imunopatogênese da psoríase contribuíram para o desenvolvimento de tratamentos mais eficientes para remissão ou controle da doença (Bologna et al., 2017; Branisteanu et al., 2022; Kerkhof, 2022).

A severidade da inflamação, o estado clínico do paciente e o histórico da doença são fatores que devem ser levados em conta no tratamento da psoríase (França et al., 2021; Lee; Kim, 2023). Uma abordagem amplamente empregada é a terapia com RUV artificial (Zhang; Wu, 2018; Bologna et al., 2017; Krzyścin et al., 2021). Tal método terapêutico é utilizado em diversas dermatoses, tais como a dermatite atópica (Xiao et al., 2022; Davis et al., 2024), dermatite

seborreica (Dall’oglio et al., 2022), pitiríase (Salah et al., 2024; Khattab; Omran, 2021; Geller et al., 2015), vitiligo (Bishnoi; Parsad, 2024), entre outras (Krenitsky et al., 2020; Branisteanu et al., 2022; Batubara et al., 2021).

### 2.1.2 Fototerapia e Helioterapia: fundamentos e mecanismos de ação contra a psoríase

A exposição à luz solar como método terapêutico é empregada para este fim desde a antiguidade, inicialmente associado a práticas religiosas. Durante o século XIX, observações sobre os efeitos da RUV para fins médicos levaram ao desenvolvimento da fototerapia moderna. Em 1896, niels ryberg finsen desenvolveu uma lâmpada de “raios químicos” com a qual tratou lúpus vulgar (Hönigsmann, 2013).

O tratamento com ruv para a psoríase possui diferentes modalidades, sendo indicado para casos moderados a graves (Duarte et al., 2009; Bologna et al., 2017; Moscardi; Ogava, 2017; Lee; Kim, 2023). A fototerapia com ruv para a psoríase consiste na incidência de radiações na faixa do RUV-A ou RUV-B sobre a região afetada (Lee; Kim, 2023). A fototerapia com RUV-B de banda estreita (*Narrow Band UV-B*, NB-RUV-B, 311 nm  $\pm$  2 nm) é o método mais utilizado para tratamento da psoríase, devido à sua eficácia e maior perfil de segurança, se comparado à RUV-B de banda larga (*Broad Band UV-B*, BB-RUV-B, 280-320 nm), e à fotoquimioterapia com RUV-A e psoralenos<sup>1</sup> (*Psoralen Photochemotherapy*, PUVA) (Lee; Kim, 2023; Bologna et al, 2017; Zhang; Wu, 2018). Outras modalidades de fototerapia são indicadas para casos específicos da psoríase como apresentado por Zhang e Wu (2018). A fototerapia com RUV diminui a síntese acelerada de dna, causando a morte das células da pele (queratinócitos) e reduzindo as citocinas pró-inflamatórias (Lee; Kim, 2023; Bologna et al, 2017). No entanto, tal método pode apresentar efeitos adversos como eritema, prurido, bolhas, fotoenvelhecimento e fotocarcinogênese. Essas implicações são menos frequentes no tratamento com NB-RUV-B, se comparado ao tratamento com BB-RUV-B e PUVA, que, por sua vez, apresentam melhores resultados, porém possui maior potencial carcinogênico quando aplicado a longo prazo (Lee; Kim, 2023; Bologna et al, 2017; Zhang; Wu, 2018, Zanolli, 2003; Racz; Prens, 2015).

Um método alternativo à fototerapia convencional para a psoríase, baseado na exposição à RUV artificial, é a helioterapia. Essa modalidade de tratamento consiste na exposição do paciente à RUV solar por algumas horas diárias, como propõe Krzyścin et al. (2012). Segundo o autor, fatores como a dose diária de RUV de 45 mJ cm<sup>-2</sup>, o tempo mínimo de 20 dias de exposição e condições

---

<sup>1</sup>Psoralenos são compostos fotossensibilizantes de origem natural ou sintética, presente em diversas plantas. Este composto é administrado por aplicação tópica ou via oral, sensibilizando a pele à radiação ultravioleta para tratamento de algumas dermatoses.

climáticas locais, devem ser considerados para a realização do procedimento. Nesse sentido, o tempo de exposição está sujeito à variabilidade diária e sazonal (Jensen et al., 2022) e alterações nas concentrações de ozônio ( $O_3$ ) e aerossóis. Neste aspecto, as mudanças climáticas poderão influenciar significativamente os níveis da RUV solar em superfície (Hegglin; Shepherd, 2009; Mckenzie et al., 2011) e, conseqüentemente, alterar a eficiência do tratamento.

## 2.2 Radiação ultravioleta

### 2.2.1 Radiação ultravioleta e os processos atmosféricos

A RUV compreende a radiação eletromagnética contida entre os comprimentos de onda de 100 nm a 400 nm. Comumente, a banda de RUV subdivide-se em outras três faixas em função da relevância de processos fotoquímicos e fotobiológicos, definindo-se, portanto, RUV-A (315-400 nm), RUV-B (280-315 nm) e RUV-C (100-280 nm). Na atmosfera terrestre, gases e aerossóis atenuam fortemente a RUV. Na alta atmosfera (20-40 Km), a RUV-C é totalmente absorvida pelo  $O_3$  e oxigênio devido ao processo de produção e destruição do  $O_3$ , conhecido como ciclo de Chapman (Wallace & Hobbs, 2007). A RUV-B é fortemente absorvida pelo  $O_3$  estratosférico, reduzindo significativamente os níveis incidentes em superfícies. Por essa razão, a RUV-B corresponde a menos de 5% do total de RUV solar (Lucas et al., 2006). Entretanto, em decorrência dos comprimentos de ondas mais energéticos, a RUV-B é suficiente para o desencadeamento de diversos processos fotoquímicos e fotobiológicos na atmosfera e superfície (Berwick; Kesler, 2005). A RUV-A compreende a maior parcela da RUV em superfície, devido à fraca absorção dessa banda do espectro com os componentes atmosféricos (Lucas et al., 2006).

Na baixa atmosfera, o  $O_3$  é um poluente secundário (Doherty, 2015), formado a partir de reações fotoquímicas entre óxidos de nitrogênio (NOX), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (COV), provenientes de veículos, indústria, solventes químicos ou fontes naturais (Nuvolone et al., 2018). Devido às maiores emissões de precursores do  $O_3$  troposférico em centros urbanos, há uma tendência de maiores concentrações de  $O_3$  nessas regiões (Fátima et al., 2012). Nessa camada, além da absorção da RUV no processo de formação do  $O_3$  troposférico, os processos de espalhamento molecular (espalhamento Rayleigh) e particulado (espalhamento Mie) devido às concentrações de gases e aerossóis são fortes atenuadores da RUV.

Os processos de atenuação da RUV também estão sujeitos a variações temporais e geográficas. Em suma, regiões tropicais possuem alta disponibilidade de radiação solar e, portanto, de RUV, durante todo o ano. Em regiões de médias e altas latitudes, há maior variação sazonal da

RUV e menor intensidade quanto maior a latitude. Outro fator de grande influência no fluxo de RUV é a altitude, onde há acréscimo de  $8 \pm 2\%$  a cada 1000 m de elevação (Blumthaler, et al., 1997). Os fluxos de RUV também podem sofrer alterações a depender da refletividade do solo. Superfícies altamente refletoras como a neve podem intensificar a RUV em até 90%; em contrapartida, superfícies como grama e asfalto proporcionam baixos incrementos, entre 1 a 3%, nos fluxos de RUV (Stephans et al., 2015; Corrêa; Ceballos, 2008).

### 2.2.2 Respostas fotobiológicas à radiação ultravioleta

A RUV, em especial a RUV-B (Weichenthal; Schwarz, 2005), promove efeitos benéficos como o bem-estar psicológico e a síntese de vitamina D no organismo (Ambach; Blumthaler, 1993). Em contrapartida, efeitos nocivos estão associados a esta banda do espectro, tais como fotodermatoses, eritema, ceratite, catarata e conjuntivite, uma gama de carcinomas cutâneos, fotoenvelhecimento, são algumas das consequências da interação da RUV com o tecido biológico (Berwick; Kesler, 2005; Ambach; Blumthaler, 1993).

Cada efeito induzido pela RUV possui um espectro de ação biologicamente ativo; isto é, o espectro de ação indica a resposta fotobiológica exercida por qualquer comprimento de onda para uma dada reação, tal como o avermelhamento da pele, a síntese de vitamina D, entre inúmeras outras (Ambach; Blumthaler, 1993).

A resposta fotobiológica, mais conhecida e utilizada é definida para os efeitos da RUV na pele. O espectro de ação do eritema, estabelecido por McKinlay e Diffey (1986) e recomendado pela CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*), é utilizado para representar os principais danos da RUV sobre a pele. O eritema, avermelhamento da pele pela RUV, é um dano agudo e o primeiro sinal de efeito danoso à saúde. O risco de dano à pele devido à exposição à RUV é representado pelo índice ultravioleta (IUV), ferramenta recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) (*World Health Organization*, WHO, 2024). O IUV corresponde à irradiância eritêmica, denominação dada aos fluxos de RUV ponderados pelo espectro de ação do eritema. Porém, o IUV simplifica este conceito por meio de uma escala adimensional, que classifica a RUV em riscos baixos (1-2), médios (3-5), altos (6-7), muito altos (8-10) e extremos (superiores a 11).

