

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA
ORGÂNICA**

DISSERTAÇÃO

**Sigatoka Negra (*Pseudocercospora fijiensis*): Perspectivas no
Manejo da Cultura da Banana (*Musa spp.*) Sob a Ótica
Agroecológica, O Estado da Arte**

Leandro Maia Machado

2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA**

**SIGATOKA NEGRA (PSEUDOCERCOSPORA FIJIENSIS):
PERSPECTIVAS NO MANEJO DA CULTURA DA BANANA (*MUSA
SPP.*) SOB A ÓTICA AGROECOLÓGICA, O ESTADO DA ARTE**

LEANDRO MAIA MACHADO

Sob a Orientação do Professor
DSc. João Sebastião de Paula Araujo

Co-orientação do Professor
DSc. Raul Castro Carriello Rosa

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Agricultura Orgânica.

Seropédica, RJ
Junho de 2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

MM149s
s Machado, Leandro Maia, 1973-
Sigatoka Negra (Pseudocercospora Fijienses):
Perspectivas no Manejo da Cultura da Banana (Musa spp.) sob a Ótica Agroecológica, O Estado da Arte / Leandro Maia Machado. - Barra Mansa, 2021.
64 f.

Orientador: João Sebastião de Paula Araujo.
Coorientador: Raul Castro Carriello Rosa.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Agricultura Orgânica, 2021.

1. Fitopatologia. 2. Fitossanidade. 3. Mycosphaerella fijiensis. 4. Controle Biológico. 5. Manejo Agroecológico. I. de Paula Araujo, João Sebastião, 18/01/1969-, orient. II. Castro Carriello Rosa, Raul, 15/05/1974-, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Pós-Graduação em Agricultura Orgânica. IV. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

This work was carried out with support from the Federal Rural University of Rio de Janeiro, from the Carlos Chagas Filho Foundation for Research Support of the State of Rio de Janeiro (FAPERJ) of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel - Brazil (CAPES)

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA**

LEANDRO MAIA MACHADO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências,
no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Agricultura Orgânica.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23 / 06 / 2021

João Sebastião de Paula Araujo Dr. UFRRJ
(Orientador, Presidente da Banca)

Luiz Aurélio Peres Martelleto Dr. UFRRJ

Jorge Teodoro de Souza Ph.D. UFLA

Dedicatória

Dedico esse trabalho à meus Avós, Marciano Machado e Elcio Vieira Maia (in memoriam) que despertaram em minha essência o amor pela terra, pelo cultivo do bem e pelo simples...;

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Serviço Oficial de Defesa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro pela oportunidade de mais essa experiência de crescimento pessoal e profissional, oferecendo ainda, os dados, informações e condições para que fosse possível a elaboração deste trabalho;

Agradeço ao colega do Núcleo de Defesa Agropecuária de Angra dos Reis, Márcio Rodrigues, pelo apoio de sempre na execução dos levantamentos de campo e da companhia sempre alegre que transformou esse trabalho numa atividade muito mais rica e menos exaustiva;

Agradeço aos produtores rurais das áreas de estudo, em especial ao produtor Paulo Barbeito e os Quilombolas da Serra de Lídice, na pessoa de Benedito Leite Filho, que me ofereceram suas áreas para montagem dos experimentos de campo, infelizmente não pudemos aproveitar os resultados das pesquisas neste trabalho por conta da pandemia do Covid-19, mas nossas buscas continuam...

Agradeço aos colegas de curso, em especial à turma da Pousada, pelas horas divididas, pelo conhecimento compartilhado, pela convivência engrandecedora e apoio nas horas difíceis;

Agradeço a minha esposa, Patrícia Helena, pelas revisões e correções gramaticais e à minha filha, Isis Helena, pela sempre presente ajuda.

Agradeço ao amigo dos tempos de UFLA e Brejão, Jorge Teodoro de Souza, pela participação e tão ricas contribuições na minha banca Examinadora, que permitiram a produção deste trabalho;

Agradeço ao meu Co-orientador, Dr.º Raul Rosa, pela apoio na montagem do projeto inicial do experimento e da sempre prestimosa atenção;

Assim, agradeço a todos por concluirmos esse trabalho, que fora construído a várias mãos.

Deus, há de lhes retribuir sempre, por tudo que me ofereceram.

“Viver é etecetera...”

“Somente com a alegria é que a gente realiza bem – mesmo até as tristes ações”

“O senhor sabe o que é silêncio é? É a gente mesmo, demais”

“O mais importante e bonito, do mundo, é isto: que as pessoas não estão sempre iguais, ainda não foram terminadas – mas que elas vão sempre mudando”

“Viver é um rasgar-se e remendar-se”

“O homem nasceu para aprender, apreender tanto quanto a vida lhe permita”

“Vivendo, se aprende; mas o que se aprende, mais, é só fazer outras maiores perguntas”

“Digo: o real não está na saída nem na chegada: ele se dispõe para a gente é no meio da travessia.”

“Mestre não é quem sempre ensina, mas quem de repente aprende”

Guimarães Rosa

RESUMO

MACHADO, Leandro Maia. **Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*): perspectivas no manejo da cultura da banana (*Musa spp.*) sob a ótica agroecológica, o estado da arte**. 2021. 50p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

A banana é a fruta mais popular e mais consumida no Brasil. É de grande importância econômica e opção alimentar de custo relativamente baixo, disponível e de acesso para todas as classes sociais deste país. No ponto de vista fitossanitário, o cultivo de banana no mundo pode ser afetado por um complexo de doenças foliares, com destaque para duas, conhecidas como as Sigatokas. Entre os agentes deste complexo, a Sigatoka negra, causada pelo fungo *Pseudocercospora fijiensis*, é reconhecida como a de maior severidade em determinadas condições e teve uma ampla dispersão pelo mundo nas últimas décadas, estando presente em quase todas as regiões produtoras, com a exceção da Austrália que obteve um caso de sucesso na contenção do avanço da doença e o retorno do status para área livre do patógeno. No continente americano, está identificada desde 1972. No Brasil, sua entrada foi relatada pela primeira vez em 1998, no estado do Amazonas. Acredita-se que veio de Honduras, país da América Central, grande produtor de bananas. O comportamento biológico do agente etiológico é descrito, sendo apresentados os sintomas que provoca, bem como as melhores condições para o seu desenvolvimento e, também, a atenção necessária às variáveis ecológicas no sistema produtivo da cultura. A caracterização do patossistema, fundamentado na ampliação da gama de hospedeiros para o patógeno, é relacionada. Partindo de uma revisão de literatura, o manejo da doença na cultura da banana é então descrito com base em trabalhos de pesquisa realizados pelo mundo, onde as práticas mais atuais, sob a ótica agroecológica para a condução da cultura são então apresentadas. Assim, o emprego de cultivares resistentes, os efeitos das práticas agroecológicas sobre o desenvolvimento da cultura, como a indução da resistência sistêmica, de resistência não hospedeira, os efeitos das barreiras físicas e químicas, além dos tipos de defesas ativas rápidas e defesas ativas atrasadas são abordados. São ainda descritos neste trabalho de revisão: o manejo da cultura em sistema agroflorestal, onde são relatados os mecanismos de regulação pela riqueza vegetal sobre a Sigatoka negra e todo o efeito positivo da diversidade sobre a resistência das plantas de *Musa spp.*. O efeito da prática controlada da desfolha na cultura da bananeira é relacionada como uma eficiente técnica de manejo na redução da fonte e dispersão de inóculos na cultura. A descrição do uso e resultados obtidos, com o uso do produto preparado a base de óleo natural derivado de *Melaleuca alternifolia* em folhas de banana e sua capacidade curativa sobre estágios avançados da enfermidade, além da descrição de alguns empregos de alguns agentes de controle biológico microbiano (MBCAs), como o *Trichoderma harzianum*, o *Bacillus tequilensis* EA-CB0015 e *Bacillus pumilus* CCIBP-C5, fazem parte deste trabalho.

Palavras-chave: Fitopatologia; Fitossanidade; *Mycosphaerella fijiensis*; Controle Biológico; Manejo Agroecológico.

ABSTRACT

MACHADO, Leandro Maia. **Black sigatoka (*Pseudocercospora fijiensis*): perspectives in the management of banana (*Musa spp.*) from the agroecological perspective, the state of the art.** 2021. 50p. Dissertation (Master in Organic Agriculture). Institute of Agronomy, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

The banana is the most popular and most consumed fruit in Brazil. Banana has economic importance and represents a source of food for the most vulnerable social classes. Banana cultivation in the world has been affected by a complex of leaf diseases known as Sigatokas, since 1902. Among the agents of this complex, Sigatoka Negra, caused by *Pseudocercospora fijiensis*, is known to be the most severe in certain conditions and had a wide range dispersion throughout the world, being present in almost all producing regions, with the exception of Australia, which has had a successful case in containing the progress of the disease and returning the status to a pathogen-free area. In the American continent, it has been identified since 1972, departing from Honduras, and arriving in Brazil in 1998, where it was described for the first time in the State of Amazonas. The biological behavior of the etiological agent is described in this work, presenting the symptoms it causes, as well as the best conditions for its development, and also the necessary attention to ecological variables in the crop's production system. The characterization of the pathosystem, based on the broadening of the host range for the pathogen, is also described. In this literature review, the management of the disease in the banana crop is then described based on research works carried out around the world, where the most current practices, from an agroecological perspective for the conduct of the crop are then presented. Thus, the use of resistant cultivars, the effects of agroecological practices on crop development, such as the induction of systemic resistance, non-host resistance, the effects of physical and chemical barriers, in addition to the types of fast active defenses and delayed active defenses are addressed. The following are also described in this review work: crop management in an agroforestry system, where the mechanisms of regulation by plant richness on Black Sigatoka and all the positive effect of diversity on the resistance of *Musa spp.* plants are reported. The effect of the controlled practice of defoliation in the banana crop is related as an efficient management technique in reducing the source and dispersion of inoculums in the crop. A description of the use and results obtained, with the use of the product prepared based on natural oil derived from *Melaleuca alternifolia* on banana leaves and its curative capacity on advanced stages of the disease, in addition to the description of some uses of some microbial biological control agents (MBCAs), such as *Trichoderma harzianum*, *Bacillus tequilensis* EA-CB0015 and *Bacillus pumilus* CCIBP-C5, are part of this work.

Keywords: Phytopathology; Plant health; *Mycosphaerella fijiensis*; biological control; agroecological management.

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

APL Arranjo Produtivo Local
APTA Agência Paulista de Tecnologia Agropecuária
CABI Centre for Agricultural Bioscience International
CATI Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
CDSV-RJ Coordenadoria de Defesa Sanitária Vegetal do Estado do Rio de Janeiro
CEPAO Centro de Pesquisa em Agricultura Orgânica
Cv. Cultivar
DNA Ácido Desoxirribo Nucleico
EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPPO European and Mediterranean Plant Protection Organization
ET etileno
FAOSTAT Food and Agriculture Organization of the United Nations
FHIA Fundación Hondureña de Investigación Agrícola
FMJD Folha Mais Jovem Doente
IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICNCP Código Internacional de nomenclatura de Plantas Cultivadas
IN Instrução Normativa
INIBAP International Network for the Improvement of Banana and Plantain
INRA Institute National de la Recherche Agronomique
ISR Resistência Sistêmica Induzida
ITS Espaçador Interno Transcrito
JA Ácido Jasmônico
MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MBCAs Agentes de Controle Biológico Microbiano
MYCOFI *Pseudocercospora fijiensis*
MPI Média Ponderada da Infecção
OMC Organização Mundial do Comércio
ONG Organizações Não Governamentais
ONU Organização das Nações Unidas
PAMP Pathogen-Associated Molecular Pattern
PESAGRO-Rio Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro
PCR Reação em Cadeia da Polimerase
PCD Morte Celular Programada
PQA Praga Quarentenária Ausente
PQP Praga Quarentenária Presente
PNQR Praga Não Quarentenária Regulamentada
rDNA Ácido Desoxirribo Nucleico ribossômico nuclear
RFLP Polimorfismo de Tamanho dos Fragmentos de Restrição
RP Pathogenesis-Related
SA Ácido Salicílico
SAR Resistência Sistêmica Adquirida
SAF Sistema Agroflorestal
SDA Secretaria de Defesa Agropecuária
SMR Sistema de Mitigação de Risco
TTO Óleo Natural de Árvore
UF Unidade da Federação
VOC Compostos Orgânicos Voláteis

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação do patógeno <i>Pseudocercospora fijiensis</i> Morelet EPPO code: MYCOFI.....	17
Tabela 2. Tempo estimado de sobrevivência de conídios (<i>Paracercospora fijiensis</i>) sobre superfícies, dentro dos limites de 20°C a 35°C e de 40% até 92% de umidade relativa, segundo Pereira e Gasparotto, (2005).....	18
Tabela 3. Classificação dos estágios da doença segundo Meredith and Lawrence (1969), Fouré (1982) e Moraes et al (2014).....	22
Tabela 4. Atividade curativa de TTO <i>Melaleuca alternifolia</i> contra a <i>Sigatoka</i> negra.....	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Descrição dos componentes do PICO da revisão sistemática.....	04
Quadro 2. Protocolo de pesquisa para Revisão Sistemática.....	04

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Patogênese da Sigatoka negra (*P. fijiensis*) com suas estruturas reprodutivas e estágios proposto por Poeydebat et al. (2018) e adaptado por Machado,2021.....18
- Figura 2.** Quadro sintomatológico característico causado por infecções da Sigatoka negra, com evidenciação dos estágios 2 e 3 e sua evolução para estágio 4, na superfície abaxial direita e superior da folha 3.....21
- Figura 3-** Quadro sintomatológico característico causado por infecções da Sigatoka negra, com evidenciação dos estágios 1, 2 e 3 na superfície abaxial da folha de Bananeira.....23
- Figura 4 -** Planta de Banana após emissão de frutificação sob ataque severo de Sigatoka negra demonstrando o amplo lesionamento dos tecidos e intensa perda de tecidos funcionais nas folhas.....24
- Figura 5.** Fotografia Eletrônica com exibição das estruturas de reprodução assexuadas A: Conídio (*Paracercospora fijiensis*), e estruturas de reprodução sexuada B: Ascosporo (*Pseudocercospora fijiensis*).....25
- Figura 6.** Patossistema da Sigatoka negra, interação dos fatores ambientais com as culturas de subsistência e o cultivo da Banana.....26
- Figura 7.** Modo de ação implementado pelo produto do agente de controle biológico microbiano baseado em *B. tequilensis* EA-CB0015 WT.....38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	MÉTODOS E PROCEDIMENTOS DA PESQUISA.....	3
2.1	A Revisão Sistemática.....	3
2.2	A execução da Revisão sistemática.....	3
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1	- A cultura da banana: importância econômica para o Brasil e Rio de Janeiro.....	5
3.2	O Ambiente no cultivo da bananeira.....	6
3.3	O papel das variáveis ecológicas.....	8
3.4	A diversidade no ambiente de cultivo.....	9
3.4.1	A diversidade genética.....	10
3.4.2	Efeitos da diversidade sobre patógenos.....	11
3.5	A fitossanidade.....	11
3.6	A Sigatoka negra.....	12
3.6.1	Ocorrência mundial da Sigatoka negra.....	13
3.6.2	O caso da Sigatoka negra na Austrália.....	14
3.6.3	A Sigatoka negra no Brasil.....	15
3.6.4	Caracterização do patógeno.....	16
3.6.5	Biologia da enfermidade.....	17
4	O ESTADO DA ARTE, MANEJO DA DOENÇA SOB A PERSPECTIVA AGROECOLÓGICA.....	25
4.1	Determinação do patossistema.....	25
4.2	Manejo agroecológico da cultura.....	26
4.2.1	Emprego de cultivares resistentes.....	27
4.2.2	O Microbioma solo e o efeito sobre a supressão de doenças.....	29
4.2.3	Sistemas agroflorestais como estratégia de manejo.....	33
4.2.4	Eliminação total ou parcial de folhas afetadas.....	34
4.2.5	Emprego de produto curativo.....	35
4.2.6	Emprego do controle biológico.....	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

A banana (*Musa spp.*) é uma das frutas mais consumidas no Brasil em todas as classes econômicas, o que demonstra a grande contribuição desta fruta para o hábito alimentar da população e o seu papel na composição da dieta dos brasileiros (SOUZA, et al. 2013). Segundo Borges *et al* (2015), a banana é uma das frutas de maior importância social e econômica do Brasil, sendo superada apenas em área de cultivo pelas frutas cítricas.

O cultivo da bananeira – plantas da família das musáceas – é realizado em todos os Estados brasileiros, desde a faixa litorânea até os planaltos do interior (BORGES; MATOS, 2006). Apesar de existir um grande número de variedades de banana no Brasil, normalmente os produtores optam pelo cultivo de frutas da preferência dos consumidores. Assim, as características de potencial agrônômico que teriam melhor indicação para fins comerciais como: produtividade, resistência às doenças, altura de planta e resistência à seca e ao frio, não são levadas em consideração (SANTOS et al., 2006).

Um aspecto muito observado e de grande importância para a cultura da banana é seu manejo fitossanitário, já que os principais problemas encontrados para o sucesso e estabilidade da produção da cultura são os insetos-pragas, principalmente a broca de bananeira (*Cosmopolites sordidus*), e as doenças como Sigatoka amarela (*Mycosphaerella musicola*), Sigatoka negra (*P. fijiensis*) mal-do-Panamá (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*) e doenças dos frutos (MARTINS; FURLANETO, 2008).

Para evitar ou reduzir problemas com doenças, torna-se importante introduzir e manejar a diversidade como alternativa ao uso de produtos fitossanitários, considerando que a transição de um monocultivo de espécies para um sistema mais estável, baseado na diversificação, requer um investimento no enriquecimento biológico, uma técnica de difícil implementação quando são considerados sistemas produtivos com áreas e recursos limitados.

Os prejuízos causados pela Sigatoka negra em plantações de banana são vultosos e podem afetar tanto a qualidade dos frutos como o rendimento da cultura, podendo reduzir em até 100% a produção (PEREIRA; GASPAROTTO; COELHO, 1998). A doença começa nas folhas mais novas da planta e evolui para as mais velhas, provocando sintomas típicos como estrias marrons e manchas negras necróticas que reduzem os tecidos fotossintetizantes e, conseqüentemente, os rendimentos brutos (MORAES et al., 2011).

Diante desse cenário, tem-se empregado em bananais comerciais em todo o mundo as pulverizações com fungicidas como a medida mais utilizada no controle da Sigatoka negra. No Brasil, segundo Gasparotto et al. (2006), em razão do custo, o uso de fungicida só deve ser implementado em bananais nos quais se adotam altos níveis de tecnologia, com alto retorno econômico. Nesse sentido, o uso de fungicidas torna-se econômica e ecologicamente inviável, face aos custos e ao potencial de danos ambientais que pode causar junto de produções localizadas em regiões de extrema vulnerabilidade ambiental.

Dada a importância atual e histórica da bananicultura para a agricultura e para o fornecimento de um alimento de qualidade às populações, principalmente àquelas mais carentes e, ainda, diante de todas as singularidades da produção praticada nas condições do Brasil, esse trabalho objetiva revisar o “Estado da Arte” da Sigatoka negra, abordando suas origens e

comportamento biológico de seu agente etiológico e, finalmente, apresentar práticas empregadas no manejo agroecológico da doença.

2 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

2.1 A Revisão Sistemática

Para uma categorização da metodologia empregada, utilizamos do que descreve Miranda (2018), para conceituar as revisões sistemáticas que, segundo o autor, são estudos de produções científicas à respeito de um tema específico, em que as bases de dados referenciadas em um determinado lapso de tempo, passam a ser foco de estudo, criando assim uma situação sobre determinada pesquisa e permitindo indicar possíveis espaços a serem investigados com novas produções científicas.

Segundo De-La-Torre-Ugarte-Guanilo; Takahashi; Bertolozzi (2011), as revisões sistemáticas se constituem então de um modo de se obter importantes subsídios para que, a partir de uma grande quantidade de informações científicas, se possa fundamentar propostas de aprimoramento, de avaliação dos resultados obtidos e do incremento dos estudos. Ainda segundo Donato; Donato (2019), uma revisão sistemática, visa atender a uma indagação à respeito de uma questão investigativa muito bem determinada, sendo então fundamentada por exibir um contexto metodologicamente abrangente, transparente e replicável em qualquer situação que se baseie nos mesmos termos.

Para a implementação de um trabalho de revisão sistemática, conforme propõe Moher et al., (2015) é importante considerar as seguintes fases: identificação – onde são localizados os trabalhos relativos ao tema; seleção – onde são agrupados os trabalhos identificados como relevantes para a análise; elegibilidade – onde são categorizados os trabalhos e é realizada a elaboração de uma síntese qualitativa envolvendo critérios pré-definidos e, finalmente; inclusão – que trata da fundamentação da produção científica com base nos trabalhos elencados que versaram com o tema central da busca.

Para a instrumentação da revisão sistemática empregou-se o aplicativo denominado StArt (State of the Art through Systematic Reviews), ferramenta gratuita desenvolvida no Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software da UfScar (SOARES *et al.*, 2021).

2.2 A execução da Revisão sistemática.

Como primeira etapa utilizada para a realização da revisão sistemática, apresentamos, para melhor conceituar, a pergunta foco da pesquisa: "Quais são as práticas adotadas, sob o enfoque agroecológico, para o controle da Sigatoka negra na cultura da banana?" Utilizou-se, conforme descreve Soares (2021), a estratégia de pesquisa para Resultado da Comparação de Intervenção Populacional 'PICO' (SANTOS; PIMENTA; NOBRE, 2007).

