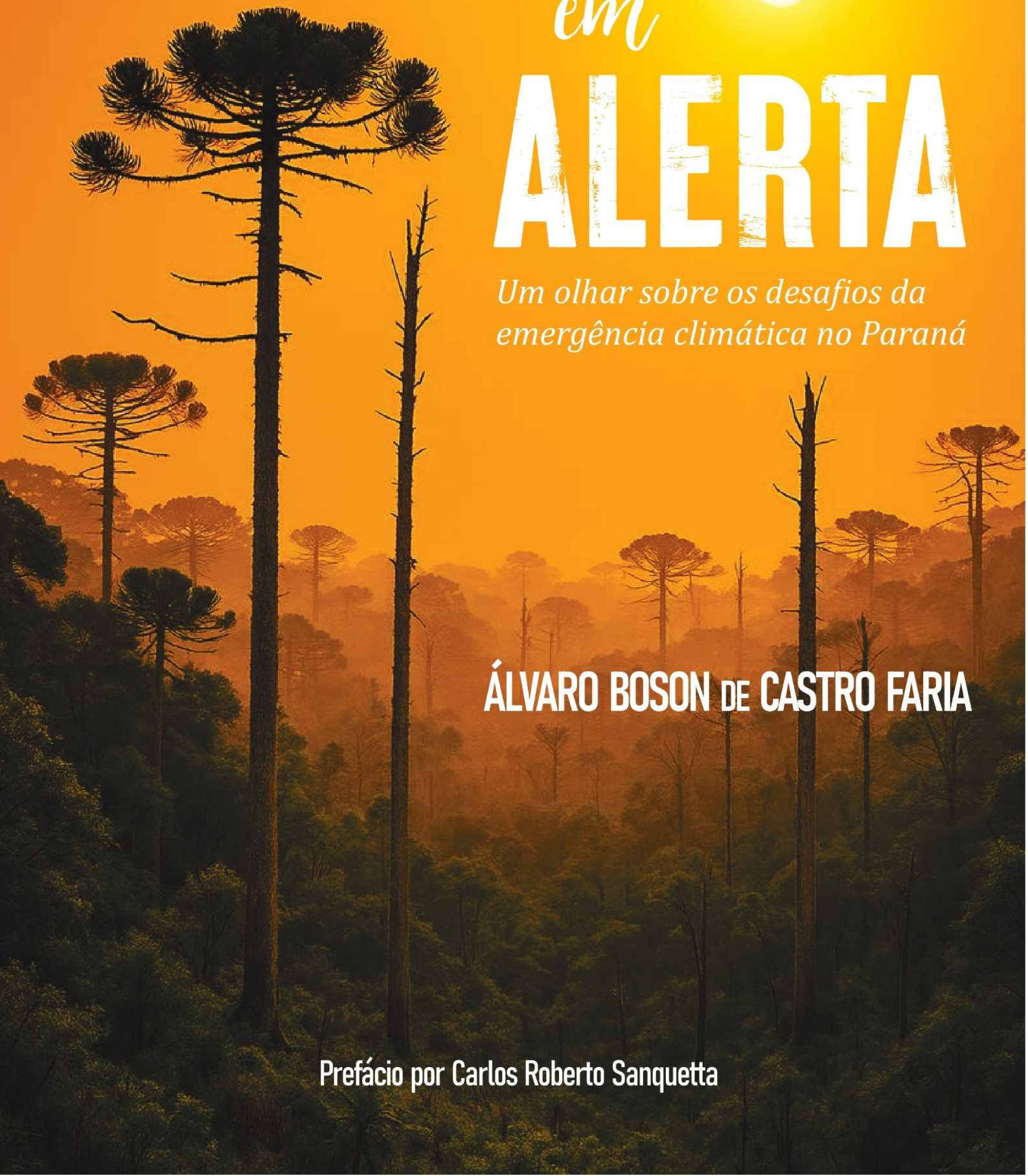
FLORESTAS *em* ALERTA

Um olhar sobre os desafios da emergência climática no Paraná



ÁLVARO BOSON DE CASTRO FARIA

Prefácio por Carlos Roberto Sanquetta

Florestas em Alerta: um olhar sobre os desafios da Emergência Climática no Paraná

Faria, Alvaro Boson de Castro

Florestas em alerta [livro eletrônico] : um olhar sobre os desafios da emergência climática no Paraná / Alvaro Boson de Castro Faria. -- 1. ed. -- Curitiba, PR : Ed. do Autor, 2026.

PDF

Bibliografia.

ISBN 978-65-01-97637-2

1. Aquecimento global - Aspectos sociais 2. Ecologia 3. Florestas - Aspectos ambientais 4. Mudanças climáticas - Aspectos socioambientais 5. Sustentabilidade ambiental I. Título.

26-341791.0 CDD-304.2

Aline Graziele Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

ALVARO BOSON DE CASTRO FARIA

Florestas em Alerta: um olhar sobre os desafios da Emergência Climática no Paraná

CURITIBA
2026

© Direitos reservados para a impressão e qualquer outra forma de reprodução. Pequenas citações são autorizadas, desde que mencionada a fonte. Demais autorizações devem ser endereçadas para:
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Estrada para Boa Esperança, km 4, Comunidade São Cristóvão
Câmpus UTFPR, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil
Capa: Imagem gerada com auxílio de inteligência artificial (ChatGPT).
Exemplares impressos podem ser solicitados para o e-mail:
alvarob@professores.utfpr.edu.br
ISBN - 978-65-01-97637-2

À Elaine, Benjamim
e à minha pequena Agnes Catarina,
cuja presença ilumina meus dias.

(…) E o termo Conservar? É, de fato, um verbo que integra em si os elementos do Manejar, do Preservar e do Proteger, sendo todos de maneira subsidiária! Isto é, toda ação de manejo florestal é uma ação conservacionista; toda ação de preservação é uma ação conservacionista; toda ação de defesa do meio ambiente é uma ação conservacionista, mas nem toda a ação conservacionista será uma ação preservacionista. E a mesma análise vale para as ações de manejo ou de defesa florestal. Assim, o termo "conservar" deve subentender a presença humana, atuando nas mais diversas organizações sociais, como o polo ativo do processo de "manejo, proteção e da preservação" dos recursos naturais [1]. (…)

[1] Castro-Faria (2022).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama conceitual demonstrando a tendência de modificação das florestas em cenários de aquecimento global..... 25

Figura 2 – Mapa fitogeográfico e de relevo paranaense. 30

Figura 3 – Tendência de aumento da severidade de ondas de calor em Palmas, PR..... 35

Figura 4 – Severidade de ondas de calor acumuladas por estação do ano em Palmas, PR..... 36

Figura 5 – Evolução do índice NDVI nos invernos de Palmas, PR (Parque Estadual das Araucárias), em função da severidade de ondas de calor acumuladas. 43

Figura 6 – Terceiro Planalto e as pressões de transição fitogeográfica decorrentes da Emergência Climática. 47

Figura 7 – Pragas relacionadas ao declínio de araucárias por estresse ambiental. 66

Figura 8 – Municípios da bacia do rio Iguaçu, produtores de erva-mate, ameaçados pelo aquecimento global. 69

Figura 9 – Sinais de infecção letal em araucárias mortas..... 73

Figura 10 – Aumento de ataques de animais peçonhentos devido à Emergência Climática no Paraná. 84

Figura 11 – Localização do perímetro, altimetria e NDVI do Parque Estadual das Araucárias. 88

Figura 12 – Padrão de chuvas de inverno em Palmas, PR. 89

Figura 13 – Processo de embolia em *Araucaria angustifolia*. 90

Figura 4 – Aspecto da copa de uma araucária morta por desidratação. 91

Figura 15 – Ondas de calor indicadas pelo FBS. 93

Figura 16 - Relação entre os índices VPD e $FBS_{(Lo)}$. 94

Figura 17 – Grau de perigo de incêndios florestais pelo índice FBS. 97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Danos ambientais causados pelas mudanças climáticas sobre as florestas. 26

Tabela 2 – Exemplos de espécies mais comuns da FED que poderão se adaptar na FES paranaense. 46

Tabela 3 – Resumo da transformação ecológica das fitofisionomias paranaenses. 50

Tabela 4 – Áreas protegidas paranaenses de Proteção Integral, com extensão superior a mil hectares, ameaçadas por incêndios florestais causados por raios. 59

Tabela 5 - Unidades de Conservação com Florestas Estacionais Semideciduais no Terceiro Planalto – as mais ameaçadas por incêndios florestais no Paraná. 60

Tabela 6 – Pragas que aumentarão os ataques em *Araucaria angustifolia*, em função das mudanças climáticas. 67

Tabela 7 – Pragas que aumentarão a ocorrência em erva-mate. ..71

Tabela 8 - Tipos de interações entre patógenos e hospedeiros. 74

Tabela 9 – Espécies invasoras potenciais do bioma Mata Atlântica no Paraná. 78

Tabela 10 – Ponderação do resultado FBS a partir da velocidade

do vento. 98

Tabela 11 – Relação entre os índices FBS e outros índices, em face do perigo climático para incêndios florestais.. 99

Tabela 12 – Resultados de pesquisas de iniciação científica do grupo NAPI-EC Florestas. 101

LISTA DE SIGLAS

ARESUR	Áreas de Uso Sustentável e as de Especial Uso Regulamentado
ASHRAE	*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*
CBM	Corpo de Bombeiros Militar
DERAL	Departamento de Economia Rural da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná
ELAT	Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
ENSO	El Niño – Southern Oscillation (El Niño – Oscilação Sul)
ESG	*Environmental, Social and Governance*
EVI	Enhanced Vegetation Index (Índice de Vegetação Melhorado)
FAO	*Food and Agriculture Organization* (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação)
FBS	Índice de estresse florestal (*Forest-based stress index*)
FES	Floresta Estacional Semidecidual
FWI	*Fire Weather Índex*
FOM	Floresta Ombrófila Mista
HDW	*Hot Dry Windy Index*
IAT	Instituto Água e Terra (Paraná)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
ITMN	*International Tree Mortality Network*
LPVN	Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Código Florestal)
MIP	Manejo Integrado de Pragas
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NAPI-EC	Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Emergência Climática

NASA	*National Aeronautics and Space Administration*
NDVI	*Normalized Difference Vegetation Index* (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)
NOAA	*National Oceanic and Atmospheric Administration,*
OC	Onda de Calor
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PLANAVEG	Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa
PMIF	Politica Nacional de de Manejo Integrado do Fogo
PR	Paraná
REDD	Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação florestal
SEAB	Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná
SESA-PR	Secretaria de Estado da Saúde do Paraná
SIMEPAR	Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
TAI	Temperatura atmosférica instantânea
TPO	Temperatura do Ponto de Orvalho
UC	Unidade de Conservação
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VPB	Valor da Produção Bruta

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS 7

LISTA DE TABELAS 9

LISTA DE SIGLAS 11

SUMÁRIO 13

PREFÁCIO 16

1 Apresentação 19

2 Bases para a compreensão das mudanças climáticas em florestas nativas paranaenses 22

2.1 Introdução *23*

2.2 Fitofisionomias no Paraná *29*

2.3 Comprovação da Emergência Climática *31*

2.3.1 Localidade escolhida 31

2.3.2 Procedimentos para se estudar as Ondas de Calor 32

2.3.3 El Niño, La Niña, ondas de calor e umidade do ar 32

2.3.4 Severidade de Ondas de Calor com o índice FBS 33

3 Aumento do estresse climático sobre espécies e fitofisionomias da Mata Atlântica 38

3.1 Perspectivas de modificações ecológicas florestais no Paraná em um cenário de Emergência Climática *38*

3.2 Transformação da Floresta Ombrófila Mista (FOM) em Floresta Estacional Semidecidual (FES) *40*

3.3 Transformação da Floresta Estacional Semidecidual (FES) em Floresta Estacional Decidual (FED) 44

3.4. Transformação fitossociológica esperada para o Cerrado 48

3.5 Resumo das tendências de transformação das florestas paranaenses diante da Emergência Climática 50

4 Aumento do perigo de ocorrência de incêndios florestais **52**

4.1 Aumento da ocorrência de raios 54

4.2 Prevenção e combate a incêndios 56

5 Efeitos ecológicos do desequilíbrio climático **62**

5.1 Contexto paranaense 62

5.2 Aumento de ataques de pragas 63

5.2.1 Pragas em araucárias 64

5.2.2 Pragas em erva-mate 68

5.3 Aumento de ataques de doenças em raízes florestais 72

5.4 Aumento da ocorrência de plantas infestantes 76

5.5 Aumento de doenças humanas transmitidas por vetores florestais 81

5.5.1 Aumento dos ataques de animais peçonhentos 82

6 Histórico das pesquisas **85**

6.1 Preâmbulo 85

6.2 O índice FBS de estresse florestal 92

6.2.1 Perspectivas de pesquisas com o FBS 93

6.2.2 Uso do FBS na avaliação do perigo a incêndios florestais ... 95

7 Os trabalhos junto ao NAPI-EC **100**

8 Palavras finais quanto a restauração florestal e a qualidade ecossistêmica no Paraná **106**

9 Agradecimentos **109**

REFERÊNCIAS.....110

LEGISLAÇÃO CITADA.....115

LEIA TAMBÉM.....116

BIOGRAFIA 119

SINOPSE.....120

PREFÁCIO

A Floresta Ombrófila Mista, ou Floresta com Araucária, é uma das mais destacadas fitofisionomias do Bioma Mata Atlântica. Originalmente, revestia a maior parte do território dos estados do Paraná e Santa Catarina, com expressiva extensão também no Rio Grande do Sul. Em manchas isoladas, ocorre ainda nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

Pela grande densidade de espécies de alto valor madeireiro, a Floresta Ombrófila Mista foi alvo de intensa exploração no passado, mas não foi a extração de madeira o principal vetor de ameaça à araucária e às espécies associadas a ela. O fator determinante foi a conversão da floresta para outros usos do solo, sobretudo a agropecuária.

Como consequência, a Floresta com Araucária teve sua extensão e atributos ecológicos profundamente reduzidos, incluindo perda de biodiversidade e diminuição de sua capacidade de prover serviços ecossistêmicos.

Mais recentemente, a Floresta Ombrófila Mista vem sofrendo com os efeitos nefastos das mudanças climáticas. Estudos conduzidos por MELO (2015) já apontavam um quadro preocupante. Os resultados indicaram um aumento de temperatura no Paraná entre 1970 e 2010, evidenciado por um crescimento contínuo nas temperaturas. As projeções dos quatro cenários climáticos para 2100 mostraram-se consistentes com a literatura existente, permitindo a validação dos métodos aplicados para prever o fenômeno analisado. Em relação ao impacto desses cenários nas espécies estudadas, todas enfrentariam redução em sua distribuição geográfica devido ao aumento das temperaturas no Paraná. *Ocotea*

porosa, *Sebastiania commersoniana* e *Piptocarpha angustifolia* correm risco de extinção, a menos que haja reversão no aumento das temperaturas no estado. As demais espécies encontram-se em situação crítica ou em perigo de extinção, exceto *Handroanthus albus*, que se mostra vulnerável, apresentando alguma capacidade de resiliência diante dos aumentos de temperatura considerados. Recomendou-se, à época, a criação de políticas públicas voltadas à mitigação e adaptação dos ecossistemas florestais às mudanças climáticas previstas, além da ampliação de estudos que considerem todas as tipologias florestais, a fim de subsidiar possíveis ações.

Estudos recentes indicam que as mudanças climáticas representam uma ameaça significativa para a araucária (*Araucaria angustifolia*), espécie adaptada a ambientes frios e úmidos. As projeções sugerem que, entre 2050 e 2070, sua área de distribuição ideal poderá diminuir em até 70% ou mais devido ao aquecimento global. Essa situação pode levar a declínios populacionais, dificuldades reprodutivas e risco de extinção local ou total, além de afetar a biodiversidade singular associada a essa espécie e provocar a perda de sua história evolutiva.

Diante desse cenário, esta obra intitulada "Florestas em Alerta: um olhar sobre os desafios da Emergência Climática no Paraná" traz uma reflexão pertinente e oportuna sobre a situação e o destino das florestas no estado do Paraná, com ênfase na Floresta com Araucária. O livro alerta para os riscos que essa importantíssima formação fitofisionômica enfrentará doravante em função das alterações climáticas provocadas por vetores antropogênicos.

Vivenciamos tempos de Emergência Climática. As mudanças climáticas são inequívocas, como assevera o IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Pesquisas são imprescindíveis para compreender e dimensionar os riscos que a Floresta Ombrófila Mista em geral, a araucária em específico, e nós, seres humanos – em última instância – enfrentamos diante desse quadro avassalador.

Álvaro Boson de Castro Faria, colega engenheiro florestal, professor e pesquisador da UTFPR – Campus Dois Vizinhos, e membro do NAPI Emergência Climática, tem se dedicado a estudar as florestas e seu papel na mitigação e na adaptação climática, bem como a compreender como elas próprias se tornam vítimas das mudanças climáticas. Para mim, é uma honra escrever o prefácio desta obra, que traz efetiva contribuição científica e impressões muito pragmáticas sobre o destino das florestas diante da Emergência Climática. Esta obra aponta claramente para as ações que devemos empreender para salvar esse nosso patrimônio natural e, por conseguinte, oferecer um fio de esperança para nós, seres humanos, desta e das futuras gerações.

Carlos Roberto Sanquetta
Professor titular - UFPR
Membro do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)

I Apresentação

A comunidade científica internacional passou a assumir amplamente que a ação humana está acelerando o aquecimento da atmosfera do planeta, em razão do efeito estufa causado pelas emissões de gases poluentes (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC, 2014). Como as mudanças climáticas globais vêm gerando múltiplos impactos sobre as pessoas e sobre o meio ambiente natural, de forma contínua e com danos cada vez mais severos, passou-se a adotar um termo ainda mais grave para o aquecimento global: Emergência Climática. Com o Acordo de Paris[2], o governo brasileiro estabeleceu como meta zerar o desmatamento ilegal até 2030, contribuindo assim com os esforços internacionais para limitar o aumento da temperatura global entre 1,5 °C e 2 °C, tomando como referência os níveis pré-industriais.

No Paraná, também se observam anomalias climáticas em diversas regiões, como secas, vendavais, ondas de calor e enchentes, que afetam negativamente tanto a população quanto a natureza. No encontro do NAPI-EC[3], realizado em Foz do Iguaçu/PR, em novembro de 2024, a palestra magna do renomado Dr. Carlos Nobre destacou a necessidade de combater todas as formas de desmatamento, além de alertar para a crescente frequência dos incêndios florestais e para o risco de ressecamento da Floresta Amazônica. Caso se atinja o chamado "ponto

[2] Documento firmado em 2015 na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP-21).

[3] Link: Cerimônia de abertura da Conferencia Paranaense de Emergência Climática 2024 , acesso em janeiro de 2024.

de não retorno[4]", a floresta passará a emitir mais gás carbônico pela respiração do que absorver pelo processo de fotossíntese. Para o Dr. Carlos Nobre, estamos perdendo a Amazônia para as secas; as árvores adaptadas à umidade tenderão a desaparecer, o que, a longo prazo, poderá converter a floresta densa em vegetação de cerrado, composta por espécies mais tolerantes a essas condições. O cerrado, por sua vez, poderá sofrer transformação em vegetação típica de clima semiárido, como a caatinga. Cabe aos cientistas o dever de enfrentar a crise ambiental já no presente. É essencial analisar os efeitos dos distúrbios promovidos pelo clima desequilibrado sobre as florestas e compreender seus desdobramentos na sociedade.

Como ficará o bioma Mata Atlântica? E, mais especificamente, qual será o cenário no Estado do Paraná? Sabe-se que os chamados "rios voadores[5]", provenientes da Região Norte, se transformam nas chuvas de primavera e verão; porém, o Estado também está sujeito à influência de massas de ar polar em determinadas épocas do ano. O que se pode afirmar sobre as transformações ecológicas na Floresta Ombrófila Mista (floresta com araucárias)? E nas demais fitofisionomias? Qual será a tendência da ocorrência de incêndios florestais em áreas rurais nesses novos cenários? Poderíamos dizer que as mudanças climáticas favorecem secas em algumas localidades e enchentes em outras? As árvores nativas estariam morrendo ou crescendo em ritmo mais lento? Quais seriam os efeitos da crise climática sobre os serviços ecossistêmicos florestais[6]? Essas

[4] **Ponto de não retorno** (*tipping point*): situação em que as mudanças decorrentes do aquecimento global tornam-se irreversíveis (LENTON et al., 2008).

[55] **Rios voadores**: termo popularizado pelo Dr. Carlos Nobre e pelo ambientalista Gerard Moss para se referirem ao vapor d'água liberado pela Floresta Amazônica para a atmosfera, transportado pelas correntes de ar.

[6] **Tipos de serviços ecossistêmicos**: provisão, regulação, culturais e de suporte (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

e outras questões configuram hipóteses de estudo que devem ser investigadas pela meteorologia em integração com a ecologia.

Os efeitos da Emergência Climática sobre as florestas devem ser observados sob uma perspectiva multidisciplinar, o que amplia o desafio dos pesquisadores e aumenta a demanda por estudos acadêmicos interdisciplinares. Neste livro, compartilham-se percepções baseadas nos resultados de análises do autor e de seus colaboradores, com ênfase na área de Proteção da Saúde Florestal.

Os temas abordados estão relacionados às pesquisas técnico-científicas no campo das ciências florestais, abrangendo os efeitos do clima em nível fitogeográfico, os incêndios florestais e a saúde florestal (pragas, doenças e plantas infestantes). Também se incluiu a análise dos efeitos do aquecimento global sobre populações que vivem em áreas influenciadas pela vegetação estressada, mais vulneráveis a doenças como arboviroses e outras enfermidades.