No caso do efeito abordado neste estudo, isto é, a capacidade antipsoriásica da RUV, considerou-se o espectro de ação fotobiológica antipsoríase ( $\epsilon_{\text{pso}}$ ), definido por Krzyścin et al. (2012), a partir do padrão apresentado por Bologna et al. (2017), baseado na eficácia da eliminação da psoríase em trabalhos desenvolvidos na década de 1980. A faixa de 295 a 313 nm compreende os principais comprimentos de onda de ação terapêutica para a psoríase, apresentando ligeira redução

dos efeitos abaixo de 295 nm e acima de 320 nm (Krzyścin et al., 2012). Nesse contexto, os autores propõem uma fórmula analítica para o espectro de ação antipsoríase, utilizado para o cálculo da irradiância e da dose antipsoríase ponderadas:

$$\epsilon_{\text{pso}}(\lambda) = \begin{cases} 0,6504 \times 10^{-0,6304 * (296-\lambda)} & \leq \lambda < 296 \text{ nm} \\ 1,0000 \times 10^{-0,0467 * (300-\lambda)} & 296 \leq \lambda < 300 \text{ nm} \\ 1,0000 \times 10^{-0,1067 * (\lambda-300)} & 300 \leq \lambda < 304 \text{ nm} \\ 0,3743 \times 10^{-0,1571 * (\lambda-304)} & 304 \leq \lambda < 313 \text{ nm} \\ 0,0144 \times 10^{0,08233 * (313-\lambda)} & 313 \leq \lambda < 330 \text{ nm} \\ 0,0057 \times 10^{0,00937 * (330-\lambda)} & 330 \leq \lambda < 400 \text{ nm} \end{cases} \quad (1)$$

Assim, temos:

$$I_{\text{pso}} = \int_{280\text{nm}}^{400\text{nm}} I_{\lambda} \epsilon_{\text{pso}(\lambda)} d\lambda \quad (2)$$

Onde  $I_{\text{pso}}$  é a irradiância UV ponderada pelo espectro de ação fotobiológica antipsoríase. Desta equação, a dose antipsoríaca ( $D_{\text{pso}}$ ) é dada pela integração de  $I_{\text{pso}}$  no intervalo de tempo desejado:

$$D_{\text{pso}} = \int_{t_1}^{t_2} I_{\text{pso}} dt \quad (3)$$

A formulação das equações (2) e (3) é a mesma utilizada para o cálculo da irradiância eritêmica ( $I_{\text{eri}}$ ) e dose eritematosa ( $D_{\text{eri}}$ ), substituindo-se apenas a resposta fotobiológica  $\epsilon_{\text{pso}(\lambda)}$  por  $\epsilon_{\text{eri}(\lambda)}$  (McKinlay e Diffey, 1986).

### 2.3 Mudanças climáticas, projeções e cenários

As mudanças climáticas são, de fato, consequências das atividades humanas (IPCC, 2021). A constante expansão da produção e consumo associado à matriz energética baseada em combustíveis fósseis, intensificados pela revolução industrial, se define como causa primária das consequências climáticas (Moore, 2015; Oladejo et al., 2023). Como efeito das emissões globais, o aumento da temperatura média do planeta gera para todas as regiões do globo, consequências irreversíveis e de longo prazo.

Alterações na concentração e produção de O<sub>3</sub> afetam significativamente os fluxos de RUV em superfície, conforme abordado na seção 2.2.1. Entretanto, tais relações compreendem mudanças de curto prazo, em escalas com variação diária e sazonal. Portanto, em decorrência das alterações na composição atmosférica global, a modificação das concentrações de O<sub>3</sub> deve ocorrer com maior intensidade nas regiões de latitudes elevadas (Corrêa et al., 2019). Em contrapartida, em regiões tropicais, apesar do aumento na produção de gases de efeito estufa (GEEs), a dinâmica de transporte desses gases para latitudes mais elevadas reduz sua concentração nos trópicos, incluindo o O<sub>3</sub> (Corrêa et al., 2019). A redução do “buraco na camada de ozônio” tem apresentado resultados promissores desde o Protocolo de Montreal (OMM, 1991), com a redução significativa de emissões de substâncias destruidoras do O<sub>3</sub>, como os clorofluorcarbonetos (CFCs) desde meados da década de 1990 (Salawitch et al. 2019).

A profundidade óptica do aerossol (*Aerosol Optical Depth*, AOD) é uma medida associada à quantidade de aerossol presente na coluna atmosférica. Na atmosfera, os aerossóis desempenham influências diretas como o espalhamento ou absorção da radiação solar, mas também indiretamente na formação de nuvens, agindo como núcleo de condensação na formação de gotas. Devido a tais influências no balanço radiativo global, utiliza-se o Forçamento Radiativo Efetivo (*Effective Radiative Forcing*, ERF); medida que quantifica o impacto desses e de outros componentes no balanço energético terrestre. Conforme o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, o ERF devido às concentrações de aerossóis em detrimento da queima da biomassa e combustíveis fósseis, é estimado em  $-1,3 \pm 0,7 \text{ W m}^{-2}$  para 2014 em relação a 1750 (início da revolução industrial) (IPCC, 2021).

A compreensão dos sistemas atmosféricos e os impactos de suas componentes no balanço energético terrestre ainda representam um desafio. O projeto *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6* (CMIP6) desenvolvido pelo *Working Group on Coupled Modeling* (WGCM), sumariza os cenários climáticos, a partir das variações climáticas, forçamentos radiativos e incertezas nos cenários. O projeto conta com os Modelos do Sistema Terrestre (*Earth System Model*, ESMs), que avaliam interações entre atmosfera, terra, oceano, gelo e biosfera, sendo, portanto, ferramentas essenciais para análises climáticas (Heavens et al. 2013; Flato et al. 2013, Yamamoto, 2024). Os cenários futuros, portanto, são combinações dos forçamentos socioeconômicos e radiativos, denominados Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (*Shared Socioeconomic Pathways*, SSPs; Riahi et al. 2017).

As narrativas SSPs (O’Neill et al., 2017), constituem descrições textuais, nas quais consideram tendências socioeconômicas, demográficas, tecnológicas, estilo de vida, políticas, institucionais e outros. Em suma, as narrativas complementam os modelos quantitativos,

proporcionando um contexto importante para a compreensão dos fundamentos e significados das projeções futuras (Riahi et al. 2017). Os cenários descritos, definem-se em cinco grupos, SSP1 (sustentabilidade), na qual se considera baixos desafios para mitigação e adaptação às mudanças climáticas; SSP2 (meio do caminho), onde há desafios médios para adaptação e mitigação; SSP3 (Rivalidade Regional), com desafios altos para mitigação e adaptação; SSP4 (Desigualdade), considerando baixos desafios para mitigação, altos desafios para adaptação e SSP5 (Desenvolvimento com combustíveis fósseis), onde altos desafios para mitigação e baixos desafios para adaptação são considerados (Riahi et al. 2017).

No contexto das mudanças climáticas, os cenários apresentam para as concentrações de  $O_3$ , variações e mudanças em todo o globo, em maior ou menor intensidade. Segundo Yamamoto et al. (2024), as projeções climáticas em cenários de maior forçamento radiativo indicam aumento significativo no conteúdo total de  $O_3$ . Já as projeções para profundidade óptica do aerossol a 550 nm indicam predominância de diminuição dos níveis desses poluentes no hemisfério norte, com aumentos na África Central e Ocidental (Yamamoto et al., 2024).

### **3. DADOS E METODOLOGIA**

#### **3.1 Modelagem dos fluxos de RUV: aspectos teóricos**

As simulações dos fluxos de RUV para obtenção do potencial de implementação da helioterapia no tratamento da psoríase, foram realizadas pelo modelo de transferência radiativa *Tropospheric Ultraviolet and Visible (TUV) Radiation Model* (Madronich; Flocke, 1997). A formulação supracitada, proposta por Krzyścin (2012), para a resposta fotobiológica antipsoríase foi integrada ao modelo TUV. As simulações foram realizadas para o intervalo de  $\pm 1h$  em torno do meio-dia solar, para o cálculo do IUV e das doses eritematosa e antipsoríase.

Os fluxos de RUV foram calculados para 12 cidades (Tabela 1) localizadas em diferentes regiões geográficas, o que confere características distintas em relação à disponibilidade de RUV, tipo de uso do solo, densidade populacional e diferentes condições atmosféricas, o que possibilita, portanto, uma visão abrangente de cenários futuros a partir de diferentes condicionantes.

Tabela 1 - Cidades avaliadas neste estudo

Cidade (País)	Latitude [°]	Longitude [°]	Altitude [m]
Belsk Duzy (Polônia)	51,83	20,81	174
San Diego (EUA)	32,71	-117,17	128
Xangai (China)	31,28	121,69	11
Kunming (China)	24,95	103,24	1891
Honolulu (Havai, EUA)	21,31	-157,87	55
Praia (Cabo Verde)	14,92	-23,51	3
Bangalore (Índia)	12,97	77,56	893
Manaus (Brasil)	-3,12	-60,03	39
Kinshasa (Rep. Democrática do Congo)	-4,30	15,31	284
La Paz (Bolívia)	-16,48	-67,65	3628
São Paulo (Brasil)	-23,57	-46,65	745
Canberra (Austrália)	-35,26	149,47	590

Para os parâmetros atmosféricos, foram utilizados dados de simulações e projeções climáticas de seis ESMs (Tabela 2) provenientes do CMIP6 e disponibilizados pelo *Earth System Grid Federation* (ESGF, <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/>). A escolha dos ESMs foi realizada com base na disponibilidade simultânea dos dados para as variáveis de interesse nos cenários de mudanças climáticas. Do conjunto de variáveis disponibilizadas pelo CMIP6, foram considerados dados mensais de profundidade óptica de aerossol em 550 nm (AOD550) [adimensional] e fração molar de O<sub>3</sub> [mol mol<sup>-1</sup>], que foi integrado para todos os níveis verticais, para cada tempo e ponto de grade, a fim de obter o conteúdo total de O<sub>3</sub> (CTO) [DU].

