

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME ALBERTO GROSSI ANDRADE

PANORAMA ATUAL DA RESISTÊNCIA GENÉTICA DO CAFEEIRO À
Hemileia vastatrix E *Meloidogyne* spp.

CURITIBA

2023

GUILHERME ALBERTO GROSSI ANDRADE

PANORAMA ATUAL DA RESISTÊNCIA GENÉTICA DO CAFEEIRO À
Hemileia vastatrix E *Meloidogyne* spp.

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Especialista, Curso de
Especialização em Fitossanidade, Setor de
Ciências Agrárias, Universidade Federal do
Paraná.

Orientador: Prof. Msc. Elizeu Junior da Silva

CURITIBA

2023

RESUMO

O controle genético de doenças por meio da utilização de cultivares resistentes ou tolerantes, especialmente a ferrugem e fitonematoides, é sem dúvida a melhor opção de controle em qualquer sistema de cultivo, apresentando destacada importância naqueles sistemas em que a incidência e severidade da doença são favorecidas. Atualmente, o mercado dispõe de diversas cultivares disponíveis com produtividades semelhantes as melhores cultivares de Mundo Novo e Catuaí. Ainda assim, constantes pesquisas vêm sendo realizadas para obter melhorias em relação as cultivares já existentes, bem como, manutenção da resistência através da utilização do melhoramento genético e ferramentas biotecnológicas. A ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, é considerada a principal doença da cultura, afetando a produção em nível mundial. Dada importância da doença, bem como o seu potencial de perdas, estão registradas 23 cultivares altamente resistentes à ferrugem, tendo aumento intensificado nos últimos 10 anos. Quanto aos fitonematoides, há uma estimativa de que a redução da produção mundial de café, devido à sua ação, seja, em média, de 15%, onde os danos com as espécies de *Meloidogyne* podem chegar a 75%. O uso de cultivares com resistência genética a *Meloidogyne* spp. é considerado o meio de controle mais viável e econômico com resultados satisfatórios em lavouras instaladas em áreas infestadas. De maneira geral, são encontrados genes de resistência em variedades de *C. Canephora*, porém, variedades de *C. arabica* com resistência ao nematoide das galhas são mais escassas.

Palavras-chave: ferrugem do cafeeiro, nematoides, controle genético.

ABSTRACT

The genetic control of diseases through the use of resistant or tolerant cultivars, especially rust and phytonematoids, is undoubtedly the best control option in any cropping system, presenting outstanding importance in those systems where the incidence and severity of the disease are favored. Currently, the market has several cultivars available with yields similar to the best cultivars of Mundo Novo and Catuaí. Still, constant research has been carried out to obtain improvements in relation to existing cultivars, as well as maintenance of resistance through the use of genetic improvement and biotechnological tools. Coffee leaf rust, caused by the fungus *Hemileia vastatrix*, is considered the main disease of the crop, affecting production worldwide. Given the importance of the disease, as well as its potential for losses, 23 cultivars highly resistant to rust are registered, with an intensified increase in the last 10 years. As for phytonematoids, there is an estimate that the reduction in world coffee production due to their action is, on average, 15%, where damage with *Meloidogyne* species can reach 75%. The use of cultivars with genetic resistance to *Meloidogyne* spp. is considered the most viable and economical means of control with satisfactory results in crops installed in infested areas. In general, resistance genes are found in *C. canephora* varieties, but *C. arabica* varieties with resistance to the gall nematode are scarcer.

Key-words: coffee rust, nematodes, genetic control.

Sumário

1. Introdução	5
2. Objetivos	6
2.1 Geral	6
2.2 Específicos	6
3. Revisão de literatura	7
3.1 O cafeeiro.....	7
3.2 Melhoramento genético do cafeeiro visando a resistências a doenças	9
4. A ferrugem do cafeeiro.....	10
4.1 Variabilidade, genes e fontes de resistência à <i>H. vastatrix</i>	12
4.2 Panorama atual o uso da resistência à <i>H. vastatrix</i>	14
5. Nematóide do cafeeiro (<i>Meloidogyne</i> spp.).....	15
5.1 Melhoramento e resistência do cafeeiro ao <i>Meloidogyne</i> spp.....	17
6. Conclusão	20
7. Referências	20

1. Introdução

Diante de um mercado cada vez mais exigente e um ambiente cada vez mais favorável à ocorrência de problemas fitossanitários, o cafeicultor necessita buscar por conhecimento para ser mais competitivo e melhorar sua produção cuja o custo compatível com a atividade. Dessa forma, a adoção de práticas culturais é fundamental e a constante evolução e aperfeiçoamento dessas práticas necessita ser apresentada aos cafeicultores (MORELI, 2019). O manejo fitossanitário figura entre as práticas culturais que devem ser aplicadas criteriosamente, por meio de estratégias que visam aliar o sucesso no controle do patógeno com o desenvolvimento sustentável do setor (ALIXANDRE, 2023).

O controle genético de doenças por meio da utilização de cultivares resistentes ou tolerantes, especialmente a ferrugem e os fitonematoides é, sem dúvida, a melhor opção de controle dentro do sistema de cultivo, apresentando destacada importância naqueles sistemas em que a incidência e severidade da doença são favorecidas, como no sistema de plantio adensado e naqueles que apresentam restrições à utilização de defensivos (SERA, 2022). Acrescente-se ainda outras vantagens tais como a redução do custo de produção e danos ao homem e meio ambiente (ALKIMIN, 2021).

Atualmente, o mercado dispõe de diversas cultivares disponíveis com produtividades semelhantes as melhores cultivares de Mundo Novo e Catuaí. No entanto, constantes pesquisas vêm sendo realizadas para obter melhorias em relação as cultivares já existentes, bem como, manutenção da resistência através da utilização do melhoramento genético e ferramentas biotecnológicas (JORDÃO, 2023).

Diante desse contexto, o trabalho abordará a importância da ferrugem do cafeeiro e dos fitonematoides, particularidades de cada patógeno, diferentes tipos de resistência e/ou tolerância, além de atualizações sobre o tema, a fim de auxiliar os interessados no setor com a disponibilidade de informações sobre o assunto.

2. Objetivos

2.1 Geral

Abordar sobre a ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) e sobre os fitonematoides, especialmente o nematoide das galhas (*Meloidogyne* spp.) sob o ponto de vista da resistência genética. Mostrar as atualidades sobre o tema no que tange à resistência aos patógenos citados.