Na estratégia adotada, a questão principal da pesquisa é apresentada para expressar o tipo de abordagem, buscando-se assim, evitar uma resposta tendenciosa (WRIGHT *et al.*, 2007). As perguntas relativas à estratégia PICO adotadas nesse estudo estão descritas no protocolo de pesquisa, apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Descrição dos componentes do PICO da revisão sistemática

Population:	Cultura da banana (<i>Musa spp.</i>) com incidência de Sigatoka negra (<i>Pseudocercospora fijiensis</i>)
Intervention:	Métodos de manejo agroecológico empregados para controlar a doença
Comparison:	Falta de descrição de métodos de manejo ou controle da doença, que não envolva o controle baseado apenas em métodos químicos.
Outcome:	Conjunto de práticas agroecológicas para o controle da Sigatoka negra

No Quadro 2, apresentamos o protocolo de pesquisa utilizado para a Revisão Sistemática. Nele, são descritas as questões e métodos de revisão utilizados para a pesquisa de literaturas disponíveis.

Quadro 2. Protocolo de pesquisa para Revisão Sistemática ‘continua’

Título:	Sigatoka negra (<i>Pseudocercospora fijiensis</i>): perspectivas no manejo da cultura da banana (<i>Musa spp.</i>) sob a ótica agroecológica, o estado da arte.
Pesquisadores:	Eng. Agrº Leandro Maia Machado; DSc. João Sebastião de Paula Araujo; DSc. Raul Castro Carriello Rosa;
Descrição:	Revisar os trabalhos relacionados à fitodoença Sigatoka negra, (<i>Pseudocercospora fijiensis</i>), de forma a apresentar práticas empregadas no manejo agroecológico da cultura da Banana (<i>Musa spp.</i>) para enfrentamento desta enfermidade.
Objetivos:	Quais são as práticas adotadas, sob o enfoque agroecológico, para o controle da Sigatoka negra na cultura da banana.
Pergunta principal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Como ocorreu a dispersão e controle da Sigatoka negra no mundo? 2. Quais as características do patógeno? 3. Quais métodos culturais são empregados para controle da enfermidade <i>P. fijiensis</i>? 4. Quais métodos biológicos são empregados para controle da enfermidade <i>P. fijiensis</i>??
Palavra Chave: Biological control; Microbial fungicide; agroecology; agroforestry; antagonist; bio-fungicide; biocontrol; induced resistance; induced systemic resistance; organic agriculture; plant defense responses; plant immunity;	
Critérios de seleção de origem: Trabalhos que apresentem relação com os fundamentos da Agroecologia; que também permitam o acesso ao resumo em formato de leitura (PDF); Que possam ter seus dados disponibilizam em formato RIS para análise no aplicativo StArt;	
Idiomas: Inglês, Português, Espanhol e Francês.	

Quadro 2. Continuação

Padrão para busca em fontes: Literatura disponível nas plataformas de busca, focada em termos relativos aos objetivos da pesquisa sem, contudo, restringir o parâmetro temporal, sendo analisadas e sintetizadas em uma estrutura multidimensional;	
Fontes de Busca: Portal de Periódicos CAPES; Scielo; Scopus; Web of Science;	
Crítérios de inclusão (I) e de exclusão (E) de Estudos:	(I) É relativo à cultura da banana? (I) Aborda técnicas agroecológicas de manejo para a cultura da banana? (I) É recente, publicado nos últimos 10 anos? (E) Aborda técnica ou conceito que não é permitido para o manejo agroecológico da cultura da banana? (E) Não foi encontrado o resumo do artigo para avaliação?.
Escolha dos tipos de estudos:	Arbitrou-se o seguinte método: para ser aceito o trabalho deveria se enquadrar em pelo menos 2 critérios de inclusão ou, para a sua rejeição, apresentar no mínimo 1 critério de exclusão.
Seleção de busca de estudos	Artigos que contenham no título, resumo ou palavras-chave, os termos de streaming: ("Mycosphaerella fijiensis" OR "Pseudocercospora fijiensis")
Resumo dos resultados: Apresentação dos resultados em forma de gráficos e tabelas	

Artigos adicionais que foram considerados como de relevância, que não foram identificados automaticamente, foram posteriormente adicionados manualmente.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 - A cultura da banana: importância econômica para o Brasil e Rio de Janeiro

A bananeira é originária da Ásia tropical, com centros secundários na África e Ilhas do oceano Pacífico. É uma planta de sub-bosque, ou seja, cresce sob outras árvores em bosques claros, em bordas de florestas ripárias ou rochosas (MARTINS; FURLANETO, 2008).

Resultantes dos cruzamentos de espécies selvagens *Musa acuminata* (genoma AA) e *Musa balbisiana* (genoma BB), as bananeiras encontram-se em todas as regiões tropicais e subtropicais do globo. De acordo com Lichtemberg & Lichtemberg (2011), a banana já era cultivada pelas populações indígenas do Brasil à época do seu descobrimento, existindo aqui, pelo menos, duas variedades da fruta, provavelmente a ‘Branca’ e a ‘Pacova’.

A bananicultura brasileira apresenta características peculiares que a diferencia das principais regiões produtoras do mundo, tanto em relação à diversidade climática em que é explorada, quanto ao uso de variedades, à forma de comercialização e às exigências do mercado consumidor (BORGES; MATOS, 2006).

Conforme descreve Palermo (2012), o termo cultivar é derivado das palavras inglesas "cultivated" e "variety", respectivamente "cultivado" e "variedade", e significam dessa maneira a expressão "variedade cultivada", sendo então utilizadas para destacar esses materiais daqueles de ocorrência natural. Segundo o artigo 2.3 do Código Internacional de Nomenclatura de Plantas Cultivadas (ICNCP), define-se cultivar como um conjunto selecionado de plantas tendo em vista um atributo particular, ou combinação de atributos, claramente distintos, uniformes e estáveis nas suas características e que, quando propagado pelos métodos apropriados, retém essas características (BRICKELL *et al.*, 2009).

Segundo Silva (2013) a classificação mais adotada para classificação dos materiais em todo o mundo se baseia nos critérios dos grupos genômicos, ou seja: diploides (AA e AB), triploides (AAA, AAB e ABB) e tetraploides (AAAA, AAAB, AABB e ABBB), sendo que, segundo os mesmos autores, no Brasil é empregado o uso do termo subgrupo ou tipo, para denominar um complexo de materiais, como no caso do grupo AAA, subgrupo Cavendish e grupo AAB, subgrupos Prata e Terra.

Os subgrupos ou tipos de bananas mais difundidas no Brasil pertencem ao subgrupo Prata (Prata, Pacovan, Prata-Anã, etc.), subgrupo Nanica ou Cavendish (Nanica, Nanicão, Grande Naine, etc.) e do subgrupo Maçã (Maçã, Mysore, Thap Maeo, etc), sendo que os materiais genéticos pertencentes ao subgrupo Prata ocupam aproximadamente 60% da área cultivada com banana no país (MARTINS; FURLANETO, 2008)

No estado do Rio de Janeiro a cultura da banana sempre teve importância secundária, sendo cultivada em áreas em declive que não foram ocupadas por outras culturas como a cana-de-açúcar, café e laranja que, tradicionalmente, ocupavam áreas mais férteis e planas. (FUNCKE, 2009).

Jiménez e Brioso (2018) citando os dados do Censo Agropecuário do IBGE 2016, relatam que a produção do Estado do Rio de Janeiro é de 142,917 toneladas colhidas em uma área de 20,774 hectares, tendo assim uma produtividade média de 6.9 ton por hectare. Esses valores se aproximam muito do que Funcke (2009) observou como uma produtividade média da cultura da banana no Rio de Janeiro - 6.741 kg/ha, estando muito abaixo da média nacional que, naquele ano, era de 13.647 kg/ha.

3.2 O Ambiente no cultivo da bananeira

Segundo Lichtemberg e Lichtemberg (2011), a escolha do local, da densidade de plantio e do arranjo espacial das plantas mais adequado a cada cultivar de bananeira e a cada região pode ser decisivo no sucesso da atividade. Sendo assim, a partir da implantação do bananal, os tratamentos culturais considerados permitem a sanidade e a produtividade da cultura.

Para as cultivares comerciais amplamente difundidas por cultivos em todo o país, a bananeira requer chuvas bem distribuídas. Em geral, as melhores produções ocorrem quando estas estão em torno de 1900 mm/ano, preferencialmente, entre 100 – 180 mm/mês (LIMA; SILVA; FERREIRA, 2012). É destacado que o ponto de murchamento das plantas se situa em torno de 40 mm/mês e que, abaixo desse valor, ocorre inicialmente uma diminuição da fotossíntese com conseqüente atraso no ciclo vegetativo, promovendo ainda uma emissão mais lenta de folhas e a diminuição do crescimento das flores. Havendo persistência nessa situação, ocorre um secamento acelerado das folhas mais velhas (CATI, 2017).

Em relação a temperatura ideal de cultivo, a bananeira, por ser uma planta tipicamente tropical, exige calor constante e elevada umidade para o pleno desenvolvimento. As condições favoráveis ao seu desenvolvimento são normalmente encontradas na faixa compreendida entre os paralelos de 30° de latitude norte e sul, cuja temperatura situa-se entre os limites de 10°C e 40°C. Uma bananeira pode emitir de 30 a 70 folhas para completar o seu ciclo, e a duração da etapa de formação e emissão de uma folha depende de temperatura, disponibilidade de água e nutrientes no solo e da cultivar. Sob condições quentes e úmidas, como na Amazônia, folhas são emitidas a cada 7 a 8 dias, porém, nas regiões como Sul e Sudeste, que apresentam épocas chuvosa/quente e seca/fria definidas, esse período pode ser alterado (VASCONCELOS, 2013). Ainda de acordo com Soto (1985), a temperatura do ar influencia diretamente o desenvolvimento das folhas de bananeira, observa-se que em temperaturas de 21°C a planta apresenta um intervalo de uma semana entre a emissão de folhas, quando em condições de 15°C esse período passa a ser de duas semanas. Para Borges et al. (2006) temperaturas situando entre 15°C e 35°C são tidas como limites extremos para o cultivo, sendo que fora desta faixa a banana paralisa seu crescimento. Nas baixas temperaturas, o ciclo de produção da cultura, ou seja - o período em dias que é concebido entre a brotação da gema e a fase ideal de corte do cacho de frutos - é aumentado significativamente, sendo ainda prejudicados os tecidos, impedindo que a polpa dos frutos amoleça normalmente. Por outro lado, temperaturas acima de 35°C causam prejuízos ao desenvolvimento da planta e à qualidade dos frutos, especialmente sob condições de estresse hídrico, já que nessas temperaturas altas ocorre o fechamento dos estômatos que, conseqüentemente, reduz a taxa fotossintética, levando a uma paralisação do crescimento (BORGES et al., 2006).

A luminosidade também é outro fator que afeta diretamente o ciclo da bananeira, o tamanho dos cachos, a qualidade e a conservação do fruto. Considera-se como ideal uma insolação (número de horas de brilho solar) maior que 2000 horas/ano, tendo como limite inferior 1000 horas/ano (LIMA; SILVA; FERREIRA, 2012).

Outro aspecto importante trata da umidade relativa do ar, em regiões onde esta variável situa-se acima de 80%, são consideradas como mais favoráveis à bananicultura, pois nesses ambientes de alta umidade é acelerada a emissão de folhas, o que promove a rápida emissão da inflorescência e uma padronização da maturação e, conseqüentemente, da coloração dos frutos (BORGES et al., 2006).

O regime de ventos também afeta o cultivo da fruta. De acordo com Borges et al. (2006), os ventos influenciam muito a cultura dependendo do seu teor de umidade e intensidade; pois quando secos, causam transpiração excessiva e rápido déficit hídrico das folhas (desidratação por evaporação), enquanto que, os ventos frios prejudicam sensivelmente as bananeiras e seus cachos. Assim, as áreas sujeitas a ventos frios, geadas e granizo, bem como aquelas com incidência de ventos fortes, devem ser evitadas. Os ventos fortes além de causar uma grande redução da área foliar, pelo fendilhamento ou pela dilaceração das suas lâminas, podendo levar ao tombamento das plantas, principalmente em plantas de final de ciclo, com grandes cachos e também em algumas cultivares pelo seu alto porte e arquitetura (BORGES et al., 2006). Segundo Moreira (1987), a ação dos ventos pode levar a perdas de até 20 a 25% da produção no estado de São Paulo.

3.3 O papel das variáveis ecológicas

O ambiente influencia todas as etapas das interações hospedeiro-patógeno-agentes de controle biológico. As variáveis climáticas (umidade, temperatura, vento, umidade relativa, entre outros) interferem na incidência de doenças, pois afetam o crescimento, a reprodução e a dispersão das plantas, dos patógenos e dos agentes de biocontrole (BETTIOL; GHINI, 2009). O desenvolvimento de doenças em plantas está ligado a fatores relacionados ao patógeno, ao hospedeiro e ao ambiente. Cada um desses fatores exerce papel fundamental no desenvolvimento de epidemias e deve ser estudado em particular para o entendimento dos mecanismos que afetam o ciclo da doença. Entretanto, o ambiente exerce papel preponderante sobre os demais, uma vez que também os influencia. As condições climáticas afetam o desenvolvimento e a suscetibilidade da planta hospedeira, a multiplicação e sobrevivência do patógeno, bem como a interação entre ambos (BENDINI *et al.*, 2014).

Segundo Ghini (2005), o ambiente pode influenciar o desenvolvimento e a suscetibilidade da planta hospedeira, a multiplicação, a sobrevivência e as atividades do patógeno, assim como a interação entre a planta hospedeira e o patógeno. As relações entre clima e doenças são tão intensas que são rotineiramente usadas em sistemas de previsão de doenças e manejo de epidemias, pois as flutuações na severidade de doenças são determinadas através dos anos, principalmente, pelas variações climáticas (MORAES *et al.*, 2011).

A influência da temperatura e a disponibilidade de água (umidade relativa do ar e chuva) na quantificação dos componentes monocíclicos como período latente, frequência de infecção, período infeccioso e produção de esporos tem sido estudado em diversos sistemas patógeno-hospedeiro e, em função disso, essas variáveis têm sido utilizadas na construção de modelos de simulação de epidemias (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

A água constitui fator vital para a germinação dos esporos e penetração do patógeno no hospedeiro e a sua disseminação, fazendo com que a intensidade da doença esteja diretamente relacionada a umidade abundante, prolongada ou frequente, seja na forma de orvalho, chuva ou mesmo a umidade relativa como fator predominante no desenvolvimento da maioria das epidemias causadas por fungos, bactérias e nematoides (MICHEREFF; BARROS, 2001). Além disso, a presença de altos teores de água no solo contribui para aumentar a suculência dos tecidos das plantas, facilitando a penetração e a colonização dos patógenos (BEDENDO, 1995).

A taxa de crescimento dos microrganismos também varia conforme as alterações de temperatura, fator diretamente relacionado a processos biológicos de síntese de um grande número de substâncias e moléculas essenciais aos patógenos, assim como à vida em geral (MONTEIRO; SENTELHAS; CHIAVEGATO, 2006). Portanto, em condições de temperaturas mais altas ou mais baixas que a faixa ideal para a planta, faz com que as doenças se estabeleçam, pois reduzem o nível de resistência do hospedeiro (MICHEREFF; BARROS, 2001).

A alteração da susceptibilidade em função da temperatura pode ser atribuída a várias causas, como o bloqueio à formação de compostos fenólicos pela planta e desenvolvimento de mecanismos estruturais que dificultam a colonização do tecido vegetal pelo patógeno. Essas plantas tornam-se fracas e predispostas à doença, uma vez que o patógeno permanece vigoroso e mais forte que o hospedeiro. No entanto, é importante levar em consideração que temperaturas desfavoráveis ao desenvolvimento da doença frequentemente podem inibir uma epidemia temporariamente, mas não proporcionam a erradicação do patógeno (BEDENDO, 1995).

As chuvas também têm grande importância na ocorrência de epidemias de plantas, já que dispersam o inóculo, reduzem a luminosidade e provocam queda de temperatura, aumentando assim as chances de formação de orvalho, por dias seguidos (MONTEIRO; SENTELHAS; CHIAVEGATO, 2006).

Conforme apontam Monteiro; Sentelhas e Chiavegato, (2006), a ocorrência de chuva favorece a maioria dos patossistemas, porém dentro de certos limites, sendo que ao contrário do que ocorre quando se consideram longos períodos de molhamento provocados por orvalho, chuvas muito intensas e por períodos prolongados atuam como mecanismos de remoção de inóculo, levando para o solo as estruturas reprodutivas do patógeno depositadas nas plantas, em dias anteriores, o que acaba promovendo a redução das taxas de evolução da doença nos dias subsequentes.

O vento é outro elemento meteorológico importante na ocorrência de muitas doenças, seu efeito pode se dar por diferentes aspectos relacionados com a turbulência do ar, intensidade e direção do vento e podem influenciar muito a disseminação, o transporte e a deposição do inóculo tanto em curtas como em longas distâncias, para outras plantas ou até mesmo para locais diversos (BEDENDO, 1995).

Além disso, o vento também pode provocar danos mecânicos (ferimentos) na cultura, em razão de atritos entre diferentes partes das plantas ou entre essas e partículas do solo, favorecendo a entrada dos patógenos incapazes de romper a cutícula do hospedeiro, é também reconhecido que o vento promove a renovação de ar no interior do dossel da cultura, acelerando dessa maneira a evaporação da água na superfície das plantas e reduzindo a duração do período de molhamento, o que permite observar então que o tipo de efeito que o vento tem sobre o progresso da doença dependerá de sua intensidade e de características próprias a cada patossistema. (MONTEIRO; SENTELHAS; CHIAVEGATO, 2006).

3.4 A diversidade no ambiente de cultivo

A diversidade biológica pode ser agrupada em dois grupos importantes quando se deseja quantificar o espectro do termo em determinado ambiente: o primeiro é relativo às quantificações do número de espécies presentes e a segunda abordagem envolve os índices de diversidade de espécies (CIANCIARUSO *et al.*, 2009).

Embora a diversidade pareça o conceito ecológico mais bem estudado e intuitivo, nenhuma definição consensual foi formulada (RICOTTA, 2005). Tem-se tornado claro que essas medidas tradicionais são estimativas muito grosseiras da estrutura (WEBB, 2000, RICOTTA; AVENA; CHIARUCCI, 2005) e do funcionamento da comunidade (PETCHEY; HECTOR; GASTON, 2004). Portanto, medidas de diversidade que incorporem informações sobre as relações filogenéticas das espécies (RICOTTA; AVENA; CHIARUCCI, 2005) ou suas características funcionais (PETCHEY; GASTON, 2006) devem ser melhores do que as medidas tradicionais.

Quando estamos interessados em quantificar e resumir a diversidade de uma comunidade, uma primeira maneira de fazermos isso é simplesmente contar o número de espécies que ali ocorrem. Esse número de espécies pode ser expresso tanto em função de uma unidade de área e, nesse caso, falamos em “densidade de espécies” ou de um certo número de indivíduos – portanto, de “riqueza de espécies” (KREBS, 1999). Entretanto, rapidamente ficou

claro que essa simples quantificação do número de espécies era uma estimativa muito grosseira da diversidade de uma comunidade (RICOTTA, 2005). Quando estimamos a diversidade dessa forma, consideramos tanto uma espécie rara, que aparece com um único indivíduo na comunidade, quanto uma comum, que aparece com um número muito grande de indivíduos, da mesma forma – ambas têm o mesmo peso na quantificação da diversidade estimada pela densidade ou pela riqueza de espécies.

3.4.1 A diversidade genética

A diversidade genética das culturas vem diminuindo constantemente devido principalmente à substituição generalizada de variedades tradicionais geneticamente diversas por variedades homogêneas ocasionando a diminuição da diversidade genética nos campos, tanto dentro como entre as variedades (CHATEIL et al., 2013).

A estrutura filogenética da comunidade (i.e., as relações filogenéticas de suas espécies) tem sido usada como ferramenta para inferirmos os processos ecológicos que organizam a comunidade (WEBB et al., 2002). Segundo Altieri (1999), a agricultura moderna implica na simplificação da estrutura do meio ambiente sobre extensas áreas, substituindo a diversidade da natureza por um pequeno número de plantas cultivadas e animais domesticados; sendo que, geneticamente, essa agricultura é extremamente dependente de um punhado de variedades para suas principais culturas.

A diversidade genética é então definida por Hughes et al. (2008) como qualquer medida que quantifique a magnitude da variabilidade genética dentro de uma população, sendo considerada como uma fonte fundamental para a biodiversidade. Para características quantitativas, a medição da diversidade genética começa estimando a variância em uma característica fenotípica entre indivíduos, devido a diferenças herdadas geneticamente.

Na cultura da Banana temos na região asiática, considerada como o centro de origem da planta, materiais genéticos que evoluíram a partir de espécies selvagens e apresentam três níveis cromossômicos, sendo categorizadas como diploides por apresentarem 22 cromossomos (2x), triploides com 33 (3x) e tetraploides com 44 cromossomos (4x), todos estes múltiplos do número básico ($n=11$) (SHEPHERD, 1984). A maioria dos genótipos de bananeiras atualmente em uso, destinados principalmente para uso alimentar, são frutos de cruzamentos interespecíficos entre *M. acuminata* Colla (genoma A, $2n=2x=22$) e *M. balbisiana* Colla (genoma B, $2n=2x=22$). (SIMMONDS, 1973).

Programas voltados para o desenvolvimento de cultivares de banana com resistência a pragas e doenças, e ainda, que resultem na inclusão da abordagem de aspectos socioeconômicos relacionados aos sistemas de produção e à suscetibilidade natural das cultivares atualmente em uso pelos agricultores são objetos de trabalhos de melhoramento (SILVA, et al., 2013). Ainda, segundo os mesmos autores, no desenvolvimento de novas cultivares de banana, duas são as estratégias tidas como base para os trabalhos de melhoramento: a primeira consiste da produção de materiais tetraploides, originados com a hibridação entre materiais 3x e 2x; e uma segunda, com a produção de triploides secundários a partir do cruzamento entre materiais 4x e 2x. Salientam, também, que a introdução e a seleção de clones têm sido utilizadas como alternativa no processo de melhoramento.