Os ESMs possuem diferentes componentes atmosféricos, oceânicos, terrestres e químicos importantes para representação de processos físicos, químicos e biológicos. Uma vez que os modelos possuem diferentes resoluções espaciais, foi realizada a interpolação bilinear para a mesma grade regular de 1.0° x 1.0° latitude/longitude.

Tabela 2 - Modelos do sistema terrestre utilizados para as projeções

Modelos	Resolução (lat x lon) e níveis verticais	Instituição	Referência
CESM2-WACCM	0.9°×1.2°; 19	National Center for Atmospheric Research	Danabasoglu 2019a Danabasoglu 2019b
GFDL-ESM4	1.0°×1.2°; 49	National Oceanic and Atmospheric Administration	Krasting et al. 2018 John et al. 2018
IPSL-CM6A-LR	1.3°×2.5°; 19	Institute Pierre Simon Laplace	Boucher et al. 2018 Boucher et al. 2019
MPI-ESM1-2-HR	0.9°×0.9°; 95	Max Planck Institute for Meteorology	Jungclaus et al. 2019 Schupfner et al. 2019
MPI-ESM1-2-LR	1.9°×1.9°; 47	Max Planck Institute for Meteorology	Wieners et al. 2019a Wieners et al. 2019b
MRI-ESM2-0	2.8°×2.8°; 80	Meteorological Research Institute	Yukimoto et al. 2019a Yukimoto et al. 2019b

Os dados do CMIP6 estão dispostos em dados históricos (1850-2014) e projeções futuras (2015-2100). As simulações históricas são inicializadas a partir de condições de equilíbrio com base nas concentrações do período pré-industrial e integradas com forçamento observacional dependente do tempo, incluindo emissões e concentrações de gases de efeito estufa (GEEs), utilização do solo, forçante solar e aerossóis (Eyring et al., 2016; Rong et al., 2021).

### 3.2 Avaliação das projeções

As projeções relativas aos SSPs foram avaliadas com referência ao período histórico de 1995-2014. Foram geradas anomalias absolutas e relativas para as simulações das mudanças ao longo do século XXI para médias anuais, abrangendo o intervalo de 2015 a 2100.

$$DR = \left( \frac{X - X_h}{X_h} \right) * 100 \quad (4)$$

$$DA = X - Xh \quad (5)$$

onde X é o valor referente as projeções e Xh a média histórica. As anomalias relativas, expressa em porcentagem, indica a tendência de aumento ou diminuição ao longo do período de análise.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Projeções e cenários

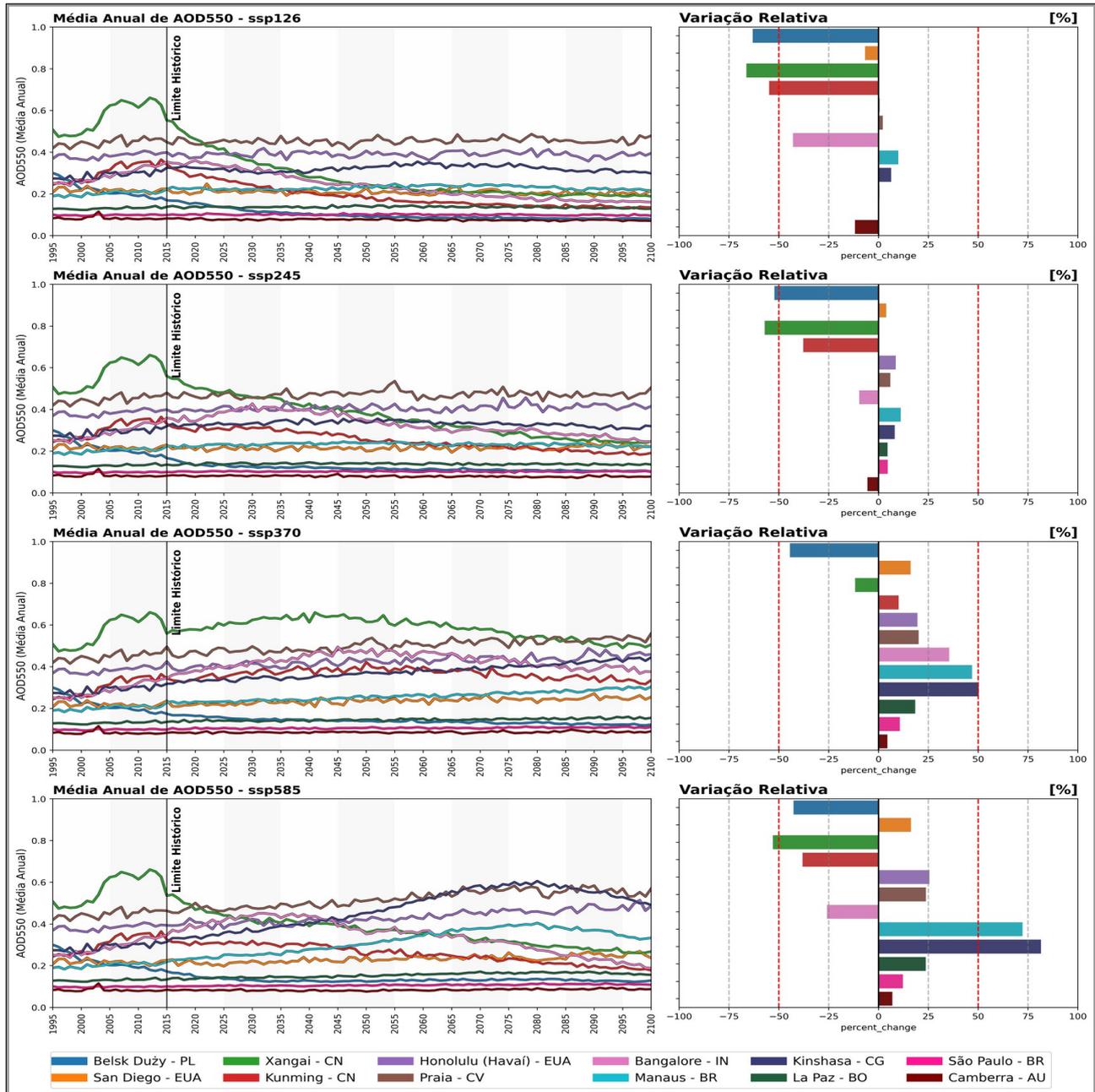
As projeções de AOD550 sob cenários SSPs revelam padrões de distribuições distintas entre as cidades analisadas. A figura 2 apresenta o AOD550 até final do século e a diferença relativa entre a última década do século e o período histórico de referência. Observa-se que em regiões de médias latitudes, as reduções projetadas são mais acentuadas para o cenário de baixa forçante radiativa (SSP1-2.6). Cidades como Belsk, Xangai e Kunming apresentaram quedas expressivas nas concentrações, com reduções de 63%, 66% e 54,7% até o final do século, respectivamente. Mudanças nos padrões de consumo e exploração de energias mais sustentáveis são esperadas para os cenários SSP1-2.6 e SSP2-4.5. Este último considera desafios médios para mitigação e adaptação, no qual reflete a redução do aerossol menos acentuada. Em algumas regiões, como Belsk e Xangai, nota-se redução do AOD550 mesmo em cenários de maior forçante radiativa, como o SSP3-7.0 e SSP5-8.5. Em Belsk, a redução do AOD550 é mais acentuada e deve diminuir em mais de 40% em todos os cenários SSPs analisados. Essas reduções estão associadas às mudanças nos padrões de circulação atmosférica e às políticas de mitigação de emissões de poluentes.

O aumento das concentrações de AOD550 nos trópicos é observado, nos diferentes cenários, em regiões com predominância de vegetação densa, como as florestas tropicais. Cidades como Manaus e Kinshasa, localizadas nas proximidades da floresta amazônica e da floresta do Congo, respectivamente, apresentam aumentos estimados nas concentrações de AOD550 entre 6% e 10% em cenários de forçamento radiativo baixo. Sob o cenário SSP5-8.5, esses aumentos chegam a 72% em Manaus e 81% em Kinshasa. Em Praia, embora o crescimento projetado tenha sido observado em todos os cenários, a intensidade foi menor em comparação com as regiões de florestas tropicais, com um aumento máximo de 23,8% no cenário SSP5-8.5. As demais cidades mostraram variações mais discretas, com aumentos mais acentuados no cenário SSP3-7.0.

As projeções demonstram maior tendência de redução de AOD550 para a porção norte do planeta, enquanto cidades mais ao sul, como o caso de Camberra, apresentam variações mais

discretas até o final do século. Regiões de baixa latitude, por sua vez, apresentam variações menos intensas sob cenários SSP1-2.6 e SSP2-4.5 e de maior intensidade sob SSP3-7.0 e SSP5-8.5.

