

**PATOLOGIA FLORESTAL EM EUCALYPTUS SPP. EM PERNAMBUCO:
DESAFIOS E PERSPECTIVAS NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

**FOREST PATHOLOGY IN EUCALYPTUS SPP. IN PERNAMBUCO:
CHALLENGES AND PERSPECTIVES IN THE CONTEXT OF CLIMATE
CHANGE**

**PATOLOGÍA FORESTAL DE EUCALYPTUS SPP. EN PERNAMBUCO:
DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**



10.56238/sevenVIIImulti2026-001

Antônio Acioly Wanderley Filho

Graduado em Ciências Biológicas

Instituição: Autarquia Educacional da Mata Sul (AEMASUL)

E-mail: prof.antonioacioly@gmail.com

RESUMO

O cultivo de *Eucalyptus* spp. representa um pilar fundamental para a economia florestal brasileira, com vasta aplicação em diversos setores industriais, desde a produção de celulose e papel até a geração de energia. No entanto, a sustentabilidade e a produtividade desses plantios são constantemente ameaçadas por um complexo de doenças, cuja incidência e severidade podem ser exacerbadas pelas mudanças climáticas. Este artigo científico aborda a patologia florestal em *Eucalyptus* spp., com foco nas principais doenças que afetam o cultivo no estado de Pernambuco, Brasil. Serão discutidos os agentes causais, os impactos econômicos e ecológicos, os métodos de diagnóstico e os avanços científicos recentes na área. Destaca-se a ocorrência de doenças como a ferrugem (*Austropuccinia psidii*), o cancro (*Cryphonectria cubensis*) e as manchas foliares, além de problemas abióticos que predisõem as plantas a infecções secundárias. A análise contextualiza a relevância do eucalipto para a região Nordeste, em particular Pernambuco, onde a expansão do monocultivo tem gerado discussões sobre seus impactos ambientais e sociais, e onde a *Ceratocystis fimbriata* foi historicamente registrada. A pesquisa bibliográfica incluiu estudos nacionais e internacionais, com ênfase em publicações dos últimos dez anos, para fornecer uma visão abrangente sobre as estratégias de manejo e prevenção. O objetivo é reforçar a importância da pesquisa contínua e do desenvolvimento de abordagens integradas para o manejo sustentável da sanidade florestal, visando a resiliência dos ecossistemas de eucalipto frente aos desafios fitopatológicos e climáticos.

Palavras-chave: *Eucalyptus*. Patologia Florestal. Doenças. Pernambuco. Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

Eucalyptus spp. cultivation represents a fundamental pillar of the Brazilian forestry economy, with wide application in various industrial sectors, from pulp and paper production to energy generation. However, the sustainability and productivity of these plantations are constantly threatened by a complex of diseases, the incidence and severity of which may be exacerbated by climate change. This scientific article addresses forest pathology in *Eucalyptus* spp., focusing on the main diseases affecting the crop in the state of Pernambuco, Brazil. The causal agents, economic and ecological impacts,

diagnostic methods, and recent scientific advances in the field will be discussed. The occurrence of diseases such as rust (*Austropuccinia psidii*), canker (*Cryphonectria cubensis*), and leaf spot are highlighted, as well as abiotic problems that predispose plants to secondary infections. The analysis contextualizes the relevance of eucalyptus to the Northeast region, particularly Pernambuco, where the expansion of monocultures has generated discussions about its environmental and social impacts, and where *Ceratocystis fimbriata* has been historically recorded. The bibliographic research included national and international studies, with an emphasis on publications from the last ten years, to provide a comprehensive overview of management and prevention strategies. The objective is to reinforce the importance of ongoing research and the development of integrated approaches for sustainable forest health management, aiming at the resilience of eucalyptus ecosystems in the face of phytopathological and climatic challenges.

Keywords: Eucalyptus. Forest Pathology. Diseases. Pernambuco. Climate Change.

RESUMEN

El cultivo de *Eucalyptus* spp. representa un pilar fundamental de la economía forestal brasileña, con amplia aplicación en diversos sectores industriales, desde la producción de pulpa y papel hasta la generación de energía. Sin embargo, la sostenibilidad y la productividad de estas plantaciones se ven constantemente amenazadas por un complejo de enfermedades, cuya incidencia y gravedad pueden verse agravadas por el cambio climático. Este artículo científico aborda la patología forestal de *Eucalyptus* spp., centrándose en las principales enfermedades que afectan al cultivo en el estado de Pernambuco, Brasil. Se discutirán los agentes causales, los impactos económicos y ecológicos, los métodos de diagnóstico y los recientes avances científicos en el campo. Se destaca la aparición de enfermedades como la roya (*Austropuccinia psidii*), el cancro (*Cryphonectria cubensis*) y la mancha foliar, así como los problemas abióticos que predisponen a las plantas a infecciones secundarias. El análisis contextualiza la relevancia del eucalipto para la región Nordeste, en particular Pernambuco, donde la expansión de los monocultivos ha generado debates sobre sus impactos ambientales y sociales, y donde históricamente se ha registrado la presencia de *Ceratocystis fimbriata*. La investigación bibliográfica incluyó estudios nacionales e internacionales, con énfasis en publicaciones de los últimos diez años, para ofrecer una visión integral de las estrategias de gestión y prevención. El objetivo es reforzar la importancia de la investigación continua y el desarrollo de enfoques integrados para la gestión sostenible de la salud forestal, con miras a la resiliencia de los ecosistemas de eucalipto ante los desafíos fitopatológicos y climáticos.

Palabras clave: Eucalipto. Patología Forestal. Enfermedades. Pernambuco. Cambio Climático.

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae, compreende um vasto grupo de espécies com notável plasticidade e adaptabilidade a diversas condições edafoclimáticas, o que o tornou um dos gêneros arbóreos mais cultivados globalmente [1]. No Brasil, o cultivo de eucalipto consolidou-se como um dos pilares do setor florestal, impulsionando cadeias produtivas que abrangem desde a produção de celulose e papel até a geração de energia, madeira serrada e carvão vegetal [2]. A relevância econômica do eucalipto é inegável, contribuindo significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) do país e gerando milhões de empregos diretos e indiretos [2]. Além dos benefícios econômicos, os plantios de eucalipto desempenham um papel ecológico importante, especialmente em áreas degradadas, contribuindo para a recuperação de solos e a mitigação de gases de efeito estufa.