Caso o leitor tenha interesse em chegar rapidamente aos temas centrais, basta continuar a leitura a partir do próximo capítulo. Os capítulos sobre o histórico das pesquisas e sobre os trabalhos junto ao NAPI-EC, referem-se à experiência acumulada, que resultou no desenvolvimento deste livro, que pretende ser uma fonte de informações e reflexões para estudantes e pesquisadores sobre os efeitos dos eventos climáticos extremos nas florestas nativas paranaenses e em suas interfaces. Espera-se que, de alguma forma, as políticas públicas estaduais considerem essas análises, contribuindo para a melhoria da qualidade das florestas e para a restauração dos ecossistemas.

Alvaro Boson de Castro Faria
Professor associado - UTFPR
Integrante do NAPI Emergência Climática

2 Bases para a compreensão das mudanças climáticas em florestas nativas paranaenses

[…] No tocante à alteração nos regimes de secas e para a região Sul brasileira, duas hipóteses precisariam ser confirmadas, para se crer nos efeitos das mudanças climáticas sobre o declínio em longo prazo das populações do pinheiro araucária. A primeira seria a de que a falta de água estaria influenciando como causadoras de estresse, em árvores maduras, com baixo poder de recuperação. A segunda, a de que o aquecimento global já esteja expressando significativamente alterações na disponibilidade hídrica ao nível regional[7]*. (…)*

[7] Castro-Faria (2018).

2.1 INTRODUÇÃO

Muito tem sido feito para compreender a dinâmica dos eventos climáticos extremos na Amazônia, que estão submetendo as árvores a estresses significativos, com impactos que variam desde a escala individual até a estrutura e a função dos ecossistemas. Para a Mata Atlântica, os estudos ainda são incipientes. A compreensão de como esses processos ocorrem em condições paranaenses é crucial para desenvolver estratégias de conservação e manejo florestal capazes de mitigar os efeitos do clima e promover a resiliência dos diversos tipos de vegetação do território.

Estudar o estresse climático sobre a **Mata Atlântica**[8] torna-se uma tarefa urgente para as gerações presentes e futuras, especialmente considerando que o bioma já perdeu a maior parte de sua cobertura ainda no século XX, devido ao intenso desmatamento. O quadro cada vez mais severo de clima quente e seco pode levar ao declínio florestal dos remanescentes, levantando questões sobre as medidas de prevenção ambiental que precisam ser adotadas pela sociedade.

A organização SOS Mata Atlântica, em parceria com o INPE[9], indica a existência de 2,3 milhões de hectares de remanescentes florestais

[8] Todas as matas são florestas, em maior ou menor estágio de desenvolvimento. O termo "Mata Atlântica" consolidou-se após a publicação da Lei nº 11.428/2006 (BRASIL, 2006), que estabeleceu as florestas desse bioma como especialmente protegidas. O termo "floresta" foi definido pela Food and Agriculture Organization (FAO, 2010), e a conceituação técnica foi reconhecida pelo MMA.

[9] Fonte: Atlas da Mata Atlântica, SOS Mata Atlântica e INPE. Disponível em <Atlas da Mata Atlântica | SOS Mata Atlântica>, Acesso em maio de 2025.

no Paraná, correspondentes a 12% da cobertura do estado[10]. Essas áreas incluem propriedades privadas e áreas protegidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC – Brasil, 2000), onde se torna essencial manter a qualidade da biodiversidade e as funções ecológicas. Integra-se a esse contexto o dever dos proprietários rurais de conservar as áreas de Reserva Legal (RL) e as Áreas de Preservação Permanente[11] (APPs), reforçando o compromisso coletivo com a conservação da Mata Atlântica.

O bioma se apresenta, em grande parte, em formações degradadas e secundárias. De modo geral, as grandes áreas em **fase avançada de regeneração**[12] estão restritas a Unidades de Conservação estaduais e federais previstas pelo SNUC, correspondendo, ao todo, a 1,24 milhões de hectares em áreas protegidas estaduais.

Inferir sobre os prejuízos das mudanças climáticas na biodiversidade atlântica paranaense exige reflexão sobre as dinâmicas ecológicas que já ocorrem ou que ainda estão por vir. Segundo Allen et al. (2010), com o aquecimento global, a mortalidade individual de árvores emerge como uma nova linha de pesquisa em florestas de crescimento antigo, mais suscetíveis por apresentarem árvores menos resistentes. A Figura 1 apresenta um diagrama conceitual demonstrando a tendência de modificação das florestas em cenários de aumento da temperatura atmosférica e de climas mais secos.

[10] O Governo do Paraná informa que os remanescentes somam em torno de 6 milhões de hectares. Link: <Paraná é o Estado que tem maior remanescente da Mata Atlântica | Agência Estadual de Notícias>, Acesso em maio de 2025.

[11] Instituídas pela Lei de Proteção de Vegetação Nativa (BRASIL, 2012), a partir da revisão do Código Florestal.

[12] No Paraná, a classificação fitossociológica da vegetação está prevista pela Resolução CONAMA n. 2, 1994.

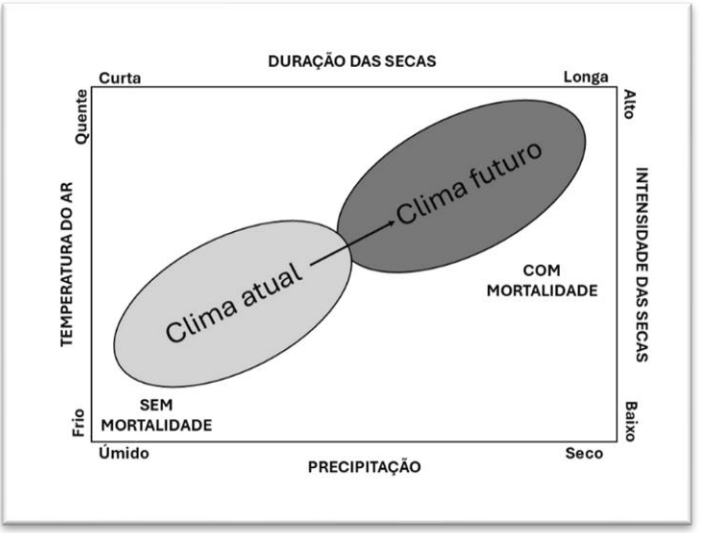


Figura 1 - Diagrama conceitual demonstrando a tendência de modificação das florestas em cenários de aquecimento global.

Fonte: Adaptado de Allen et al. (2010).

Os cientistas têm se organizado para compreender melhor a dinâmica da mortalidade de árvores e do declínio florestal, a exemplo da integração promovida pela rede ITMN (*International Tree Mortality Network*[13]). Segundo Senf, Esquivel-Muelbert e Pugh et al. (2025), as incertezas nas taxas de mortalidade de árvores também afetam a eficácia a longo prazo dos programas de restauração florestal, amplamente elogiados como uma solução climática natural.

O aumento das temperaturas, as mudanças nos padrões de precipitação, as secas mais frequentes e intensas, e os eventos climáticos extremos estão entre os principais fatores que contribuem para o estresse florestal. Dentre os principais impactos e evidências científicas, destacam-se os seguintes (Tabela 1):

[13] Rede ITMN: International Tree Mortality Network – YouTube

Tabela 1 – Danos ambientais causados pelas mudanças climáticas sobre as florestas.

Dano ambiental	Consequência sobre espécies florestais	Comentário
Secas e estresse hídrico *Phillips, O. L. et al. (2009).*	A escassez de água afeta a capacidade das árvores de realizar fotossíntese e transportar nutrientes, levando ao estresse hídrico. Isso pode resultar em redução do crescimento, mortalidade e suscetibilidade a pragas.	As secas na Amazônia aumentam a mortalidade das árvores e reduzem a capacidade da floresta de sequestrar carbono.
Allen, C. D. et al. (2010).	Uma revisão global que documenta o aumento da mortalidade de árvores devido a secas e ondas de calor.	
Aumento da temperatura atmosférica *Boisvenue, C. e Running, S. W. (2006).*	Temperaturas altas podem aumentar a taxa de transpiração das árvores, exacerbando o estresse hídrico. Além disso, podem danificar tecidos vegetais e afetar processos fisiológicos.	O aumento das temperaturas afeta a produtividade das florestas.

Tabela 1 – Continuação.

Aumento da temperatura atmosférica *A. e Oren, R. (2010).*		Diferentes espécies de árvores respondem ao aumento das temperaturas.
Eventos climáticos extremos *Seidl, R. et al. (2017).*	Tempestades, furacões e incêndios florestais podem causar danos físicos diretos às árvores e alterar a estrutura da floresta.	Distúrbios florestais, como incêndios e tempestades, estão se intensificando com as mudanças climáticas. Relação entre o aumento de incêndios florestais às mudanças climáticas.
Williams, A. P. et al. (2019). *Wasserman, T. N.; Mueller, S. E. (2023)*		
Mudanças na composição da estrutura fitossociológica *Pecl, G. T. et al. (2017).*	Espécies mais adaptadas a condições mais quentes e secas podem começar a dominar, enquanto espécies menos tolerantes podem declinar ou migrar para áreas mais frias.	As mudanças climáticas estão alterando a distribuição de espécies, incluindo árvores.

Tabela 1 – Continuação.

Lenoir, J. e Svenning, J.-C. (2015).		As mudanças climáticas estão causando a migração de espécies.
Redução na capacidade de sequestrar o carbono atmosférico *Brienen, R. J. W. et al. (2015).*	Florestas estressadas têm menor capacidade de sequestrar carbono, o que pode criar um ciclo vicioso, com o aumento das concentrações de CO_2 na atmosfera.	A capacidade da Amazônia de sequestrar carbono está diminuindo devido ao estresse climático.
Pan, Y. et al. (2011).		Estudo global sobre o papel das florestas no ciclo do carbono e como isso está sendo afetado pelas mudanças climáticas.
Promoção de desequilíbrios ecológicos *Raffa, K. F. et al. (2008).*	O estresse climático pode enfraquecer as defesas naturais das árvores, tornando-as mais suscetíveis a pragas doenças, e plantas infestantes	Aumento de surtos do besouro de ambrósia.
Sturrock, R. N. et al. (2011).		Revisão sobre o aumento da incidência de doenças florestais.

Fonte: o autor.

2.2 FITOFISIONOMIAS NO PARANÁ

O professor Reinhold Maack foi um geógrafo e naturalista alemão que desempenhou papel fundamental no estudo da vegetação paranaense. Sua obra mais conhecida é o livro Geografia Física do Estado do Paraná, publicado em 1948, no qual descreveu áreas de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista (com Araucária), Campos Naturais, entre outras formações. Com o tempo, muitos outros pesquisadores avançaram no estudo da fitogeografia[14] do estado, produzindo mapas cada vez mais atualizados e reconhecidos por agências governamentais, sobretudo pelo IAT (Instituto Água e Terra).

As fitofisionomias[15] apresentam características específicas, considerando a geologia, a hidrografia e a altimetria, fatores que influenciam a distribuição de espécies (Figura 2). Conhecê-las é de suma importância para a compreensão dos efeitos climáticos sobre a vegetação nativa.

As principais fitofisionomias do Paraná são:

- Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica);
- Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária);
- Floresta Estacional Semidecidual;
- Campos Naturais (Estepes);
- Formações pioneiras, como vegetação de restinga e manguezais no litoral.

[14] **Fitogeografia ou geografia botânica**: é a área de conhecimento que estuda a distribuição geográfica dos vegetais e das relações entre a vegetação e o meio ambiente.

[15] **Fitofisionomia**: [Botânica] Aspecto particular da vegetação ou flora característica de determinado espaço ou região. In: Dicionário Priberam da Língua Portuguesa.

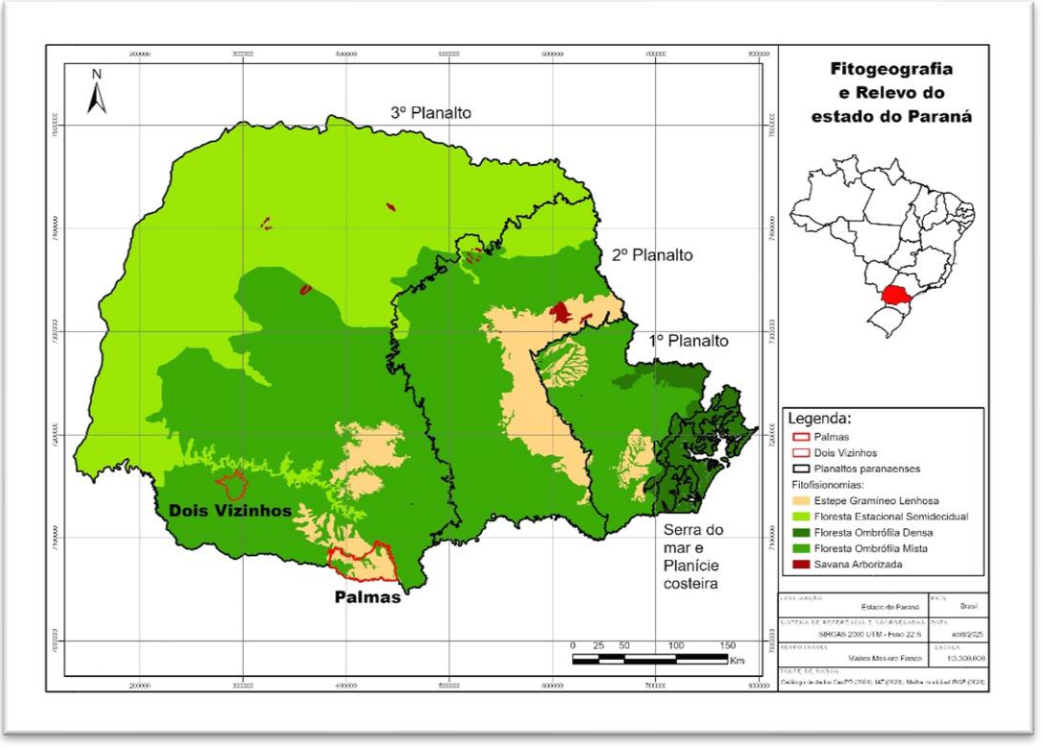


Figura 2 – Mapa fitogeográfico e de relevo paranaense.

Elaboração: Maiara Masiero Fianco.

2.3 COMPROVAÇÃO DA EMERGÊNCIA CLIMÁTICA

2.3.1 Localidade escolhida

As condições de contorno levaram esta pesquisa a se debruçar sobre os dados meteorológicos referentes ao município de Palmas, inserido no Terceiro Planalto[16], a partir do qual foram realizadas as inferências quanto ao comportamento do clima diante do aquecimento global e seus efeitos sobre as florestas nativas.

Palmas está localizada a uma altitude de aproximadamente mil metros acima do nível do mar, sendo uma das cidades mais altas do Paraná. O clima da região é classificado como Cfb[17], com características singulares. Por ser um dos municípios mais frios do estado, Palmas está sujeita a extremos térmicos. Nessa localidade, há dados meteorológicos da estação do SIMEPAR, com séries históricas disponíveis desde 1998.

A vegetação de Palmas é composta por campos naturais com fragmentos de Floresta Ombrófila Mista (FOM), ecossistema pertencente ao bioma Mata Atlântica, caracterizado pela abundância de araucárias. O estudo das tendências climáticas nesta região é indispensável para a detecção de efeitos do aquecimento global sobre essa fitofisionomia. A análise do comportamento climático em Palmas pode indicar tendências

[16] **Terceiro Planalto (Planalto de Guarapuava ou Planalto de Palmas)**: dominado por derrames basálticos da Formação Serra Geral, do período Cretáceo. Possui relevo mais suave, com planícies elevadas e campos de altitude em algumas áreas. Em outras, apresenta solos mais profundos e desenvolvidos, com destaque para os Latossolos Roxos, de alta fertilidade e boa capacidade de retenção de água, favoráveis à agricultura intensiva, especialmente de grãos e pastagens.

[17] Clima tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), com geadas frequentes no inverno.

de aquecimento da temperatura atmosférica e seus impactos sobre o Terceiro Planalto, que corresponde a cerca da metade[18] da área territorial do Paraná.

2.3.2 Procedimentos para se estudar as Ondas de Calor

Para analisar a tendência climática e a influência do aquecimento global na área de estudo, diversas metodologias poderiam ser empregadas. O agrupamento de dados revelaria diferentes padrões, sendo escolhida a análise dos episódios de estresse por ondas de calor.

A Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2015) define "onda de calor" como um período de pelo menos cinco dias consecutivos em que a temperatura máxima diária de uma localidade excede a média máxima climatológica em, no mínimo, 5 °C, valor que geralmente corresponde ao percentil 90 da normal climatológica.

O indicador de incidência de onda de calor não revela a magnitude máxima do fenômeno, apenas sua ocorrência mínima. Por isso, utilizou-se o parâmetro severidade máxima de estresse térmico, que indica a intensidade do calor em determinado local, ano e estação, avaliando a duração máxima de cada evento.

2.3.3 El Niño, La Niña, ondas de calor e umidade do ar

Segundo o INPE[19], El Niño (ENOS) e La Niña são fases de um mesmo fenômeno de interação entre a atmosfera e os oceanos no Pacífico Equatorial.

- A fase El Niño corresponde ao aquecimento anômalo das águas, alterando padrões atmosféricos globais, elevando temperaturas e

[18] A área total do Paraná é de cerca de 199.307 km², e, a área estimada do Terceiro Planalto: entre 90.000 km² e 100.000 km², dependendo do critério de delimitação usado (geológico, altimétrico ou fisiográfico).

[19] Disponível em <http://enos.cptec.inpe.br/>, acesso em 3 de abril 2025.

modificando o regime de chuvas.

- A fase La Niña, por sua vez, representa o resfriamento das águas em relação à média histórica e também afeta a circulação atmosférica. Em algumas regiões, intensifica ondas de calor por meio de bloqueios atmosféricos, que impedem a entrada de massas de ar frio e criam um "tampão" que retém o calor.

Para Cai et al. (2021), o aquecimento global está alterando a dinâmica dos Eventos de Oscilação Sul (ENSO), favorecendo o aumento da amplitude dos períodos de chuvas e de estiagens. A ocorrência de ondas de calor pode estar associada tanto à alta quanto à baixa umidade do ar, dependendo das características da região e da massa de ar responsável pelo evento. Alguns padrões se destacam:

- **Ondas de calor com alta umidade**: comuns em regiões tropicais e costeiras, onde massas de ar quente e úmido permanecem estagnadas. O desconforto térmico é acentuado, pois a alta umidade dificulta a evaporação do suor, reduzindo a capacidade de resfriamento do corpo humano.
- **Ondas de calor com baixa umidade**[20]: frequentes em regiões continentais e semiáridas, onde predominam massas de ar seco e quente. Apesar das temperaturas elevadas, a sensação térmica tende a ser menos intensa, já que a evaporação do suor é mais eficiente.

2.3.4 Severidade de Ondas de Calor com o índice FBS

As ondas de calor podem ser úmidas ou secas; contudo, ao avaliar o estresse sobre a vegetação, torna-se essencial capturar os efeitos do calor seco extremo, que provoca os maiores danos fisiológicos às plantas. Isso justifica o uso do índice FBS de estresse florestal (vd. item 6.2).

Em Palmas (PR), observou-se aumento da severidade das ondas de calor em todas as estações do ano, não apenas no verão. A partir de

[20] A umidade do ar é considerada baixa quando os valores ficam abaixo de 30%, conforme critérios estabelecidos por órgãos como a Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

1998, os episódios de calor extremo tornaram-se mais longos, com duração média de nove (9) dias por ocorrência (vd. Figura 3). Alguns episódios mais intensos ultrapassaram quinze (15) dias. Sob influência do El Niño em 2003, ocorreu um episódio de calor extenuante que se prolongou por mais de vinte dias.

Os dados filtrados por estação do ano revelaram tendências ainda mais preocupantes. Os meses frios estão se tornando progressivamente menos frios. Os resultados de maior severidade ocorreram no inverno, seguidos pela primavera, independentemente da ocorrência de El Niño ou La Niña (Figura 4). Foram contabilizados 405, 235, 21 e 81 dias acumulados de ondas de calor nas estações de inverno, primavera, verão e outono, respectivamente.

Excluindo anos de ENSO, os totais foram de 152, 71 e 28 dias acumulados para inverno, primavera e outono. Nesse caso, não houve ondas de calor no verão. Considerando apenas o inverno, as ondas associadas a ENSO representaram 62% do total. Há evidências de que os invernos estão se tornando mais quentes e secos em razão do aquecimento global (vd. Figura 4).

Segundo Fritzsons et al. (2011), a região sudoeste do Paraná apresenta os maiores índices pluviométricos de inverno. Os resultados aqui observados trazem preocupação adicional, pois apontam para a redução da pluviosidade nessa estação.

É possível aprofundar as análises climáticas em outras localidades que dispõem de estações meteorológicas, o que já vem sendo feito por grupos de pesquisa de diversas instituições de ensino e pesquisa do Estado, como os vinculados ao NAPI-EC, com diferentes objetivos.

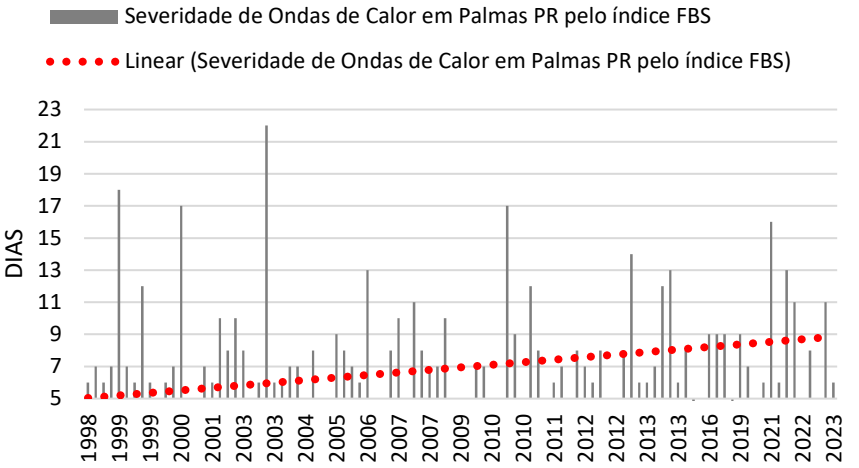


Figura 3 – Tendência de aumento da severidade de ondas de calor em Palmas, PR.