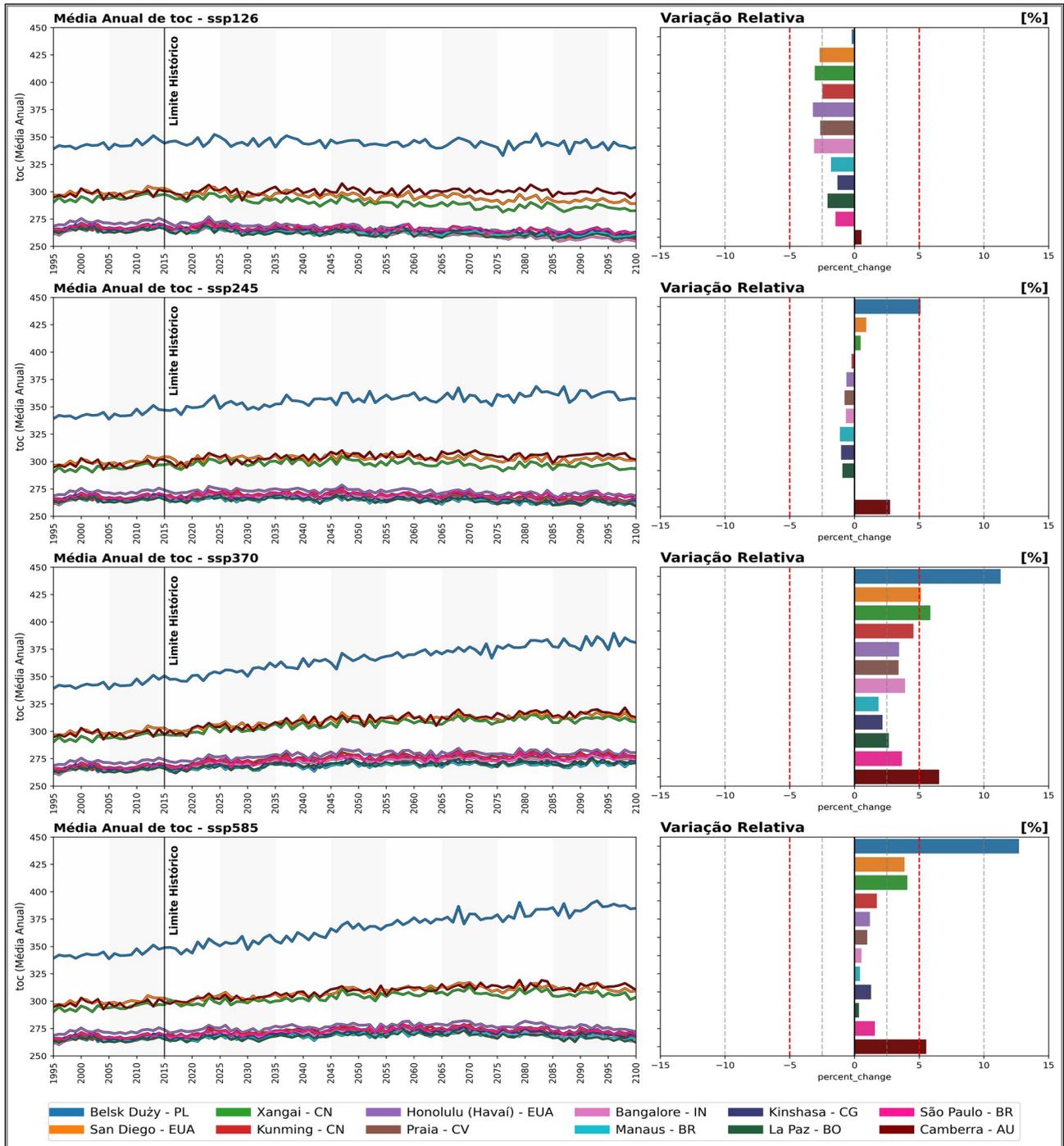
Figura 2 - Profundidade óptica do aerossol em 550 nm: Média anual (meio-dia  $\pm$  1h), à esquerda, e variação relativa (%) entre o final do século e período histórico, à direita.



A figura 3 mostra a CTO e sua variação relativa entre o período histórico e o final do século para os quatro SSPs. Mesmo sob cenário mais deletério (SSP5-8.5), as projeções apresentam variações inferiores a 6%, exceto em Belsk (12,7%). As maiores emissões de precursores do ozônio em cenários de maior forçante radiativa combinados à dinâmica atmosférica, que facilita o

transporte desse gás para regiões de latitude mais elevada, contribuem para o padrão de aumento notado nessas regiões. Em geral, latitudes mais elevadas apresentam aumentos mais intensos do CTO. Em contrapartida, em latitudes médias e baixas, as reduções do CTO são inferiores a 3% para o SSP1-2.6, e variam entre 3 e 7% para o SSP3-7.0.

Figura 3- Concentração de ozônio: Média anual (meio-dia  $\pm$  1h), à esquerda, e variação relativa (%) entre o final do século e período histórico, à direita.



## 4.2 Potencial helioterápico para a psoríase

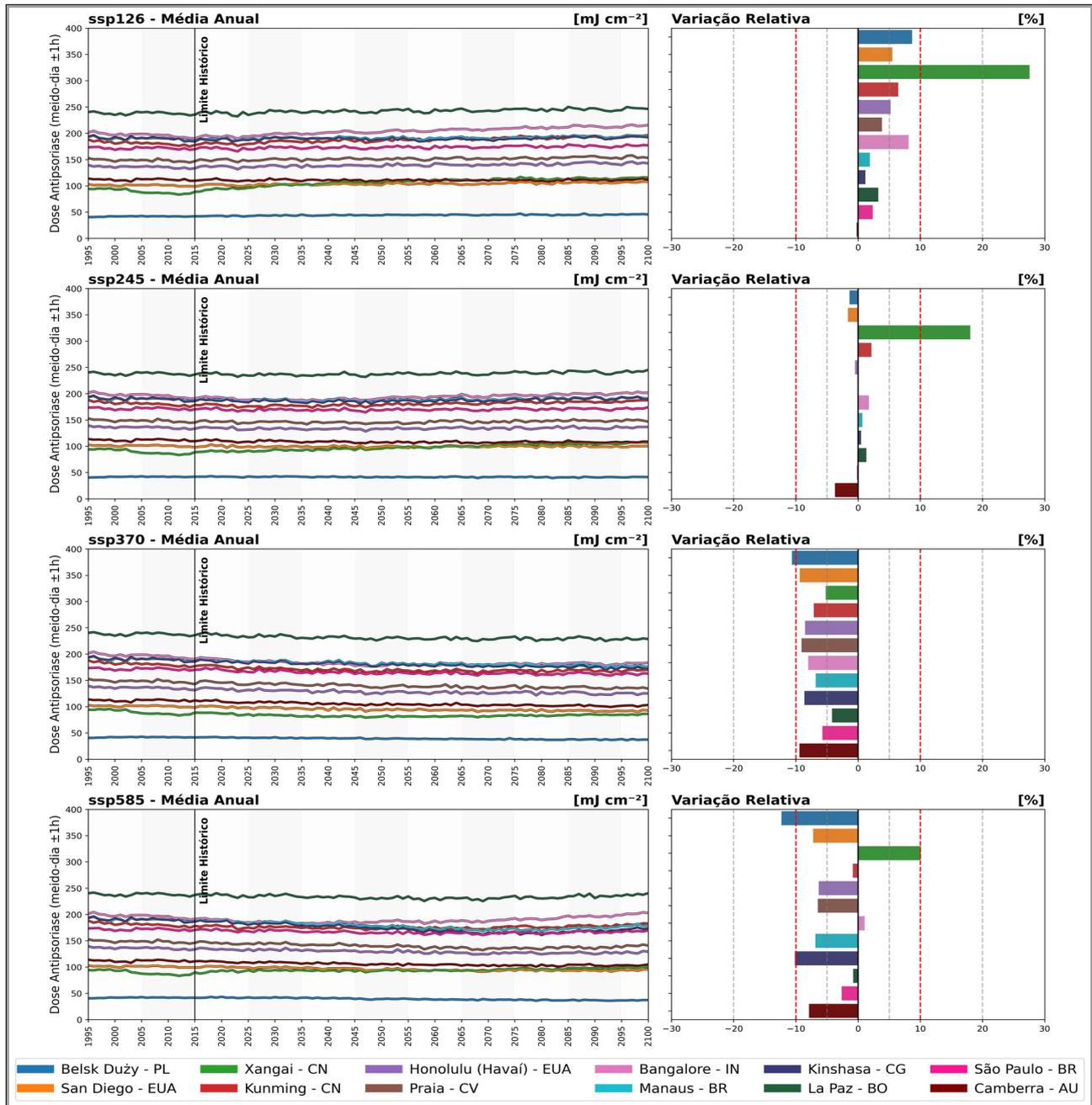
A figura 4 mostra, à esquerda, as médias anuais de Dpso acumuladas em torno do meio-dia solar ( $\pm 1h$ ) entre os anos de 1995 e 2100 para os diferentes cenários SSPs; e, à direita, a variação relativa entre a média da última década do século (2090-2100) e a média histórica. As projeções de Dpso demonstram tendência de aumento para o hemisfério norte (HN) para o cenário SSP1-2.6. O sul asiático apresentou variações mais acentuadas, com destaque para Xangai na China, na qual a Dpso apresentou diferença relativa de 27,6%, cerca de  $25 \text{ mJ cm}^{-2}$  a mais do que o período histórico em valores absolutos. Demais cidades situadas no HN, sendo elas: Bangalore, Praia, Honolulu, Kunming, San Diego e Belsk, demonstram aumentos na Dpso entre 4 e 9%, enquanto para o hemisfério sul (HS), as variações para o final do século ficaram abaixo de 3,5% para o mesmo cenário. De modo geral, todas as cidades analisadas sob cenário SSP1-2.6 demonstram aumentos na Dpso, com exceção de Camberra, que apresentou redução inferior a 1% que não compromete a viabilização do tratamento.