3.4.2 Efeitos da diversidade sobre patógenos

As características inerentes à autorregulação das comunidades naturais são perdidas quando se pratica a agricultura que acaba por modificá-las através da quebra das estreitas interações ocorridas nesses ambientes. No entanto, esse colapso pode ser reparado restaurando-se os elementos despedaçados da homeostase comunitária através da adição ou valorização da biodiversidade (ALTIERI; NICHOLLS, 2003). As reduções de biodiversidade no solo são negativas porque a reciclagem de nutrientes e o equilíbrio adequado entre matéria orgânica, organismos do solo e diversidade vegetal são componentes necessários para um ambiente de solo produtivo e ecologicamente equilibrado (HENDRIX et al., 1990). A extensão do período de cultivo ou o planejamento de sequências de corte temporal ou espacial podem permitir que agentes de controle biológico que ocorram naturalmente sustentem níveis populacionais mais elevados em hospedeiros ou presas alternativos e persistam no ambiente agrícola ao longo do ano (ALTIERI, 1999).

Entre os mecanismos propostos para explicar como o aumento da diversidade, no caso do emprego de espécies botânicas, reduz as populações de patógenos e pragas é conhecido como efeito de diluição; onde, um conjunto de plantas, que podem exibir diferentes níveis de resistência a um aumento na distância entre as plantas suscetíveis, reduz a taxa de propagação de pragas, aumentando assim o tempo de busca pela praga (MALÉZIEUX *et al.*, 2009).

3.5 A fitossanidade

De acordo com o novo texto da Convenção Internacional para Proteção de Plantas pragas e doenças, devem ser consideradas, conjuntamente, como pragas; logo, o conceito oficial de praga então estabelecido fica sendo: “qualquer espécie, raça ou biótipo de vegetais, animais ou agentes patogênicos nocivos aos vegetais ou produtos vegetais” (CAROLLO; FILHO, 2016).

As pragas podem disseminar-se de uma região para outra por caminhos naturais como, por exemplo, o vento e pássaros, ou ainda por vias criadas pelo homem, o qual, sem dúvida, vem contribuindo para tal dispersão desde que houve o desenvolvimento da agricultura. Nesse sentido, o homem tem desempenhado um papel de destaque devido à expansão dos movimentos migratórios das populações, à intensificação do comércio internacional e ao progresso dos meios de transporte (terrestre, marítimo e aéreo), fatos que ampliaram substancialmente os riscos de disseminação de pragas (CAROLLO; FILHO, 2016).

O conjunto de práticas, medidas ou métodos para impedir a introdução e o estabelecimento, bem como controlar essas pragas constitui o que se denomina defesa sanitária vegetal, quarentena vegetal ou fitossanidade. As autoridades públicas de um país impõem aos demais, ou até mesmo entre seus entes federados onde possa ou não existir determinada praga, medidas de restrição à entrada/circulação de plantas, produtos vegetais (frutas, sementes, folhas) e culturas de organismos vivos, assim como material de embalagem e até mesmo contêineres nos quais os produtos são transportados, visando com isso, proteger sua agricultura das pragas inexistentes no seu território ou contidas em determinados locais após exaustivas pesquisas e determinações da sua presença (CORDEIRO, 2000; HOLLER *et al.*, 2015).

Desde a data de 01º de janeiro de 1995, no Brasil, as medidas quarentenárias têm sido estabelecidas com base em evidências biológicas, não podendo mais ser por razões políticas ou

econômicas, conforme determina o Acordo de Marrakesh, do qual o país é signatário, e que criou a Organização Mundial do Comércio (OMC), onde também é membro (CORDEIRO, 2000).

Segundo Cordeiro (2000) define-se praga quarentenária, para um determinado país, todo organismo de natureza animal ou vegetal que não estando presente no local apresenta características de serem potenciais causadoras de graves danos econômicos se introduzidas. Nesse sentido, temos a Instrução Normativa Nº 45 emitida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2018b) que estabelece como:

- Praga Quarentenária Ausente - PQA: praga de importância econômica potencial para uma área em perigo, que não esteja presente no território nacional;

- Praga Quarentenária Presente - PQP: praga de importância econômica potencial para uma área em perigo, presente no país, porém não amplamente distribuída e que se encontra sob controle oficial;

- Praga Não Quarentenária Regulamentada - PNQR: praga não quarentenária cuja presença em plantas afeta o uso proposto dessas plantas, com impacto econômico inaceitável e que esteja regulamentada dentro do território da parte contratante importadora.

As ameaças fitossanitárias para o Brasil são inúmeras. Atualmente, cerca de 500 espécies ou gêneros são oficialmente regulamentadas como pragas quarentenárias ausentes (LARANJEIRA *et al.*, 2017). Cada praga apresenta riscos diferenciados conforme suas características próprias (reprodução, sobrevivência, capacidade de dispersão etc.) e, por isso, são necessárias ações de defesa vegetal desenhadas caso a caso. Em razão do tamanho e da complexidade da questão, além da limitação de recursos (de pessoal e financeiros), é importante dimensionar os esforços estratégicos, como barreiras sanitárias, medidas mitigadoras, uso de variedades resistentes, na busca de soluções mais efetivas (LARANJEIRA *et al.*, 2017).

3.6 A Sigatoka negra

Os organismos causais das doenças foliares conhecidas como complexo da Sigatoka são amplamente encontrados em plantas de bananeira e estão intimamente relacionados entre si, nem sempre com uma boa convivência, assim, no gênero *Mycosphaerella* podemos relacionar até o momento, *Mycosphaerella musicola*, *M. fijiensis*, *M. eumusae* e *M. musae*, tendo assim atualmente a denominação de *Pseudocercospora fijiensis* (sinonímia *Mycosphaerella fijiensis*) o agente causal da doença conhecida como Sigatoka negra (HENDERSON *et al.*, 2006).

A enfermidade conhecida como Sigatoka amarela e provocada pelo agente *Mycosphaerella musicola* Leach ex Murder (anamorfo *Pseudocercospora musae*), e conforme relata Gauhl (1994), foi a primeira a ser descrita por Zimmermann em 1902 na sua forma assexuada, sendo a enfermidade nomeada somente 11 anos depois da primeira grande epidemia da doença no distrito de Sigatoka nas Ilhas Fiji, e a sua forma sexual só foi descrita em 1946 por Leach (HOLLIDAY, 1994).

A descoberta de que a fitodoença, identificada como Raia Negra (“Black Leaf Streak”) da bananeira, era causada também por uma espécie de *Mycosphaerella*, que tinha um estado imperfeito semelhante a *Cercospora*, foi descrita por Leach pela primeira vez em 1963, também nas Ilhas Fiji, novamente no distrito de Sigatoka, (HOLLIDAY, 1994), sendo sugerido o agente

Pseudocercospora fijiensis (sinonímia *Mycosphaerella fijiensis*) e mais tarde em 1969 foi validado por Morelet. A partir da consulta com base em materiais herborizados, Stover (1978) pressupõe que o agente da Sigatoka negra já estava presente no Sudeste Asiático, em Taiwan, desde 1927.

3.6.1 Ocorrência mundial da Sigatoka negra

Pasberg-Gauhl et al. (2000) apresentaram uma discussão abrangente sobre a distribuição mundial da Sigatoka negra. A primeira detecção de Sigatoka negra ocorreu na ilha fijiana de Viti Levu em 1963, a apenas 60 km do Vale Sigatoka, onde a Sigatoka Amarela foi oficialmente relatada (LEACH, 1964). Após a descoberta da doença em Fiji, uma pesquisa realizada entre 1964 e 1967 descobriu que ela era generalizada no Pacífico e em partes da Orla do Pacífico. Esses achados indicaram que a Sigatoka negra pode ter estado presente na região muito antes de sua identificação em Fiji, em 1963. Uma distribuição exata da Sigatoka negra pela Ásia ainda não pode ser bem determinada, sendo que registros indicam que a doença está presente no Butão, China, Indonésia, Malásia, Filipinas, Cingapura, Taiwan, Tailândia e Vietnã (PASBERG-GAUHL, et al. 2000).

Stover (1978) formulou a hipótese que o centro de origem de *M. fijiensis* deve ter sido a área de Papua-Nova Guiné/Ilhas Salomão, já que os isolados do patógeno foram encontrados mais geneticamente diversos nestes locais, o que apoia o seu argumento (CARLIER *et al.*, 1996; HENDERSON *et al.*, 2006).

Em 1972, a ocorrência de danos severos em cultivos de banana, levou Stover (1980) a descrever a ocorrência de uma nova espécie para a América Latina, em Honduras, mais precisamente no Vale de Ulúa, onde uma enfermidade similar à Raia Negra do pacífico (“Black Leaf Streak”) foi identificada e denominada de Sigatoka negra, para assim distingui-la da Raia Negra do pacífico. Segundo Guzmán (2003b) o patógeno foi denominado como *Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*. Mulder y Stover, se basearam em algumas diferenças observadas nas estruturas de reprodução assexuais, com base na presença de um estroma onde conidióforos eram formados, que está ausente em *M. fijiensis*, (MARÍN *et al.*, 2003). No entanto, estudos confirmaram que não existia morfologicamente diferenças para a já descrita; logo, *M. fijiensis* e *M. fijiensis* var. *difformis* eram sinônimos (PONS, 1990). Mais tarde, evidências moleculares de estudos comparativos da região de ITS de DNA ribossômico nuclear (rDNA) mostraram que *M. fijiensis* e *M. fijiensis* var. *difformis* não diferem em sua sequência de nucleotídeos (JOHANSON; SREENIVASAPRASAD, 1995).

Fora da Ásia e da Oceania, a Sigatoka negra foi detectada em Honduras em 1972 (STOVER; DICKSON, 1976). Nos anos que antecederam 1981, segundo descreve Henderson, et al (2006), a Sigatoka negra atingiu proporções epidêmicas na América Central. A disseminação da doença na América do Sul iniciou-se em 1981 e, em 1998, já havia atingido todas as regiões latino-americanas de cultivo de banana. No Caribe, a Sigatoka negra foi detectada em Cuba (1990), Jamaica (1995), República Dominicana (1996), Flórida (1998), Haiti (1999), Trinidad (2003) e Ilha Grand Bahama (2004) (FORTUNE, et al. 2005; JONES, 2000, 2003; PLOETZ, 2004). Curiosamente, a propagação da doença por todo o Caribe tem sido lenta segundo Pasberg-Gauhl et al. (2000) que atribuíram isso aos ventos predominantes de leste, retardando assim a disseminação aérea de esporos. Alternativamente, a desaceleração da propagação da doença pode ser devido à falta de movimentação de material vegetal dos países produtores de bananas para as nações insulares. Nessas regiões, como observa Carlier et

al. (1996), o patógeno *P. fijiensis* geralmente substitui *P. musicola*, o que comprova a sua alta virulência e eficiência nos ciclos da doença.

A história da disseminação da Sigatoka negra pelo continente Africano foi descrita por Pasberg-Gauhl et al. (2000) e parte da ideia de ter se disseminado pelo continente a partir do emprego de material de plantio contaminado originado da Ásia. Concomitante com a descoberta da Sigatoka negra em Honduras, tem-se um relatório, não confirmado, da ocorrência da doença no Zâmbia em 1973.

Usando marcadores RFLP, técnica onde se empregam sondas de cópia única de DNA nuclear isoladas de uma biblioteca de *P. fijiensis*, Carlier et al. (1996) concluíram que as populações de *P. fijiensis* do Sudeste Asiático, da África, da América Latina e das Ilhas do Pacífico eram geneticamente distintas, porém mostrou-se ainda um nível muito maior de polimorfismo na população da Papua-Nova Guiné do que nas populações destas outras regiões (África, Ilhas do Pacífico e América Latina). A maior diversidade ocorreu em populações das Filipinas e Papua-Nova Guiné onde foram encontrados mais de 88% dos alelos detectados na África, América Latina e Ilhas do Pacífico.

3.6.2 O caso da Sigatoka negra na Austrália.

Conforme descreve Henderson *et al* (2006), em 2004, a Austrália produziu cerca de 311.000 toneladas de bananas com um valor de atacado estimado em 320 a 350 milhões de dólares (Conselho Australiano dos Produtores de Banana, 2006), sendo que este país contribuiu nesse ano com menos de 0,5% da produção mundial (FAOSTAT, 2006), e tendo quase toda a produção das frutas sendo direcionadas para os mercados locais.

Na Austrália, a presença da Sigatoka negra foi relatada pela primeira vez em maio de 1981, a partir de levantamentos de doenças vegetais em assentamentos em Bamaga, uma pequena comunidade aborígine da Ilha do Estreito de Torres, situada a 40km da ponta norte do Cabo York e também nas Ilhas Horn, Badu, Saibal e York (JONES; ALCORN, 1982). Segundo Henderson et al (2006), fora proposto que a doença já estava presente há algum tempo no Estreito de Torres e que não teria se espalhado ainda mais pelo continente, provavelmente, por ser limitada por alguns fatores como: condições climáticas (temporada seca de 6 a 8 meses), a barreira natural das florestas na Península do Cabo York, as grandes distâncias entre as propriedades, pouco cultivo de bananas nas propriedades da localidade, a ocorrência de variedades mais resistentes, a direção de vento desfavorável para dispersão de esporos e a falta de um vínculo cultural entre as comunidades da região.

Tão logo a Sigatoka negra foi constatada naquele país, pesquisas adicionais foram imediatamente realizadas como forma de se determinar sua real distribuição no norte de Queensland, além disso, conforme relata Jones e Alcorn (1982), fora promovida uma intensa busca e inspeção nas barracas de venda de frutos da maioria das ilhas habitadas, do Estreito de Torres e em muitas comunidades até a Península do Cabo York ao norte de Cooktown. Dessa forma, como medida implementada para buscar conter a Sigatoka negra e evitar sua propagação para o sul, onde predominam as regiões de maior importância comercial, foi iniciado em outubro de 1981 o trabalho de erradicação de todas as plantas infectadas. No entanto, mesmo com todo esse esforço, a doença reapareceu após 12 meses do início do trabalho de erradicação, sendo então o programa de erradicação declarado como mal sucedido em 1984, e então proposto, em 1987, um novo programa de substituição de plantas, onde todas aquelas plantas

que eram reconhecidas como suscetíveis foram eliminadas e substituídas por cultivares resistentes. Esse programa foi considerado como bem sucedido, já que apenas algumas lesões de Sigatoka negra foram encontradas em 1989, não sendo observados outros registros de ocorrências até 1999, quando a doença foi encontrada em pequenos aglomerados de plantas Cavendish em quatro locais separados (HENDERSON et al., 2006).

Considerando desde o primeiro registro, onde a Sigatoka negra foi detectada na Austrália continental, foram contabilizadas ao todo nove ocasiões distintas (PETERSON, 2002). Para cada local de detecção, a doença foi erradicada usando uma combinação de estratégias, incluindo erradicação vegetal, aplicação de fungicida e substituição de plantas de banana por fenótipos mais resistentes. Em maio de 2002, as atividades de erradicação foram concluídas e o status de “área livre da doença” foi restabelecido em 2005 (VILLALTA; MEBALDS; EDWARDS, 2018).

3.6.3 A Sigatoka negra no Brasil.

Conforme descreveu Cordeiro *et al.*, (1998), a Sigatoka amarela já se encontra disseminada pelo país desde a década de quarenta, porém a Sigatoka negra foi relatada pela primeira vez no Brasil em fevereiro de 1998, no Estado do Amazonas, em plantios localizados nos Municípios de Benjamin Constant e Tabatinga, fronteira com a Colômbia e Peru. Alguns indícios apontam que a enfermidade possa ter sido introduzida no país por meio de material infectado, proveniente de plantios da Colômbia ou do Peru, veiculados pela calha do rio Solimões durante períodos de cheia, passando então a afetar plantios ribeirinhos, a disseminação da enfermidade foi tão expressiva que, ainda em 1998, já havia sido identificado focos nas proximidades de Manaus, distante cerca de 1500 km do foco inicial (CORDEIRO; MATOS, 2012). Segundo aponta Pereira e Gasparotto, (2008a) em 1998, aparentemente a doença era presente simultaneamente nos Municípios de Coari e Tabatinga que eram distantes cerca de 700 quilômetros, sendo que os municípios localizados nesse espaço somente tiveram a constatação da doença após o ano 2000.

Em final de 1998 já era constatada em diversos município do Estado do Acre (CAVALCANTE *et al.*, 1999); porém, segundo Cordeiro e Matos (2012), a hipótese mais provável para essa ocorrência tenha sido a introdução a partir da Bolívia, haja vista as distâncias entre as áreas de ocorrência no Amazonas e Acre, além da presença da extensa floresta separando as áreas. Na sequência, as constatações ocorreram em Rondônia e Mato Grosso em 1999; Pará, Roraima e Amapá, em 2000 e, após quatro anos, em junho de 2004, no vale do Ribeira, em São Paulo. Logo em seguida e, no mesmo ano, ocorreram as constatações em Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do sul e Sul de Minas Gerais (GASPAROTTO; PEREIRA, 2006).

Estudo realizado por Queiroz; Gualberto e Sousa (2012) que objetivou analisar a diversidade e a estrutura genética da população de *P. fijiensis* no Brasil, com emprego de diferentes marcadores moleculares, afirmou que se pode indicar a estruturação do patógeno no Brasil em três subpopulações com até 73% de diversidade intra-populacional. Segundo os autores, esses resultados serão estratégicos para orientar os programas de controle e melhoramento visando resistência à doença.

Segundo aponta Cordeiro e Matos (2012), com a presença do patógeno relativo à doença em Estados de expressão relevante para a cultura da banana, como São Paulo, Santa Catarina e

Minas Gerais e, considerando uma inviável capacidade técnica e econômica de proibição da comercialização da fruta para os demais Estados ainda indenes, fora criado pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) o sistema de comprovação de áreas livres, cujo conceito seria para aquelas unidades da Federação, que já comprovadamente infectadas pela doença, ainda manteriam os focos restritos a alguma área delimitada. Dessa forma, surgiram assim as áreas livres do Mato Grosso e Minas Gerais (Norte de Minas), cabendo aos demais Estados, ainda não afetados pelo patógeno, a obrigação de comprovar, perante a Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) do MAPA, que continuavam livres, mediante levantamentos detalhados nas áreas de produção. Relata ainda Cordeiro e Matos (2012), para aqueles Estados, amplamente afetados pela doença, que cumpriam as exigências descritas em um sistema de mitigação de risco pactuado entre os produtores e órgãos de defesa agropecuária estaduais, permitiu-se a comercialização da fruta dentro do território nacional.

O status sanitário no Brasil com relação a presença da *P. fijiensis* é descrito pela INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 38, DE 1º DE OUTUBRO DE 2018 (BRASIL, 2018a) que estabelece a lista de Pragas Quarentenárias Presentes (PQP) para o Brasil, com a ocorrência do patógenos nos seguintes estados: Acre, Amazonas, Amapá, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Maranhão, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Pará, Paraná, Rio de Janeiro, Rondônia, Roraima, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e Tocantins

3.6.4. Caracterização do patógeno

a) Reprodução sexual

Conforme Tabela 1 (abaixo), *Pseudocercospora fijiensis* (sinonímia *Mycosphaerella fijiensis*) é o nome que foi dado à forma sexual (teleomorfo) ou também chamada de fase perfeita do patógeno (KRUGNER; BACCHI, 1995), onde o fungo para produzir a forma sexual desenvolve uma estrutura chamada de pseudotécio, que são frutificações visualizadas como pontuações de coloração escura à negra, localizadas na face adaxial ou dorsal das folhas senescentes e/ou com secamento (PEREIRA; GASPAROTTO, 2005), onde ficam as ascas e os ascósporos. Segundo Krugner e Bacchi, (1995) os ascósporos são esporos sexuais originados tipicamente por meiose e sendo então haploides, seu pseudotécio é pequeno, de coloração marrom escuro, com uma única abertura (uniloculado), podendo este ser imerso ou não no tecido hospedeiro. As ascas, estruturas oblongas ou em forma de convés, têm duas paredes (bitunicadas) e contêm oito esporos sexuais (ascósporos) que estão alinhados em duas carreiras. Ascósporos são hialinos e possuem um septo. Uma célula de esporo pode ser um pouco mais larga que a outra célula, e o esporo pode ser um pouco estreito no septo, são lisos e podendo se tornar rugosos com a idade e, algumas vezes, com uma fina camada mucilaginosa (VIEIRA; NECHET, 2006).

Os ascósporos produzidos a partir de tecidos necrosados são os principais tipos de esporos para a disseminação de patógenos a longas distâncias, tendo o vento considerado como seu principal meio de disseminação, sendo observado que a concentração de inóculos em até quatro quilômetros distante do bananal é idêntica à concentração de inóculo observada próximo ao filoplano ou superfície das folhas, podendo ainda os ascósporos serem encontrados ou capturados em até 60 quilômetros distantes do bananal (PEREIRA; GASPAROTTO, 2005).

A produção de ascósporos ocorre em tecidos necrosados, durante vários meses, nas folhas em decomposição, ocorrendo numa concentração de 10 a 100 vezes superior à produção

de conídios (VARGAS, 1996). A liberação dos ascósporos ocorre a partir dos pseudotécios, decorrido um período de aproximadamente uma hora após o molhamento.