2.2 Específicos

- Discutir sobre a importância das doenças na cultura do cafeeiro;
- Abordar as especificidades de cada patógeno: etiologia, dano e sintomas;
- Falar sobre os diferentes tipos e níveis de resistência genética;
- Tratar sobre o método de controle da resistência a *Hemileia vastatrix* e *Meloidogyne* spp.;
- Principais descobertas.

3. Revisão de literatura

3.1 O cafeeiro

É de amplo conhecimento a importância histórica do ciclo do café no Brasil, que por mais de um século (1800 – 1930) foi o principal produto de exportação nacional. Suas implicações econômicas e sociais, atuaram como um fator primário para o desenvolvimento de outros setores, especialmente a indústria do país (CARVALHO, 2008).

O quarto levantamento da safra 2022 realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022) indica uma produção nacional de 50.920,1 mil sacas de café beneficiado, o que representa um aumento de 6,7% em relação a 2021. Este aumento se deve a uma pequena expansão de 1,8% da área em produção e às melhores produtividades alcançadas pelo café conilon (CONAB, 2022). Na safra 2022, a colheita de café arábica alcançou 32.720 mil sacas de café beneficiado, 4,1% superior ao da safra 2021. Já a produção de café conilon foi de 18.199,3 mil sacas de café beneficiado, este valor é 11,7% superior ao obtido na safra 2021, esse fato pode ser explicado pelas boas precipitações registradas nos estádios fenológicos cruciais e temperaturas próximas do ideal em todas as regiões produtoras, com destaque para o Espírito Santo (CONAB, 2022).

Estima-se que haverá crescimento da produção de café, na safra 2023, após melhora das condições climáticas, com isso haverá a recomposição dos estoques e recuperação da exportação do produto no segundo semestre deste ano. Sazonalmente, a exportação de café tende a ser maior no segundo semestre devido à maior concentração da colheita próxima ao meio do ano (CONAB, 2023).

O café é considerado uma das mais importantes *commodity* agrícolas no mundo, movimentando um valor estimado de 70 bilhões de dólares. É a principal fonte de renda para mais de 125 milhões de pessoas no mundo, sendo crucial para a economia de mais de 60 países (HOFFMAN, 2014; ICO, 2017). Atualmente, a importância do cafeeiro é restrita ao uso de apenas duas espécies: *C. arabica* e *C. canephora*, responsáveis por 70% e 30% do café negociado mundialmente (GRANATO, 2010).

O *Coffea arabica* é tida como uma espécie nobre, devido a excelente qualidade da bebida que produz. Essa espécie é nativa de uma região restrita, marginal às demais espécies, localizada no sudoeste da Etiópia, sudeste do Sudão e norte do Quênia, adaptando-se a regiões de altitude com temperatura média entre 18 e 23°C (AGUIAR, 2005). Trata-se de uma espécie tetraploide, com $2n=4x=44$ cromossomos, autocompatível, que se multiplica predominantemente por autofecundação, que ocorre em aproximadamente 90% das flores (CARVALHO, 1999). A taxa de fecundação cruzada natural foi avaliada durante anos seguidos, em Campinas SP, pelo emprego do mutante, cera que apresenta fenômeno de xênia no endosperma (RAGA et. al, 2004).

A origem de *C. arabica*, a partir do cruzamento de duas espécies diploides, tem sido objeto de numerosos estudos, entre outros, de citogenética de híbridos, de compatibilidade de cruzamentos, quimiotaxonomia, distribuição geográfica das espécies e marcadores moleculares. Esses estudos, indicam que a alopoliploidia de *C. arabica* tem origem no cruzamento de *C. eugenioides* como genitor feminino, enquanto o genitor masculino seria *C. canephora*, embora haja indicações válidas que pudesse ser *C. congensis* (CARVALHO, 2008). A dúvida em relação ao genitor masculino é procedente, se considerarmos que as duas espécies são bastante polimórficas, parcialmente simpátricas, com tipos morfológicos intermediários e de difícil classificação. É ainda relevante que, artificialmente, são cruzadas com facilidade, formando híbridos férteis com meiose regular (REIS, 2010).

Coffea canephora tem distribuição geográfica mais ampla, ocorrendo nas regiões ocidental e central tropical, e subtropical do continente africano. Essa ampla faixa corresponde a República da Guiné, a Libéria, o Sudão e a Uganda, com elevada concentração de tipos na República Democrática do Congo (NGOLO, 2014). Essa espécie é adaptada a regiões de baixa altitude, úmidas e quentes, com temperaturas entre 22 e 26°C. A variabilidade existente dentro dessa espécie é muito grande em relação ao tamanho e a forma da planta, das folhas, dos frutos e das sementes. A espécie de *C. canephora* é diploide, possuem $2n=2x=22$ cromossomos, são incompatíveis e multiplicam-se exclusivamente por fecundação cruzada. A incompatibilidade em *C. canephora* foi determinada como sendo do tipo gametofítico e é condicionada por uma série alélica S, num único loco (FERRAZ, 2013).

3.2 Melhoramento genético do cafeeiro visando a resistência a doenças

O melhoramento genético do cafeeiro é uma das áreas de pesquisa que vem proporcionando grandes contribuições para o aumento da produtividade e qualidade. Por ser uma planta perene, o melhoramento para produtividade e outras características agrônômicas de interesse demandam um longo tempo, dificultando o trabalho dos melhoristas, considerando os problemas bióticos, abióticos e principalmente financeiros que ocorrem durante as avaliações dos cafeeiros por vários anos consecutivos (FERRÃO, 2014).

Os programas de melhoramento visam, sobretudo, o aumento da rentabilidade e estabilidade econômica do cafeicultor, por meio da eficiência produtiva na propriedade. Esta, por sua vez, pode ser alcançada por meio da melhoria do componente de rendimento ou da produção da planta, redução dos custos de produção, melhoria da qualidade do produto e estabilidade da produção (FERRÃO, 2015).

Todos os cultivares registrados no Registro nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), apresentam, em geral, elevada capacidade produtiva. No entanto, o sucesso da atividade cafeeira está diretamente relacionado com a escolha correta da cultivar indicada para cada região e para cada propriedade, respeitando-se suas particularidades (TEIXEIRA et al., 2011; MARCOLAN et al., 2009).