Em cenário de forçamento radiativo médio (SSP2-4.5), o contraste entre o norte e sul global se suaviza, apresentando distribuição menos uniforme entre as cidades, com variações entre  $\pm 3\%$  e mais próximas à média histórica. Tais variações não apresentam mudanças significativas, uma vez que a variação das doses encontra-se entre  $1$  e  $5 \text{ mJ cm}^{-2}$  em valores absolutos. Entretanto, a cidade de Xangai apresenta diferenças mais acentuadas, onde se observou aumento da dose em 18% no final do século, refletindo as reduções nos níveis de aerossóis. Este aumento não é notado em Belsk, na Polônia, mesmo a cidade apresentando reduções mais acentuadas nos níveis de aerossol; contudo, o aumento dos níveis de ozônio pode explicar a redução da Dpso para a região.

No cenário SSP3-7.0 são observadas reduções de Dpso mais importantes, entre 6% e 9%. Tais reduções relativas compreendem variações absolutas entre  $12 \text{ mJ cm}^{-2}$  e  $16 \text{ mJ cm}^{-2}$  nas regiões de baixa latitude, e abaixo de  $10 \text{ mJ cm}^{-2}$  em médias e altas latitudes. A redução foi menos intensa em La Paz, próxima a 4%. Porém, a localidade apresenta doses elevadas de Dpso, acima de  $228 \text{ mJ cm}^{-2}$ , para a última década do século.

No cenário SSP5-8.5 houve diminuição da Dpso na maioria das cidades, com exceção de Bangalore e Xangai, que apresentaram aumentos de 1 e 10%, respectivamente. As atenuações de maior magnitude foram notadas em Belsk, com redução de 12,3%, e Kinshasa, com 10,8%. La Paz, no entanto, apresentou variação abaixo de 1%, explicada pelo menor incremento nas variações de AOD550 e CTO sob o SSP5-5.8.

Figura 4 - Dose Antipsoríase: Média Anual (Meio-dia  $\pm$  1h) e Variação Relativa entre o final do século e período histórico.



As reduções nos fluxos de RUV nessas regiões até o final do século não comprometem a viabilidade para implementação da helioterapia no tratamento da psoríase mesmo em cenários de maior emissão de poluentes. Variações nas condições atmosféricas de curto prazo, como a cobertura de nuvens, tempestades de poeira, fuligem resultante de queimadas, dentre outros condicionantes atmosféricos, podem ter maior impacto na atenuação da RUV de efeito terapêutico para a psoríase, uma vez que é necessária exposição contínua durante alguns dias, conforme abordado por Krzyścin (2012) e, portanto, têm maior potencial de interferência no tratamento.

A figura 5 mostra as  $D_{eri}$  e  $D_{pso}$  para as cidades de Belsk, Xangai, La Paz e Camberra. Tais cidades foram selecionadas para exemplificar as variações sazonais em um contexto de mudanças climáticas. Essas cidades, apresentam características distintas que possibilitam uma interpretação do comportamento da RUV nos diferentes cenários e condicionantes regionais. As variações sazonais das  $D_{eri}$  e  $D_{pso}$  referentes às demais cidades estão disponíveis no anexo A.

A região de Belsk apresentou os menores valores para as doses acumuladas, entre os meses de novembro e janeiro, as  $D_{pso}$  ficaram abaixo de  $10 \text{ mJ cm}^{-2}$ , com menor valor para dezembro, chegando a  $4,5 \text{ mJ cm}^{-2}$  no cenário SSP1-2.6. Durante os meses de maior disponibilidade da RUV em Belsk, as  $D_{pso}$  chegam a  $98 \text{ mJ cm}^{-2}$ , valor referente ao mês de junho perante cenário SSP1-2.6. Já em cenários onde são considerados maiores emissões de poluentes, a  $D_{pso}$  cai para  $85 \text{ mJ cm}^{-2}$  (SSP3-7.0). Entre os meses de maio e agosto, a cidade apresenta  $D_{pso}$  superior à mínima necessária para tratamento ( $45 \text{ mJ cm}^{-2}$ ), resultado semelhante ao encontrado por Krzyścin et al. (2012).

Em Xangai foram observadas  $D_{pso}$  mais intensas durante todo o período. Com a maior disponibilidade de RUV durante o ano, a implementação do tratamento helioterápico torna-se viável entre os meses de janeiro e novembro no cenário SSP1-2.6. Nos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5, o tratamento helioterápico é possível entre fevereiro e novembro, enquanto no SSP3-7.0, o intervalo reduz-se para fevereiro e outubro. Durante os meses de verão no HN, as  $D_{pso}$  são mais intensas, chegando ao máximo de  $163 \text{ mJ cm}^{-2}$  (SSP1-2.6) no mês de julho.

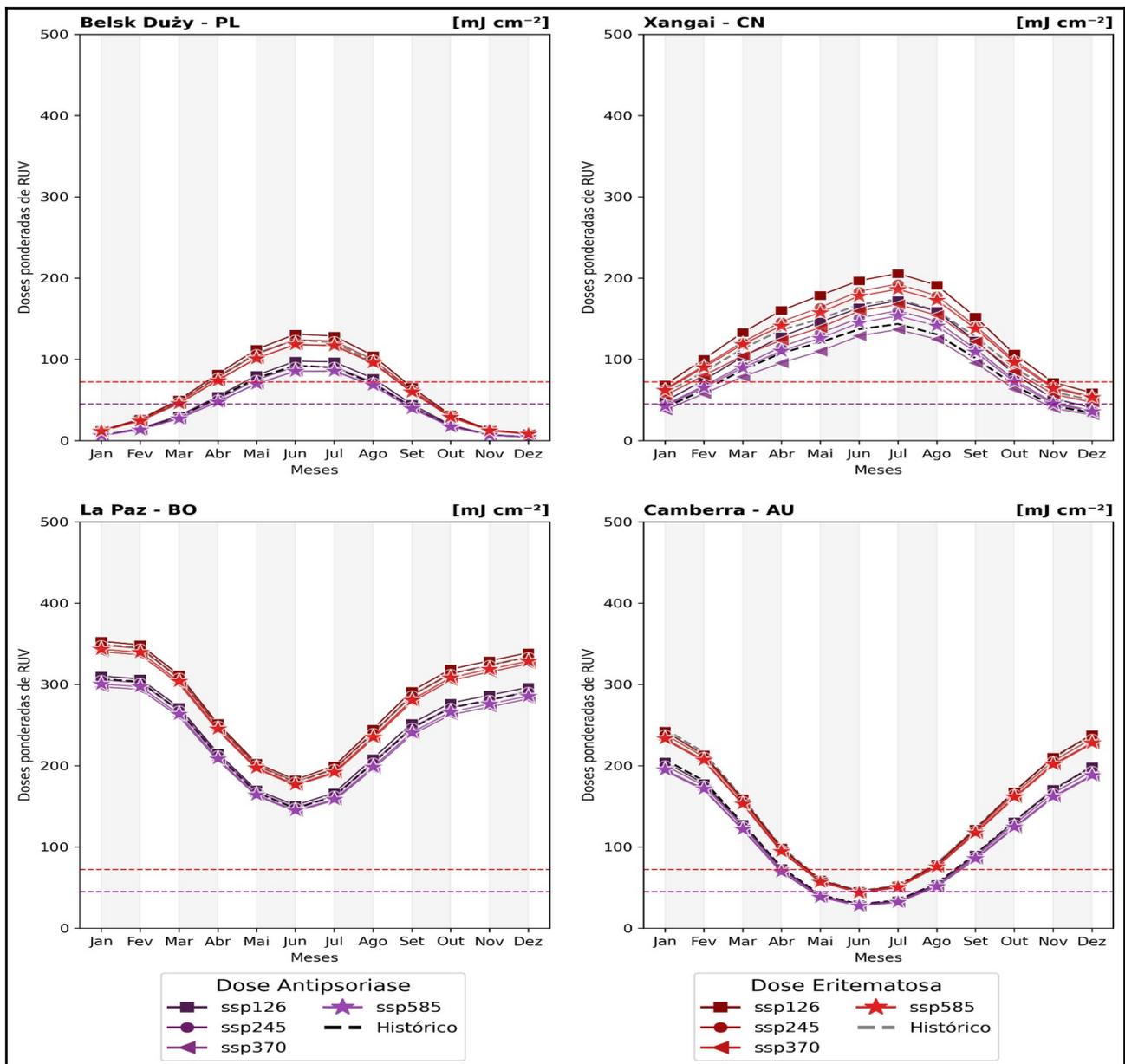
No HS, em La Paz, mesmo durante o inverno, observa-se valores acima de  $140 \text{ mJ cm}^{-2}$  para as  $D_{pso}$ . Valores altos para a região são explicados pela sua altitude, onde um menor caminho óptico é percorrido pela RUV devido à menor espessura da camada atmosférica. Durante os meses de verão no HS, as  $D_{pso}$  apresentam valores acima de  $280 \text{ mJ cm}^{-2}$  em todos os cenários SSPs. As doses máximas para a região são observadas para o mês de janeiro, com  $D_{pso}$  de  $310 \text{ mJ cm}^{-2}$  e  $296 \text{ mJ cm}^{-2}$  para SSP1-2.6 e SSP3-7.0, respectivamente. Portanto, mesmo em período de menor disponibilidade solar, a região demonstra alto potencial de tratamento helioterápico. Contudo, a superexposição à RUV pode provocar câncer, fotoenvelhecimento, queimaduras entre outros agravantes (Lee; Kim, 2023; Bologna et al, 2017; Zhang; Wu, 2018, Zanolli, 2003; Racz; Prens, 2015).