Tabela 1. Classificação do patógeno *Pseudocercospora fijiensis* Morelet EPPO code: MYCOFI

Domain: Eukaryota

Kingdom: Fungi

Phylum: *Ascomycota*

Subphylum: *Pezizomycotina*

Class: *Dothideomycetes*

Subclass: *Dothideomycetidae*

Order: *Capnodiales*

Family: *Mycosphaerellaceae*

Genus: *Mycosphaerella*

Specie: *Pseudocercospora fijiensis*

Fonte: Adaptado de CABI, 2021. *Pseudocercospora fijiensis* (sinonímia *Mycosphaerella fijiensis*) In: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. www.cabi.org/isc

b) Reprodução assexual

A forma assexual (anamorfo) é chamada *Paracercospora fijiensis*, esses conídios, que são formas assexuais obtidas por divisões mitóticas, se originam individualmente a partir de hifas modificadas conhecidas como conidióforos (KRUGNER; BACCHI, 1995), sendo importante observar que essas somente podem ser localizados na face abaxial da folha (PEREIRA; GASPAROTTO, 2005), onde são produzidos os conidióforos isolados ou em grupos de até oito, que apresentam septos e cicatriz, tamanho 16-62 x 4-7 µm.

3.6.5. Biologia da enfermidade

Em doenças policíclicas, como é o caso da Sigatoka negra, o número de esporos sexuais ou outras estruturas de sobrevivência (inóculo primário) é, normalmente, pequeno sendo apresentado na tabela 2 o tempo estimado de sobrevivência de conídios sobre diferentes superfícies. Porém, uma vez ocorrida a infecção primária, uma grande quantidade de esporos assexuais (inóculo secundário) é produzida em cada sítio de infecção. Esses agentes causais de novas infecções produzem mais esporos assexuais para formar novas infecções (AGRIOS, 2005).

Tabela 2. Tempo estimado de sobrevivência de conídios (*Paracercospora fijiensis*) sobre superfícies, dentro dos limites de 20°C a 35°C e de 40% até 92% de umidade relativa, segundo Pereira e Gasparotto, (2005).

Superfície	Tempo(dias)
Superfície de tecidos de algodão e em folhas secas de bananeira;	por até 60 dias

Superfície de pneus de carros, de papelão, de caixa de madeira e de plástico;	por até 30 dias
Superfície de superfície das bananas	por até 18 dias
Superfície de ferro	por até 10 dias

Fonte: Adaptado de Pereira e Gasparotto (2005), por Machado, 2021.

Segundo Churchill (2011), o ciclo da doença Sigatoka negra em plantas de Bananeira consiste em quatro estágios distintos, que incluem a germinação de esporos, a penetração do hospedeiro, o desenvolvimento de sintomas e produção de esporos como descrita por Poeydebat et al (2018) e apresentada na Figura 1.

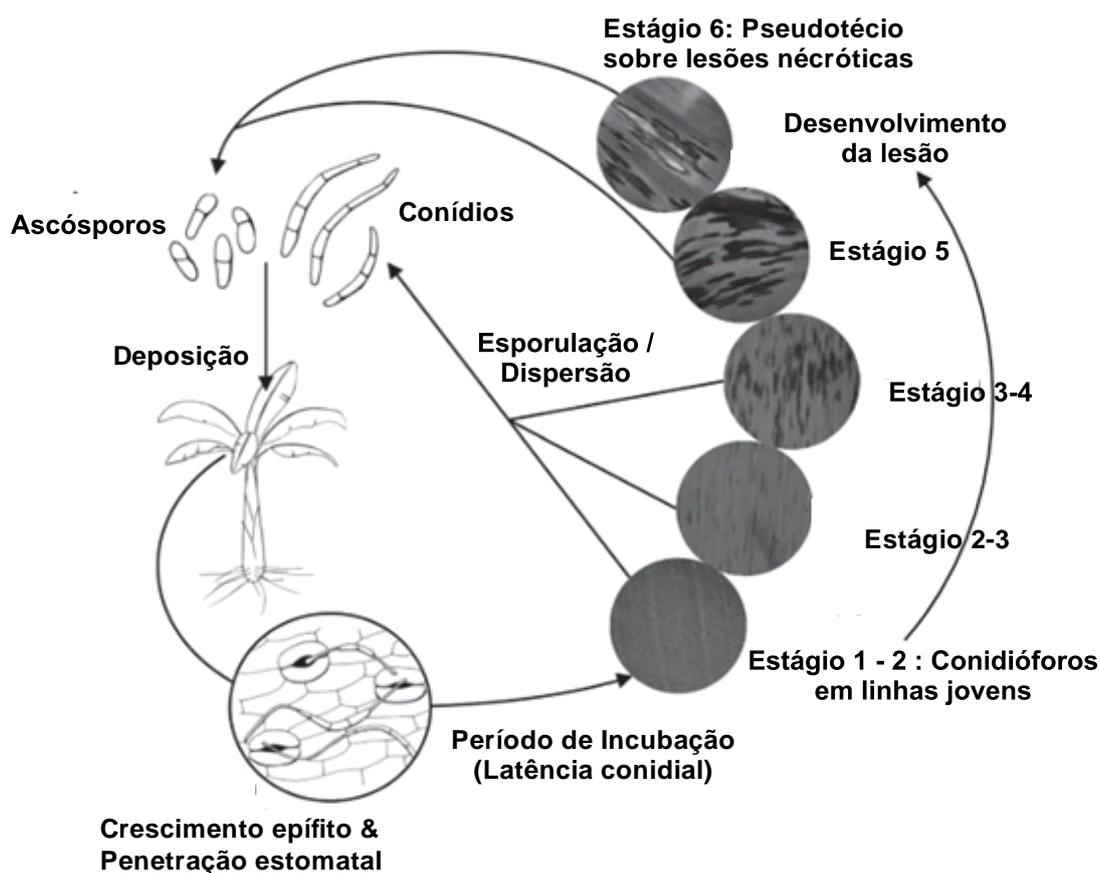


Figura 8. Patogênese da Sigatoka negra (*P. fijiensis*) com suas estruturas reprodutivas e estágios proposto por Poeydebat et al. (2018) e adaptado por Machado, 2021. **Fonte:** Adaptado de Poeydebat et al (2018) por Machado, 2021

No primeiro sintoma, os pequenos pontos cloróticos, aparecem entre 14 a 20 dias após a infecção. O período entre o aparecimento de manchas e o desenvolvimento de estrias e, posteriormente, manchas necróticas variam de acordo com a cultivar e a gravidade da infecção (JACOME; SCHUH, 1992; FULLERTON, 1994; MAYORGA, 1990). Porém, como relata Jacome e Schuh (1992) a expressão dos sintomas foi observada para 7 a 14 dias em função da umidade presente na folha (ótimo em 18h de umidade da folha após a inoculação).

Conforme ressalta Guzmán (2003a), a Sigatoka negra é uma típica enfermidade policíclica, em que tanto os conídios como ascósporos apresentam relevantes papéis na dispersão da enfermidade. Stover (1980) afirma que a dispersão dos ascósporos de pequenas

áreas com Sigatoka negra para novas áreas, por meio do vento, é muito eficiente e podendo a distância ser superior a 50 km. É interessante observar, como ressalta Guzmán (2003b), que os conídios estão associados principalmente com infecções a curta distância, entre folhas de uma mesma planta, da planta mãe aos seus filhos e entre plantas próximas, sendo que comparativamente com *M. musicola*, o agente *P. fijiensis* produz relativamente poucos conídios, sendo então os ascósporos considerados mais importantes na dispersão da enfermidade. Conforme Marin *et al.* (2003) afirmam, os conídios, especificamente, são formados principalmente durante o desenvolvimento destes primeiros estádios da doença e são favorecidos sob condições de elevada umidade, quando ocorre um filme de água livre sobre as folhas. Segundo, ainda, o mesmo Guzmán (2003b), não é possível estabelecer diferenças entre os sintomas de infecções causadas por conídios e ascósporos.

a) Germinação dos esporos

Segundo Henderson *et al.* (2006), o ciclo da doença se inicia quando o conídio ou ascósporos germinam na superfície da folha, no lado abaxial da folha zero até a três, sendo que os tubos germinativos levam entre 48 a 72 h para penetrar no estômato (STOVER, 1980), embora o fungo possa crescer epífitamente na superfície da folha por até seis dias antes de realmente penetrar nas folhas, dependendo muito essa germinação das condições de umidade e temperatura. Tanto para os conídios como para ascósporos, foi observado por Jacome, Schuh e Stevenson (1991) que, para ocorrer a penetração estomatal, as condições de temperaturas devem se situar entre 20 a 35°C, sendo as maiores taxas observadas em temperatura de 25°C com a presença de água livre sobre a folha, havendo contudo uma redução na umidade haverá uma redução na germinação. Destacam ainda os pesquisadores que os ascósporos germinam a partir de 98% de umidade relativa, enquanto os conídios necessitam de uma presença maior de umidade para germinação. Em trabalhos realizados por Guzmán (2003a) onde se buscou determinar quais eram as causas pelas quais a Sigatoka negra se mostrava severa, entre as 4ª e 5ª semanas do ano, verificou-se que as folhas causadoras dos problemas, formaram-se nos meses de novembro e dezembro do ano anterior, demonstrando assim os momentos chaves para controle da enfermidade de forma preventiva.

Outro fator importante a se destacar no desenvolvimento dos conídios do patógeno é a luminosidade. Em trabalho realizado por Hanada; Gasparotto e Pereira (2002) avaliaram-se os efeitos de meios de cultura e os regimes de luminosidade na esporulação de conídios de *P. fijiensis*. Como resultado, observou-se que, independentemente do meio de cultura, o agente necessita de luminosidade para esporular. Del Peloso *et al.* (1989) chegaram a essa mesma constatação em trabalho sobre esporulação de *Cercospora coffeicola* em diferentes meios de cultura, onde a luz, provavelmente, possibilita a síntese de compostos essenciais à esporulação, ausentes no meio de cultura.

b) Penetração no hospedeiro

Segundo Henderson *et al.*, (2006) o processo de germinação, tanto para as espécies *M. musicola*, quanto para *P. fijiensis*, passam por um período de crescimento epífito que dura de 2 a 3 dias para tubos germinativos de ascósporos e 4-6 dias para tubos de germinativos conidiais. Posteriormente, o tubo germinativo produz um apressório sobre uma abertura estomatal através do qual o fungo direciona uma hifa de infecção. O mesmo processo de infecção foi observado tanto para *M. musicola*, quanto para *P. fijiensis*, mas o número de penetrações em diversas

aberturas de estômatos a partir de um simples conídio é muito mais comum para *P. fijiensis*, resultando em extensas lesões de Sigatoka negra em superfícies inteiras de folhas (JACOME; SCHUH; STEVENSON, 1991).

c) Manifestação dos sintomas

O tempo decorrido entre a penetração do agente e o aparecimento dos primeiros sintomas é conhecido como o tempo de incubação (BRUN, 1963; KLEIN, 1960). Gauhl et al. (2000) fazem uma importante observação quanto aos termos empregado para diferenciar o que seja o “tempo de incubação” - que é definido como o tempo entre a infecção e a formação de pontos maduros - e “tempo de evolução dos sintomas” ou “período de transição” - que é o tempo desde os primeiros sintomas até o aparecimento de manchas maduras.

O tempo de incubação difere entre a Sigatoka negra e amarela, entre cultivares e é afetada por fatores ambientais e níveis de inóculo (GAUHL et al. 2000) e, conforme descreve Poeydebat et al (2018), os primeiros sintomas para a Sigatoka negra sobre condições ideais em cultivares susceptíveis podem ser observados entre 10 a 14 dias. A Sigatoka negra, devido ao seu elevado potencial de severidade, tem então a capacidade de suplantar a Sigatoka amarela nas áreas mais baixas e mais quentes; porém, em áreas mais altas (acima de 1.000 metros acima do nível do mar), *M. musicola* pode prevalecer sobre *P. fijiensis* ou ainda ambas as espécies podem coexistir, como é o caso em algumas regiões da Colômbia e Costa Rica (GUZMÁN, 2003a).

Segundo Mourichon (1995), comparando o efeito das temperaturas em ambas as enfermidades, Sigatoka negra e amarela, constata-se que existe uma forte sensibilidade de *P. fijiensis* às temperaturas inferiores à 20°C, sendo essa então a hipótese de que a variável temperatura pode ser o mais importante fator no desenvolvimento da Sigatoka negra em zonas de altitude. Dentro da folha, a hifa infectante forma uma vesícula subestomatal e a partir dessa vesícula, uma hifa cresce intracelularmente, estendendo-se através das camadas do mesófilo e das câmaras de ar para a camada paliçada (HENDERSON et al., 2006). Com a morte das células do entorno dos estômatos, é possível observar na face inferior da folha, com auxílio de lentes de aumento de 10 a 20 vezes, os primeiros sintomas característicos da doença que são fruto de estruturas reprodutivas, os conidióforos, de cor marrom-café com até 5 subdivisões ou septos, e os seus conídios hialinos ou transparentes com até 11 células e uma cicatriz na sua extremidade anterior (MORAES et al., 2013). Essas pontuações claras ou áreas despigmentadas transformam-se em estrias de coloração marrom-clara, com 2 a 3 mm de comprimento, já perceptível a olho nu (PEREIRA et al., 1998). Conforme destaca Moraes et al (2013), dependendo da intensidade das infecções, estes pequenos pontos coalescem e tomam a forma de traços, também restritos às duas nervuras terciárias. Esses traços, por sua vez, juntam-se formando assim as estrias, e somente então ultrapassando os limites das nervuras terciárias, como pode ser observado na figura 02. Comparativamente as manchas maduras de Sigatoka negra desenvolvem-se mais rapidamente após a infecção do que a Sigatoka amarela (GAUHL et al. 2000).



Figura 9. Quadro sintomatológico característico causado por infecções da Sigatoka negra, com evidenciação dos estágios 2 e 3 e sua evolução para estágio 4, na superfície abaxial direita e superior da folha 3. **Fonte:** Acervo pessoal Machado, 2021.

Para estes estágios iniciais do desenvolvimento dos sintomas da doença Moraes, Lima e Rozane (2019) sugerem uma simplificação dos sintomas para uma melhor compreensão, conforme apresentado na tabela 3, e assim os caracterizam: 1º estágio: *Pontos(1 mm)*; 2º estágio: *Traços(2-3 mm)*; 3º estágio: *Estrias com ferrugem no centro*; 4º estágio - *mancha oval marrom a negra*; 5º estágio - *mancha negra oval com halo amarelo*; e 6º estágio - *mancha negra oval com centro deprimido e necrosado*. Os estágios 1, 2 e 3 são de coloração marrom-clara e podem ser observados, na superfície abaxial direita e superior das folhas mais novas, conforme Figuras 2 e 3; os demais, nas folhas mais velhas da planta. Segundo Pereira e Gasparotto (2008b), é muito importante observar a predominância dos referidos sintomas relatados nas fases 1, 2 e 3 no lado esquerdo das folhas iniciais, a partir da folha vela ou bandeira, e nas folhas 1, 2 e 3 (JACOME; SCHUH, 1992; JACOME; SCHUH; STEVENSON, 1991).

Tabela 3. Classificação dos estágios da doença segundo Meredith and Lawrence (1969), Fouré (1982) e Moraes et al (2014).

Estágio	Meredith and Lawrence	Fouré	Moraes	Descrição
1 ^a	Initial speck stag (Estágio de ponto inicial)	Stage 1 (Estágio 1)	Ponto	A marca de despigmentação (esbranquiçada ou amarela) é fruto da entrada, na câmara subestomática pelo micélio, e conduz ao aparecimento dos primeiros sintomas da enfermidade provocada pela morte da célula estomática e das células companheiras. Esse ponto com 0,25 mm de diâmetro pode tender a marrom-vermelho, limitado sempre entre duas nervuras secundárias na face inferior folha.
2	First streak stage (Estágio de traço inicial)	Stage 2 (Estágio 2)	Traço	Sequência de pontos marrom-vermelha, com dimensões de 2 mm de comprimento por 1 mm de largura, limitados entre duas nervuras secundárias na face inferior folha.
3	Second streak stage (Estágio de segundo traço)	Stage 3 (Estágio 3)	Estria	Uma linha formada por sequência de traços. A cor começa a mudar de vermelho para marrom escuro.
4	First spot stage (Estágio de Primeira Mancha)	Stage 4 (Estágio 4)	Mancha negra	Nesse estágio aparecem as manchas marrons escuras (face inferiores) emolduradas por halo marrom claro, sendo também observado as primeiras pontuações negras na face superior da folha.
5	Second spot stage (Estágio de Mancha Secundária)	Stage 5 (Estágio 5)	Mancha negra com halo amarelo	Mancha preta com halo clorótico. A lesão está ligeiramente deprimida.
6	Third or mature spot (Mancha terciária ou madura)	Stage 6 (Estágio 6)	Mancha negra com centro necrosado	O centro do ponto seca e fica esbranquiçado a cinza. Spot é cercado por uma borda marrom escuro para preto e ainda mais deprimido.

Fonte: Adaptado de Fouré (1982) Marín, (2003) e Moraes et al (2014) por Machado, 2021.

Gasparotto; Pereira e Pereira (2003) relatam que a produção de conídios é mais abundante nas fases 2, 3 e 4 dos sintomas, sendo que uma área lesionada de 20 mm² é capaz de produzir 1200 conídios, exibindo assim a extrema capacidade de multiplicação destas estruturas. Enquanto a fase assexuada continua na face inferior da folha, as lesões evoluem para a face superior, e essa mudança, segundo aponta Moraes et al. (2013), ocorre principalmente em função do esgotamento dos nutrientes na área lesionada, assim, os sintomas evoluem para os estágios: 4º estágio: *Mancha negra*; e 5º estágio: *Mancha negra com o centro necrosado*.



Figura 10. Quadro sintomatológico característico causado por infecções da Sigatoka negra, com evidenciação dos estágios 1, 2 e 3 na superfície abaxial da folha de Bananeira. **Fonte:** Acervo pessoal Machado, 2021.

Em lesões mais avançadas (vide Figura 04), relatam os autores que ocorre a formação de corpos de frutificação do fungo, conhecidos como pseudotécios, que podem ser visualizados com lente de aumento como inúmeros pontos pretos. Nessas lesões, os esporos sexuais (ascosporos) são produzidos abundantemente, chegando em números de até 5.000/lesão, por vários meses. Em folhas em decomposição, a concentração é de 10 a 100 vezes superior à produção de conídios (VARGAS, 1996). Estudos desenvolvidos no Havai e Costa Rica demonstraram que a liberação de ascosporos é mais abundante durante a noite, decrescendo significativamente durante o dia (GUZMÁN, 2003a).



Figura 11. Planta de Banana após emissão de frutificação sob ataque severo de Sigatoka negra demonstrando o amplo lesionamento dos tecidos e intensa perda de tecidos funcionais nas folhas. **Fonte:** Acervo pessoal Machado, 2021.

Diferenças morfológicas conidiais podem ser usadas para separar os indivíduos em nível da espécie (MARÍN *et al.*, 2003; MOURICHON, 1995), sendo que Stover (1980) ressalta a presença da cicatriz existente na base dos conídios (figura 5A) como sendo um importante diferencial entre as espécies *P. fijiensis* de *M. musicola*. Também aponta Cordeiro et al. (2005) que, para a melhor diferenciação visual por exame microscópico do tipo de agente que está infectando a planta (principalmente quando se depara com Sigatoka negra e Sigatoka Amarela coexistindo na mesma folha), deve-se trabalhar unicamente no estágio anamórfico do patógeno, uma vez que não se observam diferenças morfológicas no estágio Teleomórfico (figura 5B). A diferenciação entre os esporos dos dois patógenos é difícil nessa forma e, portanto, passível de erros. Para o diagnóstico mais acurado, segundo Uchôa (2010), deve-se empregar técnicas moleculares baseadas em reação em cadeia da polimerase (PCR), que amplifica uma sequência específica do DNA do patógeno.

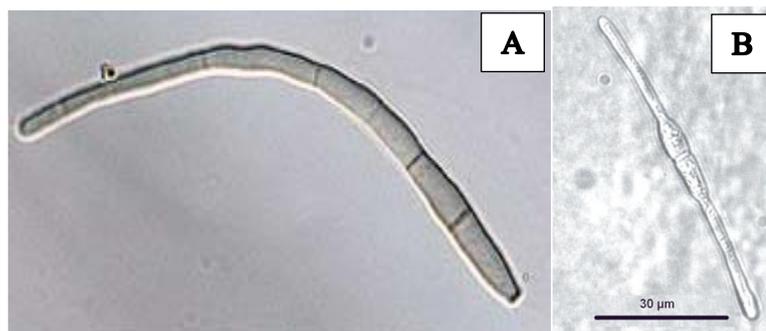


Figura 12. Fotografia Eletrônica com exibição das estruturas de reprodução assexuadas A: Conídio (*Paracercospora fijiensis*), e estruturas de reprodução sexuada B: Ascosporo (*Pseudocercospora fijiensis*). **Fonte:** A: Adaptado de Arzanlou et al (2008); B: Adaptado de Churchill (2011) por Machado, (2021).

4 O ESTADO DA ARTE, MANEJO DA DOENÇA SOB A PERSPECTIVA AGROECOLÓGICA

4.1 Determinação do patossistema

Os patossistemas agrícolas estão integrados por quatro componentes principais: hospedeiro, patógeno, clima e o homem (FILHO; AMORIM, 2011; ROBINSON, 1976). Podemos observar, como propõe Orozco-Santos et al. (2008), os integrantes e as suas interferências diretas de causa e efeito, sobre o patossistema da Sigatoka negra (Figura 6).

- Os hospedeiros economicamente importantes são as bananas e plátanos, sendo que o nível de danos da enfermidade depende, em muito, de seu grupo genômico e cultivares. A severidade da Sigatoka negra se magnifica em sistemas agrícolas como o pertencente às musáceas, na qual a propagação vegetativa (reprodução assexual) e o cultivo em grandes extensões de terra de uma única variedade/cultivar geneticamente uniforme, tornam a planta altamente vulnerável a ataques epidêmicos da enfermidade.
- O agente causal apresenta em seu ciclo de vida tanto um estado teliomorfo ou sexual, como um estado anamorfo ou assexual.
- O clima é um fator muito importante para o patossistema, já que pode ser um regulador dos processos biológicos tanto para o hospedeiro como para o patógeno.
- O homem também é parte do patossistema, já que compõe parte dele ao ser o tomador de decisões sobre o uso de determinado cultivar, sobre o tipo de sistema de produção, sobre o manejo do hospedeiro e os métodos de controle empregado para a Sigatoka negra.