Além dos objetivos tradicionais como longevidade, vigor, adaptação ampla e produtividade incorporaram-se também no decorrer desse programa, vários outros como resistência à ferrugem, ao bicho-mineiro, aos fitonematoides, porte reduzido, adaptação regional, situações culturais ou demandas especiais (LOPES, 2009)

Um exemplo significativo desse aproveitamento em melhoramento genético foi o desenvolvimento das cultivares Icatu Vermelho, Icatu Amarelo e Icatu Precoce, com resistência a *H. vastatrix* e as seleções Icatu IAC 925, resistente a ferrugem e aos fitonematoides *M. incognita* e *M. paranaensis*. Essas cultivares são provenientes do cruzamento entre *C. arabica* e *C. canephora*, esta última com número de cromossomos duplicados (SANTOS, 2016).

O porta-enxerto Apoatã (IAC2258) de *C. canephora*, resistente a vários fitonematoides, vem sendo preconizado, também, para plantios de pé-franco e pode ser considerado uma solução viável para a manutenção da cafeicultura em várias regiões do Brasil, onde é comum a ocorrência de fitonematoides. Além de Apoatã, de acordo com Baliza (2009) outros porta-enxertos ou clones de café robusta estão sendo desenvolvidos para resistência à ferrugem e fitonematoides. Por ser assim, a espécie *C. canephora* é amplamente utilizada nos programas de melhoramento, como porta-enxerto ou como fonte de resistência a doenças e a fitonematoides para o melhoramento de *C. arabica* (SANTOS, 2017).

Por meio de seus híbridos (congusta), *C. congensis* com *C. canephora* também vem sendo usadas no IAC, em suas formas diploide e tetraploide. Além de possuírem exuberante sistema radicular e boa produção, esses indivíduos são resistentes aos nematoides *M. exigua* e *M. incognita*, a *H. vastatrix* e ao bicho mineiro.

Dentre as espécies perenes, o cafeeiro *C. arabica* é a melhor estudada no que se refere a herança e a relação de dominância de fatores genéticos. Para esses estudos, tem-se usado, como padrão *C. arabica* var. *typica* L. cultivar também conhecida como Arabica, Nacional ou típica.

4. A ferrugem do cafeeiro

A ferrugem do cafeeiro, principal doença que afeta a produção mundial de café, é causada *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. (Basidiomycota, Pucciniales) (TONIUTTI et al., 2017), fungo biotrófico responsável por provocar perdas estimadas em cerca de dois bilhões de dólares por ano (McCOOK, 2006).

O fungo necessita de temperatura favorável à infecção, entre 21 e 24°C, e tempo de molhamento foliar mínimo de 24 horas (CAPUCHO et al., 2011). Os danos na produtividade do café causados pela ferrugem ocorrem sempre no ano seguinte ao ataque da ferrugem e são precedidos de desfolha e seca de ramos, no ano anterior. Em geral, os danos variam de 35% a 50%, quando medidas de controle não são adotadas (ZAMBOLIM, 2016). A doença geralmente não causa dano em altitudes acima de 1.200 m, pois o ambiente não favorece a infecção do patógeno. Até o momento não se conhece hospedeiro alternativo para o fungo (TALHINHAS et al., 2014).

Atualmente, o uso de fungicidas é a principal medida de controle da ferrugem. Entretanto, o desenvolvimento das cultivares resistentes é o melhor método de controle, pois é econômico, eficiente e não causa danos ao meio ambiente (ZAMBOLIM et al., 2005).

Um dos principais focos dos programas de melhoramento do cafeeiro em várias instituições do mundo é a obtenção de cultivares com resistência múltipla e durável a doenças, principalmente à ferrugem do cafeeiro (LIGABO et al. 2015; GUERRA-GUIMARÃES et al. 2015; AVELINO et al. 2015; DABA et al., 2018; FAZUOLI et al. 2018; SILVA et al. 2018).

Os níveis de resistência podem ser classificados em altamente resistente (HR), moderadamente resistente (MR), pouco resistente (SR), suscetível (S) ou altamente suscetível (SH), dependendo do tipo de reação da planta ao patógeno, sintomas e intensidade da doença. O nível de HR é governado por genes de resistência do tipo qualitativo; no entanto, cultivares classificadas nesse nível geralmente também possuem genes quantitativos de resistência. Os níveis de MR, SR, S e HS estão relacionados à resistência quantitativa (SERA et. al, 2022).

A ferrugem do cafeeiro chegou ao Brasil em 1970 e se espalhou rapidamente por todo país. Acredita-se que os uredinósporos do fungo tenham sido trazidos para o hemisfério oeste por correntes de ventos vindas da Angola (BOWDEN; GREGORY; JOHNSON, 1971), ou introduzidos acidentalmente em plantas, bagagens ou roupas contaminadas (KUSHALAPPA, 1989). Desde então, os programas de melhoramento do cafeeiro no país, como o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epmig), o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e a Universidade Federal de Lavras (UFLA) dentre outras instituições, têm acumulado esforços nos estudos genéticos visando a obtenção de cultivares resistentes a *H. vastatrix*.

Para dar suporte a esses programas de melhoramento, foi introduzido no Departamento de Fitopatologia (DFP) da UFV, um número expressivo de acessos contendo genes de resistência a *H. vastatrix* proveniente do Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC), Portugal, Centro Nacional de

Investigação do Café (Cenicafé), Colômbia, Instituto Internacional de Ciências Agrícolas (IICA), Costa Rica e IAC, Brazil (PEREIRA et al. 2005).

Para a introgressão dos genes de resistência presentes nesses acessos em variedades de interesse agrônômico, é essencial que se faça um estudo inicial da herança dessas características (PESTANA et al. 2015), bem como a caracterização detalhada desses genes.

4.1 Variabilidade genética, genes e fontes de resistência à *H. vastatrix*

No tocante às raças de *H. vastatrix*, já foram identificadas e descritas no mundo mais de 50 raças fisiológicas (VÁRZEA; MARQUES, 2005). No Brasil há 16 raças descritas, porém, é possível que haja mais de 10 novas raças ainda não identificadas (ZAMBOLIM, 2016; ZAMBOLIM; CAIXETA, 2018).