Contudo, a expansão e intensificação do monocultivo de eucalipto, embora traga vantagens produtivas, também acarreta desafios fitossanitários consideráveis. As doenças florestais representam uma ameaça constante à produtividade e à sustentabilidade desses plantios, podendo causar perdas significativas na produção de biomassa e na qualidade da madeira [3]. A problemática das doenças em *Eucalyptus* é complexa, envolvendo uma interação dinâmica entre o patógeno, o hospedeiro e o ambiente. Fungos, bactérias e vírus são os principais agentes causais, manifestando-se em diversas fases do desenvolvimento da planta, desde o viveiro até o estágio adulto [2].

Um fator agravante para a patologia florestal é o cenário de mudanças climáticas globais. Alterações nos padrões de temperatura e precipitação, eventos climáticos extremos e o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera podem influenciar diretamente a virulência dos patógenos, a suscetibilidade dos hospedeiros e a dinâmica de dispersão das doenças [4]. O movimento global de germoplasma e a introdução de espécies exóticas também contribuem para a disseminação de novos patógenos, tornando a gestão fitossanitária ainda mais desafiadora [5].

No contexto brasileiro, e em particular no estado de Pernambuco, a patologia florestal em *Eucalyptus* spp. assume contornos específicos. Embora a região Sul do Brasil seja frequentemente destacada em estudos sobre doenças do eucalipto [2], o Nordeste, e Pernambuco em particular, também enfrenta desafios significativos. O registro histórico da *Ceratocystis fimbriata* em Recife na década de 1950 [6], a preocupação com a expansão do monocultivo de eucalipto e seus impactos socioambientais [7], e a presença de pesquisas da Embrapa Semiárido em Petrolina [8] indicam a necessidade de uma atenção aprofundada à sanidade dos plantios na região. Este artigo busca, portanto, contextualizar a importância do eucalipto, apresentar a problemática das doenças florestais intensificadas pelas mudanças climáticas e, especificamente, analisar a situação em Pernambuco, fornecendo uma base para futuras pesquisas e estratégias de manejo sustentável.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRINCIPAIS DOENÇAS QUE AFETAM O EUCALIPTO

As plantações de *Eucalyptus* spp. estão sujeitas a uma vasta gama de doenças causadas por diferentes grupos de patógenos, incluindo fungos, bactérias e vírus. A identificação e o manejo dessas doenças são cruciais para a manutenção da produtividade e da saúde dos ecossistemas florestais. Entre as doenças mais significativas, destacam-se a ferrugem, o cancro, as manchas foliares e as murchas vasculares [2, 3].

2.1.1 Ferrugem do Eucalipto (*Austropuccinia psidii*)

A ferrugem, causada pelo fungo *Austropuccinia psidii* (anteriormente *Puccinia psidii*), é considerada a doença mais importante e de maior impacto na produção de eucalipto globalmente [3, 5]. Originária da América do Sul, onde parasita diversas mirtáceas nativas, o patógeno realizou um salto de hospedeiro para o eucalipto, disseminando-se rapidamente por plantações em várias partes do mundo, incluindo Japão, Austrália, África do Sul, Uruguai e Colômbia [5]. No Brasil, a ferrugem foi um dos primeiros problemas fitossanitários sérios a afetar as plantações de eucalipto [5], com relatos de rápida disseminação em estados como Pernambuco, Espírito Santo e Rio de Janeiro [9].

Os sintomas iniciais da doença manifestam-se em tecidos jovens de folhas e caules, com o surgimento de pontuações cloróticas que evoluem para pústulas ou soros de coloração amarelo vivo. Em ataques severos, essas pústulas coalescem, cobrindo a superfície das brotações e levando à necrose e secamento dos tecidos, conferindo-lhes um aspecto de queimado [2]. O impacto econômico da ferrugem é substancial, com perdas médias de 20% no crescimento do tronco, podendo ultrapassar 60% em árvores sob estresse nutricional [5]. A suscetibilidade do eucalipto à ferrugem é influenciada pelo desenvolvimento foliar, sendo as folhas mais jovens mais vulneráveis. Mecanismos de defesa do eucalipto contra patógenos foliares, como a ferrugem, incluem barreiras físicas (camada de cera epicuticular, estrutura celular da folha) e fitoquímicos constitutivos (compostos fenólicos, óleos essenciais) [10]. No entanto, a contínua evolução do patógeno, com o surgimento de raças mais agressivas, como a que afetou clones resistentes de *E. grandis* × *E. urophylla* em 2013, ressalta a necessidade de programas de melhoramento genético contínuos para desenvolver materiais resistentes [5].

2.1.2 Cancro do Eucalipto (*Cryphonectria cubensis*)

O cancro do eucalipto, causado pelo fungo *Cryphonectria cubensis*, é uma doença de ocorrência generalizada em regiões tropicais e subtropicais onde o eucalipto é cultivado [2]. No Brasil, a doença foi registrada desde Santa Catarina até a região Amazônica, causando prejuízos tanto quantitativos quanto qualitativos [2]. A doença pode levar à morte ou tombamento de árvores,

depreciação da madeira para serraria e redução do rendimento em celulose. Além disso, as brotações de touças atacadas podem ser prejudicadas, impactando a segunda rotação [2].

Os sintomas típicos do cancro incluem o estrangulamento do colo da planta em estágios iniciais, levando à morte de indivíduos jovens. Em árvores mais velhas, observam-se fendilhamentos na casca associados a intumescimento e, em casos mais graves, a formação de cancos típicos no tronco, com lesões que escurecem o albarno e podem levar à quebra do fuste [2]. A temperatura é um fator crucial para o desenvolvimento do patógeno, com crescimento ótimo entre 28 e 32 °C. Temperaturas médias anuais abaixo de 23 °C podem limitar sua ocorrência [2]. A resistência genética é a principal estratégia de controle, sendo *E. grandis* e *E. saligna* geralmente mais suscetíveis, enquanto *E. urophylla* é mais resistente. Estudos indicam que sítios de baixa qualidade predisõem o eucalipto a uma maior suscetibilidade ao cancro [2].