Figura 13. Patossistema da Sigatoka negra, interação dos fatores ambientais com as culturas de subsistência e o cultivo da Banana. **Fonte:** Acervo pessoal Machado, 2021.

Conforme descreve Plantegenest; Le May e Fabre (2007), os fatores epidemiológicos que influenciam a dinâmica das doenças nos patossistemas incluem genética hospedeira (ou seja, resistente/suscetível), virulência do patógeno, modo de dispersão e transmissão de patógenos, efeito das condições ambientais e da presença de hospedeiros e reservatórios alternativos. Gasparotto et al., (2005) descreveu o primeiro relato de ocorrência de *Pseudocercospora fijiensis* em helicônia (*Heliconia psittacorum* L.) que foi observado no jardim da Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus, Amazonas. Tais plantas apresentavam sintomas semelhantes aos da Sigatoka negra da bananeira e após os testes de patogenicidade do material realizado nas bananeiras da cv. Prata Anã (através da técnica de inoculação cruzada, descrita pelo autor) foi possível observar a patogenicidade e assim indicar que esta planta ornamental pode atuar como hospedeira de *P. fijiensis*.

Desde então não foram relatados trabalhos com outras espécies, acreditando-se que este fosse um patógeno relacionado apenas às Musáceas. Porém em trabalhos realizados por Vázquez-Euán et al. (2019), em áreas de cultivos de bananas em Tabasco e Chiapas, no México, de forma a se determinar se poderiam haver outros potenciais hospedeiros para o fungo *M. fijiensis*, fora detectada a presença desse patógeno em quatro espécies de plantas até então não relacionadas na região: *Heliconia psittacorum* (*Heliconiaceae*), *Digitaria* spp (*Poaceae*), *Wedelia trilobata* (*Asteraceae*) e *Xantosoma robustum* (*Araceae*). Ainda segundo os autores, nenhuma das plantas *Commelina elegans* foi positiva para a Sigatoka negra no diagnóstico de PCR, embora tenham sido coletadas abaixo de plantas de banana com sintomas para Sigatoka negra, observando o resultado positivo na área de cultivo em apenas quatro espécies vegetais. Com isso, reforça-se a ideia de que os diagnósticos positivos não são circunstanciais por deposição epifítica de esporos. Esses resultados do PCR indicam uma reação positiva de plantas ao patógeno, e não apenas o resultado da deposição de esporos de *P. fijiensis* sobre a superfície dessas plantas. Sendo assim, esse trabalho demonstra a necessária atenção que deve ser dada aos hospedeiros alternativos para patógenos, que nem sempre podem completar seu ciclo de vida no hospedeiro primário.

4.2 Manejo agroecológico da cultura

Segundo Poeydebat et al (2018) estudos sugerem que as doenças fúngicas em geral poderiam ser reguladas através de: (i) características estruturais da comunidade vegetal; (ii) características composicionais da comunidade vegetal em termos de hospedeiros e não

hospedeiros e (iii) a suscetibilidade variável entre os hospedeiros. Orozco-Santos et al. (2008) sugerem que para a adoção de um manejo integrado da cultura da banana, visando o controle da Sigatoka negra, é necessário ter o perfeito reconhecimento de algumas premissas muito importantes: o conhecimento da cultivar/variedade de banana ou plátano e a sua suscetibilidade à enfermidade; a sua fenologia e a interação existente entre o patógeno e os órgãos afetados em função da idade das plantas. Além disso, é preciso reconhecer o patógeno/enfermidade na forma como este está agindo, seu tipo de reprodução, sua estrutura genética, as formas de disseminação, fonte de inóculo, sobrevivência, período de incubação e ciclo da enfermidade. A interferência do clima, bem como a quantidade e distribuição da precipitação, temperatura, presença de orvalho, da radiação solar, nebulosidade e humidade relativa também devem ser observados.

A doença Sigatoka negra, quando comparada com outra importante doença foliar da cultura da banana - a Sigatoka amarela - é considerada como extremamente destrutiva. Devido à prematura morte das folhas, em certas regiões e condições, exige até 52 pulverizações por ano, com fungicidas protetores ou 26 , com sistêmicos, sendo que, na Costa Rica, são necessárias até 56 pulverizações anuais, para seu efetivo controle (GASPAROTTO; PEREIRA; HANADA, 2007).

Conforme afirma Poeydebat et al.(2018), a necessidade de aplicação de fungicidas para o controle da Sigatoka negra em sistemas intensivos de cultivo criou muitos problemas, principalmente aqueles relativos à seleção de estirpes de *P. fijiensis* resistentes aos fungicidas, além dos problemas ambientais e de saúde humana que pode causar. Estima-se que o controle com fungicidas representa 35 a 45% dos custos de produção de bananas no México (OROZCO-SANTOS *et al.*, 2002). Tal risco e problemática também é relatada por Favreto; Model e Tonietto (2007) que aponta os locais onde a aplicação de fungicidas em larga escala é mais onerosa. Segundo esses autores, os bananeais localizados em áreas íngremes, e ou, exercidas por atividades produtivas de natureza familiar, tornam-se inviáveis economicamente, além de poder causar possíveis danos ambientais, devido às aplicações de fungicidas.

Trabalhos realizados por Castro et al. (1995) alertam para os problemas com resistência de *P. fijiensis* a fungicidas sistêmicos, além de determinar resíduos de fungicidas presentes em águas, sendo alguns considerados carcinogênicos e teratogênicos.

4.2.1 Emprego de cultivares resistentes

Segundo Mourichon; Carlier e Fouré (1997), a forma mais apropriada, a longo tempo, é certamente a opção pela resistência genética, especialmente para agricultores familiares que não podem acessar o controle químico por razões econômicas. Sendo então essa a estratégia de controle eleita pela comunidade científica internacional (FIORAVANÇO; PAIVA, 2005). Neste sentido, o melhoramento genético de bananeiras, visando variedades resistentes, é uma linha de pesquisa prioritária, devido à crescente dispersão da Sigatoka negra no mundo e ao impacto econômico que ela representa (OROZCO-SANTOS *et al.*, 2008). Segundo Gasparotto e Pereira (2006), o uso de cultivares resistentes constitui-se na mais viável forma de controle da enfermidade, por se tratar de método de fácil adoção, não necessitando de ações posteriores por parte dos produtores e com estabilidade do ponto de vista ambiental.

Conforme descreve Nansamba et al. (2020), desde o início do século XXI, genes benéficos foram manipulados em plantas de banana, com objetivo de conferir resistência às principais enfermidades que atacam a cultura, como o Mal do Panamá, a Sigatoka negra entre outras.

Como base para o trabalho genético da resistência às principais pragas e doenças da bananeira, Yokomizo (2011) aponta que, para o caso da Sigatoka amarela, as evidências trabalham com dois componentes de resistência. O de maior intensidade trata do controle genético, que afeta a latência da infecção; enquanto o de menor intensidade é um tipo de resistência de campo baseada numa maior velocidade de produção de folhas, possibilitando a permanência de uma maior área foliar verde em detrimento à perda por danos de colonização do patógeno.

Segundo trabalho de revisão de Soares et al. (2021), o desenvolvimento de cultivares resistentes à Sigatoka negra tem sido o foco de inúmeros programas de melhoramento por todo o mundo, com o emprego de diversas ferramentas biotecnológicas para o seu suporte. Na obtenção de materiais resistentes, os autores citam que as cultivares resistentes à *P. fijiensis*, como BRS Maravilha, BRS Platina, FHIA-02, FHIA-18 e Galil 18 representam alternativas ao tradicional subgrupo Prata. Já o material BRS Princesa, BRS Tropical e Caipira também podem ser consideradas como alternativas para o sub grupo Maçã. Ainda pode-se indicar a cultivar Buccaneiro como uma alternativa às cultivares suscetíveis do subgrupo Gros Michel e adequada para agrossistemas irrigados (WEBER *et al.*, 2017). Porém, não são relacionados materiais com resistência à Sigatoka negra para nenhuma cultivar do subgrupo Cavendish, sendo esse um importante trabalho de busca pelo desenvolvimento de genótipos resistentes para o subgrupo Cavendish (SOARES *et al.*, 2021).

A busca por cultivares de banana (*Musa spp.*) resistentes, a partir de novos genótipos, é uma prioridade mundial, na qual o Brasil está inserido, considerando que esta é a melhor alternativa tecnológica para a bananicultura brasileira, devido ao seu elevado alcance entre os produtores e a sua ação preservacionista, dispensando o uso de fungicidas no controle do mal de Sigatoka (CORDEIRO; MATOS, 2005).

Em estudo realizado por Nascimento (2020), no estado da Bahia, onde se buscou a seleção de genótipos diploides resistentes à Sigatoka negra com base no Índice de Aumento da Severidade da doença (AID), foram identificados acessos de bananeira com resistência à Sigatoka negra, sendo cinco acessos diploides de banana (Krasan Saichon, Zebrina, Birmanie, Nº 118 e Tuu Gia) e oito acessos moderadamente resistentes (PA Rayong, Pisang Cici, Malaccensis 1, 028003-01, Microcarpa, Pisang Lidi, Lilin e Malbut).

Conforme descreve Silva et al. (2013), no Brasil, as cultivares mais usadas pelos agricultores são dos tipos Prata, Maçã e Terra, suscetíveis à Sigatoka negra, sendo que, Terra e Maçã, também são suscetíveis à Sigatoka amarela. O emprego de cultivares resistentes é uma das práticas de manejo para se conviver de forma sustentável com as fitodoenças; porém carecem de aceitação comercial, por parte do consumidor, que prefere frutas do subgrupos Cavendish (*Musa AAA*) e do subgrupos Prata e Maçã (*Musa AAB*), consideradas altamente suscetíveis (MORAES; LIMA; ROZANE, 2019).

A principal linha de pesquisa no melhoramento genético de bananeira realizado no Brasil é baseada principalmente na produção de tetraploides AAAB, oriundos de cruzamentos de diploides melhorados (AA) com triploides AAB dos tipos Prata e Maçã (YOKOMIZO, 2011).

Segundo Pereira e Gasparotto (2008b), para aquelas regiões onde a ocorrência da Sigatoka negra seja severa são recomendados os materiais: Caipira (AAA), Thap Maeo (AAB), Pacovan Ken (AAAB) BRS Caprichosa (AAAB), BRS Garantida (AAAB), BRS Japira

(AAAB), BRS Vitória (AAAB), Preciosa (AAAB), FHIA 01 (AAAB), FHIA 18 (AAAB), FHIA 20 (AAAB), FHIA 21 (AAAB), Figo Cinza (ABB), Figo Vermelho (ABB), Pelipita (ABB), Prata Zulu (AAB), Ouro (AA) e BRS Conquista (AAB).

É importante contudo observar o papel do ambiente na resistência das plantas; já que, como apontam Gasparotto e Pereira (2010), as cultivares que apresentam resistência horizontal podem ter sua efetividade de resistência influenciada pelo ambiente. Nesse sentido, é necessário usar outras estratégias, que devem fazer parte do manejo integrado de doenças, onde se permita “conviver” com as enfermidades, ou seja, mantê-las em níveis adequados e não comprometer a viabilidade do cultivo em função do ambiente (FAVRETO; MODEL; TONIETTO, 2007).

4.2.2 O Microbioma solo e o efeito sobre a supressão de doenças

Uma estratégia que deve ser buscada em agroecossistemas manejados organicamente segundo Altieri (1999), trata da maior biodiversidade temporal e espacial dentro dos campos de produção. Essas práticas agrícolas procuram incentivar o aumento da abundância e da diversidade de organismos acima e abaixo do solo, que por sua vez prestam serviços ecológicos fundamentais aos agroecossistemas (REIJNTJES et al., 1992). A qualidade do solo está diretamente associada à existência de solos produtivos e esses efeitos benéficos podem ser melhorados por diferentes práticas de manejo de culturas orgânicas, principalmente baseadas em princípios ecológicos (VIDA; DE VICENTE; CAZORLA, 2020).

Segundo propõe Pascale et al. (2020), as plantas estão continuamente expostas a vários estresses bióticos causados por patógenos ou pragas e condições ambientais adversas, como seca, salinidade do solo, temperaturas extremas, deficiências de nutrientes ou exposição a metais pesados; sendo que, para sobreviver às tensões bióticas, as plantas evoluíram uma série de respostas imunes sofisticadas que protegem as células vegetais dos desafios que enfrentam.

Conforme relatam Vida; De Vicente e Cazorla (2020), nas últimas décadas, inúmeros têm sido os estudos que demonstram a melhoria da saúde vegetal e da produção de culturas, pela indução da resistência sistêmica e/ou crescimento vegetal, bem como pela supressão de diferentes tipos de doenças transmitidas pelo solo (principalmente, patógenos bacterianos ou fúngicos), devido aos materiais compostos utilizados como adubos orgânicos.

Segundo Stenberg et al. (2021), o controle biológico está relacionado a outros tipos de controle e práticas que facilitam as sinergias interdisciplinares e, com à crescente conscientização ambiental, a vários novos produtos com prefixos “bio” introduzidos para proteção de culturas, alguns deles contendo organismos vivos; outros, contendo ingredientes ativos à base de processos naturais não vivos. Ainda nesse aspecto, ressalta De Faria et al. (2021), que a estratégia iria além do uso de produtos biológicos, usando apenas agentes isolados e deveria, sim, incluir práticas para gerenciar a biologia residente na rizosfera com o objetivo de induzir a supressividade do solo.

Para Pascale et al. (2020), a grande concentração de vida microbiana na fina camada de solo ao redor das raízes, conhecida como rizosfera, é explicada pela liberação de produtos ricos em carbono originados da fotossíntese e que são uma fonte vital de alimento para os atração destes microrganismos. Nesses “rizo-depósitos” bastante diversos, que incluem ácidos orgânicos, aminoácidos, açúcares, produtos do metabolismo secundário, e até mesmo a liberação de células das bordas de raízes senescentes, os microrganismos que proliferam na rizosfera são, portanto, expostos a compostos derivados das plantas e suas moléculas de

sinalização, representando assim, um subconjunto das comunidades microbianas altamente complexas. A microbiota associada à raiz consiste de microrganismos que podem auxiliar as plantas na assimilação de nutrientes, ou ainda, aumentar seu potencial de crescimento e defesa de microrganismos que podem lhes ser prejudiciais. Portanto, a manutenção de um equilíbrio entre a saúde vegetal e a acomodação dessa infinidade de microrganismos na rizosfera requer uma coordenação de processos complexos onde todos os parceiros se beneficiam (PASCALE *et al.*, 2020).

Conforme descreve Vida; De Vicente e Cazorla (2020), existem muitos relatos sobre a correlação entre grupos específicos de microrganismos e a indução da supressão de uma doença vegetal, tendo demonstrado que a diversidade e a composição das comunidades bacterianas e fúngicas do solo varia significativamente, mas é nos filos Actinobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes, Proteobacteria, Verrucomicrobia, Chloroflexi, Planctomycetes e Acidobacteria que esses microrganismos são prevalentes. Evidências sugerem que os serviços prestados por microrganismos associados à planta podem ampliar suas funções imunológicas (VANNIER; AGLER; HACQUARD, 2019). Os mecanismos de defesa vegetal podem ser categorizados como defesas passivas; resistência não hospedeira, barreiras físicas e químicas, defesas ativas rápidas e defesas ativas atrasadas (RAHMAN *et al.*, 2018).

Para Köhl; Kolnaar e Ravensberg (2019), as plantas se defendem com uma ampla variedade de mecanismos físicos e químicos contra patógenos, sendo que tais mecanismos, como as cutículas, são complementados por mecanismos de resistência indutível, desencadeados por estímulos de reconhecimento presentes em receptores específicos. Tais estímulos de reconhecimento são denominados de PAMP (PAMP, pathogen-associated molecular pattern) e induzem rotas de defesa para aumentar a resistência do hospedeiro contra o patógeno. Segundo ainda os mesmos autores, a resistência pode ainda ser induzida tanto localmente no tecido atacado, como espalhada através de sinalização na planta ou mesmo promovida no meio para as plantas vizinhas resultando em SAR (SAR, systemic acquired resistance) (KÖHL; KOLNAAR; RAVENSBERG, 2019). Os mecanismos de defesa induzidos envolvem a produção de espécies reativas de oxigênio, fitoalexinas, compostos fenólicos ou proteínas relacionadas à patogênese ou à formação de barreiras físicas como modificações de paredes celulares e cutículas pela planta induzida (WIESEL *et al.*, 2014).

As defesas ativas rápidas envolvem as mudanças na função da membrana, a ruptura oxidativa inicial, o reforço da parede celular, a resposta hipersensível (HR), resultando em morte celular programada (PCD) e fitoalexinas (DARVILL; ALBERSHEIM, 1984). As defesas ativas atrasadas incluem contenção de patógenos e reparação de danos, expressão genética relacionada à relato de proteínas PR (RP) e resistência adquirida sistêmica (SAR)(RAHMAN *et al.*, 2018).

Segundo Ninkovic; Markovic e Dahlin, (2016), um mecanismo potencial, e que tem recebido pouca atenção, trata justamente da comunicação química entre plantas vizinhas. Os mecanismos e processos da sinalização volátil de ataques de patógenos e pragas em vegetais está descrito em Engelberth *et al.*,(2004). Em Callaway, (2002) temos uma descrição de como as plantas também usam compostos orgânicos voláteis (VOCs) para detectar a presença, ausência e identidade das plantas vizinhas. Tanto as plantas danificadas e não danificadas emitem os VOCs que podem induzir respostas de crescimento em plantas receptoras, o que, por

sua vez, pode afetar outros organismos que usam a planta como hospedeiro (NINKOVIC *et al.*, 2013).

Considerando que as plantas são indivíduos sésseis, por estarem enraizadas e, portanto, incapazes de fugir de condições desfavoráveis ou ameaças, estas desenvolveram sistemas de defesa, que lhes permitem detectar e responder à VOCs de outras plantas como alertas para sua sobrevivência. As plantas são capazes de detectar pistas voláteis de vizinhos ou atacados por patógenos (ENGELBERTH *et al.*, 2004) e essas pistas podem regular modos específicos e eficazes de defesas bioquímicas (ERB, 2018). O efeito observado das alterações induzidas pelos VOCs no processo de aceitação do patógeno pelo vegetal hospedeiro e as diferenças nos perfis de VOCs vegetal indicam que as interações vegetais levam à mudança da fisiologia/ patógeno da planta hospedeira, o que afeta o desenvolvimento populacional e determina o nível de supressão de pragas.

As moléculas de sinalização de defesa vegetal incluem o ácido salicílico (SA), que é geralmente considerado necessário para a defesa contra patógenos biotróficos e SAR. O ácido jasmônico (JA) e etileno (ET) estão envolvidos na defesa contra patógenos necrotróficos, bem como em interações benéficas entre plantas e microrganismos, incluindo os priming e resistência sistêmica induzida (ISR) (PIETERSE *et al.*, 2014). Diferente da indução da resistência, o priming de estímulos de plantas sensibiliza-a para uma defesa aprimorada não apenas na presença do estímulo, mas também a um sistema duradouro de mecanismos de defesa mais rápido ou mais forte no futuro (MAUCH-MANI *et al.*, 2017). Essas atividades metabólicas são dependentes de energia para que os estímulos sejam duradouros e mantenham os mecanismos de defesa induzidos ativos (KÖHL; KOLNAAR; RAVENSBERG, 2019).

A estimulação mediada pela microbiota radicular de imunidade vegetal foi extensivamente descrita por conferir resistência contra vários patógenos microbianos de folhas (um fenômeno referido como priming ou resistência sistêmica induzida - ISR) (VANNIER; AGLER; HACQUARD, 2019). O ISR tem sido estudado como de alto potencial de defesa vegetal, desencadeada por membros benéficos do microbioma raiz para uma ampla gama de hospedeiros vegetais tornando-os resistentes contra várias ameaças patogênicas (PIETERSE *et al.*, 2014).

A supressividade geral é reforçada pela incorporação de matéria orgânica ou outras práticas de manejo que aumentam a atividade microbiana total e a concorrência no solo, sendo que também pode ser eliminada através da pasteurização do solo ou o emprego de biocidas (PASCALE *et al.*, 2020). A aplicação de adubações orgânicas pode afetar indiretamente as propriedades do solo em níveis físicos, químicos e biológicos, levando a uma reformulação no equilíbrio microbiano devido à indução de mudanças na estrutura do solo e na quantidade de nutrientes disponíveis após atividades microbianas, o que pode, em última análise, influenciar a exsudação vegetal, o crescimento e a saúde. (VIDA; DE VICENTE; CAZORLA, 2020).

Segundo De Faria *et al.* (2021), o emprego de práticas de manejo, como o sistema de plantio direto e cultivo orgânico, tem sido uma nova abordagem adotada, principalmente porque já se sabe que essa prática tem uma influência notável sobre bactérias e fungos dominantes no solo e nas raízes. Segundo esses autores, o aumento da diversidade vegetal no espaço – intercultura; ou no tempo - rotação de culturas ou culturas de cobertura, pode resultar em mudanças benéficas sobre os fatores biológicos da rizosfera. A incorporação de compostos orgânicos pode causar a indução da supressividade do solo através do estímulo dos compostos

da microbiota, liberados durante a decomposição da matéria orgânica (BETTIOL; MORANDI, 2009).

Em solos com maior fertilidade, especialmente maior teor de matéria orgânica, a incidência de Sigatoka negra é menor (OLUMA et al., 2004). Resultados semelhantes são observados para o Mal do Panamá (*Fusarium oxysporum f. sp. cubense*), onde maiores teores de matéria orgânica no solo estão relacionados à menor incidência da doença nas bananeiras (SILVA JÚNIOR et al., 2000). Em estudo promovido por Jimenez et al. (2007), em uma fazenda sob manejo orgânico no Equador com incidência de Sigatoka negra, foi registrada uma produtividade média de 23 t ha/ano, com uma média de 8,5 folhas funcionais e 6,3% de gravidade da doença no momento da colheita.