Fonte: o autor.

A linha de pesquisa aqui apresentada pretende concentrar esforços no entendimento do comportamento climático sobre Áreas Protegidas do Paraná, que concentram os remanescentes florestais mais relevantes para a preservação da biodiversidade.

A emergência climática no Terceiro Planalto do Paraná se manifesta de forma generalizada, com invernos e primaveras mais quentes e secos. Níveis muito baixos de umidade afetam florestas e cultivos agrícolas, elevando o risco de incêndios. Já há evidências de um desequilíbrio climático no Estado, cada vez mais persistente, com prejuízos ambientais mais acentuados nos anos de El Niño[21].

[21] Estes dados foram submetidos para publicação no artigo científico intitulado "*Occurrence of forest stress due to heat waves in Araucarias State Park, Paraná, Brazil, using remote sensing techniques*", publicado na Revista Acta Oecologica.

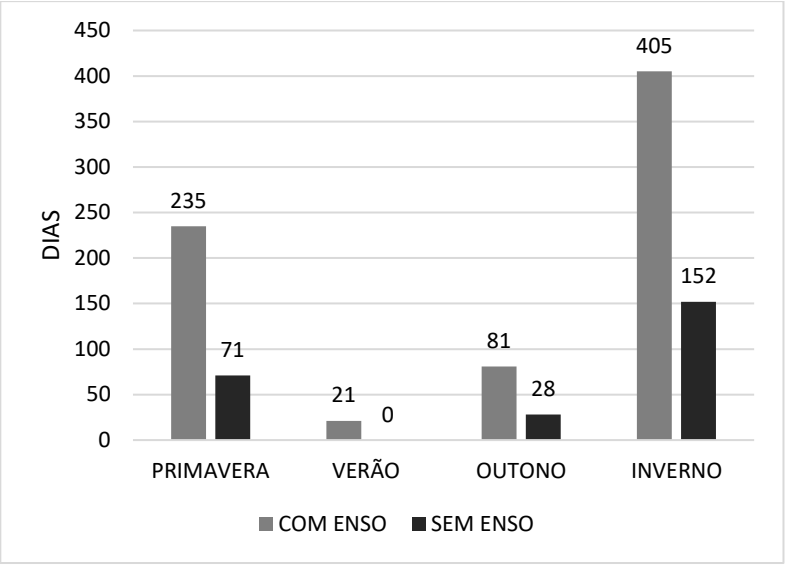


Figura 4 – Severidade de ondas de calor acumuladas por estação do ano em Palmas, PR.

Em que: Dados da coluna ´Sem ENSO`, foram feitos removendo-se os anos de ocorrência de El Niño e La Niña, que segundo NOAA[22], foram,. 1998, 1999, 2000, 2003, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2016, 2021, 2022.
Fonte: o autor.

Essa perspectiva foi empregada como chave hermenêutica para as assertivas das tendências ambientais analisadas nos capítulos subsequentes deste livro. Os resultados foram de encontro com o estudo de Melo (2015), que estimou um aumento de 0,3 a 6,0 °C do aquecimento da temperatura atmosférica no Paraná até o ano de 2100, em diferentes cenários considerando os modelos do IPCC.

Os reflexos do desequilíbrio climático já se fazem sentir em diversas dimensões — econômicas, ambientais e sociais — no Paraná, e tendem a se intensificar no longo prazo. Os próximos capítulos abordarão

22 Disponível em https://psl.noaa.gov/enso/past_events.html, acesso 20 agosto 2025.

os seguintes eixos temáticos:

- Aumento do estresse climático sobre espécies e fitofisionomias da Mata Atlântica;
- Aumento do risco de ocorrência de incêndios florestais;
- Aumento da incidência de pragas, doenças e plantas infestantes em espécies florestais nativas;
- Aumento da ocorrência de doenças humanas transmitidas por vetores florestais.

* * *

3 Aumento do estresse climático sobre espécies e fitofisionomias da Mata Atlântica

3.1 PERSPECTIVAS DE MODIFICAÇÕES ECOLÓGICAS FLORESTAIS NO PARANÁ EM UM CENÁRIO DE EMERGÊNCIA CLIMÁTICA

Muito se comenta sobre o perigo de a Amazônia se converter em Cerrado em decorrência das mudanças climáticas. Considerando que a "Amazônia" paranaense corresponde aos remanescentes de Floresta Ombrófila Densa presentes na Serra do Mar, cabe refletir: existiria, também em latitudes subtropicais paranaenses, esse risco? O que poderia ser inferido ao se considerar todas as fitofisionomias? Estaria a Floresta Densa em processo de conversão para Cerrado?

Uma formação florestal não se converte em outra de forma imediata. As diferentes fitofisionomias recebem, de maneira contínua, propágulos de sementes vindos das mais diversas regiões, seja pela dispersão realizada pela fauna ou pelo vento. Esse processo resulta em ecótonos[23] de transição florestal, nos quais as florestas frequentemente apresentam características intermediárias e sincretizadas, dependendo da interação com fatores ambientais, como solo, relevo, clima, ação humana, entre outros.

Em condições subtropicais temperadas e com a predominância de um clima cada vez mais quente e seco, uma Floresta Densa pode, ao longo

[23] **Ecótono**: [Ecologia] Área de transição entre dois ecossistemas vizinhos, onde se podem encontrar espécies próprias de cada uma deles. In: Dicionário Priberam da Língua Portuguesa.

de um período prolongado, evoluir para uma Floresta Mista, posteriormente para uma Floresta Semidecidual, em seguida para uma Floresta Decidual e, somente então, estar apta a se converter em Cerrado. Cabe destacar também os Campos, que podem se transformar em diferentes tipos de formações florestais, conforme as condições em que se encontram.

Não seria o caso de acreditar que a Serra do Mar paranaense esteja se convertendo, a longo prazo, em Cerrado, pois, para que isso ocorresse, seria necessário que os regimes climáticos do litoral estivessem se tornando progressivamente mais secos. De acordo com os dados apresentados neste livro, são os invernos e as primaveras que vêm se tornando mais quentes e secos, contudo, essa tendência é característica do Terceiro Planalto, e não do litoral.

Não há evidências consistentes de que os índices pluviométricos na Serra do Mar paranaense estejam diminuindo de forma generalizada. Pelo contrário, alguns estudos indicam que, devido à forte influência da umidade proveniente do Oceano Atlântico, a pluviosidade nessa região se mantém elevada e, em determinadas épocas do ano – especialmente no verão e na primavera – pode até apresentar tendência de aumento.

Nos últimos anos, registrou-se um aumento significativo na ocorrência de enchentes no litoral do Paraná. Dados do Corpo de Bombeiros Militar do Paraná (CBMPR[24]) apontam que, em 2023, foram contabilizadas 323 ocorrências relacionadas a desastres naturais, como alagamentos, deslizamentos e vendavais, representando um aumento de 58% em relação ao ano anterior.

Especificamente em fevereiro de 2025[25], fortes chuvas atingiram a

[24] Fonte: Com mais soldados e desafios, Bombeiros tiveram aumento de 9% nos atendimentos em 2023 | Agência Estadual de Notícias, acesso em 21 de abril de 2025.

[25] Fonte: Morretes decreta situação de emergência após chuvas intensas, acesso em 29 de julho de 2025.

região, levando municípios como Morretes a decretarem situação de emergência em razão de enchentes e deslizamentos que impactaram mais de 2.500 pessoas.

Com base na percepção de que o clima litorâneo tende a se tornar mais quente e úmido, espera-se que os remanescentes de Floresta Ombrófila Densa acelerem sua dinâmica de desenvolvimento e incremento de carbono, por meio da fotossíntese e da formação de nuvens. Esse cenário favorece a manutenção dessas áreas em projetos de certificação de créditos de carbono. Entretanto, as autoridades competentes devem permanecer vigilantes no planejamento de ações voltadas à prevenção de desmoronamentos e enchentes decorrentes de pancadas esporádicas de chuvas intensas.

3.2 TRANSFORMAÇÃO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (FOM) EM FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL (FES)

A transformação da Floresta Ombrófila Mista (FOM), também conhecida como floresta com araucária, em formações características de Floresta Estacional Semidecidual (FES), precisa ser discutida em pesquisas paranaenses relacionadas às mudanças climáticas. Entre os aspectos a serem estudados estão a redução da dispersão e da regeneração natural da araucária; a perda da biodiversidade em decorrência da fragmentação florestal; os efeitos de distúrbios provocados por pragas, doenças, plantas infestantes e incêndios sobre os remanescentes; e a competição interespecífica florestal. Tais estudos devem subsidiar estratégias adaptativas de conservação das espécies.

Wrege et al. (2017) projetaram cenários futuros que indicam possíveis deslocamentos e alterações nas áreas ocupadas pela FOM, descrevendo as espécies mais sensíveis, que podem sofrer retração, e outras, mais adaptadas às novas condições, que podem expandir suas áreas de ocorrência. Para esses autores (ibid.), até 2090 haverá uma redução de 96% das áreas de FOM e um aumento de 72% da FES em

território paranaense. Trindade et al. (2020) também estimaram a retração da FOM no Sul do Brasil em cenários de aquecimento global. Contudo, pesquisas futuras que integrem dados florísticos, faunísticos e climáticos seriam valiosas para compreender melhor as dinâmicas dessas fitofisionomias em cenários de emergência climática.

A zona de transição entre a FOM (associada a climas mais úmidos e frios, com presença marcante de *Araucaria angustifolia*) e a FES (mais adaptada à sazonalidade e à menor disponibilidade hídrica) é caracterizada por mosaicos de vegetação com composição florística mista e alta sensibilidade a variações ambientais. Essas áreas atuam como zonas tampão de biodiversidade, mas também constituem ecótonos frágeis e altamente suscetíveis às alterações climáticas.

A composição florística de um remanescente de vegetação nativa pode variar conforme a região e o histórico de manejo. Entre as espécies frequentemente relatadas na interface entre FOM e FES e que sofrem com climas mais quentes e secos, destacam-se a araucária (*Araucaria angustifolia*), a erva-mate (*Ilex paraguariensis*) e as canelas (Lauraceae: *Ocotea* spp.).

Os resultados preliminares de uma das pesquisas deste grupo, obtidos para Palmas–PR, indicaram a ocorrência significativa de estresse florestal por meio do índice NDVI[26], sugerindo uma possível e futura transformação da composição florística do Parque Estadual das Araucárias.

Ao observar a linha de tendência dos máximos e mínimos absolutos, percebe-se que o NDVI oscilou dentro de uma faixa e que as árvores se recuperaram do estresse climático a partir de 2013 (Figura 5). Entretanto, em um cenário em que a emergência climática já tenha atingido o ponto de não retorno, a floresta demonstra sinais de estresse e

[26] **NDVI, sigla para *Normalized Difference Vegetation Index* (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)**: métrica usada para avaliar a saúde e a densidade da vegetação com base em imagens de satélite.

redução de sua resiliência. Nesse contexto, constata-se que as espécies florestais de intercorrência da FOM com a FES, mais adaptadas ao frio e à umidade — como a araucária e a erva-mate —, já estão sofrendo os efeitos negativos do clima mais quente e seco de inverno e primavera, e tenderão a desaparecer gradativamente dos remanescentes de vegetação nativa. Com o agravamento das mudanças climáticas, intensifica-se a pressão pela transformação da FOM em FES no nível geológico do Segundo Planalto paranaense; essa pressão é ainda mais acentuada nos remanescentes de FOM localizados nas maiores altitudes do Terceiro Planalto.

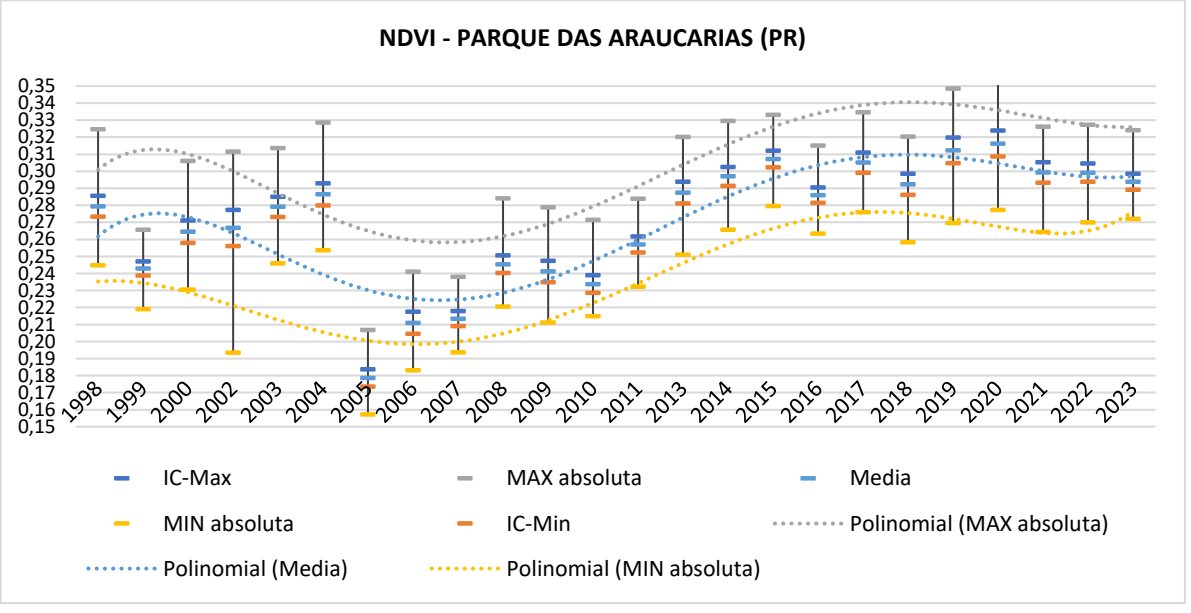


Figura 5 – Evolução do índice NDVI nos invernos de Palmas, PR (Parque Estadual das Araucárias), em função da severidade de ondas de calor acumuladas.

Observação: Valores de NDVI iguais a 0,28 ou inferiores, caracterizaram o estresse florestal por ondas de calor e ar seco.
Fonte: os autores.

3.3 TRANSFORMAÇÃO DA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL (FES) EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL (FED)

O impacto das mudanças climáticas em florestas tropicais e subtropicais, especialmente em regiões de transição fitogeográfica, pode resultar em aumento da proporção de espécies deciduais em relação às semideciduais. Com a perda de resiliência ambiental decorrente do aquecimento global e com o isolamento dos fragmentos de vegetação, ocorre a redução da capacidade de manutenção de microclimas mais úmidos, favorecendo espécies tolerantes a condições de estiagem.

Nesse contexto, a ocorrência de **Floresta Estacional Decidual**[27] no território paranaense precisa ser melhor documentada. Alguns estudos indicam sua presença em locais específicos, principalmente em áreas de clima mais seco e com solos rasos sobre calcário ou basalto. Veloso et al. (1991) apresentaram as bases da classificação das fitofisionomias no Brasil e mencionaram a ocorrência de Floresta Estacional Decidual em estados do Sul. O Instituto Água e Terra[28] (IAT) reconhece poucas regiões de ocorrência dessa formação no Paraná, sendo mais frequente no Oeste e Noroeste do estado (próximo ao Rio Paraná e na região de Foz do Iguaçu).

Oliveira (2024) estudou a dinâmica das comunidades de FES no Oeste do Paraná, destacando que a mortalidade de árvores desempenha

[27] **Florestas Estacionais Deciduais**: aquelas que perdem totalmente a folhagem no inverno. As espécies dessa fitofisionomia são mais tolerantes à falta de umidade e de chuvas, em comparação às da Floresta Estacional Semidecidual.

[28] Disponível em < https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2023-06/Mapa_Fitogeografico_Atualizado_2023.pdf> Acesso: 10 de setembro de 2025.

papel crucial nas mudanças estruturais dessas formações. Essas reduções populacionais tendem a se intensificar devido à maior incidência de eventos climáticos extremos. Quiqui et al. (2007) analisaram a composição florística e a estrutura de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual na região de Maringá e demonstraram que a vegetação regional pode passar por transições para formações deciduais. Estevan et al. (2016) obtiveram conclusões semelhantes para a região de Londrina. Embora esses estudos tenham abordado a transição para florestas deciduais, não indicaram se as mudanças climáticas influenciaram diretamente a composição e a estrutura das florestas estacionais no Paraná, o que reforça a necessidade de pesquisas específicas sobre a transição entre diferentes tipos de formações em resposta à emergência climática.

Acredita-se que, com o alcance do ponto de não retorno do aquecimento climático, a FES presente no Terceiro Planalto passará a sofrer pressões de alteração em sua composição florística, convertendo-se gradativamente em Floresta Estacional Decidual (FED), em função de climas mais quentes e secos, que favorecem a colonização por propágulos oriundos de áreas fronteiriças.

A Estação Ecológica do Caiuá, localizada no Noroeste do Paraná, em Diamante do Norte, constitui um dos últimos e maiores remanescentes florestais da região. Embora predominantemente composta por Floresta Estacional Semidecidual, sua diversidade florística pode estar passando por transições em direção a formações deciduais.

No sul do estado de São Paulo, próximo à fronteira com o Paraná, a Floresta Estacional Decidual ocorre em manchas restritas e isoladas, localizadas principalmente em margens de rios ou encostas sob maior estresse hídrico. Essas formações são mais comuns em áreas de transição com o Cerrado paulista. Dessa forma, regiões próximas à divisa com o Paraná, ou em faixas de transição para o Oeste do estado, podem apresentar fragmentos deciduais.

Na região de fronteira entre Paraná, Argentina e Paraguai, também

se observam florestas estacionais deciduais, sobretudo em áreas próximas aos rios Paraná e Iguaçu, em mosaico com a Floresta Estacional Semidecidual.

Nos limites com Mato Grosso do Sul, a FED ocorre especialmente ao longo dos vales de grandes rios, como o Paraná, e em municípios vizinhos. No Noroeste do Paraná, localidades como Guaíra, Terra Roxa, Altônia e arredores também apresentam registros de vegetação decidual, embora restritos a fragmentos bastante degradados pela agricultura. A maior parte dos remanescentes deciduais dessa região encontra-se fortemente fragmentada e sob pressão da agropecuária, principalmente pela expansão da soja. Algumas áreas estão parcialmente protegidas por Unidades de Conservação estaduais ou federais, mas muitas ocorrem em propriedades privadas. Dentre as espécies mais características ou exclusivas da Floresta Estacional Decidual — e que tendem a se desenvolver com maior frequência em ecótonos junto à FES — citam-se as apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Exemplos de espécies mais comuns da FED que poderão se adaptar na FES paranaense.

Gênero	Familia	Nome comum
Amburana spp.	Fabaceae	Cumaru
Aspidosperma spp.	Apocynaceae	Peroba
Hymenaea spp.	Fabaceae	Jatobá
Schinopsis spp.	Anacardiaceae	Baraúna

Fonte: Extraído de Veloso ete al. (1991).
Observação: a tabela não se esgota entre as espécies apresentadas.

Em suma, todas as regiões fronteiriças ao Terceiro Planalto paranaense, onde ocorre a Floresta Estacional Semidecidual (FES), estarão submetidas à pressão climática decorrente de condições mais quentes e secas, o que induzirá a conversão gradativa da vegetação em Floresta Estacional Decidual (FED). As espécies de clima frio presentes no Terceiro Planalto tenderão a desaparecer gradativamente (Figura 6).

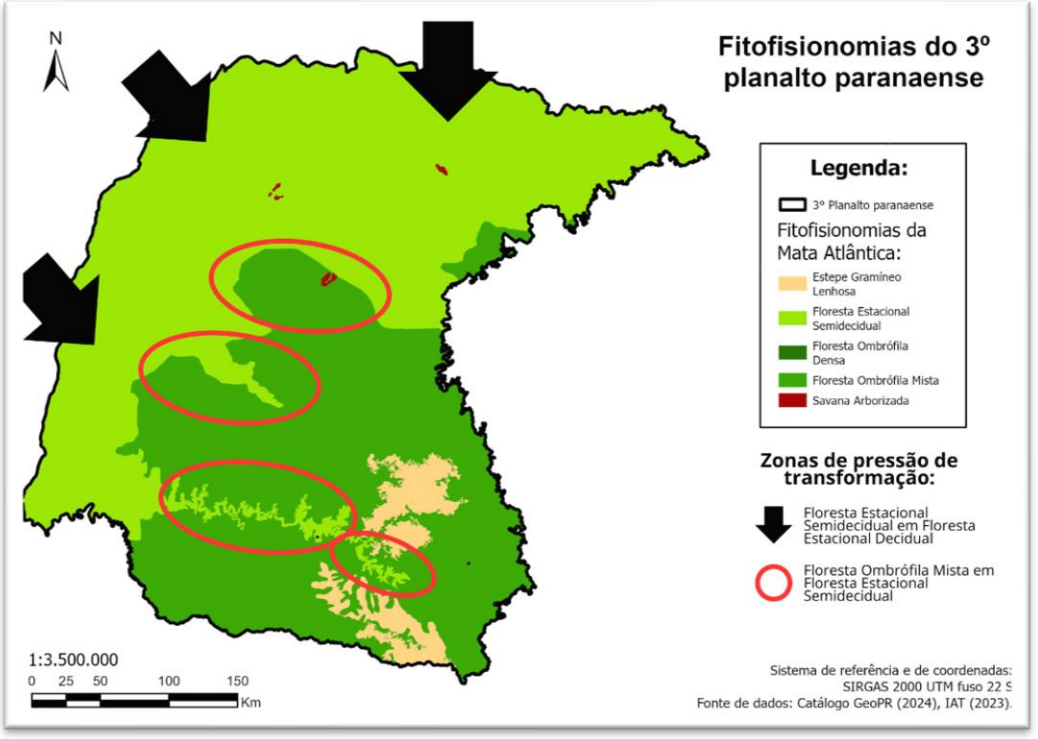


Figura 6 – Terceiro Planalto e as pressões de transição fitogeográfica decorrentes da Emergência Climática.