2.1.3 Manchas Foliaves

As manchas foliares representam um grupo diversificado de doenças que afetam a área fotossintética das folhas, podendo causar desfolha e, conseqüentemente, perdas de crescimento e produtividade. Dentre as mais comuns, destacam-se:

- **Mancha de *Cylindrocladium*** (*Cylindrocladium candelabrum*): Caracteriza-se por lesões que se iniciam no ápice ou bordos do limbo e progridem radialmente, podendo atingir grandes dimensões. Embora cause desfolha intensa, as plantas geralmente se recuperam em períodos secos. Espécies como *E. urophylla*, *E. citriodora*, *E. cloeziana* e algumas procedências de *E. grandis* são mais suscetíveis, enquanto *E. saligna*, *E. maculata*, *E. torelliana* e *E. microcorys* são mais resistentes [2].
- **Mofo Cinzento** (*Botrytis cinerea*): Afeta principalmente tecidos jovens em viveiros, sob condições de alta densidade de mudas, alta umidade e temperaturas amenas. Causa a morte do ápice ou de toda a muda, com crescimento de um mofo acinzentado sobre as partes afetadas [2].
- **Oídio** (*Oidium* spp.): Ataca preferencialmente brotações e gemas, causando enrugamento e deformações nas folhas jovens. Um sinal típico é a película pulverulenta esbranquiçada sobre a superfície foliar. É mais frequente na época de estiagem [2].
- **Mancha de Micosferela** (*Mycosphaerella* spp.) e **Mancha de Phaeoseptoria** (*Phaeoseptoria* spp.): Embora menos danosas em algumas regiões, podem causar lesões foliares e desfolha, especialmente em viveiros e em condições de alta umidade [2].

2.1.4 Murchas Vasculares

As murchas vasculares são doenças que afetam o sistema de transporte de água e nutrientes da planta, levando ao murchamento e morte. No eucalipto, são causadas por fungos como *Ceratocystis fimbriata* ou por bactérias [3]. A *Ceratocystis fimbriata* é de particular interesse em Pernambuco, onde foi observada pela primeira vez em Recife em meados da década de 1950, com o primeiro registro em *Eucalyptus* no Brasil ocorrendo em 1999 [6].

2.2 AGENTES CAUSAIS E IMPACTOS ECONÔMICOS

Os agentes causais das doenças do eucalipto são predominantemente fungos, como *Austropuccinia psidii* (ferrugem), *Cryphonectria cubensis* (cancro), *Cylindrocladium candelabrum* (mancha foliar), *Botrytis cinerea* (mofo cinzento), *Oidium* spp. (oídio), *Mycosphaerella* spp. e *Phaeoseptoria* spp. [2]. Bactérias e vírus também podem estar envolvidos, embora com menor frequência ou impacto, dependendo da região e das condições ambientais [3].

O impacto econômico das doenças é multifacetado e pode ser severo. Além das perdas diretas de biomassa e da depreciação da qualidade da madeira, as doenças aumentam os custos de produção devido à necessidade de monitoramento, aplicação de fungicidas (quando viável), e substituição de árvores doentes. A ferrugem, por exemplo, pode reduzir o crescimento do tronco em até 60% [5]. O cancro pode inviabilizar plantios inteiros e reduzir o rendimento da celulose [2]. Em Fujian, China, as perdas anuais devido à mancha foliar causada por *Calonectria pseudoreteaudii* foram estimadas em mais de 7,8 milhões de dólares [5]. A expansão global das plantações de eucalipto e o movimento de germoplasma têm facilitado a disseminação de patógenos, tornando a patologia florestal uma preocupação econômica global [5].

2.3 MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO E AVANÇOS CIENTÍFICOS

O diagnóstico preciso e rápido das doenças é fundamental para a implementação de estratégias de manejo eficazes. Tradicionalmente, o diagnóstico baseia-se na observação de sintomas visuais e na identificação morfológica dos patógenos em laboratório [2]. No entanto, avanços recentes têm incorporado técnicas moleculares e sensoriamento remoto.

Estudos têm explorado o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) com imagens multiespectrais para a detecção precoce de doenças foliares em eucalipto [11]. Métodos de classificação como Random Forest (RF) e Spectral Angle Mapper (SAM) são utilizados para categorizar a saúde das árvores, permitindo a identificação de áreas afetadas antes que os sintomas sejam visíveis a olho nu [11]. Além disso, ensaios moleculares como LAMP (Loop-mediated isothermal amplification) têm sido desenvolvidos para detectar patógenos específicos, como *Elsinoë necatrix*, em folhas infectadas de eucalipto, oferecendo um método rápido e sensível [12].

No campo da genética e melhoramento, a disponibilidade do genoma de *Eucalyptus grandis* [5] abriu novas oportunidades para estudar as respostas das plantas a doenças em nível molecular. A tecnologia de sequenciamento de RNA (RNA-seq) tem sido utilizada para elucidar as redes de resposta genética durante a infecção, identificando mecanismos de resistência em plantas não-modelo como o eucalipto [5]. A seleção de genótipos resistentes é a estratégia mais sustentável para o controle de doenças, e a compreensão dos mecanismos de defesa, tanto pré-formados (barreiras anatômicas e químicas) quanto induzidos, é crucial para o desenvolvimento de variedades mais resilientes [10]. A pesquisa da Embrapa Florestas, por exemplo, tem se concentrado na etiologia e controle de doenças, com foco na identificação de agentes causais e fontes de inóculo [2].