Com base nas análises de inoculação de cafeeiros com diferentes isolados de *H. vastatrix*, e considerando a teoria gene-a-gene de Flor (1971), foram identificados pelo menos nove genes dominantes (SH1 a SH9), simples ou associados, conferindo a resistência de cafeeiros à *H. vastatrix*. Os genes SH1, SH2, SH4 e SH5 foram caracterizados em genótipos de *C. arabica* da Etiópia (BETTENCOURT e NORONHA-WAGNER, 1971; NORONHA-WAGNER e BETTENCOURT, 1968). O gene SH3 foi identificado em cafeeiros derivados de *C. liberica* e os genes SH6, SH7, SH8 e SH9 em *C. canephora* (BETTENCOURT et al. 1980; BETTENCOURT, 1973).

Ao estudarem a herança dos genes de resistência presente no híbrido de Timor UFV 443-03 em cruzamentos com a cultivar comercial suscetível Catuaí Amarelo IAC 64, Pestana et al. (2015) identificaram dois genes maiores dominantes independentes que conferem resistência a três isolados de *H. vastatrix* (raças I e II e patótipo 001). Posteriormente, estes genes foram localizados em mapa genético e os marcadores que os flanqueiam foram identificados e disponibilizados para uso no melhoramento genético (PESTANA et al., 2015; ALMEIDA, 2015).

Apesar de alguns estudos genéticos da resistência do cafeeiro estarem disponíveis, poucos trabalhos de caracterização molecular desses genes foram realizados. Barka (2017) realizou um dos primeiros estudos sobre a natureza molecular dos genes SH. Nesse trabalho foi identificado e caracterizado um novo

gene que compartilha sequências conservadas com outros genes SH, mas diferente dos nove (SH1 a SH9) previamente caracterizados. A partir desse gene foi desenvolvido um marcador funcional para auxiliar a identificação desse gene nas populações em melhoramento.

O uso de marcadores moleculares associados aos *locus* de resistência do cafeeiro que conferem resistência a diferentes raças de *H. vastatrix*, são de grande importância para obtenção de cultivares com resistência durável nos programas de melhoramento. Com o surgimento de novas raças de *H. vastatrix*, em função da alta variabilidade do patógeno, as cultivares que antes eram consideradas resistentes, têm se tornando suscetíveis a essa doença ao longo do tempo (CABRAL et al. 2016; TAHINHAS et al. 2017). Essa suplantação da resistência tem sido uma preocupação dos programas de melhoramento do cafeeiro que levam cerca de 30 anos para obtenção de uma cultivar que pode ter sua resistência suplantada. Uma estratégia para a obtenção de cultivares com resistência duradoura é a piramidação de genes (SAAVEDRA TOBAR, 2019).

Van der Vossen et al. (2015) afirmam que a resistência durável está relacionada ao efeito de uma combinação de genes, seja por empilhamento dos principais genes ou pelo acúmulo de vários genes menores. Poucos estudos foram feitos em busca de cultivares com múltipla resistência a ferrugem do cafeeiro com utilização de marcadores moleculares. Alkimim et al. (2017) realizaram um dos primeiros esforços em identificar genótipos de café com resistência múltipla utilizando marcadores moleculares por meio da seleção assistida.

Com base nos marcadores associados a diferentes genes, identificaram em progênies de cruzamento entre seleções indianas com cultivares de *Coffea arabica*, os genes de resistência a ferrugem SH3 (MAHÉ et al. 2008; DIOLA et al. 2011), bem como o gene Ck1 que confere resistência a Coffee Berry Disease (CBD) (GICHURU et al. 2008).

Para que novos genes sejam piramidados e acompanhados em diferentes gerações de melhoramento, é necessário a identificação de novos *locus* e desenvolvimento de novos marcadores associados à resistência a diferentes raças e diferentes doenças.

Em relação as fontes de resistência que podem ser obtidas no pré melhoramento, Aguiar (2005) observou que as variedades de *C. canephora*

apresentam grande diversidade genética em relação as características agronômicas e morfológicas, bem como a reação ao patógeno causador da ferrugem. O mesmo autor, descreveu que a variedade robusta, pertencente ao grupo Congolês, apresenta resistência ao agente da ferrugem, além de se mostrar produtiva em experimentos no estado de São Paulo, Mato Grosso e Rondônia (FAZUOLI, 1986; FAZUOLI et al. 1999).

As plantas da variedade Guarani e Bukobensis assemelham-se as plantas da variedade robusta em relação a elevada resistência a ferrugem (AGUIAR, 2005). Já a variedade Laurentii apresenta variabilidade para a resistência a ferrugem, apresentando plantas resistentes, moderadamente resistentes e suscetíveis ao patógeno. A variedade Apatã IAC 2258 possui elevado vigor e resistência a ferrugem e a fitonematoides, sendo frequentemente usada como porta-enxertos às cultivares de *C. arabica* (FAZUOLI, 1986).

4.2 Panorama atual o uso da resistência à *H. vastatrix*

Atualmente, aproximadamente 80% dos cafezais brasileiros são compostos por cultivares sensíveis a ferrugem e pertencem aos grupos Catuaí e Mundo Novo. Com a introdução de novas cultivares resistentes na década de 1990, os produtores rurais começaram lentamente a plantá-las. Entre as décadas de 1990 e 2000, houve pouca aderência às cultivares altamente resistentes do grupo Sarchimor que, apesar de apresentarem alto potencial produtivo, tipicamente apresentam vigor vegetativo mais fraco se manejadas inadequadamente em termos de suprimento de nutrientes e água. A partir da década de 2000, foram lançadas novas cultivares altamente resistentes a ferrugem e com melhor vigor vegetativo, originárias de Sarchimor × Catuaí, Sarchimor × Mundo Novo, derivadas da BA-10 e Catuaí × HdT. Paralelamente, foram liberadas cultivares pouco resistentes e moderadamente resistentes originárias de Icatu × Catuaí, Icatu Anã × Catuaí e Icatu × Catimor foram liberadas. Todas essas novas são cultivares anãs que têm sido cada vez mais adotadas devido a outras características desejáveis além da resistência a ferrugem, como alta produtividade aliada a maior vigor vegetativo, excelente qualidade da xícara, maior granulometria, resistência a outras doenças como *Phoma* spp. e halo bacteriano (*Pseudomonas syringae* pv. *Garcae*), resistência

aos nematoides *Meloidogyne exigua*, *M. paranaensis*, e *M. incognita*, e maior resistência à seca (SERA et. al, 2022).