Elaboração: Maiara Masiero Fianco.

3.4. TRANSFORMAÇÃO FITOSSOCIOLÓGICA ESPERADA PARA O CERRADO

O Cerrado é reconhecido como um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade, mas também como um dos biomas mais ameaçados do planeta. No estado do Paraná, a situação é ainda mais crítica: restam menos de 0,5% da cobertura original, distribuídos em pequenos fragmentos isolados. Esse grau de fragmentação impõe sérios riscos à diversidade genética das espécies nativas, caracterizando um processo conhecido como **corrosão genética**[29].

A corrosão genética está geralmente associada à **endogamia**[30] e à redução do fluxo gênico, ambos intensificados pela fragmentação e pelo isolamento populacional. Espécies nativas do Cerrado paranaense, como *Qualea grandiflora* (pau-terra), *Caryocar brasiliense* (pequi) e *Dipteryx alata* (baru), vêm sendo estudadas sob esse enfoque. Collevatti et al. (2001) demonstraram que populações de *Caryocar brasiliense* apresentam diversidade genética distinta em áreas fragmentadas, o que sugere que esses padrões também se repetem nos fragmentos do Cerrado paranaense.

A perda da variabilidade genética em populações isoladas reduz o potencial adaptativo das espécies frente às mudanças ambientais, como o aquecimento global. Como os remanescentes de Cerrado no Paraná são extremamente reduzidos e encontram-se sob forte pressão do uso agrícola intensivo, esse risco é particularmente elevado. Portanto, os dados disponíveis, embora ainda escassos para o estado, indicam que o bioma Cerrado no Paraná encontra-se sob sério risco de corrosão genética. Urge

[29] **Corrosão genética**: perda progressiva da variabilidade genética essencial à sobrevivência e adaptação das espécies.

[30] **Endogamia**: cruzamento entre indivíduos aparentados.

a implementação de estratégias de conservação genética *in situ* e *ex situ*, bem como a criação de corredores ecológicos e políticas de conectividade que permitam o restabelecimento do fluxo gênico entre fragmentos remanescentes.

Seria o caso de considerar que o Cerrado paranaense poderia se beneficiar de um clima mais quente e seco, ainda que desequilibrado? Ao se levar em conta que esses remanescentes representam uma fitofisionomia muito antiga, presente no estado em condições isoladas, e que os campos adjacentes evoluíram para outras formações, como a Floresta Estacional Semidecidual (FES) e a Floresta Ombrófila Mista (FOM), constata-se que as distâncias até outros fragmentos de Cerrado, localizados em estados vizinhos, são demasiadamente longas, dificultando sobremaneira a chegada de novas sementes. Esse isolamento compromete a possibilidade de que essas manchas de vegetação no Paraná prosperem, ampliem sua área territorial e aumentem sua diversidade ecológica.

Considerando que os fragmentos de FES tendem a evoluir para FED, configura-se uma situação curiosa: propágulos de FED oriundos de outras regiões, ao se adaptarem nas formações de Cerrado, poderiam competir por água, luz e nutrientes, beneficiando-se da baixa resiliência ecológica local. Nesse cenário, o Cerrado paranaense tenderia a evoluir para algum tipo de formação florestal estacional. Caso essa hipótese se comprove, estaríamos diante de uma tragédia ecológica inestimável para a biodiversidade savânica, agravada pela emergência climática, já que os fragmentos de Cerrado no Paraná permanecem extremamente isolados, pouco conectados, frágeis e suscetíveis a mudanças externas.

3.5 RESUMO DAS TENDÊNCIAS DE TRANSFORMAÇÃO DAS FLORESTAS PARANAENSES DIANTE DA EMERGÊNCIA CLIMÁTICA

Observa-se que os invernos e as primaveras estão se tornando progressivamente mais quentes e secos. Esse efeito tende a pressionar os remanescentes de vegetação nativa a uma nova condição de equilíbrio ecológico, favorecendo o desenvolvimento de algumas espécies e prejudicando outras. Considera-se que, em um horizonte temporal mais amplo, a conformação apresentada na Tabela 3 poderá se consolidar com base no cenário de aquecimento global.

Tabela 3 – Resumo da transformação ecológica das fitofisionomias paranaenses.

Fitofisionomia	Tendência
FOD ***(Floresta Ombrofila Densa)***	As temperaturas elevadas retornarão regimes pluviométricos mais acentuados no litoral, favorecendo a enchentes.
FOM ***(Floresta Ombrofila Mista)***	As espécies já estão sentindo estresse devido aos extremos climáticos, variando entre períodos de seca prolongada e outros com pancadas de chuvas. Para o Terceiro Planalto, existe uma crescente pressão climática para a conversão dos remanescentes em FES, com a mortalidade de árvores antigas.

Tabela 3 – Continuação.

FES ***(Floresta Estadual Semidecidual)***	Todas as espécies sofrerão cada vez mais por desidratação devido a ondas de calor e estiagens. A vinda de propágulos de Florestas Estacionais Deciduais, a partir do sul do Mato Grosso do Sul e de São Paulo, além das regiões fronteiriças com a Argentina e o Paraguai, fará com que a FES se transforme gradativamente em Floresta Estacional Decidual
Cerrado	Devido a endogamia, as zonas geoclimáticas com mais calor e estiagens, farão com que as espécies de baixa resiliência, possam reduzir a área de cobertura e serem substituídas por espécies de Floresta Estacional.

OBS: os dados não levam em conta efeitos de ações humanas sobre a restauração ou degradação direta da qualidade ecológica.

4 Aumento do perigo de ocorrência de incêndios florestais

A ocorrência de incêndios em florestas, de forma geral, sempre esteve vinculada principalmente ao desmatamento, que cria, por consequência, a dinâmica de "limpeza" dessas áreas para que sejam convertidas em outros usos da terra. As áreas com a vegetação suprimida permanecem com galhadas, tocos e toda a biodiversidade do solo, onde até então existiam árvores.

É preciso diferenciar o desmatamento legal, previsto pela Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN ou Código Florestal[31]), do desmatamento criminoso, que ocorre à revelia e deve ser duramente fiscalizado para que o país alcance a meta de "desmatamento zero", estabelecida no âmbito do Acordo de Paris.

A dinâmica do desmatamento e das queimadas, que podem se transformar em incêndios descontrolados, continua ocorrendo, sobretudo na Região Norte do país, em função da conversão do uso da terra por grupos econômicos que, muitas vezes, desconsideram compromissos com a sustentabilidade. O fogo, como ferramenta de manejo rural, acaba sendo a principal estratégia para viabilizar o uso do solo desnudo para futuros plantios agrícolas e pastagens de baixa produtividade. Destacam-se também as atividades de mineração ilegal, que promovem desmatamento e contribuem para os incêndios florestais.

Quando diferenciado conceitualmente, o uso do fogo controlado, denominado "queimada", passa a ser entendido como uma prática que

[31] (Brasil, 2012).

divide opiniões entre cientistas, especialmente no contexto de comunidades tradicionais, agricultura de subsistência e agricultura familiar, ou em escalas mais amplas. Há, entretanto, um consenso de que o "incêndio florestal" não deve ser confundido com uma queimada, pois caracteriza-se como fogo sem qualquer controle, causador das maiores tragédias e prejuízos ecológicos e sociais.

No Paraná[32], houve um grande incêndio florestal em 1963, considerado um dos mais devastadores da história do Brasil em termos de área danificada e impacto ambiental. O incêndio atingiu principalmente as mesorregiões Centro-Sul e Sudeste, incluindo áreas próximas a Guarapuava, Irati, União da Vitória, Ponta Grossa, entre outras, e foi provocado por uma combinação de estiagem severa, ventos fortes e o uso generalizado do fogo para a limpeza de áreas agrícolas. Estima-se que tenham sido destruídos entre 2 e 3 milhões de hectares, afetando principalmente as florestas de araucárias, os campos naturais e as plantações. Mais de 110 municípios foram atingidos, e dezenas de milhares de pessoas ficaram desabrigadas.

Os incêndios florestais no Paraná devem ser monitorados de forma eficaz, especialmente considerando que o clima de inverno e primavera tem se tornado mais quente e seco, justamente o período mais propenso ao fogo. Entre junho e agosto, as queimadas tornam-se mais frequentes, principalmente para usos agrícolas e silviculturais.

[32] Estas informações estão disponíveis a partir de reportagens publicadas Folha de Londrina, na Gazeta do Povo, e na Rede Globo (RPC).

4.1 AUMENTO DA OCORRÊNCIA DE RAIOS

Com o desequilíbrio climático, os choques entre massas de ar que provocam chuvas estão favorecendo o aumento das ocorrências de raios ou descargas elétricas. Quando incididos sobre áreas secas e vulneráveis, esses eventos intensificam a combustão descontrolada. Dados do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do SIMEPAR indicam que o Paraná registrou, em 2023[33], um aumento de 27% nas atividades de raios em comparação aos últimos três anos.

Segundo o grupo de pesquisa Eletricidade Atmosférica (ELAT), vinculado ao INPE, em 2022 o Paraná registrou 15,2 milhões de descargas elétricas, um aumento significativo em relação a 2021, que teve 6,3 milhões de registros. Entre janeiro e setembro de 2023, foram registrados 6,6 milhões de raios no estado[34].

Também pelo SIMEPAR[35], em 2023, Curitiba registrou 3.104 raios, com uma média de quase nove descargas por dia, um aumento de 30% em relação a 2022. Outras localidades com alta incidência de raios incluem Guaraqueçaba, Guarapuava e Cascavel.

Os incêndios descontrolados são os que geram maior intensidade de calor e provocam os mais significativos impactos ambientais negativos sobre a biodiversidade. Assim, os efeitos ambientais dos incêndios provocados por raios devem ser analisados de forma diferenciada: quanto à dependência ecológica — quando o fogo pode gerar efeitos positivos, como a quebra de dormência e a regeneração de sementes do solo — ou

[33] Fonte: Número de incêndios em vegetação dobraram em Foz do Iguaçu neste ano – GDia, acesso em 23 de março de 2025.

[34] Fonte: Paraná é atingido por 19 raios a cada minuto - Bem Paraná, acesso em 9 de abril de 2025.

[35] Fonte: Simpear: Curitiba teve média de quase nove raios por dia em 2023, acesso em 9 de abril de 2025.

quanto à sensibilidade ecológica — quando os impactos do fogo ocorrem de forma negativa, prejudicando a preservação da natureza.

Em uma escala de menor para maior efeito danoso de raios causadores de incêndios, os impactos previstos nas fitofisionomias do Estado, considerando o aquecimento global, são:

- **Floresta Ombrófila Densa (FED):** representa os remanescentes da Serra do Mar. Essas florestas são pouco dependentes da ecologia do fogo provocado por raios, que favorece clareiras e a regeneração natural das áreas queimadas. Densas e úmidas, receberão mais energia devido a invernos e primaveras mais quentes, o que aumentará a transpiração e o crescimento da vegetação, contribuindo para a formação de nuvens e maior precipitação nas cabeceiras da serra. Esse aumento de chuvas pode intensificar enchentes e trombas d'água nos municípios do litoral paranaense.
- **Planícies de Campos Gerais:** destaca-se a região de São Luiz do Purunã. Com pastagens nativas dependentes do fogo natural para a regeneração de sementes de gramíneas, períodos prolongados de seca podem causar estresse fisiológico, aumentar a mortalidade de raízes e prejudicar a biodiversidade do solo. Predomina a vegetação herbácea, mas há árvores esparsas. O aumento da evapotranspiração do solo tornará essas espécies mais vulneráveis ao estresse climático e elevará o risco de erosão.
- **Savana ou Cerrado:** existem poucos remanescentes desta fitofisionomia no Nordeste do Estado. As sementes arbóreas do solo dependem do fogo para germinarem; invernos mais quentes e secos podem favorecer incêndios mais intensos, colocando em risco a biodiversidade do solo.
- **Floresta Ombrófila Mista (FOM):** presente no Primeiro, Segundo e partes do Terceiro Planalto, abriga araucárias. Essas florestas são pouco dependentes do fogo por raios, diferentemente das florestas de coníferas da América do Norte, cuja regeneração de sementes é favorecida pelas queimadas de superfície. Com invernos mais quentes e secos, as florestas do Planalto de Guarapuava sofrerão mais com incêndios nos primeiros estratos, tornando-se cada vez mais suscetíveis a incêndios de superfície, que prejudicam fauna e flora da regeneração natural. As araucárias terão sua ecologia comprometida devido à mortalidade dos agentes dispersores de sementes.
- **Floresta Estadual Semidecidual (FES):** presente no Terceiro Planalto, destaca-se o grande remanescente da Floresta Nacional do Iguaçu.

> Nestas condições, as árvores estão mais adaptadas a climas quentes e secos, mas tornam-se mais suscetíveis a incêndios de origem natural, especialmente por raios em locais imprevisíveis. Caso o fogo alcance a copa das árvores, os danos ambientais serão irrecuperáveis, tornando esta a fitofisionomia mais vulnerável à Emergência Climática no Paraná.

Batista et al. (2014) constataram que o aquecimento global aumentará o perigo de incêndios florestais no Paraná. É esperado que esse risco cresça na região Oeste do Estado, especialmente nas áreas de influência da Floresta Nacional do Iguaçu. Em janeiro de 2022, as áreas protegidas de Itaipu registraram nove incêndios, com um dos maiores ocorrendo em São Miguel do Iguaçu. A vegetação arbórea do parque é um remanescente significativo para a preservação de espécies do sul do Brasil, destacando-se *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa), *Araucaria angustifolia* (Araucária), *Euterpe edulis* (Palmito-juçara) e *Ilex paraguariensis* (erva-mate), que estarão em maior perigo.

4.2 PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIOS

Todas as fitofisionomias florestais paranaenses tendem a se tornar cada vez mais vulneráveis à ocorrência de incêndios florestais causados por descargas elétricas, em um cenário de aquecimento global. Essa nova realidade impõe a necessidade de que diversos atores da sociedade, como o Instituto Água e Terra (IAT), o Corpo de Bombeiros, empresas, ONGs, entre outros, permaneçam vigilantes no desenvolvimento de ações permanentes de conscientização sobre prevenção e combate ao fogo descontrolado.

Sobretudo nos períodos de inverno, quando ocorre o maior perigo[36] climático, o governo estadual deve destinar meios e recursos para

[36] É importante diferenciar os conceitos de "perigo" e "risco" climático em relação à ocorrência de incêndios florestais. Segundo a FAO (2007), o perigo indica as condições meteorológicas locais, sobretudo relacionadas à secura do

fomentar, por meio de programas, estruturas de resiliência que impeçam a ocorrência do fogo em áreas legalmente protegidas, visando à maior eficácia da prevenção ecológica. Entre as ações preventivas a incêndios florestais destacam-se: planejamento de aceiros de segurança em áreas rurais; campanhas de educação ambiental; gestão de propriedades rurais; mapeamento de fatores acumulativos de risco, como declividade do terreno, acesso a fontes de água e movimentação de pessoas desconhecidas nas áreas de influência; aquisição de recursos, equipamentos e contratação de brigadistas; mapeamento das áreas de maior propensão à combustão, considerando a movimentação de ventos; vigilância; e monitoramento climático.

Os esforços voltados à prevenção de incêndios florestais são imprescindíveis para todas as mesorregiões do Estado, especialmente nas áreas com Floresta Estadual Semidecidual (FES) e Floresta Ombrófila Mista (FOM). Os Planos de Manejo das Unidades de Conservação devem considerar cada vez mais os cenários das mudanças climáticas, integrando as exigências previstas pela Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (PMIF, Brasil, 2024) aos **planos operativos de prevenção e combate a incêndios florestais**[37].

Com base em dados do IAT[38], é possível estratificar as Unidades de Conservação estaduais mais vulneráveis em cada fitofisionomia, utilizando como critério a extensão da área protegida e sua classificação —

ar, que propiciam o início da combustão. Já o risco relaciona-se mais aos fatores que podem ser geridos pela sociedade, reduzindo a probabilidade de que o fogo ocorra e se propague em propriedades rurais.

[37] A partir de 2024, pelo Decreto Federal nº 12.189 (BRASIL, 2024, Art. 58-C), a ausência de Planos de Prevenção a Incêndios Florestais por proprietários rurais passou a configurar crime ambiental, com multas entre R$ 5.000,00 (cinco mil reais) e R$ 10.000.000,00 (dez milhões de reais).

[38] Link: Dados sobre as Unidades de Conservação | Instituto Água e Terra, acesso em 10 de abril de 2025.

sendo as de Proteção Integral as de maior valor ecológico. No caso das áreas protegidas que possuem FES ou FOM com mais de mil hectares, a Tabela 4 indica as mais vulneráveis frente ao cenário de Emergência Climática. O Parque Estadual do Rio Guarani, localizado em Três Barras do Paraná, aparece como a área mais suscetível ao fogo.

Ao utilizar como segundo critério a localização dentro do Terceiro Planalto e a predominância de FES, a Tabela 5 indica as UCs com maior risco de incêndio. Já as áreas de Uso Sustentável e as de Especial Uso Regulamentado (ARESUR) também são importantes para o desenvolvimento de ações conjuntas de conscientização em comunidades tradicionais. Por fim, são necessárias iniciativas de prevenção ao fogo a serem implementadas em áreas destinadas a comunidades originárias indígenas e quilombolas presentes no Paraná, a exemplo de outras iniciativas promovidas em diferentes estados da federação[39].

[39] Link: Funai apoia Brigadas Federais na linha de frente contra Incêndios em Terras Indígenas do Pantanal — Fundação Nacional dos Povos Indígenas, acesso em 10 de abril de 2025.

Tabela 4 – Áreas protegidas paranaenses de Proteção Integral, com extensão superior a mil hectares, ameaçadas por incêndios florestais causados por raios.

NOME	MUNICIPIO	Mesorregião	AREA (há)	Fitofisionomia Principal
Parque Estadual do Rio Guarani	Três Barras do Paraná	Oeste Paranaense	2.235,0	Floresta Estacional Semidecidual
Parque Estadual do Lago Azul	Campo Mourão e Luiziana	Centro Ocidental Paranaense	1.837,0	Floresta Estacional Semidecidual
Estação Ecológica do Caiuá	Diamante do Norte	Noroeste Paranaense	1.449,0	Floresta Estacional Semidecidual
Parque Estadual Salto São Francisco da Esperança (denominação antiga Parque Estadual da Serra da Esperança)	Guarapuava, Prudentópolis e Turvo.	Centro Oeste	6.939,0	Floresta Ombrófila Mista
Parque Estadual Pico Paraná	Campina Grande do Sul e Antonina	Metropolitana de Curitiba	4.333,0	Floresta Ombrófila Mista
Estação Ecológica do Rio dos Touros	Reserva do Iguaçu	Centro-Sul Paranaense	1.231,0	Floresta Ombrófila Mista
Parque Estadual das Araucárias	Palmas e Bituruna	Sudoeste Paranaense	1.052,0	Floresta Ombrófila Mista

Fonte: O autor.

Tabela 5 - Unidades de Conservação com Florestas Estacionais Semideciduais no Terceiro Planalto – as mais ameaçadas por incêndios florestais no Paraná.

NOME	Tipo	MUNICIPIO	Mesorregião	AREA (ha)
Parque Estadual do Rio Guarani	Proteção Integral	Três Barras do Paraná	Oeste	2.235,0
Parque Estadual do Lago Azul	Proteção Integral	Campo Mourão e Luiziana	Centro Ocidental	1.837,0
Estação Ecológica do Caiuá	Proteção Integral	Diamante do Norte	Noroeste Paranaense	1.449,0
Parque Estadual Mata São Francisco	Proteção Integral	Cornélio Procópio e Santa Mariana	Norte Pioneiro	832,0
Parque Estadual Mata dos Godoy	Proteção Integral	Londrina	Norte Central	690,0
Parque Estadual de São Camilo	Proteção Integral	Palotina	Oeste	385,0
Parque Estadual Vila Rica do Espírito Santo	Proteção Integral	Fênix	Centro Ocidental	353,0
Parque Estadual de Ibicatu	Proteção Integral	Centenário do Sul	Norte Central	302,0
Parque Estadual do Penhasco Verde	Proteção Integral	São Jerônimo da Serra	Norte Pioneiro	302,0
Parque Estadual de Amaporã (antiga RFJUREMA)	Proteção Integral	Amaporã	Noroeste	204,0
ARIE de São Domingos – Área de Relevante Interesse Ecológico	Uso Sustentável	Roncador	Centro Ocidental	163,9
Parque Estadual da Cabeça do Cachorro	Proteção Integral	São Pedro do Iguaçu	Oeste	121,0
Reserva Florestal de Figueira	Proteção Integral	Engenheiro Beltrão	Centro Ocidental	100,0
Horto Florestal de Jacarezinho (recategorização)	Uso Sustentável	Jacarezinho	Norte Pioneiro	96,0

Tabela 5 – Continuação.

Parque Estadual de Ibiporã	Proteção Integral	Ibiporã	Norte Central	74,0
Horto Florestal de Mandaguari (recategorização)	Uso Sustentável	Mandaguari	Norte Central	21,0

Fonte: desenvolvido pelo autor, a partir dos dados de domínio publico extraídos do site do IAT, de informações do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná) e da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento (SEAB).

* * *

5 Efeitos ecológicos do desequilíbrio climático

5.1 CONTEXTO PARANAENSE

A ocorrência de distúrbios de ordem biológica, por meio do aumento de populações de insetos, microrganismos ou outros organismos vegetais infestantes, causando diferentes prejuízos, é frequentemente compreendida sob a ótica dos danos econômicos gerados ao setor agrícola e florestal. Considerando a Emergência Climática, a análise desses surtos passa a ser igualmente relevante pelo viés do desequilíbrio climático, tanto em áreas de interesse privado quanto em áreas de interesse coletivo, como as Áreas Protegidas (Unidades de Conservação).