Assim, considera-se que para uma convivência com a Sigatoka negra é necessário, segundo Pereira e Gasparotto (2008b), levar em consideração que a infecção ocorre apenas nas folhas vela ou cartucho e folhas 1 e 2; dessa forma, o progresso da doença em folhas mais velhas não ocorre devido a novas infecções, mas devido ao crescimento micelial nos espaços exteriores nos tecidos que compõem o limbo foliar. Partindo desse ponto, os autores sugerem que todas e quaisquer estratégias de convivência com a doença deve ter como premissa a necessidade de manutenção da taxa de emissão foliar, bem como na redução da concentração de inóculo para os ciclos produtivos subsequentes. Portanto, uma boa condição de oferta nutricional do solo é importante para a redução dos danos causados pela doença, pois uma melhor nutrição promove uma maior velocidade de expansão foliar e, em alguns casos, maior que a destruição pela Sigatoka negra (FAVRETO; MODEL; TONIETTO, 2007). Em solos pobres, a emissão foliar reduz-se e temos plantas raquíticas e considerando que o desenvolvimento da doença está estreitamente relacionada ao crescimento da planta hospedeira; então, quanto mais pobre for o crescimento, mais severa será a influência da enfermidade (OROZCO-SANTOS *et al.*, 2008)

Bananais afetados por Sigatoka negra tendem a apresentar melhor produtividade com a aplicação de micronutrientes (NAVA e VILARREAL, 2000). Resultados do estudo de Aguirre; Piraneque e Rodríguez Barrios (2015) demonstraram que o aumento de Mg foliar aumenta o percentual médio de infecção da enfermidade, enquanto que níveis mais elevados de Ca foliar foram correlacionados com a redução do percentual médio de infecção para Sigatoka negra. Esses autores apontam que altos níveis de potássio, cálcio, boro e ferro foliares estão associados a uma baixa severidade da doença; enquanto altos níveis de magnésio se correlacionam com uma alta gravidade da doença. Adequados teores de nitrogênio e potássio no solo também são mencionados como favoráveis para uma maior produtividade em situações de ataque da Sigatoka negra (PÉREZ-VICENTE, 1998). A cobertura do solo por restos culturais em cultivos de plátano (*Musa AAB*) propiciou melhor desenvolvimento das plantas e reduziu os danos causados por *P. fijiensis* (NGONGO, 2002).

Entre os efeitos adversos na cultura da banana temos a seca ou restrição de oferta de água se manifestando em vários estágios cruciais: de crescimento, incluindo o estágio vegetativo inicial, de iniciação floral, de floração e no desenvolvimento de pencas (NANSAMBA *et al.*, 2020). Ainda segundo Nansamba et al (2020), o emprego de mulching, como uma opção de manejo cultural, é frequentemente praticado para reduzir a evaporação, controlar as plantas invasoras, reduzir a perda de solo por carreamento hídrico e reduzir a compactação de partículas do solo. Esse afirma também que a cobertura do solo com leguminosas tolerantes à seca em sistemas de produção de banana contribuiria para a redução das perdas de rendimento induzidas pelo estresse da seca. A cobertura de solo disponibiliza nutrientes durante a decomposição, melhora as condições físicas e hídricas do solo, além de

auxiliar na decomposição de patógenos no solo (SHCROTH et al., 2000). Adubações verdes com leguminosas como *Cajanus cajan* (L.) Millsp. (guandu), *Crotalaria juncea* L. (crotalaria), *Vigna unguiculata* (L.) Walp (feijão caupi), entre outras, também são recomendadas (HAARER, 1966).

4.2.3 Sistemas agroflorestais como estratégia de manejo

Considerando a sua origem, especula-se que o ambiente mais adequado ao desenvolvimento da bananeira seria em situação parcialmente sombreada (FAVRETO; MODEL; TONIETTO, 2007). Em trabalho realizado no Estado do Acre foi demonstrado que o sombreamento da bananeira, através do consórcio com seringueiras, promoveu reduções significativas da severidade da Sigatoka negra (CAVALCANTE et al., 2004). É sabido que a condução da cultura da banana e as práticas agronômicas empregadas influenciam o estado fisiológico das plantas e o ambiente microclimático no interior do bananal (CAVALCANTE et al., 2014). Buscando avaliar novas interações e tecnologias de cultivo, Gasparotto et al. (2008) avaliaram, na área experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, durante um ciclo da cultura, como o plantio adensado de plátano da cultivar D'Angola poderia influenciar a redução da severidade de Sigatoka negra e na sua produção. Segundo esses autores, os dados fitotécnicos e os dados de produção do trabalho não apresentaram diferenças significativas entre si; esses apontam que os fungos fitopatogênicos pertencentes ao gênero *Cercospora* e, de um modo geral, causam doenças em folhas inferiores. Nessa situação, a redução da luminosidade pode retardar a patogênese e, conseqüentemente, a severidade da doença. Os resultados demonstraram que, mesmo adensando o plantio, não ocorreu “auto-sombreamento” das folhas; portanto, a severidade da Sigatoka negra não foi reduzida eficientemente.

Em estudo realizado por Poeydebat et al (2018), na Costa Rica, onde as bananas foram cultivadas em sistemas agroflorestais e sem o uso de agroquímicos, o objetivo foi avaliar a regulação ecológica em escala de campo de diferentes etapas do ciclo Sigatoka negra, além das implicações práticas para a gestão da comunidade vegetal de forma a otimizar o controle da doença. Como resultado, os autores relatam que, foi possível documentar a regulação ecológica em escala de campo da Sigatoka negra em agroecossistemas diversificados por plantas. Além disso, esses descrevem como essa regulação envolveu, em diferentes graus, vários parâmetros, ou seja, abundância de esporos, eficiência da infecção, tempo de incubação e gravidade da doença, sendo que ainda indicaram que essa regulação ecológica da Sigatoka negra ocorre precocemente durante o seu desenvolvimento (antes da formação da lesão) e que essa regulação estava relacionada principalmente à riqueza vegetal no baixo estrato (1,5 a 5m de alta). De forma geral, os autores desse trabalho descrevem que a regulação da riqueza vegetal sobre a Sigatoka negra também pode ser explicada por um efeito positivo dessa diversidade sobre a resistência das plantas de *Musa spp.* relacionadas à melhoria das condições ambientais, como as propriedades do solo.

Os ecossistemas diversificados por plantas podem reduzir a dispersão de patógenos vegetais devido ao (i) aumento das distâncias entre os hospedeiros e à redução da conectividade entre as folhagens dos hospedeiros, ou seja, efeitos de diluição (MUNDT, 2002); (ii) maior probabilidade de interceptação de esporos, ou seja, efeito de barreira; e (iii) aumento da heterogeneidade dos padrões de vento dentro do dossel que afetam a dispersão de esporos aéreos (BOUDREAU, 2013; COSTES et al., 2013).

Em trabalho realizado em diferentes altitudes na República dos Camarões, Mouliom Pefoura et al. (1996) verificaram diferenças no desenvolvimento de Sigatoka amarela (*Mycosphaerella musicola* Leach) e Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) em bananais. Por meio de inoculações, os autores verificaram que *P. fijiensis* se desenvolvia mais

rapidamente do que *M. musicola* em altitudes menores, e o inverso foi observado em altitudes maiores. Da mesma forma, Mouliom Pefoura e Mourichon (1990) verificaram menor virulência da Sigatoka negra em maiores altitudes. Esses autores verificaram maior ou menor produção de conídios de um ou de outro patógeno, dependendo das condições climáticas e da suscetibilidade das cultivares.

Partindo da suposição que cultivos de banana sob ambiente de sombra em sistemas agroflorestais, exibem menores danos causados pelo Sigatoka negra, Norgrove e Hauser (2013) realizaram estudo no sul de Camarões, avaliando a severidade da Sigatoka negra e as características agronômicas dos frutos da banana sob altas e baixas densidades de plantio em agroflorestal. Esses também avaliaram diferentes sistemas de manejo de culturas (proteção do solo, queima, intercultivo), sendo observados os efeitos benéficos da sombra nos sistemas agroflorestais densos, como maior retenção de folhas e redução da gravidade de Sigatoka negra nas plantas de banana. Porém, os rendimentos foram menores em sistemas densos, sugerindo os autores que uma densidade menor deva ser recomendada. Quanto à queima dos restos de cultura em detrimento do emprego de cobertura do solo, não se observou um efeito positivo nesta prática, sugerindo assim que, embora esta seja uma prática muito comum pelos agricultores, os mesmos deveriam ser dissuadidos de empregá-la e encorajados a proteger o solo.

4.2.4 Eliminação total ou parcial de folhas afetadas

Esta prática, que é recomendada por Orozco-Santos, *et al.*(2008), é concebida por diferentes modalidades, sendo conhecida como desfolha, poda ou desfolha cirúrgica. Considerada como uma prática sanitária, já que as folhas representam a única fonte de inóculo da enfermidade, essa forma de manejo torna-se importante para diminuir a esporulação do patógeno através do tempo. Seu propósito é eliminar de maneira total ou parcial o tecido afetado nas plantas e junto com este os propágulos do fungo (JIMÉNEZ; BRIOSO, 2018). Nessa estratégia de convivência, temos a retirada e/ou eliminação das folhas secas e/ou senescentes das plantas, de modo a reduzir a produção e liberação dos ascósporos que são produzidos no interior dos pseudotécios, contribuindo significativamente para a redução da severidade da doença nos ciclos produtivos subsequentes (POEYDEBAT *et al.*, 2018).

A Cirurgia ou Desfolha Cirúrgica, no entanto, não tem sido grandemente recomendada por não existirem trabalhos publicados que deem suporte técnico e econômico para tal recomendação (GASPAROTTO *et al.*, 2006). Conforme relata Poeydebat *et al.* (2018), a remoção da folha necrótica reduz o inóculo, já que as folhas necróticas podem gerar e manter ascósporos por até 20 semanas (GAUHL, 1994), sendo que na folha depositada no solo, o patógeno sobrevive por 03 a 06 semanas (GUZMÁN; ROMERO, 1995; VILLALTA; GUZMÁN, 2005). O corte total ou parcial das folhas depende do grau de severidade nas mesmas. Se a infecção é parcial e não é maior de 40 - 50% da área foliar afetada, sugere-se cortar ou fazer cirurgia do tecido afetado (OROZCO-SANTOS, *et al.*, 2008). No entanto, se o grau de infecção for maior do que 50%, devemos eliminar a folha toda (JIMÉNEZ; BRIOSO, 2018).

Em trabalho realizado no município de Angra do Reis, localizado no sul do estado do Rio de Janeiro, Jiménez e Brioso (2018) relatam a observação de índices de severidade do fungo por meio dos valores da Média Ponderada da Infecção (MPI) em cultivo de banana. No início do ensaio, a cultura apresentava um índice de 2,7 para todas as plantas e após a adoção da prática da desfolha cirúrgica, esse valor foi diminuindo gradativamente nas plantas que foram tratadas com a técnica da cirurgia. No final do ensaio, no momento da floração das plantas, observou-se um valor de MPI de 1,3, para as plantas submetidas à poda Cirúrgica; expressando

assim uma redução de 58% no índice de severidade da enfermidade. Nas plantas que não foram submetidas a nenhuma prática de controle, os valores tenderam a um aumento gradual e constante, chegando também no momento da floração com um valor de MPI de 3,1, observando-se assim um aumento do índice em 14,8% da severidade quando comparado com a prática da poda ou Cirurgia. Resultados observados por Villalta e Guzmán (2006) concluíram que, com a Desfolha Sanitária (Desponta e Cirurgia) em intervalos semanais, consegue-se reduzir a severidade da doença.

Ainda no mesmo trabalho de Jiménez e Brioso (2018), outro importante resultado apresentado trata da informação relativa à Folha Mais Jovem Doente (FMJD). Pode-se observar, segundo os autores, que as diferenças entre os tratamentos de execução ou não da desfolha cirúrgica permitiram uma significativa diferença. Obteve-se, nas plantas que receberam o tratamento, entre 4 a 5 folhas novas e assintomáticas por planta, o que desta forma expressa um resultado de plantas com mais área foliar sadia, e dessa forma mantendo maior número de folhas funcionais. Naquelas plantas que não receberam a Poda Cirúrgica, verificou-se a presença do fungo já a partir da folha número 2, portanto, essas plantas apresentaram menor quantidade de área foliar sadia.

4.2.5 Emprego de produto curativo

A busca global por soluções de proteção vegetal que sejam ambientalmente seguras e eficazes é impulsionada pela necessidade de fornecer alimentos para a população mundial em constante crescimento e o apelo à redução da carga química é um aspecto importante da agricultura sustentável (REUVENI; SANCHES; BARBIER, 2020). Conforme descreve Carson; Hammer e Riley (2006), o óleo natural de árvore (TTO) derivado da planta originada da Austrália *Melaleuca alternifolia* é amplamente utilizado por suas propriedades antimicrobianas. O TTO é incorporado como o ingrediente ativo em muitas formulações tópicas usadas para tratar infecções, pois contém muitos componentes, principalmente, terpenos (p-cimene, terpinen-4-ol, terpinolene, 1, 8-cineole, α -pinene, γ -terpinene), sesquiterpenes e seu respectivo álcool (monoterpene álcool-terpineol).

Em estudo realizado por Reuveni; Sanches e Barbier (2020), onde se buscou avaliar a atividade curativa do produto preparado à base de TTO contra hifas de *M. fijiensis* em folhas de banana e os efeitos sobre os sintomas de Sigatoka negra. A eficácia dos tratamentos aplicados foram avaliadas em função do percentual da área infectada em cada folha e em cada planta antes e após a aplicação, sendo repetidos em pelo menos quatro estações por tratamento em cada experimento com duas repetições. Segundo esses autores, os ensaios preliminares já demonstraram alta atividade curativa de TTO contra a Sigatoka negra para controle nos estágios 1, 2, 3 e 4, conforme pode ser observado na tabela 4 abaixo:

Tabela 4. Atividade curativa de TTO *Melaleuca alternifolia* contra a Sigatoka negra.

Tratamento	Tamanho da lesão (mm) e desenvolvimento no estágio de Sigatoka Negra	
	Dia 0 com presença de lesões em estágio 3 e 4	57 dias após o primeiro tratamento
TTO <i>Melaleuca alternifolia</i> ¹	2,7 ± 0,3 estágio 3	3,5 ± 0,5 estágio 3
TTO <i>Melaleuca alternifolia</i> ¹	4,4 ± 0,6 estágio 4	5,2 ± 0,8 estágio 4
Fungicida Sintético ²	2,7 ± 0,3 estágio 3	10,8 ± 1,8 estágio 5
Fungicida Sintético ²	4,4 ± 0,8 estágio 4	19,2 ± 3,9 estágio 6

1: As plantas foram tratadas com TTO *Melaleuca alternifolia* na dose de 0,4L/ha; 2: Fungicida Sintético empregado foi Difenconazole em óleo mineral na dose e intervalos como recomendado pelo Fabricante para a Doença.

Fonte: Adaptado de Reuveni; Sanches; Barbier, (2020) por Machado, 2021

Ao contrário de outros fungicidas, que possuem sua principal forma de ação sobre a Sigatoka negra nos estágios 1 e 2, o TTO foi capaz de atuar sobre os estágios de desenvolvimento da doença 1, 2, 3 e 4. Em lesões nos estágios 3 e 4 tratadas com aplicações foliares consecutivas do TTO, essas tornaram-se marrom-escuro e não apresentaram quase nenhuma expansão adicional, mesmo após 57 dias da primeira aplicação (Tabela 4). Tais resultados levam os autores a recomendar que os produtores utilizem o produto mesmo quando a doença já é visível nas folhas de banana. Segundo os resultados observados, pode-se inferir que o TTO leva a desruptura da membrana celular fúngica e da parede celular de *P. fijiensis* nos estágios 4 ou 5 do desenvolvimento fúngico, o que explica sua forte atividade curativa.

4.2.6 Emprego do controle biológico

Na patologia vegetal, o biocontrole pode ser compreendido como a inter-relação de muitos fatores ambientais, visando diminuir os efeitos desfavoráveis de organismos prejudiciais e melhorar o crescimento de organismos úteis, como culturas, insetos benéficos e microrganismos (PAL; GARDENER, 2006). Entre as alternativas de manejo, o controle biológico de patógenos vegetais se apresenta como a melhor opção para o desenvolvimento de abordagens de manejo de baixo custo, ambientalmente corretas e sustentáveis (RAHMAN *et al.*, 2018).

Alguns agentes de controle biológico microbiano (MBCAs) interagem com as plantas induzindo resistência. sem qualquer interação direta com o patógeno alvo; outros MBCAs atuam através da competição por nutrientes, modulando as condições de crescimento para o patógeno. Já os antagonistas agem através do hiperparasitismo e antibiose, interferindo diretamente sobre o patógeno(KÖHL; KOLNAAR; RAVENSBERG, 2019).

O grupo de MBCA definido como os "generalistas", inclui espécies de *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Trichoderma*, *Clonostachys*, leveduras, etc., que são capazes de controlar um grande espectro de patógenos taxonomicamente diversos usando uma variedade de mecanismos de ação(KÖHL; KOLNAAR; RAVENSBERG, 2019).

Woo *et al.* (2014) mencionaram que *Trichoderma* são os agentes de biocontrole mais usados, tendo um amplo espectro de ação, tanto sobre patógenos de raiz, como de brotações e também de pós colheita. Segundo Zin e Badaluddin (2020), *Trichoderma* são um gênero de fungos da família *Hypocreaceae* que, devido às dificuldades encontradas durante a identificação dos isolados em nível de espécie, tornam as diferenças morfológicas como as mais significativas. São representados por fungos não patogênicos que exercem a função de antagonismo a vários fitopatógenos, seja pelo parasitismo, pela antibiose e/ou competição, essas formas de atuação são também utilizadas para diferir espécie de espécie.

Segundo Cavero *et al.*, (2015), *Trichoderma* é considerado um microparasita necrotrófico eficaz no controle de inúmeros fungos fitopatogênicos, principalmente aqueles com estruturas de resistência consideradas difíceis de serem atacadas por microrganismos, como esporos, escleródios, clamidósporos e microescleródios. O emprego do controle biológico utilizando o *Trichoderma spp.* visa suprimir significativamente o crescimento de microrganismos patogênicos vegetais e ainda influencia na regulação da taxa de crescimento da planta (ZIN; BADALUDDIN, 2020). *Trichoderma harzianum* tem sido a espécie mais

estudada do ponto de vista de emprego no biocontrole, mas outras espécies como *T. koningii*, *T. viride*, *T. hamatum* e *T. pseudokoningii* também têm sido isoladas e estudadas.

Em trabalho realizado por Cavero et al., (2015), que buscou avaliar o potencial de 29 isolados de *Trichoderma* no controle da Sigatoka negra em bananeiras da cultivar Prata Anã, em condições de campo em Manaus - AM, ofereceu resultados indicando o emprego do isolado de *Trichoderma harzianum* Rifai. Este apresentou potencial para o controle da Sigatoka negra quando comparado a outros isolados. Comparado ao tratamento controle - em que foi aplicado o fungicida (Azoxystrobin) recomendado para o manejo da doença - esse não expressou diferença estatística. Nesse trabalho, o autor ainda relata que, a produção massal de conídios *T. harzianum*, demonstrou ser possível por métodos artesanais, sem o uso de técnicas especiais, o que facilitaria sua adoção por muitos produtores.

Segundo Cuellar-Gaviria; González-Jaramillo e Villegas-Escobar (2021), em um esforço para se desenvolver um produto MBCA utilizado para o controle da Sigatoka negra na cultura da banana, chegou-se à cepa bacteriana de *Bacillus tequilensis* EA-CB0015, anteriormente relatada como *Bacillus subtilis* UA321 que fora selecionada por Ceballos et al. (2012), dentre os 648 isolados obtidos na filosfera de plantas de banana oriundas de regiões da Colômbia. O potencial de controle de *Bacillus subtilis* EA-CB0015 como MBCA pode ser observado no trabalho desenvolvido por Gutierrez-Monsalve et al.(2015), que avaliou o efeito de controle de *Bacillus subtilis* EA-CB0015 exercido sobre a Sigatoka negra a partir de seus metabólitos para o controle da doença em plantas de banana sob condições de estufa e em condições de campo. Segundo estes autores, foram observadas reduções nas infecções comparáveis às obtidas com os fungicidas protetores Clorotalonil e Mancozeb.

Em trabalho conduzido por González-Jaramillo et al (2017), descobriu-se que tanto os compostos *iturin A*, quanto *fengycin C*, produzidos por *B. tequilensis* EA-CB0015, inibiram o crescimento micelial e a germinação ascospórica de *P. fijiensis* in vitro.

Ainda buscando avaliar o controle da doença Sigatoka negra na cultura da Banana, Cuellar-Gaviria; González-Jaramillo e Villegas-Escobar (2021) conduziram um experimento com objetivo de evidenciar a capacidade de colonização e a produção de lipopeptídeos por *B. tequilensis* EA-CB0015 como estratégia para reduzir o desenvolvimento da Sigatoka negra em plantas de banana (*Musa* AAA cv. Williams, subgrupo Cavendish). Segundo os autores, foi possível observar que a biomassa bacteriana seria capaz de colonizar a superfície da folha após alguns dias e, dessa forma, *B. tequilensis* EA-CB0015 seria capaz de competir por nutrientes e espaço com *P. fijiensis* conforme figura 7.