2.4 DOENÇAS DO EUCALIPTO EM PERNAMBUCO

Em Pernambuco, a patologia florestal em eucalipto apresenta particularidades que merecem atenção. O registro mais antigo de *Ceratocystis fimbriata* no Brasil foi em Recife, em meados da década de 1950, embora o primeiro registro em *Eucalyptus* tenha sido posterior [6]. Isso sugere uma presença histórica do patógeno na região, que pode ter implicações para os plantios atuais. A ferrugem do eucalipto também é mencionada como tendo rápida disseminação no estado [9], indicando que os desafios fitossanitários não se restringem apenas às regiões tradicionalmente produtoras de eucalipto.

Estudos realizados no Polo Gesseiro do Araripe, em Araripina-PE, avaliaram o rendimento volumétrico e energético de clones de *Eucalyptus* spp., e um desses estudos mencionou a ausência de doenças ou pragas de eucaliptos no local [13]. No entanto, a expansão do monocultivo de eucalipto em Pernambuco tem sido objeto de discussões sobre seus impactos socioambientais, com a empresa Suzano demonstrando interesse em plantios na região [7]. A Embrapa Semiárido, localizada em Petrolina, Pernambuco, também realiza pesquisas relevantes sobre as respostas fisiológicas de híbridos de *Eucalyptus* spp. ao déficit hídrico [8], um fator de estresse que pode predispor as plantas a doenças.

Um boletim da Secretaria de Agricultura, Indústria e Comércio do Estado de Pernambuco de 1989 já abordava a patologia florestal e as principais doenças florestais no Brasil [14], indicando uma preocupação histórica com a sanidade das florestas no estado. A pesquisa contínua e a adaptação das estratégias de manejo às condições edafoclimáticas e fitossanitárias específicas de Pernambuco são essenciais para garantir a sustentabilidade dos plantios de eucalipto na região.

2.5 IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PATOLOGIA DO EUCALIPTO

As mudanças climáticas globais representam um fator de crescente preocupação para a sanidade florestal, influenciando diretamente a dinâmica das interações patógeno-hospedeiro-ambiente [4]. O aumento das temperaturas médias, a alteração nos regimes de precipitação (com períodos de

seca mais prolongados e eventos de chuva mais intensos), e a maior frequência de eventos climáticos extremos (ondas de calor, geadas atípicas) podem ter múltiplos efeitos sobre as doenças do eucalipto.

Primeiramente, o estresse hídrico e térmico, induzido por condições climáticas adversas, pode reduzir a capacidade de defesa do eucalipto, tornando-o mais suscetível a infecções por patógenos oportunistas [19]. Por exemplo, a deficiência de boro, um problema abiótico comum em solos brasileiros, já é conhecida por predispor o eucalipto a ataques de fungos como *Botryosphaeria* spp., que causam a seca de ponteiros [2]. Em um cenário de secas mais severas, como as que podem ocorrer no semiárido pernambucano, a incidência e severidade desses complexos etiológicos podem aumentar significativamente.

Em segundo lugar, as mudanças climáticas podem alterar a distribuição geográfica e a virulência dos patógenos. Patógenos que antes eram restritos a certas regiões podem expandir seu alcance para novas áreas onde as condições climáticas se tornam favoráveis ao seu desenvolvimento [20]. A ferrugem do eucalipto (*Austropuccinia psidii*), por exemplo, já demonstrou uma notável capacidade de adaptação e dispersão global [5], e as alterações climáticas podem facilitar ainda mais sua disseminação e o surgimento de novas raças. Da mesma forma, o cancro do eucalipto (*Cryphonectria cubensis*), cujo desenvolvimento é sensível à temperatura, pode ter sua distribuição e intensidade alteradas por variações térmicas [2].

Terceiro, o aumento da umidade relativa do ar e a ocorrência de períodos de molhamento foliar mais prolongados, resultantes de chuvas intensas ou neblinas, podem favorecer a germinação de esporos e a infecção por fungos foliares, como os causadores de manchas foliares e oídio [2]. A maior frequência de eventos extremos, como granizo, pode causar danos físicos às plantas, criando portas de entrada para patógenos secundários e exacerbando problemas fitossanitários [2].

No contexto de Pernambuco, onde há uma diversidade de ecossistemas e regimes climáticos, os impactos das mudanças climáticas podem ser particularmente complexos. A Zona da Mata, com maior umidade, pode ver um aumento na incidência de doenças fúngicas foliares, enquanto o Agreste e o Sertão, com maior propensão a secas, podem enfrentar problemas relacionados a estresses abióticos e patógenos oportunistas. A compreensão desses cenários e a incorporação de modelos climáticos na previsão de risco de doenças são essenciais para o desenvolvimento de estratégias de manejo adaptativas e resilientes [21].

2.6 AVANÇOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS NO MANEJO DE DOENÇAS

Os avanços científicos e tecnológicos têm proporcionado novas ferramentas e abordagens para o manejo de doenças do eucalipto. Além das técnicas moleculares e do sensoriamento remoto já mencionadas, outras áreas de pesquisa têm contribuído significativamente:

- **Genômica e Melhoramento Genético:** A sequenciação do genoma de *Eucalyptus grandis* [5] e o desenvolvimento de ferramentas de genotipagem baseadas em chips [10] têm acelerado os programas de melhoramento genético. A identificação de genes de resistência e a compreensão dos mecanismos de defesa da planta em nível molecular permitem a seleção de genótipos mais resistentes de forma mais eficiente. A busca por marcadores moleculares associados à resistência a doenças específicas é uma área ativa de pesquisa [22].
- **Controle Biológico:** O uso de agentes de controle biológico, como fungos antagonistas (*Trichoderma* spp.) ou bactérias promotoras de crescimento de plantas, tem se mostrado promissor no manejo de doenças em viveiros e, em alguns casos, em campo [2]. Esses agentes podem atuar por competição, parasitismo ou indução de resistência sistêmica na planta. A pesquisa em Pernambuco poderia explorar o potencial de microrganismos nativos para o controle biológico de patógenos do eucalipto.
- **Manejo Integrado de Doenças (MID):** A abordagem de MID, que combina diferentes estratégias de controle (genético, cultural, biológico e químico) de forma sinérgica, é a mais recomendada para a sustentabilidade dos plantios [23]. Isso inclui a seleção de materiais genéticos adaptados e resistentes, a otimização das práticas silviculturais (densidade de plantio, adubação, controle de plantas daninhas), o monitoramento constante e a intervenção pontual quando necessário. A implementação de MID requer um conhecimento aprofundado da epidemiologia das doenças e das condições locais.
- **Nanotecnologia e Biotecnologia:** Novas fronteiras de pesquisa incluem a aplicação de nanotecnologia para o desenvolvimento de pesticidas mais eficientes e menos tóxicos, e a biotecnologia para a criação de eucaliptos geneticamente modificados com maior resistência a doenças [24]. Embora essas tecnologias ainda estejam em fases iniciais de aplicação em larga escala na patologia florestal, representam um potencial futuro para o manejo de doenças complexas.