Das 138 cultivares registradas no Brasil até 2022, 23 são altamente resistentes por não terem seus principais genes suplantados pelas raças fisiológicas presentes nas culturas brasileiras. Dez cultivares são moderadamente resistentes em algumas regiões cafeeiras, mas moderadamente ou pouco resistentes em outras, porque seus principais genes foram suplantados; no entanto, seus genes menores atuam promovendo diferentes níveis de resistência intermediária (SERA et. al, 2022).

Apesar da baixa porcentagem de cultivares resistentes a ferrugem no setor cafeeiro brasileiro, a adoção de cultivares resistentes intensificou-se nos últimos 10 anos. No entanto, novas cultivares são normalmente escolhidas por suas características adicionais interessantes para o produtor.

5. Fitonematoides no cafeeiro (*Meloidogyne* spp.)

De forma geral, os nematoides fitoparasitos ou fitonematoides, são considerados limitantes ao cultivo do cafeeiro, principalmente quando associado à sua presença, o cultivo ocorrer em solos arenosos, com baixa fertilidade e deficiência hídrica. Os gêneros *Meloidogyne*, que compreende os fitonematoides conhecidos como nematoides das galhas, e *Pratylenchus* nematoide das lesões radiculares, são considerados os mais importantes e nocivos à cultura do cafeeiro (TIHOHOD, 1993).

Há uma estimativa de que a redução da produção mundial de café, devido à ação dos nematoides seja, em média, de 15%. No Brasil, estima-se um valor médio de 20% e desse total as espécies de *Meloidogyne* são responsáveis por aproximadamente 75% (CARNEIRO, 1995; LORDELLO, 1976; 1984).

Se tratando especificamente do nematoide das galhas, quando os níveis populacionais do nematoide são mais elevados no solo, entre 40 a 50 juvenis de segundo estágio (J2) e o controle do patógeno não é realizado ou realizado de forma incorreta, as lavouras novas, com menos de cinco anos, apresentam perdas de produtividade de até 30% enquanto as lavouras velhas, ainda que mais tecnificadas, podem ter perdas estimadas em até 45% (BARBOSA, 2004).

Dessa forma, o nematoide das galhas tem sido apontado como uma das causas da migração da cafeicultura de um estado para outro (SANTOS, 1997).

A ocorrência e patogenicidade dos nematoides das galhas, *Meloidogyne exigua*, *M. incognita* e *M. paranaenses*, são bem caracterizadas em cafeeiros no Brasil. Dentre as espécies que afetam o cafeeiro, *M. incognita* é aceito como uma das mais prejudiciais, devido sua ampla disseminação, elevada capacidade de danificar o sistema radicular, persistência no solo e à suscetibilidade da maioria das cultivares ao nematoide, o que dificulta a implantação de novas áreas cultivadas com café e a manutenção de áreas já infestadas (LORDELLO, 1984; GONÇALVES et al., 2004; ROLDI et al, 2015).

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* são sedentários e endoparasitos. Assim, dos ovos depositados pelas fêmeas, eclodem os juvenis de segundo estágio (J2) que apresentam corpo vermiforme. Os J2 penetram as raízes do cafeeiro e estabelecem um sítio de alimentação junto ao sistema vascular, no cilindro central, incitando a formação de tecido nutridor (células nutridoras ou células gigantes). Esses J2 permanecem se alimentando num único local e, após sofrerem três ecdises, atingem a forma adulta. Os machos são vermiformes e não parasitam as plantas, abandonando as raízes. As fêmeas apresentam forma do corpo aberrante, assumindo formato de pêra, de cor branca e permanecem se alimentando das células nutridoras, passando a produzir os ovos, que são depositados numa matriz gelatinosa (massa de ovos). Cada fêmea pode produzir, em média, de 400 à 500 ovos (SANTOS, 2012; CARNEIRO; ALMEIDA, 2001).

Na presença do nematoide das galhas, o sistema radicular torna-se ineficiente quanto à absorção de água e nutrientes, e como resultado, as plantas mostram-se menos vigorosas e não crescem. Devido a vários fatores (nível de infestação inicial, distribuição espacial dos nematoides, etc.) as plantas apresentam tamanho desigual, formando reboleiras na cultura. As folhas podem ficar com coloração anormal, cloróticas, semelhante a sintomas de deficiência nutricional. Finalmente, ocorre diminuição na produção, inviabilizando a exploração econômica (LORDELLO, 1984; FERRÃO, 2008). Deve-se enfatizar que nem sempre é possível reconhecer e diagnosticar a presença de nematoides exclusivamente pela observação dos sintomas.

Dentre os métodos de controle empregados no manejo de fitonematoides no cafeeiro, o uso de cultivares resistentes é o que apresenta resultado mais eficiente, seja por meio de pés francos ou porta-enxertos resistentes, principalmente por tratar-se de processo eficiente, econômico e não poluente (OLIVEIRA, 2018).

5.1 Melhoramento e resistência do cafeeiro à *Meloidogyne* spp.

O uso de cultivares com resistência genética a *Meloidogyne* spp. é considerado o método de controle mais viável e econômico (MATA et al., 2000; SERA et al., 2006; SERA et al., 2017; HOLDERBAUM et al., 2020) com resultados satisfatórios em lavouras instaladas em áreas infestadas (GONÇALVES e SILVAROLLA, 2001).

A interação entre a planta hospedeira e o fitonematoides endoparasitas sedentários, especialmente aqueles pertencentes ao gênero *Meloidogyne*, é altamente especializada e complexa (WILLIAMSON e HUSSEY, 1996). Os eventos que envolvem estímulo para incubação, atração, penetração dos tecidos do hospedeiro, assim como o reconhecimento do tecido suscetível e indução do sítio de alimentação através da modificação anatômica nas células e alterações na expressão genética da planta, são fundamentais para o sucesso da infecção (DAVIS e MITCHUM, 2005).