Em Camberra, a helioterapia para tratamento da psoríase é inviável apenas durante o inverno. Durante esta estação, apresenta valores abaixo de  $30 \text{ mJ cm}^{-2}$  em todos cenários SSPs. Contudo, a variação sazonal para a localidade apresenta amplitude de  $170 \text{ mJ cm}^{-2}$  sob cenário SSP1-2.6 e de  $159 \text{ mJ cm}^{-2}$  no SSP3-7.0, com referência aos solstícios de verão e inverno para o

HS, respectivamente. Nesse sentido, a helioterapia torna-se viável para a região, apresentando Dpso elevadas, principalmente no verão.

As Dpso observadas para as regiões superam o mínimo necessário para tratamento da psoríase durante grande parte do ano em Belsk, Xangai e Camberra, e durante todo o ano em La Paz, nos cenários SSPs avaliados. Entretanto, as Deri nessas regiões superam o limiar seguro de tratamento durante períodos de maior disponibilidade de RUV. Conforme apresentado por Krzyścin et al. (2012), a Dpso mínima corresponde a um IUV igual a 4, valor que corresponde a aproximadamente uma Deri de 72 mJ cm<sup>-2</sup>. Portanto, a Dpso deve alcançar níveis que corresponda ao IUV igual ou superior a 4, para obter a dosagem mínima.

Figura 5- Variabilidade sazonal da dose antipsoríase e dose eritematosa.



## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o potencial de implementação da helioterapia como meio de tratamento da psoríase em diferentes regiões e sua dependência das condições climáticas. Os cálculos das Dpso e Deri foram realizados por meio do modelo TUV, integrado à formulação proposta por Krzyścin et al. (2012) com simulações realizadas para o intervalo do meio-dia solar ( $\pm 1h$ ) a partir de projeções de AOD550 e CTO provenientes de seis ESMs CMIP6 para período histórico e futuro. Os diferentes cenários SSPs avaliados, apresentam diferenças significativas para as Dpso e Deri ao longo do século.

As projeções indicam tendência de aumento das Dpso para o HN no cenário SSP1-2.6, com destaque para o leste asiático. Xangai apresentou um aumento da Dpso em 27,6% para o final do século em relação ao período histórico. Outras cidades no HN apresentaram, em menor intensidade, aumentos entre 4 e 9%, enquanto o sul global apresentou aumentos inferiores a 3%. Para o SSP2-4.5, as doses apresentam variações de  $\pm 3\%$  para as regiões. Já para o SSP3-7.0, observou-se redução das Dpso, entre 6% e 9%, especialmente em regiões de baixa latitude. O cenário de maior forçante radiativa (SSP5-8.5) apresentou redução da Dpso na maioria das cidades, exceto em Bangalore e Xangai, que tiveram aumentos de 1% e 10% respectivamente.

A variabilidade sazonal nas cidades de Belsk, Xangai, La Paz e Camberra apresentou viabilidade da helioterapia para tratamento da psoríase durante grande parte do ano, com Dpso acima do mínimo necessário para tratamento. Em suma, as cidades avaliadas indicam maior potencial de tratamento em regiões de médias e baixas latitudes, contudo as altas Deri nessas regiões podem implicar em riscos à saúde.

A helioterapia, portanto, continuará sendo viável para o tratamento da psoríase em grande parte do globo. No entanto, para uma melhor compreensão dos impactos das mudanças climáticas no tratamento, é necessário considerar análises para outras regiões do globo e diferentes intervalos de exposição diária. Além disso, fatores como a cobertura de nuvens devem ser considerados, uma vez que desempenham papel importante na atenuação do fluxo de radiação solar em superfície e, portanto, podem interferir no tratamento contínuo exigido durante alguns dias para obtenção dos efeitos do tratamento. Em geral, alterações no fluxo de RUV podem impactar a saúde humana (Corrêa et al., 2019) e devem ser consideradas para o tratamento.

## 5. REFERÊNCIAS

- AMBACH, W.; BLUMTHALER, M. Biological effectiveness of solar UV radiation in humans. **Experientia**, v. 49, p. 747-753, 1993.
- BATUBARA, I.S.; WIBAWA, L.P.; BUDIANTI, W.K.; RAHMAYUNITA, G.; YUSHARYAHYA, S.N. Ultraviolet phototherapy for treatment of various dermatoses. **Journal of the Medical Sciences**, v. 53, n. 4, p. 371-384, 2021.
- BERWICK, M.; KESLER, D. Ultraviolet radiation exposure, vitamin D, and cancer. **Photochemistry and Photobiology**, v. 81, n. 6, p. 1261-1266, 2005.
- BISHNOI, A.; PARSAD, D. Phototherapy for vitiligo: A narrative review on the clinical and molecular aspects, and recent literature. **Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine**, v. 40, n. 3, p. e12968, 2024.
- BLUMTHALER, M.; AMBACH, W.; ELLINGER, R. Increase in solar UV radiation with altitude. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 39, n. 2, p. 130-134, 1997.
- BOLOGNIA, J.L.; SCHAFFER, J.V.; CERRONI, L. **Dermatology**. 4<sup>o</sup> ed. Elsevier, 2017. 2672p.
- BOUCHER, O.; DENVIL, S.; LEVAVASSEUR, G.; COZIC, A.; CAUBEL, A.; FOUJOLS, M.; MEURDESOF, Y.; CADULE, P.; DEVILLIERS, M.; GHATTAS, J.; LEBAS, N.; LURTON, T.; MELLUL, L.; MUSAT, I.; MIGNOT, J.; CHERUY, F. IPSL IPSL-CM6ALR model output prepared for CMIP6 CMIP historical. Version 20180803. Earth System Grid Federation, 2018.
- BOUCHER, O.; DENVIL, S.; LEVAVASSEUR, G.; COZIC, A.; CAUBEL, A.; FOUJOLS, M.-A.; MEURDESOF, Y.; CADULE, P.; DEVILLIERS, M.; DUPONT, E.; LURTON, T. IPSL IPSL-CM6ALR model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP. Version 20190903. Earth System Grid Federation, 2019.
- BOWCOCK, A.M.; COOKSON, W.O.C.M. The genetics of psoriasis, psoriatic arthritis and atopic dermatitis. **Human molecular genetics**, v. 13, n. 1, p. R43-R55, 2004.
- BRANISTEANU, D.E.; DIRZU, D.S.; TOADER, M.P.; BRANISTEANU, D.C.; NICOLESCU, A.C.; BRIHAN, I.; BOGDANICI, C.M.; BRANISTEANU, G.; DIMITRIU, A.; ANTON, N.; PORUMB, E.A. Phototherapy in dermatological maladies (Review). **Experimental and Therapeutic Medicine**, v. 23, n. 4, p. 1-6, 2022.
- CESTARI, T.F.; PESSATO, S.; CORRÊA, G.P. Fototerapia: aplicações clínicas. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 82, p. 7-21, 2007.
- CHOON, S.E.; NAVARINI, A.A.; PINTER, A. Clinical course and characteristics of generalized pustular psoriasis. **American journal of clinical dermatology**, v. 23, n. 1, p. 21-29, 2022.
- COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE, CLIMATE DATA STORE [2019]. Aerosol properties gridded data from 1995 to present derived from satellite observation. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). Disponível em:

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-aerosol-properties?tab=form>. Acesso em: 05 agosto. 2024.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE, CLIMATE DATA STORE [2020]. Ozone monthly gridded data from 1970 to present derived from satellite observations. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). Disponível em: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-ozone-v1?tab=form>. Acesso em: 05 agosto. 2024.

CORREA, M. P.; CEBALLOS, J. C. RUV-B surface albedo measurements using biometers. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, p. 411-416, 2008.

CORRÊA, M. P.; YAMAMOTO, A. L. C.; MORAES, G. R.; GODIN-BEEKMANN, S.; MAHÉC, E. Changes in the total ozone content over the period 2006 to 2100 and the effects on the erythemal and vitamin D effective UV doses for South America and Antarctica. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 18, p. 2931-2941, 2019.

DALL'OGGIO, F.; NASCA, M.R.; GERBINO, C.; MICALI, G. An overview of the diagnosis and management of seborrheic dermatitis. **Clinical, cosmetic and investigational dermatology**, p. 1537-1548, 2022.

DANABASOGLU, G. NCAR CESM2 model output prepared for CMIP6 LUMIP. 2019a.

DANABASOGLU, G. NCAR CESM2-WACCM model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp585. 2019b.

DAVIS, D.M.R.; DRUCKER, A.M.; ALIKHAN, A.; BERCOVITCH, L.; COHEN, D.E.; DARR, J.M.; EICHENFIELD, L.F.; FRAZER-GREEN, L.; PALLER, A.S.; SCHWARZENBERGER, K.; SILVERBERG, J.I.; SINGH, A.M.; WU, P.A.; SIDBURY, R. Guidelines of care for the management of atopic dermatitis in adults with phototherapy and systemic therapies. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 90, n. 2, p. e43-e56, 2024.

DOHERTY, R. M. Ozone pollution from near and far. **Nature Geoscience**, v. 8, n. 9, p. 664-665, 2015.

DUARTE, I.; CUNHA, J.A.J.; BEDRIKOW, R.B.; LAZZARINI, R. Qual é o tipo de fototerapia mais comumente indicada no tratamento da psoríase?: UVB banda estreita e PUVA: comportamento da prescrição. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 84, p. 244-248, 2009.

EYRING, V.; BONY, S.; MEEHL, G.A.; SENIOR, C.A.; STOUFFER, R.J.; TAYLOR, K.E. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 5, p. 1937-1958, 2016.

FÁTIMA, A. M.; FORNARO, A.; FREITAS, E. D.; MAZZOLI, C. R.; MARTINS, L. D.; BOIAN, C.; OLIVEIRA, M. G. L.; PERES, J.; CARBONE, S.; ALVALÁ, P.; LEME, N. P. Ozone sounding in the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil: Wet and dry season campaigns of 2006. **Atmospheric Environment**, v. 61, p. 627-640, 2012.