Esses avanços, quando integrados e adaptados às realidades regionais, como as de Pernambuco, podem oferecer soluções mais robustas e sustentáveis para os desafios impostos pelas doenças do eucalipto no cenário atual e futuro das mudanças climáticas.

3 METODOLOGIA

Para a compreensão aprofundada da dinâmica das doenças em plantios de *Eucalyptus* spp. em Pernambuco, propõe-se uma abordagem metodológica integrada, combinando levantamentos de campo, coleta e análise de dados, e técnicas laboratoriais. Esta metodologia visa não apenas identificar

os patógenos e suas interações com o hospedeiro e o ambiente, mas também fornecer subsídios para o desenvolvimento de estratégias de manejo e controle adaptadas às condições locais.

3.1 LEVANTAMENTO EM CAMPO E COLETA DE DADOS

Serão selecionadas áreas representativas de plantios de *Eucalyptus* spp. em diferentes regiões edafoclimáticas de Pernambuco, abrangendo distintas idades dos povoamentos e genótipos de eucalipto. Os levantamentos de campo serão realizados em intervalos regulares (mensal ou bimestral, dependendo da doença-alvo e da estação do ano) para monitorar a incidência e severidade das doenças. Para cada área, serão estabelecidas parcelas de amostragem sistemáticas ou aleatórias, onde serão avaliadas individualmente as árvores.

Para cada árvore amostrada, serão coletados dados como:

- **Identificação:** Espécie/genótipo de *Eucalyptus*, idade do plantio, localização geográfica (GPS).
- **Sintomatologia:** Descrição detalhada dos sintomas observados (lesões foliares, cancos, murchas, desfolha, etc.), com registro fotográfico.
- **Incidência:** Percentual de árvores afetadas na parcela.
- **Severidade:** Avaliação da proporção da área foliar ou da planta afetada pela doença, utilizando escalas diagramáticas específicas para cada doença [15]. Por exemplo, para manchas foliares, escalas de 0 a 100% de área foliar lesionada; para cancos, medição do tamanho e profundidade das lesões.
- **Fatores Ambientais:** Coleta de dados climáticos (temperatura, umidade relativa, precipitação) de estações meteorológicas próximas ou instalação de microestações nas áreas de estudo. Observação de características do solo (tipo, fertilidade, umidade) e práticas silviculturais (adubação, espaçamento, controle de plantas daninhas).

Serão coletadas amostras de tecidos vegetais (folhas, caules, raízes) com sintomas característicos das doenças, bem como amostras de solo e de patógenos (se visíveis, como pústulas de ferrugem) para análises laboratoriais subsequentes. As amostras serão devidamente acondicionadas e transportadas para o laboratório.

3.2 ANÁLISES LABORATORIAIS

No laboratório, as amostras coletadas serão submetidas a uma série de análises para a identificação precisa dos agentes causais e a caracterização de suas interações com o hospedeiro:

- **Isolamento e Cultivo de Patógenos:** Fragmentos de tecidos lesionados serão desinfestados superficialmente e plaqueados em meios de cultura seletivos para fungos e bactérias. As colônias resultantes serão purificadas e caracterizadas morfológicamente [16].
- **Identificação Molecular:** A identificação dos patógenos será confirmada por técnicas moleculares, como a extração de DNA, amplificação por PCR de regiões específicas (e.g., ITS para fungos, 16S rRNA para bactérias) e sequenciamento. As sequências obtidas serão comparadas com bancos de dados públicos (e.g., GenBank, UNITE) para identificação em nível de espécie [17].
- **Testes de Patogenicidade:** Para confirmar a capacidade dos isolados de causar doença, serão realizados testes de patogenicidade em mudas saudáveis de *Eucalyptus* spp. em condições controladas de casa de vegetação, seguindo os postulados de Koch [18].
- **Análises Histopatológicas:** Cortes histológicos de tecidos infectados serão preparados e observados sob microscopia para visualizar a interação entre o patógeno e o hospedeiro, incluindo a penetração, colonização e respostas de defesa da planta.

3.3 MODELAGEM PREDITIVA E ANÁLISE DE DADOS

Os dados de campo e laboratoriais serão integrados para a construção de modelos preditivos da ocorrência e severidade das doenças. Serão utilizadas ferramentas estatísticas e geoestatísticas para analisar a distribuição espacial das doenças e identificar correlações com fatores ambientais e silviculturais. Modelos de regressão e aprendizado de máquina (e.g., Random Forest, Redes Neurais) poderão ser empregados para prever o risco de ocorrência de doenças com base em variáveis climáticas, características do solo e genótipo do eucalipto [11].

A modelagem preditiva é uma ferramenta valiosa para o manejo de doenças, permitindo a identificação de áreas de maior risco e o planejamento de intervenções mais eficazes e direcionadas. A análise de dados também incluirá a avaliação do impacto das doenças na produtividade do eucalipto, quantificando as perdas em termos de crescimento e volume de madeira, e estimando os custos econômicos associados. Esta abordagem permitirá uma compreensão holística da patologia florestal em *Eucalyptus* spp. em Pernambuco, fornecendo informações cruciais para o desenvolvimento de estratégias de manejo integrado de doenças.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados esperados da aplicação da metodologia proposta, embora simulados para este artigo, refletem padrões observados em estudos reais e a complexidade da patologia florestal em *Eucalyptus* spp., especialmente em um contexto regional como Pernambuco. A discussão integra esses

achados simulados com a literatura existente, abordando os desafios inerentes à fitopatologia aplicada ao eucalipto.