Roberts (2002) esclarece que a resistência de plantas ao nematoide das galhas, em geral, não protege a planta contra a penetração de juvenis, mas afeta o desenvolvimento ou a reprodução do nematoide dentro da raiz da planta. Estudos envolvendo a interação *Meloidogyne* x Hospedeiro Incompatíveis de Café, têm demonstrado que a reação de hipersensibilidade (RH) é um dos principais mecanismos de defesa da planta ao patógeno, e que o nível de hipersensibilidade, tempo de sua ocorrência e o destino final do nematoide dependem da combinação patógeno/hospedeiro (CANTO-SAENZ e BRODIE, 1987; SILVA et al., 2013). Entretanto, além das reações de RH, em algumas plantas resistentes pode não haver nutrientes suficientes ou outras substâncias essenciais para o estabelecimento do nematoide, o que resultaria na migração e / ou atraso do desenvolvimento do patógeno, sendo considerado um outro fator de resistência das plantas (HUANG, 1985).

Avaliando os mecanismos de resistência de cafeeiros à *M. incognita*, Mazzafera et al. (1989) verificaram que em diversas fases de avaliações, a cultivar Apoatã (resistente) apresentou atividade de polifenoloxidase maior do que a Mundo Novo (suscetível), tanto em plântulas inoculadas como não inoculadas. Os autores concluíram que esse aumento de atividade nas plântulas inoculadas do Apoatã, na primeira avaliação, indica a possibilidade de essa enzima estar envolvida no mecanismo de resistência a *M. incognita*. A cultivar “IAC Apoatã” de *C. canephora*, por exemplo, é resistente à *M. incognita*, sendo considerada uma alternativa viável no controle do patógeno. Este material vem sendo utilizado como porta-enxerto de *C. arabica* no controle do nematoide em áreas infestadas (CARNEIRO, 1995; TOMAZINI et al., 2005).

Fontes de resistência aos nematoides das galhas vem sendo encontradas em *Coffea canephora* (GONÇALVES et al., 1988; SERA et al., 2004; 2006), em *Coffea congensis* A. Froehner (GONÇALVES et al., 1988; SERA et al., 2007), *Coffea dewevrei* De Wild. & T. Durand (KANAYAMA et al., 2009; SERA et al., 2005, 2006), Híbrido de Timor (PEREIRA et al., 2010) e em acessos silvestres de *C. arabica* oriundos da Etiópia (ANZUETO et al., 2001; BOISSEAU et al., 2009; SALGADO et al., 2014; FATOBENE et al. 2017), porém a maioria dos genótipos são segregantes.

A cultivar porta-enxerto Apoatã IAC-2258 de *C. canephora* é resistente a *M. incognita* e também *M. exigua* (FAZUOLI et al., 1987). Outras espécies de cafeeiros que merecem destaque por serem cultivadas em seus locais de origem e, principalmente, por serem fontes importantes de genes para o melhoramento genético são as seguintes: *Coffea bengalensis* Heyne ex Willd; *Coffea eugenioides* S. Moore; *Coffea stenophylla* G. Don; *Coffea racemosa* Lour; *Coffea zanguebariae* Lour, *Coffea abeokutoe* e ainda as espécies da subseção *Mascharocoffea*, dos cafés descafeinados (CHARRIER, 1978; FAZUOLI, 1986; SAKIYAMA et al., 1999).

É importante salientar que geralmente os níveis de resistência dos genótipos de café estão relacionados com as espécies e/ou raças de *Meloidogyne* associadas. Em estudo realizado por Sera et al. (2006) avaliando a reação de vinte e quatro clones de *C. canephora* ao nematoide-das-galhas, foi observado que para a raça 1 de *M. incognita*, todos os cafeeiros 34 apresentaram reação de resistência. A nota média de infestação desses

genótipos de *C. canephora* foi de 1,43 em comparação com a cultivar testemunha Mundo Novo IAC 376-4 (*C. arabica*), que apresentou nota média igual a 4,68. Entretanto, quando os mesmos materiais foram expostos à *M. incognita* raça 2, a segunda mais disseminada no Paraná, apenas doze clones apresentaram resistência.

Um dos entraves da pesquisa nematológica com culturas agrícolas é a ausência de padronização metodológica em relação à melhor densidade populacional do nematoide, de modo que consiga expressar os adequados níveis de resistência/suscetibilidade dos genótipos, bem como a melhor data de avaliação, principalmente no caso de culturas perenes, como o café. Devido ao fato de espécies como *M. incognita* e *M. paranaensis* serem mais agressivas ao cafeeiro (GONÇALVES e SILVAROLLA, 2001).

De maneira geral, variedades de *C. arabica* com resistência ao nematoide das galhas são mais escassas. Entretanto, alguns germoplasmas derivados de combinações entre *C. arabica* e *C. canephora* tais como "Icatu", "Sarchimor" e "Catimor", inicialmente estudados em relação à ferrugem do cafeeiro *H. vastatrix*, também foram identificadas plantas resistentes à *M. exigua* (BERTRAND et al., 2001), *M. incognita* (ALBUQUERQUE et al., 2010) e *M. paranaensis* (SERA et al., 2007; SALGADO et al., 2014).

Ito et al. (2008) avaliando a reação de genótipos de café arábica ao nematoide das galhas, observou que quatro progênies da cultivar IPR100 ("Catuaí SH2, SH3") e dez progênies da cultivar IPR 106 ("Icatu") foram mais resistentes aos nematoides *M. incognita* raça 2 e *M. paranaenses* do que a cultivar padrão suscetível "Mundo Novo IAC 376- 4". A resistência de *C. arabica* ao nematoide das galhas vem sendo encontrada também na cultivar IPR 100.

Kanayama et al. (2009) avaliando progênies da cultivar IPR 100 de *C. arabica* verificou que seis progênies apresentaram maior resistência à raça 1 de *M. incognita* em comparação com a cultivar "Mundo Novo IAC 376-4" utilizada como padrão suscetível. Nesta última, predominaram plantas com nota 5 (suscetíveis), enquanto nas progênies da 'IPR 100' foram plantas com nota 3 (resistentes). A nota média do índice de galhas e massas de ovos (IGO) das seis progênies da cultivar IPR 100 foi de 3,25, enquanto a nota média dos dois tratamentos do padrão suscetível foi de 4,56.