- FLATO, G.; MAROTZKE, J. Evaluation of climate models. In: *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2014.
- FRANÇA, M.L.O.; LENA, A.V.; NAKAMURA, J.; BUKOSKI, L.S.; BRAGA, L.S. Caracterização da psoríase e seu tratamento: uma revisão narrativa. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, v. 16, p. 1-13, 2021.
- GELLER, L.; ANTONOV, N.K.; LAUREN, C.T.; MOREL, K.D.; GARZON, M.C. Pityriasis lichenoides in childhood: review of clinical presentation and treatment options. **Pediatric dermatology**, v. 32, n. 5, p. 579-592, 2015.
- GOODERHAM, M.J.; VOORHEES, A.S.V.; LEBWOHL, M.G. An update on generalized pustular psoriasis. **Expert review of clinical immunology**, v. 15, n. 9, p. 907-919, 2019.
- GREAVES, M.W.; WEINSTEIN, G.D. Treatment of psoriasis. **New England Journal of Medicine**, v. 332, n. 9, p. 581-589, 1995.
- HEAVENS, N. G.; WARD, D. S.; NATALIE, M. Studying and projecting climate change with earth system models. **Nature Education Knowledge**. 2013.
- HEBRA, F.R.V. **On Diseases of the skin, including the exanthemata**. 1° ed. 896p.
- HEGGLIN, M.I.; SHEPHERD, T.G. Large climate-induced changes in ultraviolet index and stratosphere-to-troposphere ozone flux. **Nature Geoscience**, v. 2, n. 10, p. 687-691, 2009.
- HÖNIGSMANN, H. History of phototherapy in dermatology. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 12, n. 1, p. 16-21, 2013.
- JENSEN, K.K.; SERUP, J.; ALSING, K.K. Psoriasis and seasonal variation: a systematic review on reports from northern and central Europe-little overall variation but distinctive subsets with improvement in summer or wintertime. **Skin research and technology**, v. 28, n. 1, p. 180-186, 2022.
- KERKHOF, P.C.M.V. From empirical to pathogenesis-based treatments for psoriasis. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 142, n. 7, p. 1778-1785, 2022.
- KHATTAB, F.M.; OMRAN, F.H. 308-nm excimer laser: a hopeful and optional therapy for pityriasis versicolor. **Journal of Dermatological Treatment**, v. 32, n. 7, p. 795-799, 2021.
- KRASTING, J.P.; JOHN, J.G.; BLANTON, C.; MCHUGH, C.; NIKONOV, S.; RADHAKRISHNAN, A.; RAND, K.; ZADEH, N.T.; BALAJI, V.; DURACHTA, J.; DUPUIS, C.; MENZEL, R.; ROBINSON, T.; UNDERWOOD, S.; VAHLENKAMP, H.; DUNNE, K.A.; GAUTHIER, P.P.G.; GINOUX, P.; GRIFFIES, S.M.; HALLBERG, R.; HARRISON, M.; HURLIN, W.; MALYSHEV, S.; NAIK, V.; PAULOT, F.; PAYNTER, D.J.; PLOSHAY, J.; REICHL, B.G.; SCHWARZKOPF, D.M.; SEMAN, C.J.; SILVERS, L.; WYMAN, B.; ZENG, Y.; ADCROFT, A.; DUNNE, J.P.; DUSSIN, R.; GUO, H.; HE, J.; HELD, I.M.; HOROWITZ, L.W.; LIN, P.; MILLY, P.C.D.; SHEVLIKOVA, E.; STOCK, C.; WINTON, M.; WITTENBERG, A.T.; XIE, Y.; ZHAO, M. NOAA-GFDL GFDL-ESM4 model output prepared for CMIP6 CMIP historical. Version n 20190726. Earth System Grid Federation, 2018.

KRENITSKY, A.; GHAMRAWI, R.I.; FELDMAN, S.R. Phototherapy: a review and update of treatment options in dermatology. **Current Dermatology Reports**, v. 9, p. 10-21, 2020.

KRZYŚCIN, J.W.; JAROSŁAWSKI, J. RAJEWSKA-WIĘCH, B.; SOBOLEWSKI, P.S.; NARBUTT, J.; LESIAK, A.; PAWLACZYK, M. Effectiveness of heliotherapy for psoriasis clearance in low and mid-latitudinal regions: A theoretical approach. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 115, p. 35-41, 2012.

LADIZINSKI, B.; LEE, K.C.; WILMER, E.; AFSANEH, A.; NISHA, M.; SIBBALD, R.G. A review of the clinical variants and the management of psoriasis. **Advances in skin & wound care**, v. 26, n. 6, p. 271-284, 2013.

LEE, H.; KIM, M. Challenges and future trends in the treatment of psoriasis. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 17, p. 13313, 2023.

LEUNG, A.K.C.; BARANKIN, B.; LAM, J.M.; LEONG, K.F. Childhood guttate psoriasis: an updated review. **Drugs in context**, v. 12, 2023.

LUCAS, R.; MCMICHAEL, T.; SMITH, W.; ARMSTRONG, B. **Solar ultraviolet radiation: global burden of disease from solar ultraviolet radiation**. World Health Organization, 2006.

JOHN, J.G.; BLANTON, C.; MCHUGH, C.; RADHAKRISHNAN, A.; RAND, K.; VAHLENKAMP, H.; WILSON, C.; ZADEH, N.T.; DUNNE, J.P.; DUSSIN, R.; HOROWITZ, L.W.; KRASTING, J.P.; LIN, P.; MALYSHEV, S.; NAIK, V.; PLOSHAY, J.; SHEVLIAKOVA, E.; SILVERS, L.; STOCK, C.; WINTON, M.; ZENG, Y. NOAA-GFDL GFDL-ESM4 model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP. Version 20180701. Earth System Grid Federation, 2018.

JUNGCLAUS, J.; BITTNER, M.; WIENERS, K.H.; WACHSMANN, F.; SCHUPFNER, M.; LEGUTKE, S.; GIORGETTA, M.; REICK, C.; GAYLER, V.; HAAK, H.; DE VRESE, P.; RADDATZ, T.; ESCH, M.; MAURITSEN, T.; VON STORCH, J.-S.; BEHRENS, J.; BROVKIN, V.; CLAUSSEN, M.; CRUEGER, T.; FAST, I.; FIEDLER, S.; HAGEMANN, S.; HOHENEGGER, C.; JAHNS, T.; KLOSTER, S.; KINNE, S.; LASSLOP, G.; KORNBLUEH, L.; MAROTZKE, J.; MATEI, D.; MERANER, K.; MIKOLAJEWICZ, U.; MODALI, K.; MÜLLER, W.; NABEL, J.; NOTZ, D.; PETERS-VON GEHLEN, K.; PINCUS, R.; POHLMANN, H.; PONGRATZ, J.; RAST, S.; SCHMIDT, H.; SCHNUR, R.; SCHULZWEIDA, U.; SIX, K.; STEVENS, B.; VOIGT, A.; ROECKNER, E. MPI-M MPI-ESM1.2-HR model output prepared for CMIP6 CMIP historical. Version 20190710. Earth Syst Grid Federation, 2019.

MADRONICH, S.; FLOCKE, S. Theoretical estimation of biologically effective UV radiation at the Earth's surface. In: *Solar ultraviolet radiation: Modelling, measurements and effects*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1997. p. 23-48.

MCKENZIE, R.L.; AUCAMP, P.J.; BAIS, A.F.; BJORN, L.O.; ILYAS, M.; MADRONICH, S. Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 10, n. 2, p. 182-198, 2011.

MD SAUDE. Fotos de psoríase (todos os tipos) [2024]. Disponível em: <https://www.mdsaude.com/dermatologia/fotos-de-psoriase/>. Acesso em: 27 mai. 2024.

MEDICALXPRESS. **Researcher shows novel drug significantly improves signs and symptoms of generalized pustular psoriasis** [2021]. Disponível em: <https://medicalxpress.com/news/2021-12-drug-significantly-symptoms-pustular-psoriasis.html>. Acesso em: 27 mai. 2024.

MOSCARDI, E.R.; OGAVA, S.E.N. Psoríase: etiologia, diagnóstico e tratamento. **Uningá Review**, v. 29, n. 2, 2017.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VAN VUUREN, D. P.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F. B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7282, p. 747-756, 2010.

MOORE, Jason W. **Capitalism in the Web of Life: Ecology and the Accumulation of Capital**. Verso, 2015.

NESTLE, F.O.; KAPLAN, D.H.; BARKER, J. Mechanisms of disease: psoriasis. **New England Journal of Medicine**, v. 361, n. 5, p. 496-509, 2009.

NICKOLOFF, B.J.; NESTLE, F.O. Recent insights into the immunopathogenesis of psoriasis provide new therapeutic opportunities. **The Journal of clinical investigation**, v. 113, n. 12, p. 1664-1675, 2004.

NHS. **Psoriasis** [2022]. Disponível em: <https://www.nhs.uk/conditions/psoriasis/symptoms/>. Acesso em: 27 mai. 2024.

NHS. **Psoriatic arthritis** [2023]. Disponível em: <https://www.nhs.uk/conditions/psoriatic-arthritis/>. Acesso em: 27 mai. 2024.

NUVOLONE, D.; PETRI, D.; VOLLER, F. The effects of ozone on human health. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 8074-8088, 2018.

OLADEJO, O.A.; MALHERBE, N.; VAN NIEKERK, A. Climate justice, capitalism, and the political role of the psychological professions. *Review of General Psychology*, v. 28, n. 1, p. 3-16, 2024.