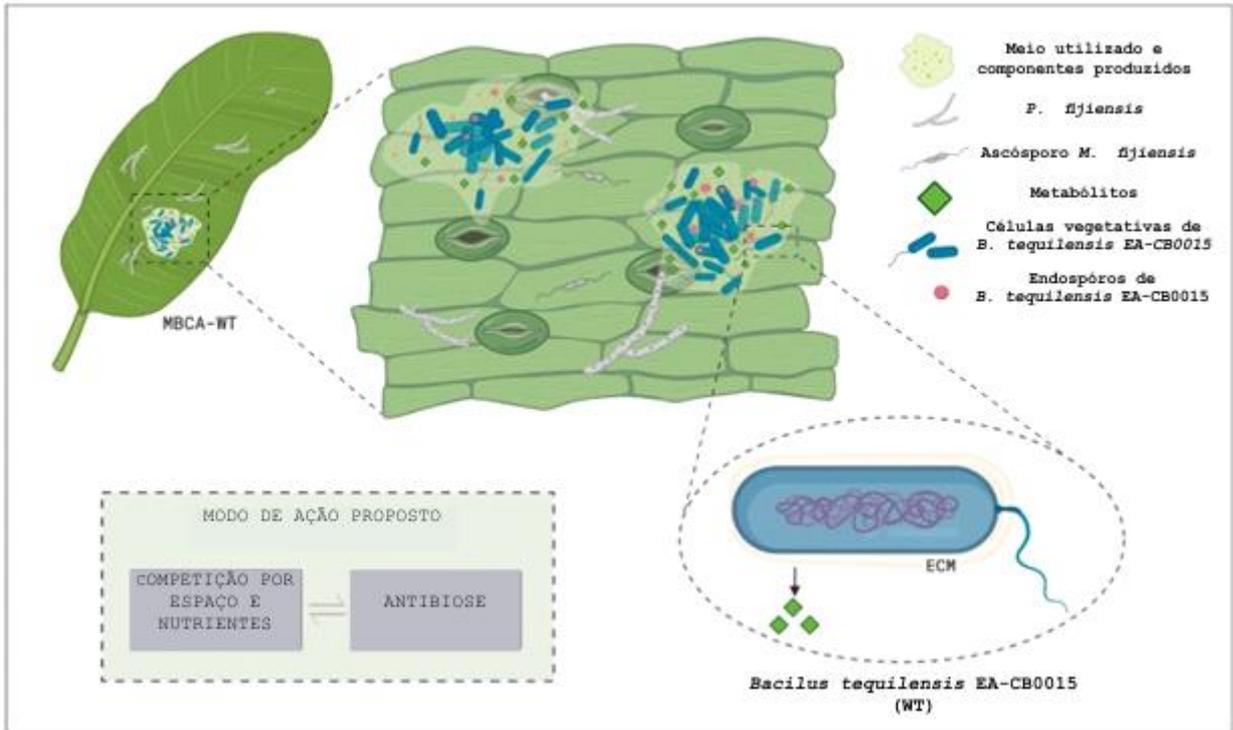


Figura 14. Modo de ação implementado pelo produto do agente de controle biológico microbiano baseado em *B. tequilensis* EA-CB0015 WT. **Fonte:** Adaptado de Cuellar-Gaviria; González-Jaramillo; Villegas-Escobar (2021) por Machado, (2021).

Outro MBCA que vem sendo também estudado, trata da cepa de *Bacillus pumilus* CCIBP-C5, que fora isolada da superfície das folhas de banana com o objetivo de avaliar seu efeito de antagonismo *in vitro* contra *P. fijiensis*, e também, estudando o efeito de filtrados de cultura sobre o crescimento fúngico de forma a se determinar seu efeito sobre o progresso da doença (CRUZ-MARTÍN *et al.*, 2017).

No trabalho de Cruz-Martín *et al.* (2017), buscou-se avaliar a atividade antifúngica *in vitro* das células bacterianas e, posteriormente, os filtrados de cultura foram inoculados em plantas, artificialmente, para avaliar sua eficiência. Segundo os autores, os filtrados de cultura causaram uma inibição de 45% do crescimento de *P. fijiensis* *in vitro* em comparação ao controle, sugerindo assim, um efeito nas estruturas celulares do fungo, enquanto que as observações microscópicas indicaram que o patógeno não tratado, no controle, estava completamente preenchido, tendo paredes fúngicas intactas e membranas definidas.

Como forma de compreender esse mecanismo, temos no trabalho realizado por Gutierrez-Roman *et al* (2015) que, buscando estudar o potencial de uso de *Serratia marcescens*, um gamma-proteobacterium gram-negativa como potencial MBCA, descreveu o efeito decorrente da produção de substâncias que atuam para enfraquecer a parede celular fúngica e causam sua ruptura, como a prodígiosina, enzimas quitínicas e outras. Neste trabalho, os autores descrevem as formas e substâncias que melhor exibiram efeitos tóxicos contra os ascósporos *P. fijiensis*, resultando em uma ação sinérgica das quitinases e da prodígiosina da cepa CFFSUR-B2, sendo que as quitinases romperam as ligações da parede celular do ascósporo e aumentaram a difusão do prodígiosina para o interior das células, de forma a reduzir o crescimento do tubo germinativo do patógeno.

É importante relatar que, Cruz-Martín et al. (2017), em seu trabalho em plantas de Banana inoculadas com *P. fijiensis* e na presença da cultura filtrada, observaram os sintomas típicos da doença em todas as plantas, após o período de incubação de 14 dias, tendo assim o patógeno completado o ciclo da doença e as lesões necróticas com centro seco presentes. No entanto, as plantas inoculadas com a cultura filtrada, aplicadas três dias após a inoculação do patógeno, não evoluíram para o estado 5 dos sintomas, de acordo com a escala qualitativa utilizada. Assim, os efeitos de biocontrole do *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 em plantas de banana, artificialmente inoculadas com *P. fijiensis*, podem ser atribuídos à produção de metabólitos antifúngicos com efeitos negativos na estrutura das hifas e danos na membrana.

Desse modo, os efeitos do biocontrole do *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 em plantas de banana artificialmente inoculadas com *P. fijiensis* podem ser atribuídos à produção de metabólitos antifúngicos com efeitos negativos na estrutura das hifas e danos às membranas. As características desta cepa e seus metabólitos fazem dele um agente promissor para o controle biológico de Sigatoka Negra da banana (CRUZ-MARTÍN *et al.*, 2017).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura da banana é uma atividade produtiva de extrema importância pela sua relevância na base alimentar das populações, principalmente aquelas mais vulneráveis, e também, pela função que pode executar em sistemas produtivos que possuem base agroecológica. Pode ser conduzida sob diferentes níveis de incremento tecnológico e está muito presente em pequenas unidades de produção. A cultura da banana é extremamente influenciada pelas condições ambientais, principalmente aquelas relacionadas aos fatores do clima, como: umidade, temperatura e ventos.

Enquanto a diversidade genética nas culturas, em grandes áreas de cultivo, vem sendo diminuída pelo emprego de cultivos homogêneos que levam à diminuição da diversidade genética, o enriquecimento e a diversificação dos ambientes de cultivo tem ampliado seu espaço no contexto da fitossanidade, já que pesquisas apontam que a riqueza e interação de espécies, sejam elas ‘inter’ ou ‘intra’ específicas, podem resultar no controle de patógenos da cultura, e que ainda carecem de aprofundamentos nos estudos e modelagens de comportamentos dos fatores relacionados ao patógeno, ao hospedeiro e ao ambiente.

As pragas podem disseminar-se de uma região para outra por caminhos naturais, ou ainda por vias antrópicas; sendo essa, para algumas enfermidades, como aquela que mais contribui para a dispersão de patógenos com a expansão do modelo de agricultura convencional. Dessa forma, o papel dos serviços de defesa sanitária vegetal torna-se preponderante, haja visto o caso descrito para o enfrentamento da Sigatoka negra na Austrália, onde o status sanitário passou de presente para o patógeno em 1981 e - após a combinação de um conjunto de estratégias de enfrentamento, incluindo a erradicação, o controle químico e o emprego de cultivares resistentes - obtendo o retorno ao *status* de ‘área livre da doença’ em 2005.

As relações envolvidas no patossistema da Sigatoka negra merecem sempre uma grande atenção, principalmente quando temos a confirmação da ampliação da gama dos possíveis hospedeiros para o patógeno. Até então eram limitadas à família das *Musaceas*, porém agora se observa o relato da presença do patógeno em plantas de outras famílias, com auxílio de métodos que indicam a reação positiva de reconhecimento dessas plantas, e não apenas o resultado da deposição de esporos de *P. fijiensis* em sua superfície, o que demonstra a necessidade de atenção para a abordagem dos possíveis hospedeiros.

Dentro das práticas de manejo agroecológico recomendadas para a cultura, o emprego de cultivares resistentes pode ser considerado como uma base muito segura para o enfrentamento das enfermidades, especialmente em sistemas de produção praticados por

agricultores familiares, sendo um método de fácil adoção, não necessitando de ações e/ou práticas de continuidade, além de apresentar estabilidade do ponto de vista ambiental. É necessário, contudo, destacar a importância das interações ambientais e nutricionais na resistência das plantas, principalmente naquelas que auxiliam na expressão do fator de resistência horizontal.

Dentro das práticas de manejo empregadas no cultivo, é importante se atentar para o emprego daquelas que buscam fomentar ou ampliar as relações entre os organismos do ambiente de cultivo, de forma que se possam realizar plenamente os processos ecológicos que são fundamentais aos agroecossistemas. As plantas se preparam para sobreviver às tensões bióticas, já que são sésseis e assim evoluíram uma série de respostas imunes sofisticadas que as protegem dos desafios que enfrentam; porém, esse efetivo processo de indução de resistência sistêmica e/ou crescimento vegetal exige, muitas vezes, tanto as sinergias com outros microrganismos da rizosfera ou dos filoplanos, como também das sínteses de compostos derivados e suas moléculas de sinalização e funções imunológicas.

Os trabalhos exibem resultados cada vez mais elucidativos, para a descrição dos mecanismos constitutivos das defesas físicas e químicas das plantas, bem como podem ser desencadeados por estímulos internos no hospedeiro e/ou externamente com emprego de sinalizadores lançados no ambiente por plantas vizinhas. De qualquer forma, é importante lembrar que o potencial de supressividade geral é obtido em ambientes onde existe um aporte e manutenção de teores de matéria orgânica no solo, fruto da adoção de práticas de manejo que aumentam a atividade e o equilíbrio microbiano, levando ainda à indução de mudanças na estrutura do solo e na quantidade de nutrientes disponíveis.

Em ambientes de produção diversificados pelo emprego de plantas, com estruturas e estratos diferenciados, a dispersão de patógenos pode ser extremamente prejudicada, tanto pelo aumento nas distâncias entre os hospedeiros através dos efeitos de diluição, como pela maior probabilidade de interceptação de esporos, através do efeito barreira. Podemos ainda destacar como importante a mudança nos comportamentos dos padrões de vento dentro dos dosséis, que afetam a dispersão de esporos aéreos. Da mesma forma, o emprego sistemático da remoção de tecidos e folhas necrosados pela atividade dos patógenos, que ainda são uma expressiva fonte de inóculos da enfermidade para o início de novos ciclos infectivos, passa a ser uma importante prática para diminuir a esporulação do patógeno através do tempo e facilitar o sistema de respostas das plantas.

Considerando que o conjunto de medidas descritas abordaram apenas os aspectos de natureza preventiva e/ou sistêmica para o enfrentamento da enfermidade, baseados em princípios agroecológicos, também são apresentados alguns dos métodos de manejo que podem ser empregados especificamente como formas curativas do agente de promoção da Sigatoka negra. Entre esses, podemos destacar o emprego dos óleos naturais ou extratos de plantas, como aquele extraído da árvore *Melaleuca alternifolia*, que vem sendo indicado no tratamento curativo de infecções provocadas por hifas de *P. fijiensis* em folhas de banana, eficiente para impedir a expansão da enfermidade em plantas infectadas.

Além dos produtos derivados de plantas, ainda temos a opção do emprego dos agentes de controle biológico microbiano para controle da enfermidade. Esses podem auxiliar no controle de doenças, seja induzindo resistência sem qualquer interação direta com o patógeno, seja atuando através da competição por nutrientes ou modulando as condições de crescimento para desfavorecer o desenvolvimento do mesmo. Finalizando, cabe lembrar que ainda existe

um conjunto de antagonistas que podem agir através do hiper parasitismo e antibiose diretamente sobre o patógeno.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, G.N. **Plant Pathology**, 5th eds., Department of Plant Pathology. University of Florida, United States of America, 2005.

AGUIRRE, Sonia Esperanza; PIRANEQUE, Nelson Virgilio; RODRÍGUEZ BARRIOS, Javier. Relationship between the nutritional status of banana plants and black sigatoka severity in the Magdalena region of Colombia. **Agronomía Colombiana**, v. 33, n. 3, p. 348–355, 1 set. 2015. Disponível em: <<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/51900>>. Acesso em: 30 ago. 2021.

ALTIERI, Miguel A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 74, n. 1–3, p. 19–31, 1999.

ARZANLOU, M. *et al.* Multiple gene genealogies and phenotypic characters differentiate several novel species of *Mycosphaerella* and related anamorphs on banana. **Persoonia: Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi**, v. 20, n. May, p. 19–37, 2008.

BEDENDO, Ivan Paulo. Ambiente e Doença. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (ED.). (Org.). . **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1995. p. 331–341.

BENDINI, Hugo do Nascimento *et al.* **Proposta de Sistema de monitoramento da sigatoka-negra baseado em variáveis ambientais utilizando o TerraMA2**. 2014, São José do Campos, SP: [s.n.], 2014. p. 168–173.

BETTIOL, Wagner; GHINI, Raquel. Impacto da mudanças climáticas sobre o controle biológico de doenças de plantas. In: BETTIOL, WAGNER; MORANDI, MARCELO A. B. (Org.). **Biocontrole de doenças de plantas: usos e perspectivas**, 2009. p. 29–48. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Biocontrole+de+Doenças+de+Plantas+:#3>>.

BETTIOL, Wagner; MORANDI, Marcelo a. B. **Controle biológico de plantas no Brasil**. 1ª edição ed. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2009.

BORGES, Ana Lúcia *et al.* **A cultura da Banana**. 3ª edição ed. Brasília, DF.: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006.

BORGES, Ana Lúcia *et al.* Bananicultura orgânica. **Informe Agropecuário**, v. 36, n. 287, p. 74–83, 2015.

BORGES, Ana Lúcia; MATOS, Aristoteles Pires De. **Banana: Instruções Práticas de Cultivo**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Documentos., nº 161. Cruz das Almas, Bahia, 2006. Disponível em: <<http://www.cnpmf.embrapa.br>>.

BOUDREAU, Mark A. Diseases in intercropping systems. **Annual Review of Phytopathology**, v. 51, p. 499–519, 2013.

BRASIL. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 38, DE 1º DE OUTUBRO DE 2018**. . Brasília: Diário Oficial República Federativa do Brasil. , 2018a

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 45, DE 22 DE AGOSTO DE 2018. *Diário Oficial da União*. Brasília-DF: Diário Oficial República Federativa do Brasil. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=4&data=23/10/2018>>. , 2018b

BRICKELL, C.D. *et al.* **International code of nomenclature for cultivated plants**. 8^a ed. Vienna, Austria: International Society for Horticultural Science (ISHS), 2009. v. 151.

CALLAWAY, Ragan M. The detection of neighbors by plants. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 17, n. 3, p. 104–105, 2002.

CARDONA SANCHEZ, C. L.; CASTAÑO ZAPATA, J. Frequency of *Paracercospora fijiensis* and *Pseudocercospora musae* in Dominico Hartón Plantain. **Infomusa**, Montpellier, v. 11, n. 1, p. 9-13, 2002

CARLIER, J. *et al.* Genetic structure of the global population of banana black leaf streak fungus, *Mycosphaerella fijiensis*. **Molecular Ecology**, v. 5, n. 4, p. 499–510, 1996.

CAROLLO, Eliane Mazzoni; FILHO, Hermes Peixoto Santos. **Manual Básico de Técnicas Fitopatológicas**. 1^a Edição ed. Cruz da Almas - BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2016.

CARSON, C. F.; HAMMER, K. A.; RILEY, T. V. Melaleuca alternifolia (tea tree) oil: A review of antimicrobial and other medicinal properties. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 19, n. 1, p. 50–62, 2006.

CATI, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. **Aspectos Climatológicos na Cultura da Banana**. . Campinas, SP: [s.n.], 2017. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/portal/produtos-e-servicos/publicacoes/acervo-tecnico/aspectos-climatologicos-na-cultura-da-banana>>.

CAVALCANTE, MARIA DE JESUS BARBOSA *et al.* MANEJO FITOTÉCNICO DA BANANEIRA, CULTIVAR D' ANGOLA (AAB), VISANDO AO CONTROLE DA SIGATOKA-NEGRA. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 201–208, 2014. Disponível em: <<http://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/sistema>>. Acesso em: 23 set. 2019.

CAVALCANTE, MARIA DE JESUS BARBOSA *et al.* **OCORRÊNCIA DA SIGATOKA-NEGRA EM DEZ MUNICÍPIOS DO ESTADO DO ACRE**. , Comunicado Técnico. Rio Branco: EMBRAPA ACRE. , 1999

CAVALCANTE, M. D. J. B.; CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P.; SILVA, S. O. **Relatório Executivo de Acompanhamento: PPA 3666 – Inovação Tecnológica para a Fruticultura Irrigada no Semi-Árido Nordeste**. Rio Branco: EMBRAPA Acre, 2004. 11 p.

CAVERO, Poholl Adan Sagratzki *et al.* Biological control of banana black Sigatoka disease with *Trichoderma*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 6, p. 951–957, jun. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015000600951&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 31 maio 2018.

CEBALLOS, Isabel *et al.* Cultivable Bacteria Populations Associated with Leaves of Banana and Plantain Plants and Their Antagonistic Activity Against *Mycosphaerella fijiensis*. **Microbial Ecology**, v. 64, n. 3, p. 641–653, 2012.

CHURCHILL, Alice C. L.. *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control. **Mol Plant Pathol**. 2011 May;12(4):307-28. doi: 10.1111/j.1364-

3703.2010.00672.x. Epub 2010 Nov 18. PMID: 21453427; PMCID: PMC6640443.

CIANCIARUSO, Author M V *et al.* Including Intraspecific Variability in Functional. **Ecology**, v. 90, n. 1, p. 81–89, 2009.

CORDEIRO, Zilton J. M; MATOS, Aristoteles P. De. Expressão da resistência de variedades de banana à Sigatoka-amarela. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 5, p. 532–534, 2005.

CORDEIRO, Zilton José Maciel. **FITOSSANIDADE NA EXPORTAÇÃO DE BANANA**. Série Frut ed. Cruz da Almas - BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. Disponível em: <<http://frutvasf.univasf.edu.br/images/banana1.pdf>>.

CORDEIRO, Zilton José Maciel *et al.* Sigatoka Negra no Brasil. **Informativo Sociedade Brasileira de Fruticultura**, v. 17, n. 2, p. 8–10, 1998.

CORDEIRO, Zilton José Maciel; MATOS, Aristoteles Pires De. Situação da Sigatoka Negra da Bananeira no Brasil. **XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura**, Bento Gonçalves - RS, out. 2012. , p. 7.

COSTES, E. *et al.* Plant architecture, its diversity and manipulation in agronomic conditions, in relation with pest and pathogen attacks. **European Journal of Plant Pathology**, v. 135, n. 3, p. 455–470, 2013.

CRUZ-MARTÍN, Mileidy *et al.* Antifungal activity of *Musa* phyllosphere *Bacillus pumilus* strain against *Mycosphaerella fijiensis*. **Tropical Plant Pathology**, v. 42, n. 2, p. 121–125, 2017.

CUELLAR-GAVIRIA, Tatiana Z; GONZÁLEZ-JARAMILLO, Lina M.; VILLEGAS-ESCOBAR, Valeska. Role of *Bacillus tequilensis* EA-CB0015 cells and lipopeptides in the biological control of black Sigatoka disease. **Biological Control**, v. 155, p. 10, 2021.

DARVILL, Alan G.; ALBERSHEIM, Peter. Phytoalexins and their Elicitors-A Defense Against Microbial Infection in Plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 35, n. 1, p. 243–275, 1984.

DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, Mônica Cecilia; TAKAHASHI, Renata Ferreira; BERTOLOZZI, Maria Rita. Revisão sistemática: noções gerais. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 45, n. 5, p. 1260–1266, 2011.

DE FARIA, Mírian Rabelo *et al.* The rhizosphere microbiome: functions, dynamics, and role in plant protection. **Tropical Plant Pathology**, v. 46, n. 1, p. 13–25, 2021.

ENGELBERTH, Juergen *et al.* Airborne signals prime plants against insect herbivore attack. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 101, n. 6, p. 1781–1785, 2004.

ERB, Matthias. Volatiles as inducers and suppressors of plant defense and immunity — origins, specificity, perception and signaling. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 44, p. 117–121, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.03.008>>.

FAVRETO, Rodrigo; MODEL, Nelson Sebastião; TONIETTO, Adilson. Sigatoka Negra, fatores de ambiente e sistemas agroflorestais em bananais do Rio Grande do Sul, Brasil. **PESQUISA AGROPECUÁRIA GAÚCHA**, v. 12, n. 1–2, p. 95–104, 2007.

FILHO, A. Bergamin; AMORIM, L. Epidemiologia de doenças de plantas. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (Org.). **Manual de fitopatologia: princípios**

e conceitos. 4ª Edição ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2011. p. 99–116.

FIORAVANÇO, João Carlos; PAIVA, Marília C. SIGATOKA-NEGRA DA BANANEIRA. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 11, n. 2, p. 135–141, 2005.

FOURÉ, ERIC. Les cercosporioses du bananier et leurs traitements. Evolutions et perspectives. **Fruits**, v. 37, n. 12, p. 749–771, 1982.