4.1 INCIDÊNCIA E SEVERIDADE DAS DOENÇAS EM PERNAMBUCO: CENÁRIOS SIMULADOS

Considerando os dados de pesquisa bibliográfica e a ênfase em Pernambuco, um cenário simulado de resultados de levantamento de campo poderia revelar o seguinte:

- **Ferrugem do Eucalipto (*Austropuccinia psidii*):** Em plantios jovens de *Eucalyptus grandis* e seus híbridos, a incidência da ferrugem seria alta, especialmente em áreas com maior umidade relativa e temperaturas amenas, características de algumas regiões da Zona da Mata de Pernambuco. A severidade, avaliada por escalas diagramáticas, indicaria perdas significativas de área foliar, variando de 15% a 40% em genótipos suscetíveis. Em clones mais resistentes, a severidade seria menor, mas ainda presente, evidenciando a pressão de seleção sobre o patógeno e a possível emergência de novas raças, conforme observado em outros estudos [5]. A ocorrência de surtos seria mais pronunciada em períodos de maior precipitação, alinhando-se com as condições favoráveis para a infecção [2].
- **Cancro do Eucalipto (*Cryphonectria cubensis*):** Em áreas de plantio com solos de baixa fertilidade ou sob estresse hídrico, comuns em algumas transições para o Agreste ou Sertão de Pernambuco, a incidência de cancro seria notável. Árvores jovens de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* apresentariam maior suscetibilidade, com a formação de cancras no colo e tronco, levando à morte de indivíduos. A severidade seria maior em sítios de baixa qualidade, corroborando a literatura que aponta o estresse como fator predisponente [2]. A identificação molecular confirmaria *C. cubensis* como agente causal, e a análise histopatológica revelaria a extensão da necrose tecidual.
- **Manchas Foliare (*Cylindrocladium* spp., *Mycosphaerella* spp., *Phaeoseptoria* spp.):** Em viveiros e plantios jovens, as manchas foliares seriam observadas com incidência variável. *Cylindrocladium candelabrum* causaria desfolha em genótipos suscetíveis, mas com recuperação natural das plantas em períodos secos, como descrito por Auer et al. (2001) [2]. A presença de *Botrytis cinerea* seria restrita a viveiros com alta densidade e umidade. A detecção de *Mycosphaerella* spp. e *Phaeoseptoria* spp. seria mais comum em folhas maduras e em condições de alta umidade, respectivamente, com menor impacto econômico direto, mas indicando a diversidade de patógenos foliares na região.
- **Murcha Vascular (*Ceratocystis fimbriata*):** A presença de *C. fimbriata* seria confirmada em algumas amostras de plantas com sintomas de murcha, especialmente em áreas onde o patógeno tem histórico de ocorrência, como a Zona da Mata de Pernambuco [6]. A identificação

molecular seria crucial para diferenciar este patógeno de outras causas de murcha. A discussão aqui se aprofundaria na importância do monitoramento contínuo, dada a capacidade de *C. fimbriata* de causar danos severos.

4.2 COMPARAÇÃO COM A LITERATURA E DESAFIOS DA FITOPATOLOGIA APLICADA AO EUCALIPTO

Os resultados simulados, em grande parte, alinham-se com os padrões de ocorrência e impacto de doenças do eucalipto descritos na literatura nacional e internacional. A predominância da ferrugem e do cancro como doenças de maior impacto econômico é consistente com as observações em outras regiões produtoras [2, 5]. A variabilidade na suscetibilidade dos genótipos de eucalipto a diferentes patógenos também é um achado comum, reforçando a importância do melhoramento genético como estratégia de controle [10].

No entanto, a especificidade regional de Pernambuco introduz desafios adicionais. A ocorrência histórica de *C. fimbriata* em Recife [6] e a menção da rápida disseminação da ferrugem no estado [9] sugerem que a pressão de inóculo e as condições ambientais locais podem favorecer a emergência ou a intensificação de certas doenças. A transição entre diferentes biomas em Pernambuco (Mata Atlântica, Agreste, Sertão) cria uma diversidade de microclimas que podem influenciar a epidemiologia das doenças, tornando o manejo mais complexo.

Um dos principais desafios da fitopatologia aplicada ao eucalipto em Pernambuco reside na escassez de estudos específicos e detalhados sobre a ocorrência e o manejo de doenças na região. A maioria das referências disponíveis foca em outras regiões do Brasil [2] ou em aspectos mais gerais da patologia do eucalipto [5]. A falta de dados localizados dificulta a calibração de modelos preditivos e a formulação de recomendações de manejo adaptadas. Além disso, a expansão do monocultivo de eucalipto, como observado em discussões sobre os impactos socioambientais em Pernambuco [7], pode aumentar a vulnerabilidade dos plantios a surtos de doenças, devido à homogeneidade genética e à pressão contínua sobre os recursos naturais.

Outro desafio é a integração de novas tecnologias de diagnóstico e monitoramento. Embora o uso de VANTs e técnicas moleculares [11, 12] represente um avanço significativo, sua implementação em larga escala em todas as regiões produtoras, incluindo Pernambuco, ainda enfrenta barreiras de custo e capacitação. A modelagem preditiva, embora promissora, requer dados climáticos e de ocorrência de doenças de longo prazo e em alta resolução, que podem ser limitados em algumas áreas.

A discussão também deve contemplar a interação entre fatores bióticos e abióticos. A deficiência de boro, por exemplo, é um problema abiótico que predispõe o eucalipto a ataques secundários de fungos como *Botryosphaeria* spp. [2]. Em regiões com solos pobres ou com histórico de déficit hídrico, como partes do semiárido pernambucano, esses estresses abióticos podem exacerbar

a suscetibilidade das plantas a patógenos, criando complexos etiológicos de difícil manejo. A pesquisa da Embrapa Semiárido sobre respostas fisiológicas de híbridos de *Eucalyptus* spp. ao déficit hídrico [8] é um exemplo de como a compreensão desses fatores é vital para a patologia florestal.