Com exceção das áreas que se encontram bem preservadas, em estágios avançados de regeneração, a maior parte dos remanescentes de vegetação nativa no Paraná apresenta condições ecológicas insatisfatórias, resultantes da própria interferência humana direta. As áreas de Reserva Legal (RL) e de Preservação Permanente (APP), mantidas por imposição administrativa e em usos não produtivos[40] da terra, em geral apresentam estágios de conservação de baixo valor ecossistêmico, caracterizados por florestas degradadas em fase inicial de regeneração. Isso reforça a afirmação de que os fatores climáticos globais têm influência secundária sobre a qualidade ecológica[41] dessas áreas. Nessas condições, a

[40] Neste ínterim, sem considerar os usos agroflorestais e por interesse social.

[41] Recomenda-se a leitura a respeito da Teoria da Trofobiose e das condições ambientais locais que influem na qualidade da floresta (vd. Castro-Faria, 2018).

recuperação ambiental tende a ser pouco induzida, e a vegetação evolui até atingir um determinado nível de estabilidade, quando ocorre maior incidência de organismos como formigas cortadeiras, brocas de raízes, cancros, lianas e outros agentes que podem, inclusive, causar doenças em seres humanos.

Por outro lado, independentemente da qualidade da floresta degradada, ela continua apresentando valor ecológico, uma vez que mantém certo nível de biodiversidade, contribui para a fixação de carbono, auxilia na conservação da água, entre outros serviços ambientais. Promover melhorias nesses ecossistemas passa a ser de interesse dos proprietários, seja pela possibilidade legal de uso econômico dos recursos florestais, pela conscientização ecológica individual ou pela remuneração proveniente de serviços ambientais. Em condições paranaenses, prevalece a necessidade de cumprimento do Código Florestal e da restauração das áreas legalmente exigidas, com o objetivo de ampliar os corredores ecológicos e a cobertura florestal. Essas medidas contribuem para a formação de nuvens e chuvas, para a preservação ambiental e para a minimização dos efeitos deletérios das mudanças climáticas.

Essas observações não devem, contudo, impedir a análise da possibilidade de ocorrência de surtos de ataques de organismos nativos e exóticos que possam se beneficiar das mudanças climáticas, em razão do aumento da temperatura do ar e da maior frequência de períodos secos. Tais surtos podem atingir inclusive setores produtivos, causando prejuízos significativos à sociedade.

A seguir, apresentam-se exemplos da possibilidade de intensificação de distúrbios ecológicos sobre áreas de florestas em ambientes protegidos, em decorrência das mudanças climáticas no Paraná.

5.2 AUMENTO DE ATAQUES DE PRAGAS

Estudos têm descrito o aumento de surtos dos besouros ambrosia,

relacionados ao aquecimento global em florestas adaptadas ao frio e situadas em latitudes elevadas. Também conhecidos como *bark beetles*, esses insetos são os principais agentes de distúrbios florestais no oeste da América do Norte, afetando grandes extensões de florestas de coníferas.

Os besouros ambrosia também ocorrem em ambientes florestais paranaenses. Eles pertencem à família dos curculionídeos (*Curculionidae: Scolytinae*) e podem atacar diversas espécies da Mata Atlântica, incluindo a *Araucaria angustifolia*. Esse grupo de insetos é generalista e costuma se aproveitar de árvores debilitadas, estressadas ou com raízes mortas para se reproduzir. As galerias produzidas nos troncos favorecem o desenvolvimento de fungos simbiontes, dos quais se alimentam, além de facilitarem a entrada de outros fungos patogênicos generalistas, como *Ceratocystis* spp., *Fusarium* spp. e *Armillaria* spp., que causam murcha vascular e cancro nas raízes, contribuindo para o declínio e a morte das árvores.

Dentre as espécies florestais da Mata Atlântica que poderão ser atacadas em decorrência das mudanças climáticas, citam-se *A. angustifolia*, os ipês (*Handroanthus* spp.), o cedro (*Cedrela fissilis*), a peroba (*Aspidosperma* spp.), o angico (*Anadenanthera* spp.) e as mirtáceas (*Myrtaceae*).

5.2.1 Pragas em araucárias

Árvore símbolo do Paraná, a *Araucaria angustifolia* merece atenção especial em relação às pragas que tendem a incidir de forma mais intensa, sobretudo em indivíduos estressados isolados em áreas agrícolas, desvitalizados e com raízes mortas em decorrência das mudanças climáticas. Essas pragas podem se tornar mais problemáticas em climas quentes e secos, geralmente porque tais condições reduzem a resistência natural das plantas. Para Fritzsons et al. (2017; 2018), a araucária prefere climas frios e úmidos, comuns em altitudes superiores a 800 m.

Os besouros ambrosia atacam as araucárias, especialmente

quando as árvores estão debilitadas. Destacam-se os gêneros *Xyleborus* spp., *Xylosandrus* spp. e *Monarthrum* spp. (Mecke; Galileo, 2004) (Figura 7). Árvores sob estresse hídrico, em razão de embolias e falhas hidráulicas, reduzem a produção de resinas e compostos de defesa, o que facilita a penetração e a colonização desses insetos. Além disso, temperaturas elevadas aceleram o ciclo de vida tanto da praga quanto do fungo simbionte, podendo levar a infestações mais intensas.

Outros grupos de insetos, como as larvas de raízes (corós) e os cupins (isópteros), também atacam intensamente as araucárias em ambientes de estresse, sobretudo quando as raízes já estão mortas. Nesse contexto, árvores mortas ainda podem apresentar potencial de aproveitamento madeireiro, até que sejam degradadas pela ação desses agentes.

Do ponto de vista do controle biológico natural, soma-se o fato de que a diminuição da umidade atmosférica pode prejudicar a ação de inimigos naturais, como fungos entomopatogênicos e outros predadores. Espera-se um aumento nos ataques de insetos em A. angustifolia em função das mudanças climáticas, conforme apresentado na Tabela 8.

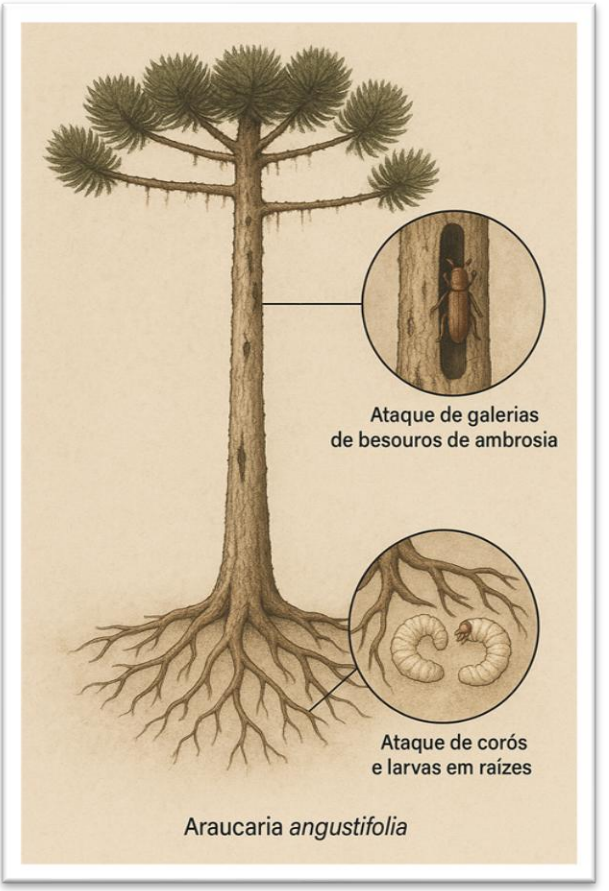


Figura 7 – Pragas relacionadas ao declínio de araucárias por estresse ambiental.

Fonte: Imagem gerada com auxílio de inteligência artificial (ChatGPT / DALL·E - OpenAI, 2025).

Tabela 6 – Pragas que aumentarão os ataques em *Araucaria angustifolia*, em função das mudanças climáticas.

Praga	Danos	Justificativa
Besouros curculionídeos	As larvas perfuram o tronco e causam galerias no câmbio, prejudicando o transporte de seiva e podendo levar à morte da árvore.	Embora tolerem climas variados, infestações tendem a ser mais graves quando as árvores estão estressadas por seca ou calor, o que reduz sua capacidade de produzir resinas defensivas.
Coró (larvas de besouros Scarabaeidae, como Phyllophaga spp.)	Atacam as raízes da araucária, enfraquecendo a planta e tornando-a mais vulnerável a outras pragas ou ao estresse hídrico.	O solo mais seco pode favorecer a eclosão dos ovos e a movimentação das larvas.
Cupins (Isoptera, especialmente Nasutitermes spp.)	Atacam madeira morta, mas podem se instalar em árvores enfraquecidas, especialmente em períodos secos.	Embora alguns cupins também ocorram em ambientes úmidos, espécies que atacam madeira seca (como algumas do gênero *Cryptotermes* spp.) são favorecidas em regiões com baixa umidade.

Fonte: o autor.

5.2.2 Pragas em erva-mate

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) possui relevante valor socioeconômico, cultural e ambiental para a sociedade paranaense. O manejo silvicultural da espécie ocorre tanto no aproveitamento de reservas legais florestais em pequenas propriedades, quanto em plantios homogêneos consolidados, contribuindo anualmente com cerca de R$ 1,2 bilhão no valor bruto de produção (VBP) do estado, especialmente em áreas produtivas da agricultura familiar (DERAL/SEAB, 2022[42]).

Sendo uma das poucas alternativas de aproveitamento sustentável da Mata Atlântica, o manejo dos ervais ocorre em municípios das regiões Sudoeste, Centro-Sul e Sudeste, inseridos nas áreas de influência da bacia hidrográfica do rio Iguaçu, em territórios de domínio da Floresta Ombrófila Mista e dos Campos Gerais. De acordo com Sanquetta e Mattei (2006), a erva-mate pode ser manejada em consórcio com araucárias dentro do dossel, por meio de raleamentos e podas a cada dois a quatro anos, mediante corte e retirada de algumas árvores grandes, de forma a favorecer o crescimento de ambas as espécies.

Com a emergência climática, é de se esperar que a erva-mate seja uma das espécies florestais mais afetadas pela prevalência das ondas de calor. Em Dois Vizinhos, no Sudoeste, por exemplo, o clima já restringe a bioeconomia da espécie em cultivos homogêneos, embora, no passado, o extrativismo tenha sido um dos vetores iniciais de desenvolvimento local.

Silva et al. (2018), Wrege et al. (2020) e Orsoni et al. (2024) simularam cenários de aquecimento global propostos pelo IPCC para o zoneamento climático de plantios ervateiros. Em todas as pesquisas, os

[42] DERAL/SEAB. Valor bruto de produção de produtos florestais paranaenses em 2022. Disponível em https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-12/vbp_2022_produtos_florestais.pdf, Acesso: 23 de julho de 2025.

autores concluíram que a área apta para o cultivo será drasticamente reduzida com o aumento da temperatura do ar.

A depender do alcance de um ponto de não retorno do aquecimento global, espera-se que os municípios ervateiros do médio e alto Iguaçu passem a apresentar problemas relacionados tanto à diminuição da produtividade quanto ao estresse das plantas e, consequentemente, ao aumento do ataque de pragas. A Figura 8 apresenta os principais municípios produtores de erva-mate do Paraná, agora ameaçados pela emergência climática.

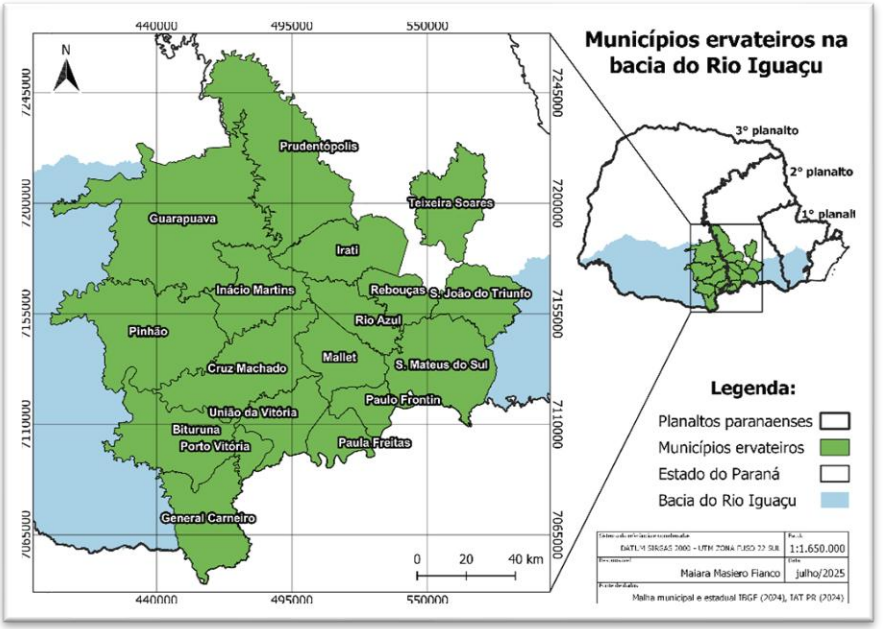


Figura 8 – Municípios da bacia do rio Iguaçu, produtores de erva-mate, ameaçados pelo aquecimento global.

Elaboração: Maiara Masiero Fianco.

Os municípios do Terceiro Planalto serão os mais prejudicados, destacando-se Guarapuava, Inácio Martins, Pinhão, Cruz Machado, Bituruna, União da Vitória, Porto Vitória e General Carneiro. Os ataques

de insetos poderão exigir das agências públicas o desenvolvimento de políticas voltadas ao manejo integrado de pragas (MIP). As instituições de pesquisa e inovação também serão pressionadas a propor alternativas tecnológicas eficazes para os plantios homogêneos e para o melhoramento da espécie (Tabela 7).

Tabela 7 – Pragas que aumentarão a ocorrência em erva-mate.

Praga	Danos	Justificativa
Gorgulho-da-erva-mate (*Hedypates betulinus*, Klug.)	Coleóptero da família *Curculionidae*. O adulto tem cerca de 1 cm de comprimento, corpo robusto e coloração preta e branca. As larvas escavam galerias no interior do caule e dos ramos, causando morte de ponteiros, enfraquecimento estrutural e favorecendo a entrada de fungos e bactérias. Adultos também se alimentam da casca.	É uma das pragas mais destrutivas em ervais, podendo inviabilizar a produção. Invernos mais quentes podem reduzir a mortalidade natural de ovos, larvas e pupas, permitindo a sobrevivência de gerações inteiras que normalmente seriam eliminadas pelo frio.
Psilídeo (ampola) -da-erva-mate (*Gyropsylla spegazziniana*, Lizer.)	Inseto sugador que debilita folhas novas e brotações, podendo deformá-las e afetar o crescimento. Reproduz-se com rapidez em clima quente.	Primaveras mais quentes e secas antecipam a emergência dos insetos adultos e prolongam a janela de tempo de ataque sobre as plantas.
Lagartas desfolhadoras (como *Thelosia camina* Schaus)	Atacam folhas novas e ramos, prejudicando o crescimento vegetativo e a produção.	Climas mais quentes permitirão o desenvolvimento de mais um ciclo anual destes insetos.

Fonte: adaptado de Penteado et al. (2000); Iede e Soares (2000).

5.3 AUMENTO DE ATAQUES DE DOENÇAS EM RAÍZES FLORESTAIS

Em ambientes florestais, a umidade do solo é geralmente preservada, favorecendo o desenvolvimento de diversos microrganismos e outros organismos que compõem a base da cadeia biológica do solo. Com as mudanças climáticas, espera-se que muitas árvores maduras, já estressadas pelo ataque de insetos, entrem em declínio e morram, sendo então colonizadas por fungos generalistas e decompositores de celulose e lignina presentes tanto nos horizontes superficiais quanto nos mais profundos do solo.

Infestações causadas por agentes biológicos, nativos ou introduzidos, responsáveis por doenças florestais tendem a se tornar mais frequentes e intensas, ao mesmo tempo em que os períodos de seca se tornarão mais comuns em decorrência do aquecimento global (Sturrock et al., 2011). A maioria das doenças florestais ocorre pelo contato direto de fungos com as raízes das árvores, muitas vezes já estabelecidas em áreas de mata nativa. O processo de colonização é, em geral, lento, de modo que os sintomas visíveis aparecem apenas em árvores com crescimento estagnado (Ferreira, 1989). Manion (1991) classificou os tipos de interação entre fungos e raízes, destacando que a presença de corpos de frutificação de fungos patogênicos (cogumelos) confirma a colonização e indica a morte da planta (Tabela 8).

A evolução de uma doença dentro de uma árvore faz com que os sinais de infecção se manifestem por toda a planta, evidenciados por estruturas como "orelhas-de-pau" e cogumelos, que se espalham das raízes até o fuste em razão da propagação dos esporos pelos vasos do xilema. A árvore pode estar morta mesmo antes de apresentar sinais externos, como podridão ou perda de folhas, pois as raízes já estavam comprometidas anteriormente. Isso favorece o declínio da árvore, mesmo que conserve temporariamente a qualidade madeireira. A entrada de insetos e fungos decompositores está relacionada a fatores abióticos que promoveram o estresse do vegetal.

A Figura 9 ilustra um exemplo de araucária morta com sinais de infecção no tronco.



Figura 9 – Sinais de infecção letal em araucárias mortas.

Em que: Cenas indicam a presença de orelhas de pau na base da árvore, e a presença de cogumelos brotando do tronco.
Fonte: o autor.

A Tabela 8, resume os tipos de interação entre patógeno (microrganismos) e hospedeiro (árvores):

Tabela 8 - Tipos de interações entre patógenos e hospedeiros.

Tipo de Interação Fungo/Raiz	Sintoma	Modo de Ação	Exemplos
Patógenos dominantes e não específicos	Causam a destruição das raízes que evolui para déficit nutricional da planta e posterior morte. *Cylindrocladium* spp.; *Rhizoctonia* spp..	Fungo macera o tecido suculento rico em nutrientes.	*Classe Oomycetes: Gêneros: Phytophthora; Pythium spp.; Subdivisão de fungos imperfeitos:*
Interação tipo "hospedeiro-dominante e não específico"	Reduzem a vitalidade e a taxa de crescimento das árvores. Podem também atacarem tocos de arvores. Causam a morte com o tempo e com a evolução da infecção.	Patógenos penetram as raízes e parasitam o câmbio depois de um período de acúmulo do inóculo na superfície. Os fungos estão no solo e colonizam o câmbio das raízes na parte inferior dos troncos suscetíveis. Utiliza-se de enzimas para degradarem o tecido vegetal.	*Basidiomicetos: Armilaria spp; Heterobasidium; Phellinus spp.*

Tabela 8 – Continuação.

Interação tipo "hospedeiro-dominante e Específico"	Fungos estão no solo e colonizam o câmbio das raízes na parte inferior dos troncos suscetíveis. Utiliza-se de enzimas para degradarem o tecido vegetal. Disseminação secundária de esporos: ventos e insetos.	Podem causar doenças em raízes e murchas foliares das copas.	*Verticilium spp/ Leptographium spp;*

Fonte: Adaptado de Manion (1991).

5.4 AUMENTO DA OCORRÊNCIA DE PLANTAS INFESTANTES

Relatórios desenvolvidos pela ONU e vinculados à Convenção sobre Diversidade Biológica, como o Millennium Ecosystem Assessment (2005), reuniram percepções de pesquisadores em nível internacional, atribuindo a ocorrência de contaminações biológicas por meio de **plantas infestantes invasoras** como a segunda principal causa de perda de biodiversidade, ficando atrás apenas do desmatamento.

Essas plantas competem com as espécies nativas por luz, água e nutrientes em ambientes ecologicamente desequilibrados, impedindo a sucessão ecológica baseada em processos sustentáveis. As contaminações biológicas dentro da vegetação nativa podem ocorrer por espécies tanto nativas quanto exóticas. Como a Mata Atlântica é um bioma altamente fragmentado, encontra-se bastante vulnerável à ocorrência de infestações de plantas exóticas introduzidas no território. Ao invadirem a floresta, essas espécies alteram a dinâmica ecológica e dificultam a regeneração natural, sobretudo em cenários de aquecimento global.

Dentre os impactos das plantas invasoras na Mata Atlântica, destacam-se:

- Competição com espécies nativas, reduzindo a biodiversidade;
- Modificação do solo, em que algumas espécies alteram o pH e a disponibilidade de nutrientes;
- Aumento do risco de incêndios, especialmente por gramíneas exóticas;
- Dispersão de sementes facilitada por animais e atividades humanas.

É possível classificar as espécies invasoras da Mata Atlântica em:

a) Árvores e arbustos invasores;

b) Trepadeiras e lianas invasoras;

c) Ervas e gramíneas invasoras.

Todas elas merecem atenção em planos de controle, conduzidos no âmbito de planos de manejo conservacionista, tanto em áreas protegidas

quanto em remanescentes florestais de propriedades particulares. A Tabela 9 resume algumas espécies invasoras adaptadas a climas mais quentes, que podem causar prejuízos ecossistêmicos no Paraná a partir da emergência climática.

Tabela 9 – Espécies invasoras potenciais do bioma Mata Atlântica no Paraná.

Espécie vegetal	Origem	Danos	Referência
a) ÁRVORES E ARBUSTOS INVASORES[43]			
Leucena (*Leucaena leucocephala* Lam.)	América Central	Forma densos adensamentos que impedem a regeneração de espécies nativas, em matas ciliares e fragmentos florestais degradados.	Machado et al. (2020).
Uva-do-japão (*Hovenia dulcis* Thunb.)	Asia	Dispersada por animais, cresce rapidamente e sufoca espécies nativas, ocorrendo em Florestas secundárias e bordas de matas.	Lima et al. (2020)
Ligustro (*Ligustrum lucidum* Lour.)	China	Se desenvolve e substituem árvores em FOM e FES.	Instituto Hórus (2022)[44].