FUNCKE, André Luís. **ARRANJO PRODUTIVO LOCAL-APL DA BANANA NO ESTADO**. 2009. 72 f. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, Seropédica - RJ, 2009. Disponível em: <<https://tede.ufrjr.br/jspui/handle/jspui/2001>>.

GASPAROTTO, Luadir *et al.* Heliconia psittacorum: hospedeira de *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal da sigatoka-negra da bananeira. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 423–425, ago. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-41582005000400016&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 31 maio 2018.

GASPAROTTO, Luadir *et al.* Plantio adensado não controla a sigatoka-negra da bananeira. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 2, p. 189–192, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672008000200001&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 31 maio 2018.

GASPAROTTO, Luadir; PEREIRA, José Clério Rezende. Manejo da Sigatoka-Negra na Amazônia Brasileira. **XVII Reunião Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisas sobre Banana no Caribe e América Tropical (ACORBAT)**, Joinville, SC, out. 2006. , p. 117–121.

GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J. C. R.; HANADA, R. H.; MONTARROYOS, A. V. V.; **Sigatoka negra da bananeira**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2006. 177 p.

GASPAROTTO, Luadir; PEREIRA, José Clério Rezende. **Sigatoka Negra: desafio para a bananicultura Brasileira**. 2010, Registro, SP, 2010. p. 9.

GASPAROTTO, Luadir; PEREIRA, José Clério Rezende; HANADA, Rogério Eiji. Situação Atual da Sigatoka Negra no Brasil. In: POLTRONIERI, LUIZ SEBASTIÃO; VERZIGNASSI, JAQUELINE ROSEMEIRE (Org.). **Fitossanidade na Amazônia: inovações tecnológicas**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. p. 37–51.

GASPAROTTO, Luadir; PEREIRA, José Clério Rezende; PEREIRA, Mirza C. N. **Sigatoka Negra: Situação atual e avanços obtidos**. 2003, Paracatú, MG: Nova Civilização, 2003. p. 28–34.

GAUHL, Friedhelm. **Epidemiology and Ecology of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on Plantain and Banana (*Musa spp.*) in Costa Rica, Central America**. 1. ed. Montpellier, FR: INIBAP, 1994.

GHINI, Raquel. **Mudanças Climáticas Globais e Doenças de Plantas**. 1ª Edição ed. Jaguariúna SP: Embrapa Meio Ambiente, 2005.

GONZÁLEZ-JARAMILLO, Lina María *et al.* Antimycotic activity of fengycin C biosurfactant and its interaction with phosphatidylcholine model membranes. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 156, p. 114–122, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfb.2017.05.021>>.

GUTIERREZ-MONSALVE, Jaime A. *et al.* Effective control of black Sigatoka disease using

a microbial fungicide based on *Bacillus subtilis* EA-CB0015 culture. **Biological Control**, v. 87, p. 39–46, 1 ago. 2015.

GUTIERREZ-ROMAN, M I *et al.* Antifungal activity of *Serratia marcescens* CFFSUR-B2 purified chitinolytic enzymes and prodigiosin against *Mycosphaerella fijiensis*, causal agent of black Sigatoka in banana (*Musa spp.*). **BIOCONTROL**, v. 60, n. 4, p. 565–572, 2015.

GUZMÁN, Mauricio. **Epidemiología de la Sigatoka negra y el sistema de preaviso biológico**. Guayaquil, Ecuador: INIBAP, 2003a. p. 25–26.

GUZMÁN, Mauricio. **Situación de la Sigatoka negra en banano y plátano en el trópico americano**. Guayaquil, Ecuador: INIBAP, 2003b. p. 12–13. Disponível em: <https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Manejo_convencional_y_alternativo_de_la_Sigatoka_negra__nematodos_y_otras_plagas_asociadas_al_cultivo_de_Musáceas_en_los_trópicos_1242.pdf>.

GUZMÁN, M., ROMERO, R. Determinación del efecto anti-esporulante de diferentes compuestos sobre *Mycosphaerella fijiensis*. In: **Informe anual 1994. Departamento de Investigación y Diversificación Agrícola CORBANA (Corporación Bananera Nacional, CR)**. San José, Costa Rica. p. 46. 1995.

HANADA, Rogério E.; GASPAROTTO, Luadir; PEREIRA, José Clério Rezende. Esporulação de *Mycosphaerella fijiensis* em diferentes meios de cultura. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 170–173, 2002.

HAARER, A. E. **Producción Moderna de Bananas**. Zaragoza: Acribia, 1966. 179 p.

HENDERSON, J. *et al.* Black Sigatoka disease: New technologies to strengthen eradication strategies in Australia. **Australasian Plant Pathology**, v. 35, n. 2, p. 181–193, 2006.

HOLLER, Wilson Anderson *et al.* Inteligência territorial na Defesa Fitossanitária Brasileira. In: SUGAYAMA, R. L.; *et al.* (Org.). **Defesa Vegetal - Fundamentos, Ferramentas, Políticas e Perspectivas**. 1ª edição ed. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Defesa Agropecuária, 2015. p. 227–243.

HOLLIDAY, Paul. Robert Leach 1903–1980: A pioneer in the control of fungal diseases of plants. **Topics in Catalysis**, v. 8, n. 4, p. 164–165, 1994. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0269-915X\(09\)80183-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-915X(09)80183-3)>.

JACOME, L. H.; SCHUH, W.; Effects of leaf wetness duration and temperature on development of black Sigatoka disease on banana infected by *Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*. **Phytopathology**, v. 82, n. 5, p. 515–520, 1992.

JACOME, L. H.; SCHUH, W.; STEVENSON, R. E. *Effect of Temperature and Relative Humidity on Germination and Germ Tube Development of Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*. **Phytopathology**. v.81, n.12, p.1480-1485. 1991.

JIMÉNEZ, Jose Leonardo Santos;; BRIOSO, Paulo Sérgio Torres; Surgery or surgical defoliation in ‘ Grand Naine ’ banana in the control of black Sigatoka in the state of Rio de Janeiro. **Rev. Bras. Fruticultura**, v. 40, n. 5, p. 1–7, 2018.

JIMENEZ, Maria *et al.* Organic banana production in Ecuador: Its implications on black Sigatoka development and plant-soil nutritional status. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 22, n. 4, p. 297–306, 2007.

JONES, D. R.; ALCORN, J. L. Freckle and Black Sigatoka Diseases of Banana in Far North Queensland. **Australasian Plant Pathology**, v. 11, n. 1, p. 7–9, 1982.

KÖHL, Jürgen; KOLNAAR, Rogier; RAVENSBERG, Willem J. Mode of Action of Microbial Biological Control Agents Against Plant Diseases: Relevance Beyond Efficacy. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 845, p. 19, 2019.

KRUGNER, T. L.; BACCHI, Lilian M.A. Fungos. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L (Org.). . **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3 edição ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. p. 919.

LARANJEIRA, Francisco Ferraz *et al.* **Priorização de pragas quarentenárias ausentes: metodologia e lista das 20 pragas mais importantes**. *Documento Técnico*, nº 220. Cruz da Almas - BA, 2017. Disponível em: <www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura>.

LICHTEMBERG, Luiz Alberto; LICHTEMBERG, Paulo dos Santos Faria. Avanços na bananicultura brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. spe1, p. 29–36, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452011000500005&lng=pt&tlng=pt>.

LIMA, Marcelo Bezerra; SILVA, Sebastião de Oliveira e; FERREIRA, Cláudia Fortes. **Banana - o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2 edição r ed. Brasília, DF: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2012.

MALÉZIEUX, E. *et al.* Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 43–62, 2009.

MARÍN, Douglas H *et al.* Black Sigatoka: an increasing threat to banana cultivation. **Plant Disease**, v. 87, n. 3, p. 15, 2003.

MARTINS, Adriana Novais; FURLANETO, Fernanda de Paiva Badiz; Bananicultura: Pesquisas voltadas para a agricultura familiar. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, p. 77–86, dez. 2008.

MAUCH-MANI, Brigitte *et al.* Defense Priming: An Adaptive Part of Induced Resistance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 68, p. 485–512, 2017.

MICHEREFF, Sami Jorge; BARROS, Reginaldo. **Proteção de Plantas na Agricultura Sustentável**. 1. ed. Recife - PE: Imprensa Universitária, 2001. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Prote%20E3o_Agricultura_Sustent%20e1v elID-tQoek5nQZU.pdf>.

MIRANDA, Roberto Campos da Rocha. CONHECIMENTO ESTRATÉGICO: Caracterização e Identificação Baseada em Revisão Sistemática e Bibliométrica. **Informação & Sociedade: Estudos**, v. 28, n. 1, p. 23–34, 2018. Disponível em: <<https://www-proquest.ez30.periodicos.capes.gov.br/docview/2212802643?pq-origsite=primo>>.

MOHER, D. *et al.* Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, n. 2, p. 335–342, 2015.

MONTEIRO, José Eduardo B. de Almeida; SENTELHAS, Paulo Cesar; CHIAVEGATO, Ederaldo José. Ambiente tem papel decisivo na ocorrência de doenças. **Visão Agrícola**, p. 85–87, 2006.

MORAES, Wilson da Silva *et al.* Monitoramento da Severidade da Sigatoka Negra na Cultura da Banana. In: NOGUEIRA, EDUARDO MONTEIRO DE CAMPOS (Org.). .

Bananicultura : manejo fitossanitário e aspectos econômicos e sociais da cultura. 1ª Edição ed. São Paulo, SP: Instituto Biológico, 2013. p. 62–78.

MORAES, Wilson da Silva *et al.* TÉCNICA DE MONITORAMENTO DA SIGATOKA-NEGRA NA CULTURA DA BANANA. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 1–9, 2011.

MORAES, Wilson da Silva; LIMA, JULIANA DOMINGUES; ROZANE, DANILO EDUARDO. AVANÇOS TÉCNICOS NO CONTROLE DA SIGATOKA. **Toda Fruta**, Jaboticabal, SP, 20 fev. 2019. , p. 11.

MOULIOM PEFOURA, A.; MOURICHON, X.; Développement de *Mycosphaerella musicola* (maladie de Sigatoka) et *M. fijiensis* (maladie des raies noires) sur les bananiers et plantains. Etude du cas particulier des productions d'altitude. **Fruits** 45:17-24, 1990.

MOURICHON, Xavier. Les cercosporioses des bananiers et plantains : éléments sur la biologie des interactions et les stratégies de lutte. In : Savary Serge (ed.). **Modélisation en protection des cultures**. Paris : ORSTOM, p. 83-91, 1994.

MOURICHON, Xavier; CARLIER, J.; FOURÉ, ERIC. **LES CERCOSPORIOSES. maladies des Musa, Fiches techniques.**, n° 8. Montpellier, France, 1997.

MUNDT, C. C. Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. **Annual Review of Phytopathology**, v. 40, p. 381–410, 2002.

NANSAMBA, Moureen *et al.* Breeding banana (*Musa* spp.) for drought tolerance: A review. **Plant Breeding**, v. 139, n. 4, p. 685–696, 2020.

NASCIMENTO, Fernanda dos Santos *et al.* Sources of black sigatoka resistance in wild banana diploids. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, n. 4, p. 1–10, 2020.

NAVA, C.; VILARREAL, E. Nitrogen, Potassium, Boron, Magnesium and Zinc Application to Plantain Plantations, *Musa* AAB cv. Horn with Black Sigatoka Incidence. **Revista de la Facultad de Agronomía**, Zulia, v. 17, n. 1, p. 20-35, 2000.

NGONGO, P. M. K. Integrated Crop Management Strategies for Plantain Production and Control of Black Leaf Streak (Black Sigatoka) Disease in the Democratic Republic of Congo. **Infomusa**, Montpellier, v. 11, n. 1, p. 3-6, 2002

NINKOVIC, Velemir *et al.* Volatile Exchange between Undamaged Plants - a New Mechanism Affecting Insect Orientation in Intercropping. **PLoS ONE**, v. 8, n. 7, 2013.

NINKOVIC, Velemir; MARKOVIC, Dimitrije; DAHLIN, Iris. Decoding neighbour volatiles in preparation for future competition and implications for tritrophic interactions. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 23, p. 11–17, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ppees.2016.09.005>>.

NORGROVE, L; HAUSER, S. Black leaf streak disease and plantain fruit characteristics as affected by tree density and biomass management in a tropical agroforestry system. **AGROFORESTRY SYSTEMS**, v. 87, n. 2, p. 349–354, 2013.

OLUMA, H. O. A.; ONEKUTU, A.; ANYEZILI, F. N. Reactions of Plantain and Banana Cultivars to Black Sigatoka Leaf Spot Disease in Three Farming Systems in the Nigerian Guinea Savanna. **Journal of Plant Diseases and Protection**, Stuttgart, v. 111, n. 2, p. 158-164, 2004.

OROZCO-SANTOS, M *et al.* Práticas culturais para el manejo de la Sigatoka negra en bananos y plátanos {[Pratiques} culturais pour le contrôle de la Sigatoka noire des bananiers et bananiers plantain]. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 3, p. 189–196, 2008.

OROZCO-SANTOS, Mario *et al.* **Manejo integrado de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) del banano en el trópico seco de México**. 2002, Medellín, COL: ACORBAT, 2002. p. 119–124.

OROZCO-SANTOS, Mario *et al.* Práticas culturais para el manejo de la Sigatoka negra en bananos y plátanos. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 3, p. 189–196, jun. 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-56762008000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=es. Acesso em: 31 maio 2018.

PAL, K. K.; GARDENER, B. M. Biological control of plant pathogens. **The Plant Health Instructor**, v. 2, p. 1117-1142, 2006.

PALERMO, LUIZ FELÍCIO. **Panorama da bananicultura e monitoramento fitossanitário de cultivares de bananeira (musa spp.. l.), sob dois sistemas de cultivo, implantados em condições de altitude e de baixada no estado do Rio de Janeiro**. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

PASCALÉ, Alberto *et al.* Modulation of the Root Microbiome by Plant Molecules: The Basis for Targeted Disease Suppression and Plant Growth Promotion. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. January, p. 1–23, 2020.

PEREIRA, José Clério Rezende *et al.* **Doenças Da Bananeira No Estado Do Amazonas**. *Circular Técnica*, Circular Técnica., nº 10. Manaus, 1998.

PEREIRA, José Clério Rezende; GASPAROTTO, Luadir. **Aspectos Correlatos À Sigatoka-Negra Da Bananeira**. 2008a, Nova Porteirinha - MG: CTNM / EPAMIG, 2008.

PEREIRA, José Clério Rezende; GASPAROTTO, Luadir. **Aspectos Correlatos À Sigatoka-Negra Da Bananeira**. 2008b, 2008.

PEREIRA, José Clério Rezende; GASPAROTTO, Luadir. **Contribuição para o reconhecimento da sigatoka-negra e da sigatoka-amarela da bananeira**. *Circular Técnica*, p. 12, 2005.

PÉREZ-VICENTE, L. Control de Sigatoka Negra en Cuba: un Enfo- que de Manejo Integrado de la Enfermedad. **Infomusa**, Montpellier, v. 7, n. 1, p. 26-30, 1998.

PIETERSE, Corné M.J. *et al.* Induced systemic resistance by beneficial microbes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 52, p. 347–375, 2014.

PLANTEGENEST, Manuel; LE MAY, Christophe; FABRE, Frédéric. Landscape epidemiology of plant diseases. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 4, n. 16, p. 963–972, 2007.

POEYDEBAT, Charlotte *et al.* Ecological regulation of black leaf streak disease driven by plant richness in banana agroecosystems. **Phytopathology**, v. 108, n. 10, p. 1184–1195, 2018.

QUEIROZ, Casley Borges De; GUALBERTO, Gilvana Fegueira; SOUSA, Nelcimar Reis. Diversidade genética e estrutura da população de *Mycosphaerella fijiensis* no Brasil. **Tropical Plant Pathology**, v. 37, p. 77–79, 2012.

RAHMAN, Sharifah Farhana Syed Ab *et al.* Emerging microbial biocontrol strategies for plant

pathogens. **Plant Science**, v. 267, n. 2018, p. 102–111, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.11.012>>.

REIJNTJES, C.; HAVERKORT, B.; WATERS-BAYER, A. **Farming for the future: an introduction to low-external-input and sustainable agriculture**. London: Macmillan Press, 1992. 250 p.

REUVENI, Moshe; SANCHES, Ethel; BARBIER, Marcel. Curative and suppressive activities of essential tea tree oil against fungal plant pathogens. **Agronomy**, v. 10, n. 4, 2020.

ROBINSON, Raoul A. **Plant pathosystems**. 1st editio ed. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 1976.

SANTOS, Cristina Mamédio Da Costa; PIMENTA, Cibele Andrucioli De Mattos; NOBRE, Moacyr Roberto Cuce. A estratégia PICO para a construção da pergunta de pesquisa e busca de evidências. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 15, n. 3, p. 508–511, 2007.

SCHROTH, G.; KRAUSS, U.; GASPAROTTO, L.; DUARTE AGUILAR, J. A.; VOHLAND, K. Pests and Diseases in Agroforestry Systems of the Humid Tropics. **Agroforestry Systems**, The Netherlands, v. 50, n. 3, p. 199–241, 2000.

SILVA JÚNIOR, J. F. ; CORDEIRO, Z. J. M. ; OLIVEIRA, A. M. G. Soil Chemical Parameters in Relation to the Incidence and Intensity of Panama Disease. **Infomusa**, Montpellier, v. 9, n. 2, p. 13–16, 2000.

SILVA, Sebastião de Oliveira e *et al.* Melhoramento genético da bananeira: estratégias e tecnologias disponíveis. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 3, p. 919–931, set. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452013000300032&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 31 maio 2018.

SOARES, Julianna M.S. *et al.* Genetic Improvement for Resistance to Black Sigatoka in Bananas: A Systematic Review. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. April, p. 1–15, 2021.

STENBERG, Johan A. *et al.* When is it biological control? A framework of definitions, mechanisms, and classifications. **Journal of Pest Science**, n. 0123456789, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10340-021-01354-7>>.

STOVER, R. H. Sigatoka Leaf Spots of Bananas and. **Plant Disease**, v. 64, n. 8, p. 750, 1980.

STOVER, R H. **Distribution and probable origin of *Mycosphaerella fijiensis* in southeast Asia**. *Tropical Agriculture, Trinidad and Tobago*. Division of Tropical Research, United Fruit Co., La Lima, Honduras., v. 55, n. 1, p. 65–68, 1978. Disponível em: <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19776719669>>.

UUCHÔA, C. do N. **Estudos epidemiológicos e diagnose molecular da sigatoka-negra**. 2010. 106 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

VANNIER, Nathan; AGLER, Matthew; HACQUARD, Stéphane. Microbiota-mediated disease resistance in plants. **PLoS Pathogens**, v. 15, n. 6, p. 1–7, 2019.

VASCONCELOS, Emanuel Novaes. **A SIGATOKA-NEGRA DA BANANEIRA (MYCOSPHAERELLA FIJIENSIS MORELET) NO ESTADO DE MINAS GERAIS: ESTUDO DE CASO**. 2013. 66 f. Dissertação (Mestrado em Defesa Sanitária Vegetal; Barreiras não alfandegárias e Comércio Internacional) - Universidade Federal de Viçosa, 2013.

VÁZQUEZ-EUÁN, Roberto *et al.* Identification of new hosts of pseudocercospora fijiensis suggests innovative pest management programs for black sigatoka disease in banana plantations. **Agronomy**, v. 9, n. 10, 2019.

VIDA, Carmen; DE VICENTE, Antonio; CAZORLA, Francisco M. The role of organic amendments to soil for crop protection: Induction of suppression of soilborne pathogens. **Annals of Applied Biology**, v. 176, n. 1, p. 1–15, 2020.

VIEIRA, Bernardo de Almeida Halfeld; NECHET, Kátia de Lima. **Treinamento em Certificação Fitossanitária de Origem para a Sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis Morelet)**. , Documentos., nº 4. Boa Vista- RR, 2006.

VILLALTA R, GUZMÁN M. Capacidad de esporulación de Mycosphaerella fijiensis en tejido foliar de banano depositado en el suelo y efecto antiesporulante de la urea. In: **Congreso Científico Técnico Bananero Nacional**. Pococí, Limón, Costa Rica. Resúmen. p. 14. 2005.

VILLALTA, R; GUZMÁN, M. Evaluación de prácticas para la reducción de inóculo interno de Mycosphaerella fijiensis. In **Informe Anual 2005, Dirección de Investigaciones CORBANA (Corporación Bananera Nacional, CR)**. San José, Costa Rica. p. 65-68. 2006.

WEBER, Olmar Baller *et al.* Performance of banana genotypes with resistance to black leaf streak disease in Northeastern Brazil. **PESQUISA AGROPECUARIA BRASILEIRA**, v. 52, n. 3, p. 161–169, 2017.

WIESEL, L., NEWTON, A. C., ELLIOTT, I., BOOTY, D., GILROY, E. M., BIRCH, P. R. J., et al.; Molecular effects of resistance elicitors from biological origin and their potential for crop protection. **Front. Plant Sci.** 5:655, 2014. doi: 10.3389/fpls.2014. 00655

WOO, Sheridan L. *et al.* Trichoderma-based Products and their Widespread Use in Agriculture. **The Open Mycology Journal**, v. 8, n. Supl, p. 71–126, 2014.

WRIGHT, Rick W. *et al.* How to write a systematic review. **Clinical Orthopaedics and Related Research**, n. 455, p. 23–29, 2007.

YOKOMIZO, Gilberto Ken-Iti. Aspectos do melhoramento genético da bananeira. In: DIAS, J. DO S. A.; BARRETO, M. C. (Org.). . **Aspectos agronômicos, fitopatológicos e socioeconômicos da sigatoka-negra na cultura da bananeira no Estado do Amapá**. 1ª ed. Macapá, AP: Embrapa Amapá, 2011. p. 22–40.

ZIN, Nur A.; BADALUDDIN, Noor A. Biological functions of Trichoderma spp. for agriculture applications. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, n. 2, p. 168–178, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aoad.2020.09.003>>.