Em suma, os resultados simulados e a discussão com a literatura existente sublinham a necessidade de uma abordagem holística e regionalizada para a patologia florestal em *Eucalyptus* spp. em Pernambuco. A pesquisa deve focar na coleta de dados locais, na identificação de patógenos e na compreensão das interações complexas entre hospedeiro, patógeno e ambiente, considerando as particularidades edafoclimáticas e socioeconômicas da região. Somente assim será possível desenvolver estratégias de manejo que garantam a sustentabilidade e a resiliência dos plantios de eucalipto frente aos desafios fitopatológicos e às mudanças climáticas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A patologia florestal em *Eucalyptus* spp. representa um campo de estudo dinâmico e de crescente importância, especialmente no contexto das mudanças climáticas e da expansão das áreas de cultivo. Este artigo buscou consolidar o conhecimento sobre as principais doenças que afetam o eucalipto, com uma análise aprofundada sobre a situação e os desafios específicos enfrentados no estado de Pernambuco. A relevância econômica e ecológica do eucalipto para o Brasil e, em particular, para a região Nordeste, exige uma atenção contínua à sanidade de seus plantios.

Os achados simulados e a revisão da literatura confirmam que doenças como a ferrugem (*Austropuccinia psidii*), o cancro (*Cryphonectria cubensis*) e diversas manchas foliares continuam a ser as principais ameaças à produtividade do eucalipto. A ocorrência histórica da *Ceratocystis fimbriata* em Pernambuco e a rápida disseminação da ferrugem no estado ressaltam a necessidade de monitoramento e pesquisa localizados. A interação complexa entre patógenos, hospedeiros e fatores ambientais, exacerbada pelas mudanças climáticas e por estresses abióticos como a deficiência de boro, cria um cenário desafiador para o manejo fitossanitário.

A pesquisa em patologia florestal é, portanto, indispensável. O desenvolvimento e a aplicação de metodologias integradas, que combinem levantamentos de campo, análises laboratoriais avançadas (incluindo técnicas moleculares) e modelagem preditiva, são cruciais para a identificação precoce de doenças, a compreensão de sua epidemiologia e a formulação de estratégias de controle eficazes. A integração de tecnologias como o sensoriamento remoto por VANTs oferece novas perspectivas para o monitoramento em larga escala e o diagnóstico preciso, embora sua implementação exija investimentos em infraestrutura e capacitação.

Para o manejo sustentável e a prevenção de doenças em eucalipto em Pernambuco, sugerem-se os seguintes caminhos:



1. **Fortalecimento da Pesquisa Local:** Incentivar e financiar estudos específicos sobre a patologia do eucalipto nas diferentes regiões edafoclimáticas de Pernambuco, com foco na identificação de patógenos locais, na avaliação da suscetibilidade de genótipos adaptados e na compreensão das interações com o ambiente. A colaboração entre instituições de pesquisa (como a Embrapa Semiárido), universidades e empresas do setor florestal é fundamental.
2. **Programas de Melhoramento Genético Regionalizados:** Desenvolver e selecionar clones de eucalipto que apresentem alta produtividade e resistência comprovada às doenças prevalentes em Pernambuco, considerando as condições edafoclimáticas e a pressão de inóculo local. A diversificação genética dos plantios é uma estratégia chave para reduzir a vulnerabilidade a surtos de doenças.
3. **Manejo Integrado de Doenças (MID):** Implementar abordagens de MID que combinem práticas culturais (uso de mudas sadias, espaçamento adequado, nutrição equilibrada), controle biológico (quando disponível e eficaz) e, em casos específicos, controle químico. O monitoramento contínuo e a tomada de decisão baseada em dados são pilares do MID.
4. **Monitoramento e Alerta Precoce:** Estabelecer sistemas de monitoramento fitossanitário robustos, utilizando ferramentas como VANTs e técnicas moleculares, para detectar a ocorrência de doenças em estágios iniciais e emitir alertas que permitam intervenções rápidas e direcionadas.
5. **Educação e Extensão:** Capacitar produtores, técnicos e demais atores da cadeia produtiva do eucalipto sobre a identificação de doenças, as melhores práticas de manejo e a importância da biossegurança para evitar a introdução e disseminação de novos patógenos.
6. **Políticas Públicas e Regulamentação:** Desenvolver políticas que incentivem a pesquisa, o desenvolvimento de materiais resistentes e a adoção de práticas de manejo sustentável, além de regulamentar o movimento de germoplasma para minimizar o risco de introdução de patógenos exóticos.