[43] Optou-se por não incluir árvores do gênero *Pinus* spp. nesta lista, pois, sendo uma conífera adaptada ao frio e à umidade, também pode estar sendo prejudicada pelo aquecimento global.

[44] Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental. (2022). **Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras**. Disponivel em <Base de Dados Instituto Hórus>, Acesso em 3 de maio de 2025.

Tabela 9 – Continuação.

Cinamomo (*Melia azedarach* L.)	Asia	Árvores pioneiras que competem com espécies nativas em bordas de florestas e áreas degradadas.	Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental (2022).
Jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.)	Sudeste Asiático	Dispersada por animais, a planta impede a regeneração em florestas ombrófilas.	Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental (2022).
b) TREPADEIRAS E LIANAS INVASORAS			
Cipó amargo (*Mikania micranta* Kunth)	América Central e do Sul.	A planta possui crescimento rápido, cobrindo a vegetação nativa em áreas de bordas de florestas e áreas abertas.	Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental (2022).
c) ERVAS E GRAMÍNEAS INVASORAS			
Braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf*, U. Brizantha* Hochst)	Africa	Forma tapetes densos, impedindo a regeneração natural em matas ciliares e bordas de florestas.	Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental (2022).

Tabela 9 – Continuação.

Capim-colonião (*Megathyrsus maximus* Jacq.)	Africa	Cresce rapidamente e domina áreas degradadas em florestas secundárias.	Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental (2022).
Cipó-de-São-João (*Pyrostegia venusta* Miers)	Nativa do Brasil, mas se comporta como invasora em algumas áreas.	Cobertura densa sobre árvores jovens, limitando crescimento em florestas degradadas.	Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental (2022).
Dente-de-leão (*Taraxacum officinale* L.)	Europa	Dispersão agressiva, competindo com espécies nativas em clareiras florestais.	Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental (2022).
Capim Annoni (*Eragrostis plana* Nees)	Africa do Sul	Graminea invasora de remanescentes florestais em fase secundaria e degradados.	Medeiros e Focht (2007)

Fonte: o autor.

5.5 AUMENTO DE DOENÇAS HUMANAS TRANSMITIDAS POR VETORES FLORESTAIS

O desmatamento e as queimadas produzem fumaça que provoca aumento da incidência de asma, síndromes respiratórias agudas graves, problemas pulmonares e alergias. Essas doenças respiratórias representam uma preocupação crescente nas grandes cidades (Veras e Saldiva, 2024). Contudo, existem doenças humanas que ocorrem devido a vetores presentes nos remanescentes de florestas nativas em pé, cada vez mais estressadas e degradadas pelo aquecimento global.

As pessoas que adentram essas florestas precisam sempre se precaver com cuidados básicos para evitar doenças, seja consumindo frutos devidamente higienizados ou utilizando luvas e outros equipamentos de proteção individual, indispensáveis para prevenir contaminações ou contato com animais peçonhentos. Muitas áreas de Reserva Legal e de Preservação Permanente, quando degradadas, **exigem que os proprietários rurais promovam o plantio de mudas nativas, enriquecendo ecologicamente as áreas e aumentando o controle biológico dos organismos transmissores de doenças humanas**. O plantio de mudas poderia ser incentivado por programas governamentais e campanhas de educação ambiental, contribuindo para a ampliação dos serviços ecossistêmicos.

Com ênfase para estações de inverno e primavera mais quentes e secas, potencializadas por ondas de calor, o Ministério da Saúde (Brasil, 2008, 2020) indica que a aproximação entre humanos e vegetação nativa aumenta o risco para as seguintes enfermidades[45]:

[45] Nesta lista, não foi adicionada a dengue, uma doença urbana ou periurbana por excelência. O *Aedes aegypti*, principal vetor do vírus, é altamente adaptado ao ambiente antrópico, ou seja, às áreas habitadas por humanos. A relação entre o aumento da dengue e a presença de florestas nativas é, em geral, indireta ou secundária.

- **Hantavirose**: A transmissão ocorre por inalação de aerossóis de fezes e urina de roedores silvestres, favorecida pela maior permanência humana em abrigos fechados e pelo contato com ninhos de roedores.
- **Leptospirose**: Associada ao aumento das chuvas e enchentes, especialmente no litoral.
- **Histoplasmose**: A transmissão se dá por inalação de esporos do fungo presentes no solo, fezes de aves e morcegos (especialmente em cavernas e troncos ocos). Cuidados extras devem ser tomados em áreas de transição geológica entre os planaltos.
- **Febre amarela**: O calor pode favorecer surtos se houver redução da imunização humana e aumento da densidade de macacos infectados.
- **Febre maculosa**: Potencial aumento com a circulação de carrapatos, especialmente em áreas com capivaras.
- **Leishmaniose**: Flebotomíneos[46] podem se adaptar a fragmentos florestais e áreas de transição rural-urbana.
- **Animais peçonhentos**: Florestas degradadas, devido à ausência de controle por predadores naturais, tornam-se criadouros de aranhas, escorpiões, cobras e outros animais venenosos, que podem migrar para casas de madeira ou locais com resíduos que favoreçam seu abrigo.

5.5.1 Aumento dos ataques de animais peçonhentos

Existem evidências de aumento da ocorrência de cobras em ambientes humanos, devido à perda de habitats e à fuga desses animais das matas em busca de suas presas naturais. Serpentes são animais **ectotérmicos** (dependem da temperatura externa para regular seu metabolismo) e, com temperaturas mais altas, tornam-se mais ativas durante mais horas do dia e por mais meses do ano.

No Paraná, os ataques de ofídeos estão aumentando. Dados do Ministério da Saúde indicam que, em 2023, o estado registrou 914 acidentes envolvendo serpentes. No mesmo ano, o Brasil registrou 341.806 acidentes com animais peçonhentos, dos quais mais de 32 mil foram causados por serpentes (BRASIL, 2024).

[46] **Flebotomíneos**: moscas que se alimentam de sangue.

O Paraná tem registrado números crescentes de ataques de animais peçonhentos. Em 2024, ocorreram mais de 6 mil acidentes envolvendo aracnídeos, sendo a **aranha-marrom** (*Loxosceles intermedia*; Araneae: Sicariidae) a principal responsável pelas ocorrências (BRASIL, 2024[47]). Ao migrar das florestas, esse aracnídeo prefere locais com pouca ventilação, como porões e armários. Autores como Fischer e Vanconcellos-Netto (2005) confirmam que a aranha-marrom prefere climas quentes e secos. Com a emergência climática, os acidentes tendem a aumentar, especialmente na primavera.

Já os **escorpiões**, em especial o escorpião-amarelo (*Tityus serrulatus*), preferem climas quentes e úmidos (Pucca et al., 2025; Barroso et al., 2025). Os registros de acidentes com esses animais têm aumentado no Paraná nos últimos anos. Em 2024, houve um crescimento de quase 17% nos ataques em comparação ao ano anterior, destacando-se a preocupação em cidades como Ponta Grossa e Londrina[48]. Esse aumento está relacionado à adaptação dos escorpiões ao ambiente urbano, à **reprodução partenogenética** (sem necessidade de acasalamento) e à presença de locais propícios, como entulhos e redes de esgoto. Espera-se que, com o clima cada vez mais quente e desequilibrado, a ocorrência de escorpiões continue aumentando, especialmente nos períodos de verão.

A Figura 10 esquematiza o aumento da ocorrência de escorpiões e aranhas no estado:

[47] Fonte: Centro de Informação e Assistência Toxicológica da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Disponível em <https://operobal.uel.br/hospital-universitario/2024/01/24/ciatox-hu-registra-aumento-nos-atendimentos-por-intoxicacao-pelo-quinto-ano-seguido/ >, acesso em 20 de maio de 2025.

[48] Fonte: Reportagem do Globoplay. Disponível em <Meio Dia Paraná – Ponta Grossa | Ataques por escorpiões aumentam quase 17% no Paraná em 2024 | Globoplay>, acesso em 20 de maio de 2025.

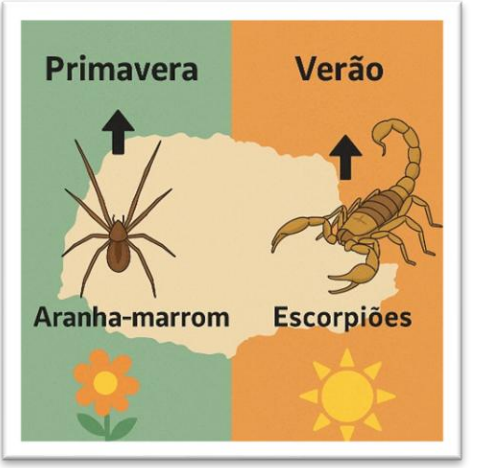


Figura 10 – Aumento de ataques de animais peçonhentos devido à Emergência Climática no Paraná.

Fonte: Imagem gerada com auxílio de inteligência artificial (ChatGPT / DALL·E - OpenAI, 2025).

Para prevenir e combater os efeitos das mudanças climáticas sobre os vetores de saúde pública, a sociedade deve adotar uma abordagem integrada envolvendo todos os atores. As atividades devem considerar:

- Desenvolvimento de programas e políticas públicas;
- Promoção da educação ambiental;
- Implementação do monitoramento ecológico;
- Implantação de infraestrutura capaz de evitar surtos epidemiológicos.

* * *

6 Histórico das pesquisas

6.1 PREÂMBULO

Antes da participação no NAPI-EC, esta linha de trabalho já apresentava a preocupação com os efeitos do clima sobre uma das espécies mais emblemáticas do Estado: *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Essa árvore, sobrevivente de eras pré-históricas, encontra-se atualmente sujeita a danos irreversíveis decorrentes da Emergência Climática, pois prefere ambientes frios e úmidos — o oposto do que vem ocorrendo com o clima. A perspectiva de analisar os impactos do aquecimento global sobre as florestas como um todo foi se impondo naturalmente, culminando na proposta apresentada junto ao NAPI-EC.

O início desse processo ocorreu a partir da análise de uma ação judicial em que um empresário madeireiro havia obtido autorização para o corte de exemplares de *A. angustifolia*, supostamente mortos por causas naturais, na região de Palmas e Bituruna/PR — uma das áreas mais frias do Estado. Essa localidade, em razão de seu valor ecossistêmico, foi posteriormente adquirida pelo governo paranaense, sendo convertida no que atualmente é o Parque Estadual das Araucárias.

Naquele momento, o Ministério Público questionou a licença ambiental de corte e solicitou informações mais detalhadas sobre os critérios científicos que deveriam ser considerados para determinar se árvores classificadas como especialmente protegidas e ameaçadas de extinção estariam, de fato, mortas por causas naturais, justificando assim a autorização para o corte.

A partir da disponibilização dos autos, foi elaborado e publicado

um livro (Castro-Faria, 2018), que apresentou argumentos no qual uma árvore morta é aquela cuja raiz se encontra morta e que, por processos naturais, passa a manifestar sinais e sintomas característicos da Síndrome do Declínio[49].

O aspecto mais relevante daquela experiência[50] foi a oportunidade

[49] A Síndrome do Declínio foi descrita por Manion (1991) como a interação de inúmeros fatores abióticos e bióticos que levam à deterioração e à morte das árvores. Os fatores que provocam estresse crônico podem resultar em sinais e sintomas semelhantes, como debilidade, diminuição de crescimento e *diebacks*.

[50] Caso fosse possível obter licença ambiental de corte para árvores mortas por "velhice ou senilidade", abrir-se-ia a reflexão sobre se proprietários rurais poderiam utilizar a justificativa de "causa natural" como brecha na legislação para autorizar cortes induzidos por herbicidas. Ou seja, isso permitiria mascarar declínios florestais artificiais, por envenenamentos ou outros métodos. Do ponto de vista da ética florestal, a discussão é relevante, mas não houve ampla discussão e consenso quanto à possibilidade de flexibilizar a legislação ambiental paranaense.

Contudo, a proposta defendia o **Manejo Fitossanitário das florestas**, autorizando o corte apenas de árvores de valor econômico em declínio natural, limitado a 2 (duas) a 3 (três) árvores por hectare ano^{-1} por unidade de manejo, em ciclos de 70 (setenta) anos, em reservas legais de médias e grandes propriedades, o que permitiria o aproveitamento sustentado da espécie. Mesmo que houvesse indução, a intensidade de corte fitossanitário seria de 3 a 5 vezes inferior ao recomendado pelo manejo convencional, o que vai de encontro com os dados de Dalla-Corte et al. (2014), que reportaram taxas de mortalidade natural de cerca de 2 % da espécie por ano. Sanquetta e Mattei (2006), ao defenderem a viabilidade do manejo florestal, afirmaram que a FOM reage bem as intervenções silviculturais, ressaltando a importância de permitir a entrada de luz nas florestas. Tais afirmações também vão de encontro com a proposta do manejo econômico da saúde das florestas com araucária.

concedida aos pesquisadores da UTFPR de conhecer um remanescente florestal de altíssimo valor de conservação, onde ainda persistem belíssimas araucárias maduras, de grande porte, preservadas e ocorrendo de forma abundante, resistindo às pressões da exploração desenfreada (Figura 11).

Pelo viés antropocêntrico, o **manejo florestal tradicional** propõe a abertura de clareiras para favorecer a regeneração natural das espécies exploradas. Embora permita a renovação florestal, o modelo causa impactos ambientais maiores que o manejo fitossanitário. Contudo, no Paraná, os remanescentes estão protegidos pela Lei da Mata Atlântica (BRASIL, 2006), o que impede a exploração em larga escala.

Para além da retórica do manejo florestal sustentável, as revisões legais voltadas à flexibilização do uso das araucárias nativas, em regime de exploração das reservas legais de médias e grandes propriedades, dependeriam do consenso da comunidade científica quanto às taxas ideais de corte. Isso também se deve ao impacto ambiental envolvido e à elevada variabilidade genética dos remanescentes, que resulta em taxas de crescimento regenerativo muito heterogêneas, tornando, em termos pragmáticos, tal consenso difícil de ser alcançado.

De todo modo, a adoção de um limite baixo de exploração fitossanitária, poderia mitigar os custos de manutenção da terra, ao mesmo tempo em que representaria uma oportunidade de restauração e uma nova chance para os manejadores demonstrarem à sociedade que é possível o aproveitamento da Floresta Ombrófila Mista (FOM), ao menos na realidade dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, onde existem milhares de hectares de áreas degradadas a serem restauradas.

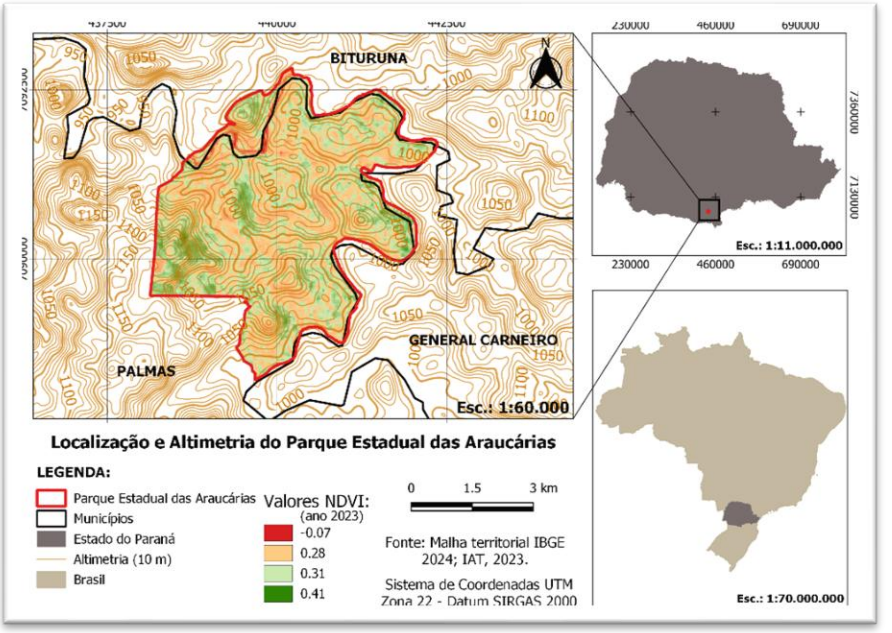


Figura 11 – Localização do perímetro, altimetria e NDVI do Parque Estadual das Araucárias.

Elaboração: Maiara Masiero Fianco.

Uma análise mais aprofundada sobre o comportamento climático no Parque das Araucárias permite inferir que, naquela localidade, as massas de ar polares tendem a entrar em choque com as massas de ar quentes vindas da região Norte, provocando, periodicamente, fortes pancadas de chuva. A Figura 12, apresentada a seguir, indica a existência de um padrão climático para os meses de inverno, no qual os picos de precipitação oscilam de forma periódica, favorecendo o estresse florestal por causas naturais. Foi possível inferir, com antecedência, que o próximo ciclo de secas intensas ocorreria em 2021.

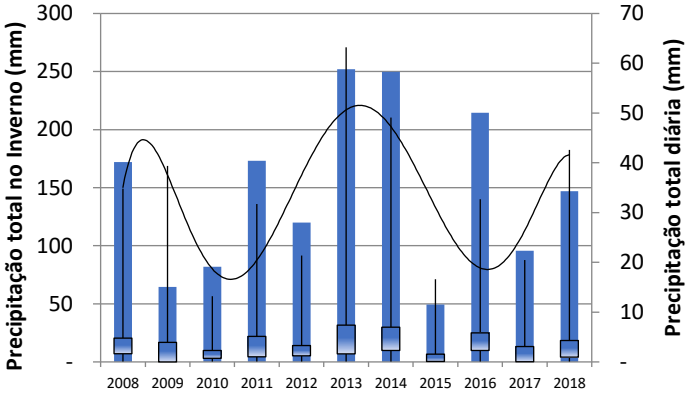


Figura 12 – Padrão de chuvas de inverno em Palmas, PR.

Fonte: Extraído de Castro-Faria et al., (2019).

Em que: Coluna = precipitação total da estação de Inverno (mm); BOX = Intervalo entre IC-Mínimo e IC-máximo; Eixo vertical=máximo a cada 48 h; e Polinômio = tendência de chuvas máximas.

Com os ciclos de estresse associados à precipitação, os pinheiros mais antigos, já fragilizados pela estiagem anterior, absorvem rapidamente a água pluvial, o que favorece processos de **embolia decorrentes de falhas hidráulicas**[51] nesses indivíduos centenários e de crescimento estagnado (vide Figura 13). Os danos vasculares nos troncos interrompem a condução da seiva bruta pelo xilema até a copa das árvores e, com isso, comprometem também o retorno da seiva elaborada às raízes, rompendo o ciclo fisiológico.

Nas árvores mais antigas, a morte das raízes aumenta a suscetibilidade a ataques de pragas, doenças e animais do solo que participam da cadeia alimentar, atingindo indivíduos já desvitalizados. Assim, em decorrência das mudanças climáticas, as florestas nativas da

[51] A embolia em árvores foi descrita por ANDEREGG, W.R.L. et al. (2016).

região de Palmas estão sujeitas ao estresse e ao declínio de árvores causado por chuvas intensas e esporádicas.

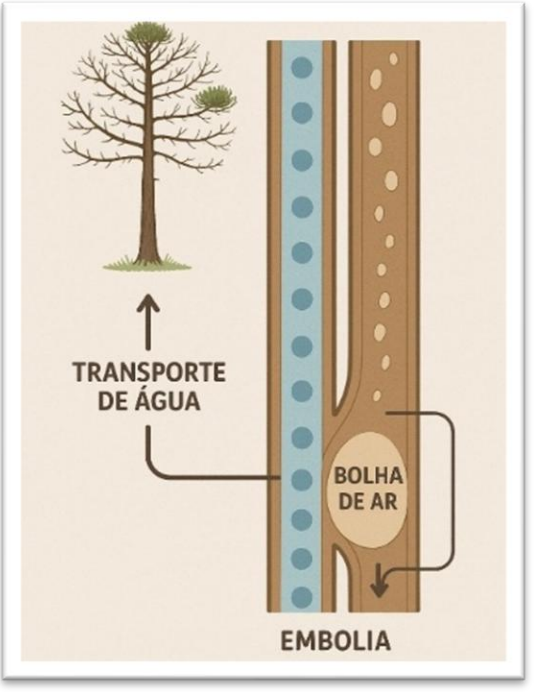


Figura 13 – Processo de embolia em *Araucaria angustifolia*.

Fonte: Imagem gerada com auxílio de inteligência artificial (ChatGPT / DALL·E - OpenAI, 2025).

O estudo da Ecofisiologia é imprescindível para a compreensão do estresse florestal. Três processos básicos interferem no desenvolvimento das plantas: fotossíntese, respiração e transpiração. A questão climática do aquecimento global passou, então, a ser objeto central de reflexão sobre o declínio florestal nas áreas estudadas. O ciclo das chuvas está condicionado aos eventos *El Niño*–Oscilação Sul (ENOS). Em termos práticos, o El Niño promove sobre a vegetação um

estresse decorrente das **ondas de calor**[52], que interferem diretamente no desenvolvimento fisiológico das árvores, aumentando as taxas de transpiração.



Figura 4 – Aspecto da copa de uma araucária morta por desidratação.

Fonte: Extraído de Castro-Faria (2018).

Ou seja, árvores — sobretudo as mais antigas e menos resistentes — podem desidratar a ponto de perder a capacidade de se recuperar de ataques de insetos e doenças, acelerando o processo de morte (Figura 4). O estresse florestal por desidratação pode ocorrer em qualquer localidade sujeita a calor extremo, independentemente de ser na região do Parque das Araucárias, onde se iniciou a pesquisa.

[52] O termo **onda de calor (OC)** é utilizado para descrever um período prolongado de clima quente extremo, incomum e desconfortável (ALVES et al. 2016).