O'NEILL, B.C.; KRIEGLER, E.; EBI, K.L.; KEMP-BENEDICT, E.; RIAHI, K.; ROTHMAN, D.S.; VAN RUIJVEN, B.J.; . VAN VUUREN, D.P.; BIRKMANN, J.; KOK, K.; LEVY, M.; SOLECKI, W. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. **Global environmental change**, v. 42, p. 169-180, 2017.

POTESTIO, L.; CAMELA, E.; CACCIPUOTI, S.; FORNARO, L.; RUGGIERO, A.; MARTORA, F.; BATTISTA, T.; MEGNA, M. Biologics for the management of erythrodermic psoriasis: an updated review. **Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology**, p. 2045-2059, 2023.

RACZ, E.; PRENS, E.P. Phototherapy and photochemotherapy for psoriasis. **Dermatologic clinics**, v. 33, n. 1, p. 79-89, 2015.

REZENDE, J.M. Psoríase. Psoriaco, Psórico, Psoriático, Psoriásico. **Revista de Patologia Tropical/Journal of Tropical Pathology**, v. 43, n. 1, p. 105-108, 2014.

RONG, X.; LI, J.; CHEN, H.; SU, J.; HUA, L.; ZHANG, Z.; XIN, Y. The CMIP6 historical simulation datasets produced by the climate system model CAMS-CSM. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 38, p. 285-295, 2021.

SALAH, E.M.; BEDAIR, N.I.; EL-RAHIM, S.K.A.; EL-KHALAWANY, M.A. Efficacy and safety of excimer light (308 nm) in the treatment of pityriasis lichenoides chronica. **Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine**, v. 40, n. 3, p. e12964, 2024.

SALAWITCH, R.; FAHEY, D.W.; HEGGLIN, M.I.; MCBRIDE, L.A.; TRIBETT, W.R.; DOHERTY, S.J. Twenty questions and answers about the ozone layer: 2018 update. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, 84 pp., World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2019.

SCHUPFNER, M.; WIENERS, K.-H.; WACHSMANN, F.; STEGER, C.; BITTNER, M.; JUNGCLAUS, J.; FRÜH, B.; PANKATZ, K.; GIORGETTA, M.; REICK, C.; LEGUTKE, S.; ESCH, M.; GAYLER, V.; HAAK, H.; DE VRESE, P.; RADDATZ, T.; MAURITSEN, T.; VON STORCH, J.-S.; BEHRENS, J.; BROVKIN, V.; CLAUSSEN, M.; CRUEGER, T.; FAST, I.; FIEDLER, S.; HAGEMANN, S.; HOHENEGGER, C.; JAHNS, T.; KLOSTER, S.; KINNE, S.; LASSLOP, G.; KORNBLUEH, L.; MAROTZKE, J.; MATEI, D.; MERANER, K.; MIKOLAJEWICZ, U.; MODALI, K.; MÜLLER, W.; NABEL, J.; NOTZ, D.; PETERS-VON GEHLEN, K.; PINCUS, R.; POHLMANN, H.; PONGRATZ, J.; RAST, S.; SCHMIDT, H.; SCHNUR, R.; SCHULZWEIDA, U.; SIX, K.; STEVENS, B.; VOIGT, A.; ROECKNER, E. DKRZ MPIESM1.2-HR model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP. Version 20190710. Earth System Grid Federation, 2019.

SINGH, R.K.; LEE, K.M.; UCMAN, D.; BRODSKY, M.; ATANELOV, Z.; FARAHNIK, B.; ABROUK, M.; NAKAMURA, M.; ZHU, T.H.; LIAO, W. Erythrodermic psoriasis: pathophysiology and current treatment perspectives. **Psoriasis: Targets and Therapy**, p. 93-104, 2016.

STEPHENS, G. L.; O'BRIEN, D.; WEBSTER, P. J.; PILEWSKI, P.; KATO, S.; LI, J. The albedo of Earth. **Reviews of Geophysics**, v. 53, n. 1, p. 141-163, 2015.

UMEZAWA, Y. Psoriatic arthritis. **The Journal of Dermatology**, v. 48, n. 6, p. 741-749, 2021.

VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; KRAM, T.; KREY, V.; LAMARQUE, J.-F.; MASUI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S. K. The representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, v. 109, p. 5-31, 2011.

WEICHENTHAL, M.; SCHWARZ, T. Phototherapy: how does UV work?. **Photodermatology, photoimmunology & photomedicine**, v. 21, n. 5, p. 260-266, 2005.

WIENERS, K.-H.; GIORGETTA, M.; JUNGCLAUS, J.; REICK, C.; ESCH, M.; BITTNER, M.; LEGUTKE, S.; SCHUPFNER, M.; WACHSMANN, F.; GAYLER, V.; HAAK, H.; DE VRESE, P.; RADDATZ, T.; MAURITSEN, T.; VON STORCH, J.-S.; BEHRENS, J.; BROVKIN, V.; CLAUSSEN, M.; CRUEGER, T.; FAST, I.; FIEDLER, S.; HAGEMANN, S.; HOHENEGGER, C.; JAHNS, T.; KLOSTER, S.; KINNE, S.; LASSLOP, G.; KORNBLUEH, L.; MAROTZKE, J.; MATEI, D.; MERANER, K.; MIKOLAJEWICZ, U.; MODALI, K.; MÜLLER, W.; NABEL, J.;

- NOTZ, D.; PETERS-VON GEHLEN, K.; PINCUS, R.; POHLMANN, H.; PONGRATZ, J.; RAST, S.; SCHMIDT, H.; SCHNUR, R.; SCHULZWEIDA, U.; SIX, K.; STEVENS, B.; VOIGT, A.; ROECKNER, E. MPI-M MPIESM1.2-LR model output prepared for CMIP6 CMIP historical. Version 20190710. Earth Syst Grid Federation, 2019a.
- WIENERS, K.-H.; GIORGETTA, M.; JUNGCLAUS, J.; REICK, C.; ESCH, M.; BITTNER, M.; GAYLER, V.; HAAK, H.; DE VRESE, P.; RADDATZ, T.; MAURITSEN, T.; VON STORCH, J.-S.; BEHRENS, J.; BROVKIN, V.; CLAUSSEN, M.; CRUEGER, T.; FAST, I.; FIEDLER, S.; HAGEMANN, S.; HOHENEGGER, C.; JAHNS, T.; KLOSTER, S.; KINNE, S.; LASSLOP, G.; KORNBLUEH, L.; MAROTZKE, J.; MATEI, D.; MERANER, K.; MIKOLAJEWICZ, U.; MODALI, K.; MÜLLER, W.; NABEL, J.; NOTZ, D.; PETERS-VON GEHLEN, K.; PINCUS, R.; POHLMANN, H.; PONGRATZ, J.; RAST, S.; SCHMIDT, H.; SCHNUR, R.; SCHULZWEIDA, U.; SIX, K.; STEVENS, B.; VOIGT, A.; ROECKNER, E. MPI-M MPIESM1.2-LR model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP. Version 20190710. Earth Syst Grid Federation, 2019b.
- WONG, T.; HSU, L.; LIAO, W. Phototherapy in psoriasis: a review of mechanisms of action. **Journal of cutaneous medicine and surgery**, v. 17, n. 1, p. 6-12, 2013.
- WU, M; DAI, C.; ZENG, F. Cellular mechanisms of psoriasis pathogenesis: a systemic review. **Clinical, cosmetic and investigational dermatology**, v. 16, p. 2503-2515, 2023.
- XIAO, H.; GU, X.; HUANG, Y.; ZHU, W.; SHEN, M. Phototherapy for atopic dermatitis: Systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials. **Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine**, v. 38, n. 3, p. 233-240, 2022.
- YAMAMOTO, A.L.C.; CORRÊA, M.P.; TORRES, R.R.; MARTINS, F.B.; GODIN-BEEKMAN, S. Total ozone content, total cloud cover, and aerosol optical depth in CMIP6: simulations performance and projected changes. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 155, p. 1-19, 2024.
- YUKIMOTO, S.; KOSHIRO, T.; KAWAI, H.; OSHIMA, N.; YOSHIDA, K.; URAKAWA, S.; TSUJINO, H.; DEUSHI, M.; TANAKA, T.; HOSAKA, M.; YOSHIMURA, H.; SHINDO, E.; MIZUTA, R.; ISHII, M.; OBATA, A.; ADACHI, Y. MRI MRI-ESM2.0 model output prepared for CMIP6 CMIP historical. Version 20200207. Earth System Grid Federation, 2019a.
- YUKIMOTO, S.; KOSHIRO, T.; KAWAI, H.; OSHIMA, N.; YOSHIDA, K.; URAKAWA, S.; TSUJINO, H.; DEUSHI, M.; TANAKA, T.; HOSAKA, M.; YOSHIMURA, H.; SHINDO, E.; MIZUTA, R.; ISHII, M.; OBATA, A.; ADACHI, Y. MRI MRI-ESM2.0 model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP. Version 20200222. Earth Syst Grid Federation, 2019b.
- ZANOLLI, M. Phototherapy treatment of psoriasis today. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 49, n. 2, p. 78-86, 2003.
- ZHANG, P.; WU, M.X. A clinical review of phototherapy for psoriasis. **Lasers in medical science**, v. 33, p. 173-180, 2018.
- ZHOU, X.; CHEN, Y.; CUI, L.; SHI, Y.; GUO, C. Advances in the pathogenesis of psoriasis: from keratinocyte perspective. **Cell death & disease**, v. 13, n. 1, p. 81, 2022.

### ANEXO A - VARIABILIDADE SAZONAL