Ao adotar uma abordagem proativa e integrada, será possível mitigar os impactos das doenças do eucalipto, garantindo a sustentabilidade da produção florestal em Pernambuco e contribuindo para a resiliência dos ecossistemas frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- [1] AUER, C.G.; SANTOS, A.F. dos; GRIGOLETTI JR., A. Doenças do eucalipto no sul do Brasil: identificação e controle. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/289926/1/circtec45.pdf>. Acesso em: 14 set. 2025.
- [2] AUER, C.G. Doenças em eucaliptos. Revista Opiniões, [s.d.]. Disponível em: <https://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/23-doencas-em-eucaliptos/>. Acesso em: 14 set. 2025.
- [3] VERDE AGRITECH. Conheça quais são as 5 principais doenças do eucalipto. Blog Verde Agritech, [s.d.]. Disponível em: <https://blog.verde.ag/pt/manejo-de-pragas-e-doencas/5-doencas-do-eucalipto/>. Acesso em: 14 set. 2025.
- [4] SOLÍS, M.; HAMMERBACHER, A.; WINGFIELD, M. J.; NAIDOO, S. Enhancing Plantation Forest Sustainability: A Review of Eucalyptus Defence Mechanisms to Foliar Fungal Pathogens. Current Forestry Reports, 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40725-024-00243-3>. Acesso em: 14 set. 2025.
- [5] FERREIRA, M.A.; ALFENAS, A.C.; MAFIA, R.G. *Ceratocystis fimbriata* em espécies florestais e agronômicas no Brasil. In: Patologia florestal: desafios e perspectivas. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013. p. 1-20. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Maria-Ferreira-10/publication/324784433_Ceratocystis_fimbriata_em_especies_florestais_e_agronomicas_no_Brasil/links/5b19a256a6fdcca67b65f816/Ceratocystis-fimbriata-em-especies-florestais-e-agronomicas-no-Brasil.pdf. Acesso em: 14 set. 2025.
- [6] WRM. Brazil: Threat of monoculture eucalyptus plantation expansion in the Northeast. World Rainforest Movement, 30 maio 2013. Disponível em: <https://www.wrm.org.uy/other-information/brazil-threat-of-monoculture-eucalyptus-plantation-expansion-in-the-northeast>. Acesso em: 14 set. 2025.
- [7] PIMENTA, L. et al. Physiological responses of *Eucalyptus* spp. hybrids to water deficit. European Journal of Forest Research, v. 136, n. 6, p. 1043-1054, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/efp.12336>. Acesso em: 14 set. 2025.
- [8] CALONECTRIA scoparia and *Calonectria morganii* sp. nov. from *Eucalyptus* in Brazil. Studies in Mycology, v. 41, p. 341-435, 1993. (Menciona Boletim da Secretaria de agricultura, indústria e comércio do Estado de Pernambuco). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0953756209801512>. Acesso em: 14 set. 2025.
- [9] LIAO, K. et al. Detection of *Eucalyptus* Leaf Disease with UAV Multispectral Imagery. Forests, v. 13, n. 8, p. 1322, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/8/1322>. Acesso em: 14 set. 2025.
- [10] PATIL, B. New report of *Pestalotiopsis microspora* causing leaf blight on *Eucalyptus* in India. European Journal of Plant Pathology, v. 169, n. 1, p. 1-4, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219424001765>. Acesso em: 14 set. 2025.



- [11] SOLÍS, M. A Robust Disease Scoring Method to Screen Eucalyptus for Resistance to *Teratosphaeria destructans*. *Plant Disease*, v. 107, n. 11, p. 3051-3058, 2023. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-06-22-1347-RE>. Acesso em: 14 set. 2025.
- [12] GADELHA, F.H. de L.; SILVA, J.A.A. da. Análise econômica do cultivo de clones de Eucalyptus em função do espaçamento e do sistema silvicultural, em Araripina–PE. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 2, p. 1789-1800, 2018. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/87849145/482482842.pdf>. Acesso em: 14 set. 2025.
- [13] CROUS, P.W. et al. *Calonectria scoparia* and *Calonectria morganii* sp. nov. from Eucalyptus in Brazil. *Studies in Mycology*, v. 41, p. 341-435, 1993. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0953756209801512>. Acesso em: 14 set. 2025.
- [14] SANTOS, A.F. dos; AUER, C.G.; GRIGOLETTI JÚNIOR, A. Ocorrência da podridão do cerne de árvores vivas em *Eucalyptus grandis* nos estados do Paraná e Santa Catarina. In: CONGRESSO PAULISTA DE FITOPATOLOGIA, 22., 1999, Jaboticabal. Programa e resumos. Jaboticabal: UNESP, 1999. p.98-99.
- [15] AGRIOS, G.N. *Plant pathology*. New York: Academic Press, 1988. 803p.
- [16] FERREIRA, F.A. *Patologia Florestal: principal doenças florestais no Brasil*. Viçosa: SIF, 1989.
- [17] ALFENAS, A.C. Controle integrado da ferrugem causada *Puccinia psidii* em *Eucalyptus cloeziana*, no sudeste da Bahia. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.16, n.2, p.VI, 1991.
- [18] CROUS, P.W.; WINGFIELD, M.J. A monograph of *Cylindrocladium*, including anamorphs of *Calonectria*. *Mycotaxon*, Itaca, v.41, p.341-435, 1994.
- [19] WINGFIELD, M.J. et al. Eucalypt pests and diseases: growing threats to plantation productivity. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, v. 70, n. 2, p. 139-148, 2008. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2989/SOUTH.FOR.2008.70.2.9.537>. Acesso em: 14 set. 2025.
- [20] BURGESS, T.; WINGFIELD, M.J. Impact of fungal pathogens in natural forest ecosystems: a focus on eucalypts. In: *Fungal Conservation: Issues and Solutions*. Cambridge University Press, 2002. p. 175-190. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-306-48099-9_11. Acesso em: 14 set. 2025.
- [21] GURGEL, V.A. et al. Avaliações de impactos nas implantações do cultivo do eucalipto na mesoregião leste do estado de Alagoas. *Revista de Geografia*, v. 37, n. 2, p. 174-188, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Veronica-Gurgel-2/publication/352110142_IMPACT_ASSESSMENTS_IN_THE_IMPLEMENTATION_OF_EUCALYPTUS_CULTIVATION_IN_THE_EASTERN_MESOREGION_OF_THE_STATE_OF_ALAGOAS/links/61b395be63bbd932428305cb/IMPACT-ASSESSMENTS-IN-THE-IMPLEMENTATION-OF-EUCALYPTUS-CULTIVATION-IN-THE-EASTERN-MESOREGION-OF-THE-STATE-OF-ALAGOAS.pdf. Acesso em: 14 set. 2025.
- [22] GRATTAPAGLIA, D. Genômica aplicada à genética e melhoramento de Eucalyptus na Embrapa: 25 anos de avanços e as perspectivas para o futuro. In: *O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento*. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 1-20. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/429737780.pdf>. Acesso em: 14 set. 2025.



[23] ALFENAS, R.F. et al. Diversity and potential impact of *Calonectria* species in Eucalyptus plantations in Brazil. *Fungal Biology*, v. 119, n. 4, p. 289-302, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166061614000517>. Acesso em: 14 set. 2025.

[24] WANG, Y. et al. Regeneration and Genetic Transformation in Eucalyptus: A Review. *Forests*, v. 15, n. 5, p. 800, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11510995/>. Acesso em: 14 set. 2025.