6.2 O ÍNDICE FBS DE ESTRESSE FLORESTAL

Considerando o clima de outra localidade do Sudoeste paranaense — Dois Vizinhos/PR, onde está localizado o Câmpus da UTFPR — foi proposta, em artigo científico (Castro-Faria, 2021), uma equação matemática adimensional para prever o estresse de florestas submetidas a ondas de calor. A fórmula levou em conta a temperatura atmosférica instantânea e a temperatura do ponto de orvalho, podendo ser aplicada em qualquer localidade, e foi denominada índice FBS (*Forest Based Stress Index*), ou índice de estresse florestal.

$$FBS = \frac{\sum_{n=1}^{5}(10 + ln\,(1 - \frac{DPT}{IAT}))}{5} \quad (1)$$

Em que: 1) FBS: índice de estresse vegetal por ondas de calor (adimensional); DPT: *Dew Point Temperature* (ou temperatura do ponto de orvalho instantânea em °C); IAT: *Instant air temperature* (temperatura atmosférica instantânea em °C). 2) Modelo para o FBS logarítmico, e que resulta em valor mínimo de 1, e, máximo equivalente a 10. O cálculo é acumulativo considerando-se a média de resultados dos últimos cinco dias.
Fonte: adaptado de Castro-Faria (2021).

O índice FBS permite analisar o efeito das ondas de calor decorrentes das mudanças climáticas e do El Niño em remanescentes de florestas nativas, incluindo o impacto das OCs noturnas, que prejudicam a respiração das árvores. Pela lógica do FBS, quando a temperatura atmosférica for igual à temperatura de orvalho, haverá o ponto de conforto térmico e bem-estar florestal, com base na saturação da umidade do ar. Outras condições meteorológicas indicam desequilíbrio fisiológico, comprometendo tanto a fotossíntese durante o dia (quando as plantas acumulam energia), quanto a respiração (quando a utilizam para o crescimento vegetativo).

A Figura 15 indica que a ocorrência de ondas de calor se dá principalmente entre 15h e 21h, mas também entre 21h e 3h da

madrugada.

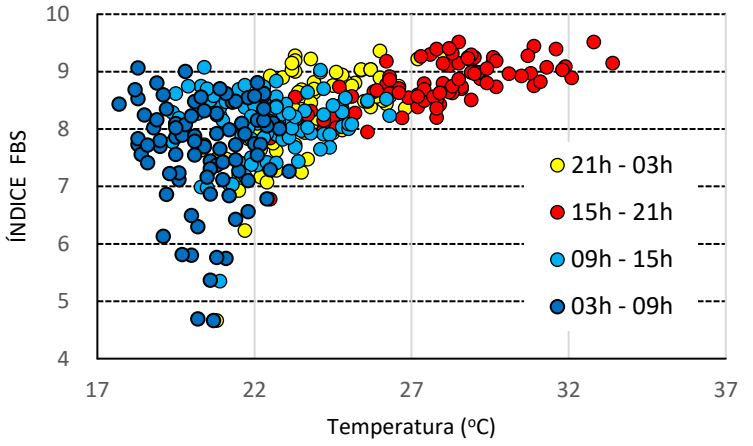


Figura 15 – Ondas de calor indicadas pelo FBS.

Fonte: Extraído de Castro-Faria (2021).
Em que: valores acima de 9, indicam o episódio de onda de calor.A incidência maior ocorreu para os horários das 15-21h (OC diurna), e, das 21-03h (OC noturna). Quanto maior a secura do ar, maior o FBS, a transpiração e o estresse vegetal, em uma escala logarítmica na qual valores acima do percentil 90% por cinco ou mais dias indicam a ocorrência e a severidade do calor.

6.2.1 Perspectivas de pesquisas com o FBS

As inferências sobre o bem-estar florestal por meio do índice FBS consideram a umidade do ar e seus efeitos na transpiração vegetal, a fim de avaliar o desconforto causado. O FBS apresenta forte relação com outro índice amplamente reconhecido, o Déficit de Pressão de Vapor (VPD – *Vapor Pressure Deficit*), também denominado índice de Penman-Monteith (Monteith, 1965), que mede o potencial de evapotranspiração foliar (Figura 16).

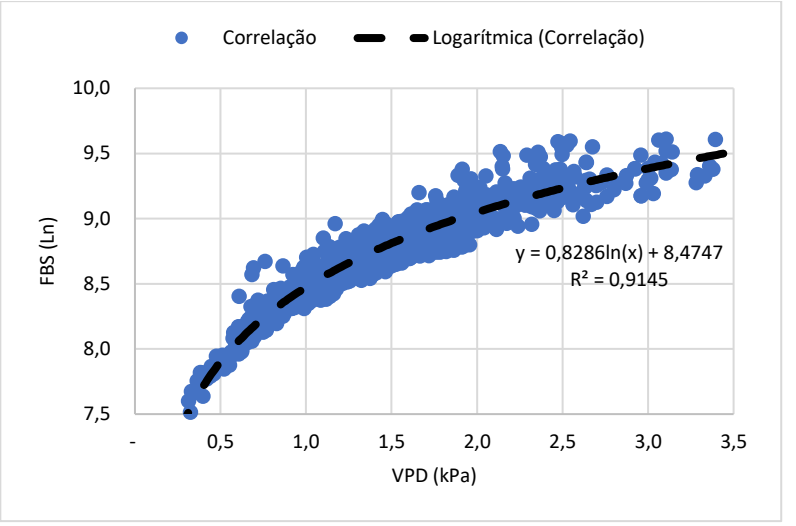


Figura 16 - Relação entre os índices VPD e $FBS_{(Ln)}$.

Fonte: o autor.

Existem outros índices térmicos que utilizam a temperatura atmosférica instantânea e a temperatura do ponto de orvalho e que podem ser comparados, como o Índice de Mormaço (Rothfusz, 1990) e o Índice Dew Point Spread (Lawrence, 2005). Já a fórmula tradicional de ondas de calor da Organização Meteorológica Mundial (OMM) não considera a umidade para estimar a sensação térmica.

Pesquisas contínuas serão importantes para correlacionar o estresse em cultivos agrícolas, florestais e áreas protegidas, causado pelo clima, com vistas à proposição de estratégias de resiliência ambiental. Alguns resultados estão apresentados neste livro, com recursos disponibilizados no âmbito do NAPI-EC.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) reconhece entidades como a American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 2016), que recomendam que a umidade relativa ideal esteja entre 40% e 60% para garantir conforto e minimizar riscos à saúde humana. Da mesma forma, o índice FBS ressalta o bem-estar em

cenários com umidade do ar em torno de 50%[53], característica de regiões temperadas. Por isso, é possível aplicar o FBS em estudos futuros sobre o efeito do calor atmosférico também em relação ao bem-estar humano[54].

6.2.2 Uso do FBS na avaliação do perigo a incêndios florestais

O FBS foi proposto para avaliar a ocorrência de ondas de calor, e algumas vantagens de seu uso podem ser destacadas. Por ser adimensional, pode ser empregado para comparar diferentes regiões ou períodos, permitindo a combinação de variáveis com unidades distintas (temperatura e umidade, representada pelo ponto de orvalho) em um único valor, em uma escala logarítmica de zero a dez. Isso facilita análises integradas e possibilita uma interpretação intuitiva. Além disso, a análise acumulativa a cada cinco dias abre espaço para a avaliação tanto da ocorrência quanto da severidade do calor e da secura do ar, permitindo prever tendências de longo prazo e realizar o monitoramento contínuo do estresse climático, sem necessidade de ponderar dados de precipitação pluviométrica.

Outro fenômeno natural tende a se intensificar com a emergência climática: os incêndios florestais. Esses eventos assumem caráter transfronteiriço, uma vez que seus impactos extrapolam a destruição imediata da vegetação. Incêndios florestais e ondas de calor são dois fenômenos indissociáveis, principalmente em regiões que apresentem o clima quente e seco em determinadas épocas do ano.

[53] Na Amazônia, a umidade do ar pode alcançar valores próximos de 100%, potencializando a fotossíntese pela ausência de transpiração foliar. Apenas em períodos prolongados ocorre estresse, devido à falta de absorção de água e nutrientes.

[54] Pesquisadores da Agência Americana de Aeronáutica Espacial (*National Aeronautics and Space Administration*, NASA), entendem que muitas regiões brasileiras, ficarão inabitáveis até 2050, devido a ondas de calor. Link: <NASA alerta que o Brasil ficará inabitável em 50 anos, veja regiões – UAI Notícias> Acesso em 1 de maio de 2025.

O FBS, por apresentar alta relação com o índice VPD de Penman-Monteith (vd. Figura 16), pode ser ajustado para a avaliação do grau de perigo de incêndios florestais em uma determinada localidade, abrindo uma nova linha de pesquisa. Quanto maior o resultado calculado, mais elevada será a evapotranspiração da floresta, que se tornará mais seca e inflamável.

Dentro da lógica do triângulo do fogo, um incêndio florestal se inicia quando estão presentes as condições ideais: material combustível, uma fonte inicial de calor e oxigênio. Srock et al. (2018) incorporaram a velocidade do vento à proposta de monitoramento de perigo por meio do índice *Hot-Dry-Weather* (HDW), que considera simultaneamente o déficit de pressão de vapor (VPD) e a velocidade do vento. Acredita-se que uma adaptação do índice brasileiro FBS de estresse florestal para fins de avaliação do perigo de incêndios, poderia ser realizada em contraste com o HDW, e não apenas em relação ao VPD, desde que o FBS incorpore uma metodologia capaz de compensar o perigo de fogo também em função do parâmetro da velocidade do vento[55].

A Figura 17 e as Tabelas 10 e 11 apresentam a adaptação do FBS para análise do perigo de incêndios, ponderada pela velocidade do vento segundo a Escala de Beaufort. A velocidade deve ser expressa em m/s, pela média dos últimos cinco dias, no período das 15h às 21h.

[55] Para um aprofundamento, verificar o artigo intitulado "*Performance of the Forest-Based Stress Index (FBS) and Windy FBS (wFBS) as Forest Fire Danger Metrics*", publicada na Revista Brasileira de Meteorologia.



Figura 17 – Grau de perigo de incêndios florestais pelo índice FBS.

Fonte: Imagem gerada com auxílio de inteligência artificial (ChatGPT / DALL·E - OpenAI, 2025) e adaptação de Nicole Gelinski de Sousa.

Tabela 10 – Ponderação do resultado FBS a partir da velocidade do vento.

Nível Beaufort	Velocidade (km/h)	Velocidade (m/s)	Denominação	Efeitos observados	Frequência no Brasil	Fator de correção proposto para o FBS	Interpretação
0	< 1	< 0,3	Calmo	Fumaça sobe verticalmente	Comum em madrugadas, especialmente no interior	0,80	Reduzir o valor FBS calculado em 20%
1	1 – 5	0,3 – 1,5	Aragem (brisa leve)	Folhas imóveis começam a se mover	Muito comum	0,85	Reduzir o valor FBS calculado em 15%
2	6 – 11	1,6 – 3,3	Vento leve	Folhas balançam, sensação no rosto	Muito comum	0,90	Reduzir o valor FBS calculado em 10%
3	12 – 19	3,4 – 5,4	Vento fraco	Movimenta galhos pequenos	Muito comum	0,95	Reduzir o valor FBS calculado em 5%
4	20 – 28 ou mais	5,5 – 7,9	Vento moderado	Levanta poeira, balança galhos médios	Frequente, sobretudo em áreas litorâneas	1	Manter o valor FBS calculado

Fonte: O autor.

Tabela 11 – Relação entre os índices FBS e outros índices, em face do perigo climático para incêndios florestais.

Percentil	Grau de Perigo	Classe (FBS Ln)	Classe (FBS Ln Vento)	Classe (VPD)	Classe (HDW)
Média - 1 GL	BAIXO	≤ 7,9	≤ 7,2	≤ 0,8	≤ 1,8
Média	MODERADO	> 7,9 a 8,6	> 7,2 a 7,5	> 0,8 a 1,0	> 1,8 a 2,4
Média + 1 GL	ALTO	> 8,6 a 9,0	> 7,5 a 7,8	> 1,0 a 1,2	> 2,4 a 3,0
Média + 2 GL ou 95 prob.%	MUITO ALTO	> 9,0 a 9,4	> 7,8 a 8,1	> 1,2 a 1,5	> 3,0 a 3,7
Média + 3 GL ou 99% prob.	EXTREMO	> 9,4	> 8,1	> 1,5	> 3,7

Fonte: O autor.

7 Os trabalhos junto ao NAPI-EC

Tendo como coordenador-geral o professor Dr. Francisco Mendonça, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), o arranjo NAPI-EC constitui-se como uma rede de pesquisadores de diversas instituições paranaenses, que passaram a se organizar para responder, em diferentes eixos temáticos, aos desafios do enfrentamento da crise climática no contexto do Estado.

A proposta de estudar o efeito das mudanças climáticas extremas sobre as florestas do Paraná foi inserida no eixo "Impactos das mudanças climáticas na biodiversidade e nas bases ecológicas do território paranaense". Inicialmente, foram definidos dois objetivos específicos:

- Explicar, por meio de técnicas de dendrocronologia, o histórico de intercorrências causadas por fatores climatológicos no crescimento de araucárias maduras, extraídas de fragmentos florestais;
- Avaliar o estoque de carbono fixado em raízes, fustes e copas de araucárias maduras, em diferentes níveis de saúde fitossanitária.

O objetivo inicial era gerar dados científicos sobre a fixação de carbono pelas árvores, informação útil tanto para a comunidade científica quanto para o desenvolvimento de projetos de certificação de crédito de carbono. Houve o envolvimento de estudantes de iniciação científica voluntários, sob orientação das professoras Dra. Elisabete Vuaden e Dra. Veridiana Padoin Weber.

No ano de 2023, foram publicados três resumos expandidos no VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal, em Recife-PE. A Tabela 12 apresenta os destaques dos resultados dessas publicações.

Tabela 12 – Resultados de pesquisas de iniciação científica do grupo NAPI-EC Florestas.

Título do trabalho	Informações	Autores
Concorrência em floresta natural de *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntz em diferentes classes fitossanitárias.	Os resultados mostraram que a competição é maior para as árvores menores, resultando em árvores mais finas e alongadas. Foi observada uma correlação negativa entre o índice de competição e o grau de esbeltez das árvores. Além disso, quando as árvores estão sob intensa competição, o crescimento em diâmetro é menor em comparação com o crescimento em altura.	Betim et al. (2023)[56]

[56] BETIM, V. R. P. et al. Concorrência em floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntz em diferentes classes fitossanitárias. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MENSURAÇÃO FLORESTAL – MENSUFLOR, 6., 2023, Recife. Anais [...]. Recife: UFPE, 2023.

Tabela 12 – Continuação.

Estoque de carbono em uma floresta estacional semidecidual antropizada no sudoeste paranaense.	Com a estimativa da altura de todos os indivíduos, foi possível estimar o carbono florestal, em que, o remanescente estudado, possuía 75,35 t ha^{-1} fixados.	Souza et al. (2023)[57]
Estoque de carbono em indivíduos de diferentes classes fitossanitárias em floresta natural de *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze.	O estudo demonstrou que as árvores saudáveis estavam armazenando mais que o dobro de carbono em comparação com as mortas e desvitalizadas.	Nascimento et al. (2023)[58]

Fonte: o autor.

[57] SOUZA, E. C. et al. Estoque de carbono em uma floresta estacional semidecidual antropizada no sudoeste paranaense. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MENSURAÇÃO FLORESTAL – MENSUFLOR, 6., 2023, Recife. Anais [...]. Recife: UFPE, 2023.

[58] NASCIMENTO, K. S. et al. Estoque de carbono em indivíduos de diferentes classes fitossanitárias em floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MENSURAÇÃO FLORESTAL – MENSUFLOR, 6., 2023, Recife. Anais [...]. Recife: UFPE, 2023.

Em 2024, o projeto NAPI-EC Florestas foi reformulado em duas propostas a serem desenvolvidas por estudantes bolsistas de Iniciação Científica (IC), em um cronograma de doze meses, com a expectativa de gerar duas monografias de pesquisa e, a partir delas, artigos científicos a serem publicados a partir de meados de 2025.

A primeira monografia proposta buscou promover a interdisciplinaridade entre as áreas de Proteção da Saúde Florestal e Sensoriamento Remoto, em parceria com o Prof. Dr. Raoni Wainer Duarte Bosquilia. O enfoque acadêmico foi direcionado às áreas protegidas paranaenses (Unidades de Conservação – UCs), cruzando dados históricos climáticos de ondas de calor do INMET e do SIMEPAR com imagens de satélite. Os aspectos descritivos dessa primeira monografia foram:

MONOGRAFIA 1
ANÁLISE DO DECLÍNIO FLORESTAL NO PARQUE ESTADUAL DAS ARAUCÁRIAS, PR, UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO

Objetivo Geral

Caracterizar os episódios de Ondas de Calor associados ao El Niño no Parque Estadual das Araucárias no intervalo de 1998 a 2023, e avaliar o comportamento e a sanidade da floresta por meio dos índices de vegetação NDVI e EVI aplicados à imagens de satélite.

Objetivos Específicos

- Comparar diferentes índices de vegetação nas imagens para avaliação da sanidade da floresta;
- Analisar o comportamento da floresta em períodos com e sem incidência de Ondas de Calor;
- Analisar a aplicabilidade dos índices de vegetação na análise do declínio florestal.

Já para a segunda monografia proposta, procurou-se aplicar o índice FBS na análise do estresse florestal, e estabelecer a relação do FBS com a Fórmula de cálculo de Ondas de Calor empregada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Cabe ressaltar, neste ponto, que a nova intenção passou a ser, cruzar os metadados climáticos com os metadados de incremento e de desenvolvimento florestal, visando identificar o efeito do clima na perda de crescimento das árvores. Segue o descritivo da segunda monografia:

MONOGRAFIA 2
EFEITO DE ONDAS DE CALOR SOBRE O CRESCIMENTO DE ARAUCÁRIAS EM UM REMANESCENTE FLORESTAL DA REGIÃO SUDOESTE PARANAENSE

Objetivo Geral

Tendo como hipótese central, que o El Niño prejudica o crescimento das araucárias, o objetivo geral foi o de identificar os distúrbios climáticos sobre o crescimento de indivíduos maduros de *A. angustifolia*, em remanescente natural localizado no Sudoeste do PR.

Objetivos Específicos

- Avaliar a ocorrência de Ondas de Calor diurnas e noturnas entre 2004 a 2023, pelos índices FBS e OMM;
- Estabelecer relações comparativas entre os índices FBS e OMM quanto ao estresse florestal por Ondas de Calor;
- Evidenciar se as Ondas de Calor, prejudicaram o crescimento das árvores analisadas;

Alguns resumos de iniciação científica foram publicados em

2024 e 2025[59], sendo que os principais artigos serão publicados a partir da conclusão dos trabalhos.

[59] FIANCO, M.M.; et al. Ocorrência de estresse florestal devido a ondas de calor, no Parque Estadual das Araucárias, Paraná. In: XXX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR-DV, 2025, (Dois Vizinhos PR). Apresentação de Trabalho.

FIANCO, M.M.; et al. Relação entre índices de vegetação e meteorológicos no declínio de remanescentes florestais nativos do sudoeste do Paraná. In: VII Congresso de Ciência e Tecnologia da UTFPR-DV, 2024, (Dois Vizinhos PR). Apresentação de Trabalho.

NASCIMENTO K.C.S.; et al. Possibilidade de manejo florestal em indivíduos de *Araucaria angustifolia* em diferentes estados de fitosanidade. In: VII Congresso de Ciência e Tecnologia da UTFPR-DV, 2024, (Dois Vizinhos PR). Apresentação de Trabalho.

FIANCO, M. M.; et al. Sensoriamento remoto aplicado à avaliação da saúde florestal. In: XIV Seminário de extensão e inovação e XXIX Seminário de iniciação científica e tecnológica, 2024, (Dois Vizinhos PR). Apresentação de Trabalho.

MELLO, I. S.; et al. Declínio de araucárias maduras causados por ondas de calor em Dois Vizinhos – PR. In: XIV Seminário de extensão e inovação e XXIX Seminário de iniciação científica e tecnológica, 2024, (Dois Vizinhos PR). Apresentação de Trabalho.

8 Palavras finais quanto a restauração florestal e a qualidade ecossistêmica no Paraná

Os diversos temas de pesquisa apresentados neste livro podem ser aprofundados para ampliar o conhecimento sobre os impactos das mudanças climáticas no Paraná. Em termos práticos, as iniciativas mais efetivas para minimizar os danos ambientais associados à crise climática incluem o combate aos crimes de desmatamento e poluição, a promoção de planos de restauração florestal, a recuperação de áreas degradadas e a implementação da educação ambiental, entre outras ações.

As medidas de comando e controle governamental constituem uma base inicial para garantir um meio ambiente equilibrado, mas precisam ser complementadas pela **governança ambiental corporativa**[60] a fim de que os objetivos de sustentabilidade sejam eficazmente alcançados. A partir dos arranjos da **Economia**

[60] **Governança ambiental corporativa**: refere-se às ações integradas entre os setores público e privado no âmbito dos projetos de ESG – *Environmental, Social and Governance*.

Ambiental[61], alinhados em 2025 com a COP-30[62], os projetos de crédito de carbono e as diversas iniciativas de remuneração por serviços ambientais passam a ser mais demandadas, permitindo que as florestas sejam continuamente valorizadas sob o prisma ecossistêmico. Não se trata apenas de manejar esses recursos visando à obtenção de produtos madeireiros e não madeireiros, mas também de manejá-los de modo a conservar a biodiversidade, a água, o solo, a produção de oxigênio e a fixação de carbono. Para Schikowski et al. (2015), os serviços ambientais produzidos pela FOM na modalidade de reduções de emissões por desmatamento evitado (REDD), são recomendados para a valorização econômica destas florestas.

A araucária e a erva-mate, espécies emblemáticas da cultura paranaense, já se encontram estressadas em razão da emergência climática. É imprescindível garantir a melhoria do equilíbrio ecológico das florestas existentes. Muitas dessas áreas enfrentam desafios como o empobrecimento da biodiversidade, a invasão por espécies exóticas, a ameaça de extinção de espécies raras, o aumento do perigo de incêndios, além da conversão em criadouros de endemias que colocam a vida humana em perigo.