6. Conclusão

Nas últimas décadas, os programas de melhoramento genético do cafeeiro no Brasil desenvolveram muitas cultivares resistentes a ferrugem do cafeeiro e ao nematoide das galhas. No entanto, a adoção dessas novas cultivares pelos cafeicultores tem sido lenta. Isso ocorre porque cultivares tradicionais e suscetíveis apresentam bom desempenho, e métodos químicos de controle da ferrugem apresentam baixo custo e alta eficiência. Nota-se também a necessidade de elaboração de diferentes estratégias de disseminação de novas cultivares entre cafeicultores e agentes responsáveis pela assistência técnica.

A resistência do cafeeiro às doenças, seja ela ferrugem ou fitonematoides, por exemplo, não é a única característica que determina a escolha de uma cultivar pelos cafeicultores brasileiros. Alto potencial produtivo, vigor vegetativo, resposta à poda, ciclo de maturação e fácil colheita mecanizada também são características altamente consideradas na escolha das cultivares. Dessa forma, a maioria das lavouras de café no Brasil, como Catuaí e Mundo Novo, ainda é suscetível à ferrugem e ao nematoide e demandam atenção quanto ao manejo.

7. Referências

ALBUQUERQUE, E. V. S. et al. Resistance to *Meloidogyne incognita* expresses a hypersensitive-like response in *Coffea arabica*. **European Journal Plant Pathology**, London, v. 127, p. 365-373, 2010.

ALIXANDRE, R. D et al. **Café arábica: um enfoque na qualidade**. 2023.

ALKIMIM E. R et al. Marker-assisted selection provides arabica coffee with genes from other *Coffea* species targeting on multiple resistance to rust and coffee berry disease. **Molecular Breeding**, p. 37 v.6. 2017.

ALKIMIM, E. R et al. Designing the best breeding strategy for *Coffea canephora*: Genetic evaluation of pure and hybrid individuals aiming to select for productivity and disease resistance traits. **Plos one**, v. 16, n. 12, p. e0260997, 2021.

ALMEIDA D. P. (2015). **Desenvolvimento e utilização de marcadores moleculares para seleção de cafeeiros resistentes a ferrugem**. Universidade Federal de Viçosa. Dissertação. 2015.

AGUIAR, A. T. da E. **"Atributos químicos de espécies de café."** 2005.

AVELINO J. et al. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. **Food Security**, 7(2), 303-321. 2015.

ANZUETO, F. et al. Resistance to *Meloidogyne incognita* in Ethiopian *Coffea arabica* accessions. **Euphytica**, [S.I.], v. 118, p. 1-8, 2001.

BALIZA, D. P. "**Antecipação da produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com utilização de diferentes tipos de mudas.**" 2009.

BARBOSA, D.H.S.G. et al. Field estimates of coffee yield losses and damage threshold by *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, v.28, p.49-54, 2004.

BARKA (2017). **Identification, molecular characterization and differential expression studies of genes activated during *Coffea arabica* L.-*Hemileia vastatrix* interactions Berk. & Broome.** Universidade Federal de Viçosa. Tese. 2017.

BERTRAND, B. et al. Genetic study of *Coffea canephora* coffee tree resistance to *Meloidogyne incognita* nematodes in Guatemala and *Meloidogyne* sp. nematodes in El Salvador for selection of rootstock varieties in Central America. **Euphytica**, [S.I.], v. 113, p.79-86, 2000.

BETTENCOURT, A. J.; CARVALHO, A. Melhoramento visando a resistência do cafeeiro à ferrugem. *Bragantia*, v. 27, p. 35-68, 1968.

BETTENCOURT A. **Considerações gerais sobre o ‘Híbrido de Timor.’** Instituto Agrônomo de Campinas, 23:20. 1973.

BETTENCOURT A. J., NORONHA-WAGNER M. e LOPES J. Factor genético que condiciona a resistência do clone 1343/269 (Híbrido de Timor) à *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. **Broteria Genética XIII**,v.1, n.LXXVI, p.53-58. 1980.

BETTENCOURT A. J., NORONHA-WcAGNER M. Genetic factors conditioning resistance of *Coffea arabica* L. to *Hemileia vastatrix* Berk & Br. **Agronomia Lusitana**, 31:285–292. 1971.

BOISSEAU, M. et al. Resistance to *Meloidogyne paranaensis* in wild *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, [S.I.], v. 34, n. 1, p. 38-41, 2009.

BOWDEN, J.; GREGORY, P. H.; JOHNSON, C. G. Possible wind transport of coffee leaf rust across the atlantic ocean. **Nature**, v. 229, n. 5285, p. 500-501, fev. 1971.

CABRAL P. G. C., et al. Genetic diversity and structure of *Hemileia vastatrix* populations on *Coffea* spp. **Plant Pathology**, 65(2), 196-204. 2016.

- CANTO-SAENZ, M.; BRODIE, B. D. Comparison of compatible and incompatible potato to *Meloidogyne incognita*. **Journal of Nematology**, n. 19, p.218-221, 1987.
- CAPUCHO, A. S. et al. Germinação e infecção da ferrugem em cafeeiro conilon sob diferentes temperaturas e molhamentos foliares: In **SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL**, 7., Araxá. Resumos. Araxá, MG: 2011.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; M. R. A. ALMEIDA. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzimas dos nematóides das galhas para identificação de espécies. **Nematologia Brasileira**, v.25, n.1, p.35 – 44, 2001.
- CARNEIRO, R.G. Reação de progênies de café 'Icatu' a *Meloidogyne incognita* raça 2, em condições de campo. **Nematologia Brasileira**, v.19, p.53-59, 1995.
- CARNEIRO, R. M. D. G. O. RANDING, M. R. A. ALMEIDA & W. GONÇALVES. **Identificação e caracterização de espécies de meloidogyne em cafeeiros nos estados de São Paulo e Minas Gerais através dos fenótipos de esterase e SCAR-Multiplex-PCR**. 2005
- CARVALHO, A. et al. Breeding programs. In: Coffee rust: epidemiology, resistance, and management. **Boca Raton**, Florida: CRC Press, Inc. p. 293-345. 1989.
- CARVALHO, C. H. S. de (ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília, DF: Embrapa Café. 334 p. 2008.
- CHARRIER, A. La structure génétique des caféiers spontanés de la région Malgache (*Mascaracoffea*): **Leurs relations avec les caféiers d'origine africaine (Eucoffea)**. Paris: ORSTOM. 223 p. 1978.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira. Safra 2022. Quarto levantamento**. Brasília, DF: Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe> . Acesso em: 19 maio 2023.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira. Safra 2023. Segundo levantamento**. Brasília, DF: Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe> . Acesso em: 19 maio 2023.
- DAVIS, E. L.; MITCHUM, M. G. Nematodes: sophisticated parasites of legumes. **Plant Physiology**, n.137, pag.1182-1188, 2005.
- DABA G. et al. Seasonal and altitudinal differences in coffee leaf rust epidemics on coffee berry disease-resistant varieties in Southwest Ethiopia. **Tropical Plant Pathology**, 1-7. 2018.
- DIOLA V. et al. High-density genetic mapping for coffee leaf rust resistance. **Tree Genetic Genomes**, 7:1199– 1208. 2011.