Assim, além de restaurar, é fundamental investir na gestão ativa, no monitoramento e na recuperação funcional dos ecossistemas remanescentes, promovendo a integridade ecológica e a resiliência climática dessas áreas. O governo do Paraná tem se

[61] **Economia Ambiental**: ramo da macroeconomia. Inclui teorias neoclássicas voltadas às questões ambientais e estudos de impactos ecológicos, além de encorajar novas formas de pensar sobre as interações entre sistemas ecológicos e econômicos (CONSTANZA, 1989).

[62] **COP-30**: 30ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, em Belém PA.

posicionado na implementação do Plano Nacional de Restauração Florestal (Planaveg), previsto pelo Código Florestal de 2012, com ações positivas de plantio e fomento à restauração ecológica. Contudo, os resultados precisam de tempo para se consolidarem. É essencial que essas iniciativas sejam acompanhadas por investimentos contínuos, tanto públicos quanto privados. Cabe a todos atuar na conscientização ambiental e na construção efetiva de uma sociedade que adote a sustentabilidade como um de seus princípios fundamentais. As próximas gerações serão as maiores beneficiadas por esse modelo de desenvolvimento.

* * *

9 Agradecimentos

O desenvolvimento deste trabalho se deu no âmbito de um estágio de pós doutoramento, junto ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em 2025, sob supervisão do professor Dr. Carlos Roberto Sanquetta, o qual gentilmente, redigiu o prefácio. A impressão da primeira edição foi patrocinada com recursos do Governo do Paraná, por meio da Fundação Araucária, previstos pelo projeto NAPI-EC.

Agradecimentos devem ser estendidos a todos os professores e alunos da Engenharia Florestal/UTFPR, bolsistas e voluntários. Também, ao professor Dr. Eloy Casagrande, da UTFPR, pelo convite e oportunidade em adentrar ao grande grupo do NAPI-EC, e ao professor Dr. Francisco de Assis Mendonça, da UFPR, pela coordenação geral do projeto.

* * *

REFERÊNCIAS

ALLEN, C. D. et al. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 4, p. 660–684, 2010.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711–728, 2013.

ALVES, L. C. et al. Caracterização da forte onda de calor de 2014 em Santa Catarina. **Ciência e Natura**, v. 36, p. 309–325, 2016.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE Handbook: HVAC Systems and Equipment**. Atlanta: ASHRAE, 2016. Cap. 22: Humidifiers.

ANDEREGG, W. R. L. et al. Meta-analysis reveals that hydraulic traits explain cross-species patterns of drought-induced tree mortality across the globe. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 18, p. 5024–5029, 2016.

BARROSO, R. F. et al. Climate change increases public health risks from *Tityus scorpion* stings in Brazil. **Toxicon**, v. 258, p. 108326, mar. 2025.

BATISTA, A. C. et al. Análise dos impactos das mudanças climáticas sobre o risco de incêndios florestais no estado do Paraná. **Scientia Forestalis,** v. 42, n. 104, p. 481-491, 2014.

BOISVENUE, C.; RUNNING, S. W. Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century. **Global Change Biology**, v. 12, n. 5, p. 862–882, 2006.

BRASIL. Fundação Oswaldo Cruz; Ministério da Saúde. **Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil.** Brasília, DF: OPAS, 2008. (Série Saúde Ambiental, 1).

BRASIL. Ministério da Saúde. **Guia de vigilância em saúde: volume único.** Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/media/pdf . Acesso em: 31 jul. 2025.

BRASIL. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. **Boletim Epidemiológico**, v. 55, n. 15, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/saude/boletim-epidemiologico-volume-55-no-15.pdf . Acesso

em: 31 jul. 2025.

BRIENEN, R. J. W. et al. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, n. 7543, p. 344–348, 2015.

CAI, W. et al. Changing El Niño–Southern Oscillation in a warming climate. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 2, p. 628-644, 2021.

CASTRO-FARIA, A. B. **Conservação e saúde das araucárias: fundamentos legais e ecossistêmicos**. Curitiba: Juruá, 2018. 104 p.

_____. Monitoramento da temperatura atmosférica visando o conforto térmico e a conservação de florestas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 20, p. 32–40, 2021.

_____. **Ensaios para uma ética florestal**. Curitiba: Appris, 2022. 233 p.

CASTRO-FARIA, A. B. et al. Pinheiros antigos podem entrar em declínio devido ao efeito de mudanças climáticas. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4, p. 16, 2019.

COLLEVATTI, R. G. et al.. Population genetic structure of the endangered tropical tree species *Caryocar brasiliense*, based on variability at microsatellite loci. **Mol Ecol,** v. 10, n. 2 p.349-356, 2001.

CONSTANZA, R. What is Ecological Economics?. **Ecological Economics**, Amterdam, v. 1, p. 1-7, 1989.

DALLA-CORTE, A. P., et al. Dinâmica do crescimento, mortalidade e recrutamento na floresta com araucária. In: SANQUETTA, C. R, et al. (Org.). **Floresta com Araucária: Pesquisas Ecológicas de Longa Duração.** Curitiba: Multigraphics, 2014, p. 59-82.

ESTEVAN, D. A. et al. Estrutura e relações florísticas de um fragmento de floresta estacional semidecidual, Londrina, Paraná, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 1, p. 99–109, 2016.

FERREIRA, F. A. **Patologia florestal: principais doenças florestais no Brasil.** Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1989. 570 p.

FISCHER, M. L.; VASCONCELLOS-NETO, J. Microhabitats occupied by *Loxosceles intermedia* and *Loxosceles laeta* (Araneae: Sicariidae) in Curitiba, Paraná, Brazil. **Journal of Medical Entomology,** v. 42, n. 5, p. 756–765, 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Fire management: global assessment 2006**. Roma: FAO, 2007. 159 p. (FAO Forestry Paper, 151).

_____. **Global Forest resources assessment 2010**. Terms and definitions. Rome: Forestry Department, 2010. 27p.

FRITZSONS, E. et al. Análise da pluviometria para definição de zonas homogêneas no Estado do Paraná. **RAEGA**, v. 23, n. 1, p. 555-572, 2011.

FRITZSONS, E.; WREGE, M. S. **A distribuição natural do pinheiro-do-paraná no Sul e Sudeste do Brasil: a influência de fatores climáticos**. Colombo: Embrapa, 2017.

FRITZSONS, E. et al. Fatores climáticos limitantes da distribuição da araucária no estado do Paraná e as implicações para sua restauração. **RAEGA**, v. 44, n. 1, p. 258-271, 2018.

IEDE, E. T.; SOARES, C. M. S. Pragas da erva-mate. In: _____. **Manual de identificação de pragas e doenças da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.).** Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2000. (Documentos, 44).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the IPCC**. In: PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (ed.). Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

LAWRENCE, M. G. The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air: a simple conversion and applications. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 86, n. 2, p. 225–233, 2005.

LENOIR, J.; SVENNING, J.-C. Climate-related range shifts – a global multidimensional synthesis and new research directions. **Ecography**, v. 38, n. 1, p. 15–28, 2015.

LENTON, T. M. et al. Tipping elements in the Earth's climate system. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 6, p. 1786–1793, 2008.

LIMA, C. L. et al. Ocorrência da espécie arbórea exótica invasora *Hovenia dulcis* no estado de Santa Catarina. **Ciência e Natura,** 2020.

MACHADO, M. T. S. et al. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit in Brazil: history of an invasive plant. **Estudos Ibero-Americanos,** v. 46, n. 1, 2020.

MANION, P. D. **Tree disease concepts.** 2. ed. Chicago: Prentice Hall, 1991. 391 p.

MECKE, R.; GALILEO, M. H. M. A review of the weevil fauna (Col: Curculionidae) of *Araucaria angustifolia* in South Brazil. **Revista Brasileira de Zoologia,** v. 21, n. 3, p. 505–513, set. 2004.

MEDEIROS, R. B.; FOCHT, T. Invasão, prevenção, controle e utilização do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha,** v. 13, n. 1/2, p. 105–114, 20 dez. 2007.

MELO, L. C. O. **Simulação da distribuição de espécies da Floresta Ombrófila Mista em função de possíveis cenários climáticos.** 2015. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: current state and trends**. v. 1. New York: Island Press, 2005.

MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. In: Symposia of the Society for Experimental Biology – XIX: **Anais...** The State and Movement of Water in Living Organisms, 1965. p. 205–234.

OLIVEIRA, I. J. G. **Dinâmica de comunidades da floresta estacional semidecidual no Oeste do Paraná.** Dissertação (Mestrado em Botênica, Setor de Ciências Biológicas), Universidade Federal do Paraná. 2024. 54p.

ORSONI, G. B. et al. Climatic zoning of yerba mate and climate change projections: a CMIP6 approach. **International Journal of Biometeorology,** v. 68, p. 979–990, 2024.

PAN, Y. et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 988–993, 2011.

PECL, G. T. et al. Biodiversity redistribution under climate change: impacts on ecosystems and human well-being. **Science**, v. 355, n. 6332, 2017.

PENTEADO, S. R. C. et al.. Pragas da erva-mate: perspectiva de controle. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA-MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA-MATE, 3., 2000, Encantado, RS. **Anais [...].** Porto Alegre: UFRGS, 2000. v. 1, p. 27–38.

PHILLIPS, O. L. et al. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. **Science**, v. 323, n. 5919, p. 1344–1347, 2009.

PUCCA, M. B. et al. Scorpions are taking over: the silent and escalating public health crisis in Brazil. **Frontiers in Public Health,** v. 13, p. 1573767, 2025.

QUIQUI, J. A. et al. Estudo fitossociológico de um trecho da floresta estacional semidecidual em Diamante do Norte, Estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v. 29, n. 2, p. 245–252, 2007.

RAFFA, K. F. et al. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. **BioScience**, v. 58, n. 6, p. 501–517, 2008.

ROTHFUSZ, L. P. **The heat index equation**. Scientific Services Division, National Weather Service, NOAA, 1990. (Technical Attachment, SR 90-23).

SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. **Perspectivas da recuperação e do manejo sustentável das Florestas de Araucária**. 1. ed. Curitiba: Carlos Roberto Sanquetta, 2006. v. 1. 250p.

SCHIKOWSKI, A. B., et al. Dinâmica do estoque de carbono em Floresta Ombrófila Mista no Paraná utilizando software CO2fix e simulação de cenário de projeto REDD. **Holos Environ**. Rio Claro, SP. v. 15, n. 2, p. 108–115. 2015.

SEIDL, R. et al. Forest disturbances under climate change. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 6, p. 395–402, 2017.

SENF, C. et al. Towards a global understanding of tree mortality. v. 245, p. 2377-2392. **New Phytologist**, 2025.

SILVA, M. A. F. et al. Impacto de mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica potencial de *Ilex paraguariensis*. **Rodriguésia**, v. 69, n. 4, p. 2069-2079, 2018.

SROCK, A. F. et al. The Hot-Dry-Windy Index: A New Fire Weather Index. **Atmosphere**, v. 9, n. 7, p. 1-14, 2018.

STURROCK, R. N. et al. Climate change and forest diseases. **Plant Pathology**, v. 60, n. 1, p. 133–149, 2011.

TRINDADE, W. C. F et al.. Climate change shifts the distribution of vegetation types in South Brazilian hotspots. **Regional Environmental Change**, v. 20, n. 3, p. 90, 2020.

VELOSO, H. P.et al.. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

VERAS, M. M.; SALDIVA, P. H. N. Mudanças climáticas e incêndios florestais: implicações sobre a saúde. **Ciência & Cultura,** v. 76, n. 3, jul./set. 2024.

WASSERMAN, Tzedi N.; MUELLER, Stephanie E. Climate influences on future fire severity: a synthesis of climate–fire interactions and impacts on fire regimes, high-severity fire, and forests in the western United States. **Fire Ecology**, v. 19, n. 43, 2023.

WAY, D. A.; OREN, R. Differential responses to changes in growth temperature between trees from different functional groups and biomes: a review and synthesis of data. **Tree Physiology**, v. 30, n. 6, p. 669–688, 2010.

WILLIAMS, A. P. et al. Observed impacts of anthropogenic climate change on wildfire in California. **Earth's Future**, v. 7, n. 8, p. 892–910, 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION; WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Heatwaves and health**: guidance on warning-system development. Geneva: WMO; WHO, 2015.

WREGE, M. S. et al. Distribuição das principais fitofisionomias existentes no estado do Paraná e os novos cenários definidos pelas mudanças climáticas globais. **Ambiência**, v. 13, n.3, p. 600-615, 2017.

WREGE, M. S. et al. Distribuição natural da erva-mate no Brasil no presente e nos cenários climáticos futuros. **Revista Agrometeoros,** v. 28, n.1, p. 173–184, 2020.

LEGISLAÇÃO CITADA

BRASIL. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2000.

BRASIL. Lei n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2006.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n. 2, de 18 de março de 1994. Dispõe sobre a classificação fitossociológica da vegetação no Paraná. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1994.

BRASIL. Lei n. 14.944, de 31 de julho de 2024. Institui a Politica Nacional de Manejo Integrado do Fogo. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 2024.

BRASIL. Decreto nº 12.189, de 20 de setembro de 2024. Altera o Decreto nº 6.514/2008 para dispor sobre infrações administrativas por uso de fogo em vegetação nativa. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 20 set. 2024.

LEIA TAMBÉM

CASTRO-FARIA, ÁLVARO BOSON. **Ensaios para uma Ética Florestal**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2022. 233p .

Sinopse: Esta obra distingue o tema de "Ética Florestal", estando organizada em dez capítulos, os quais configuram a proposta trazida pelo professor Álvaro Boson de Castro Faria, que buscou entendimentos sobre o que seria a "sustentação dos recursos florestais" aplicada à sociedade brasileira. A narrativa começa com o relato da sua experiência de formação continuada na Suécia pela *Swedish University of Agricultural Sciences*. Esse evento permitiu-lhe parcerias internacionais junto à Society of American Foresters (SAF), organização que, historicamente, fundamentou a Ética Florestal americana, e que lhe consentiu a tradução do Código de Ética SAF, a ser verificada aqui, em um dos anexos. Após tecer comentários a respeito dos autores em Ética Florestal e ambiental, é apresentada uma opinião acerca da criação das escolas florestais no país. Os capítulos abordam narrativas que envolvem temas comuns aos engenheiros florestais, como a questão das terminologias conservacionistas, das mudanças climáticas, dos incêndios florestais e das perícias judiciais, mas que podem ser avaliados pelo entendimento do público em geral. Dois dos capítulos aqui presentes foram traduções autorizadas pelo Dr. Lloyd C. Irland, da Universidade de Maine, com suas resenhas mais recentes. Todo esse arcabouço culmina com os pressupostos que deveriam ser considerados no que ficou denominado como a Ética Florestal Cidadã.

Disponível em: Ensaios Para Uma Ética Florestal - Editora Appris

CASTRO-FARIA, ÁLVARO BOSON. **A Ética da Terra de Aldo Leopold.**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2020. 83p .

Sinopse: O ano era 1933. Discussões sobre alternativas ao liberalismo econômico promoviam revoluções ao redor do mundo. Os efeitos da Grande Depressão de 1929 ainda causavam angústias na sociedade americana e mundo afora. Nesse cenário, preocupações acerca de uma crise ambiental gerada pelo capitalismo "selvagem" já chamavam a atenção, e ainda não tinham sido apropriadas indebitamente. Atuando pelo curso de Engenharia Florestal da Universidade de Wisconsin, o professor Aldo Leopold apresentava suas preocupações acerca do que seria necessário para a criação de uma consciência ambiental. Seu trabalho intitulado "The Conservation Ethic" ficou mundialmente conhecido, sendo a base moral de um conceito que ainda atualmente, gera bastante controvérsia nos meios sociais e políticos. Para Aldo Leopold, a Ética da Terra deve integrar o ser humano – consciente de sua responsabilidade em manejar os recursos naturais e por sua livre iniciativa – no centro da episteme ambiental, sendo, assim, um agente propulsor de ações que devem ser promovidas com alterações positivas sobre o meio em que está inserido. Nesse paradigma, é preciso, portanto, acreditar na espécie humana. Trata-se de um desafio para a sociedade brasileira, dividida em descrenças quanto à viabilidade do sistema político e às desigualdades sociais. Reviver a doutrina do engenheiro florestal e naturalista Aldo Leopold no Brasil do século XXI leva-nos à compreensão do sentido estrito do termo "amar a terra", não somente pela necessidade de conscientizar as pessoas a respeito de certos excessos que causam prejuízos à coletividade, mas, também, pela livre abnegação de certos hábitos e costumes na implementação de iniciativas saudáveis e eficientes de administração. Tem-se, assim, a visão integradora entre o conservacionismo ambiental e o conservadorismo cultural.

Disponível em **A Ética da Terra de Aldo Leopold - Editora Appris**

CASTRO-FARIA, ÁLVARO BOSON. **Conservação e Saúde das Araucárias: fundamentos legais e ecossistêmicos**. 1. ed. Curitiba: Juruá, 2018. v. 1. 104p .

Sinopse: A defesa do bem-estar florestal ainda não foi considerada no espectro das metodologias de diagnóstico ambiental e nas políticas públicas de Conservação *in situ* da mata atlântica, bioma especialmente protegido pela legislação. Tendo como objeto de análise a *Araucaria angustifolia*, este livro apresenta a legislação aplicada ao tema, com justificativas que vão de encontro com a possibilidade de se manejar com critérios excepcionais esta espécie ameaçada de extinção. Expõem-se as razões da área de conhecimento em Proteção Florestal, ainda incipiente no Brasil, em se tratando da avaliação da saúde dos ambientes naturais. Ao interpretar como ocorre o crescimento dos pinheiros, é proposto um sistema de classificação que utiliza informações sobre a valoração ecossistêmica, e na sequência são discutidas as formas de avaliação da sanidade das árvores. Levanta-se a hipótese sobre em qual ponto mudanças climáticas globais poderiam estar favorecendo o aumento da mortalidade das maduras. Descreve-se o processo da Síndrome do Declínio, com um protocolo simples de uso objetivo para o diagnóstico ambiental de pinheiros em fase avançada de desenvolvimento. Conceitua-se o termo Manejo Fitossanitário, justificando-o para a gestão ambiental das Reservas Legais. Na narrativa empregada nesta obra, a análise da saúde florestal é vista como a chave para verificar os serviços ecossistêmicos prestados pelos pinheiros e seus detentores à sociedade.

Disponível com o autor e em: Juruá Editora - Conservação e Saúde das Araucárias - Fundamentos Legais e Ecossistêmicos

BIOGRAFIA

O autor é professor nas áreas de Política, Ética, Legislação e Perícias Florestais na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). É tradutor da obra *Ética da Terra de Aldo Leopold*, para a língua portuguesa, com cessão da Oxford University Press. Publicou o livro *Ensaios para uma Ética Florestal* (Editora Appris), voltado aos contornos da engenharia florestal brasileira. É autor de livros e artigos científicos e recebeu o prêmio **Educador Destaque 2023** pelo CREA-PR.

Coordenou o curso de Engenharia Florestal da UTFPR, no qual liderou a reforma da matriz curricular, incluindo a curricularização da extensão. Desenvolve ações para incentivar o cultivo de árvores de interesse econômico na região Sudoeste do Paraná, por meio da silvicultura familiar.

É autor do livro *Florestas em alerta: um olhar sobre os desafios da Emergência Climática no Paraná*, desenvolvido no âmbito de estágio de pós-doutoramento pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná (UFPR), com apoio do projeto NAPI Emergência Climática (Fundação Araucária). Suas atividades de pesquisa técnica e científica são direcionadas à área de Proteção da Saúde Florestal.

Possui graduação em Engenharia Florestal, mestrado e doutorado em Ciências Florestais (Silvicultura: Proteção Florestal) pela UFPR. É também especialista em Gestão e Engenharia Ambiental (IEP-PR) e em Pedagogia para o Ensino Superior (PUC-PR).

SINOPSE

Efeitos do aquecimento global sobre os remanescentes de Mata Atlântica no Paraná já são uma realidade e devem ser observados sob uma perspectiva ecossistêmica. Neste livro, algumas percepções são compartilhadas, com ênfase nas diversas temáticas da área de conhecimento em Saúde Florestal, também conhecida como Proteção Florestal. Esta obra é uma fonte de informações para estudantes e pesquisadores, que desejam testar hipóteses acerca das diversas assertivas apresentadas sobre os efeitos de eventos climáticos extremos nas florestas paranaenses. Que as estratégias de conservação estaduais possam considerá-las, visando à melhoria da qualidade da restauração do meio ambiente.

ISBN: 978-65-01-97637-2



Efeitos do aquecimento global sobre os remanescentes de Mata Atlântica no Paraná já são uma realidade e devem ser observados sob uma perspectiva ecossistêmica. Neste livro, algumas percepções são compartilhadas, com ênfase nas diversas temáticas da área de conhecimento em Saúde Florestal, também conhecida como Proteção Florestal. Esta obra é uma fonte de informações para estudantes e pesquisadores, que desejam testar hipóteses acerca das diversas assertivas apresentadas sobre os efeitos de eventos climáticos extremos nas florestas paranaenses. Que as estratégias de conservação estaduais possam considerá-las, visando à melhoria da qualidade da restauração do meio ambiente.

ISBN: 978-65-01-97637-2
CBL
9 786501 976372

DESENVOLVIMENTO:

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Campus de Dois Vizinhos

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

APOIO:

ARAUCÁRIA
AGÊNCIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DO PARANÁ

NAPI
NOVOS ARRANJOS DE PESQUISA E INOVAÇÃO EMERGÊNCIA CLIMÁTICA

PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO

CASTRO FARIA, A. B.
FLORESTAS EM ALERTA: UM OLHAR SOBRE OS DESAFIOS DA EMERGÊNCIA CLIMÁTICA NO PARANÁ
2026