FATOBENE, B. J. R. et al. Wild *Coffea arabica* resistant to *Meloidogyne paranaensis* and genetic parameters for resistance. **Euphytica**, [S.l.], v. 213. N. 196, 2017.

FAZUOLI, L. C. **Genética e melhoramento do cafeeiro**. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M. IAMADA, T. (Ed.). *Cultura do cafeeiro (fatores que afetam a produtividade)*. Piracicaba: POTAFOS. p. 88-113. 1986.

FAZUOLI, L. C. et al. Melhoramento do cafeeiro visando resistência a nematóides: utilização de porta-enxertos resistentes. In: Congresso paulista de agronomia, 6., Piracicaba. **Anais...** São Paulo: AEASP, 1987. p. 171- 180, 1987.

FAZUOLI, L. C. et al. Cultivares de café arábica (*Coffea arabica* L.). In: CARVALHO, C. H. S. de (Ed.). **Cultivares de café**. Brasília: p. 125–198. 1999.

FAZUOLI L. C. Et al. IAC Obatã 4739-dwarf arabic coffee cultivar with yellow fruits and resistant to leaf rust. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 18(3), 330-333. 2018.

FLOR, H. H. Current status of the gene-for-gene concept. **Annual review of phytopathology**, 9(1), 275-296. 1971.

GICHURU E. K., et al 2008. Identification of molecular markers linked to a gene conferring resistance to coffee berry disease (*Colletotrichum kahawae*) in *Coffea arabica*. **Plant Pathology**, 57:1117–1124. 2008.

GUERRA-GUIMARÃES L., et al. Proteomic analysis of apoplastic fluid of *Coffea arabica* leaves highlights novel biomarkers for resistance against *Hemileia vastatrix*. **Frontier Plant Science**, 6:1–16. 2015.

GONÇALVES, W.; LIMA, M.M.A.; FAZUOLI, L.C. Resistência do cafeeiro à nematoides - III: avaliação da resistência de espécies de *Coffea* e de híbridos interespecíficos à *Meloidogyne incognita* raça 3. **Nematologia Brasileira**, [S.l.], v. 12, p. 47-54, 1988.

GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M. B. **Nematoides parasitos do cafeeiro**. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). *Tecnologias de produção de café com qualidade*. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. Cap. 7. p. 199-268. 2001.

GONÇALVES, W.; RAMIRO, D. A.; GALLO, P. B.; GIOMO, G. S. **Manejo de nematoides na cultura do cafeeiro**. In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO – CAFÉ, 10., 2004, Mococa. *Anais...* Mococa: Instituto Biológico, 2004. p.48-66

GRANATO, L. M. **Comportamento meiótico em híbridos de café arabusta (*C. arabica* cv *bourbon vermelho* x *C. canephora* cv *robusta*)**. Dissertação (Mestrado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia). Campinas: IAC. 91p, 2010.

HOFFMAN, J. The world atlas of coffee : from beans to brewing -- coffees explored, explained and enjoyed. 2014. p. 272. ICO. **Annual Review**. Disponível em: . Acesso em: 28 mar. 2023.

HOLDERBAUM, M. M. et al. Arabica coffee accessions originated from Ethiopia with resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis*. **Australian Journal of Crop Science**, [S.l.], v. 14, p. 08, p. 1209-1213, 2020.

HUANG, J. **Formation, anatomy and physiology of giant cells induced by root-knot nematodes**. In: SASSER; C.C CARTER An Advanced Treatise on *Meloidogyne*, Vol.I Biology and Control. North Caroline State University. Raleigh, North Caroline, p.155-164, 1985.

ICO – International coffee organization. Relatório sobre o mercado cafeeiro. Disponível em: <<https://www.ico.org/pt/Market-Report-16-17-p.asp>>. Acesso em: 6 mar. 2023.

ITO, D. S. et al. Progenies de café com resistência aos nematóides *Meloidogyne paranaensis* e raça 2 de *Meloidogyne incognita*. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, p. 156-163, 2008.

FERRAZ, A. "**Cultura do café**." Técnico em Agricultura. Instituto Formação. 2013.

FERRÃO, R.G. et al. Genetic parameters in Conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p.61-69, 2008.

FERRÃO, R. G., et al. "**Cultivares de café Conilon**." 2015.

FERRÃO, R. G., et al. "**Melhoramento genético de *Coffea canephora***." 2015.

JORDÃO, M. A. **Produtividade e qualidade de bebida de cultivares de cafeeiros irrigados na região do cerrado mineiro**. 2023.

KANAYAMA, F. S. et al. Progenies de *Coffea arabica* cv. IPR 100 com resistência ao nematoide *Meloidogyne incognita* raça 1. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 33, p. 1321-1326, 2009.

KUSHALAPPA, A. C. Introduction. In: KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. (Ed.). *Coffee rust: epidemiology, resistance, and management*. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc., p. 12. 1989.

LIGABO S. G., et al. Status of Coffee Leaf Rust resistance on Kenyan commercial resistant cultivars. **Brazilian Journal of Microbiology**, 8, 655-662. 2015.

LOPES, P. R. Caracterização da incidência e evolução de pragas e doenças em agroecossistemas cafeeiros sob diferentes manejos. 2009.

LORDELLO, L. G. E. **Nematoides das plantas cultivadas**. 8ª ed. São Paulo, Ed. Livraria Nobel, 1984, 314p.

LORDELLO, L. G. E. Perdas causadas por nematoides. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 222, 1976.

MAHÉ L., et al. Development of sequence characterized DNA markers linked to leaf rust (*Hemileia vastatrix*) resistance in coffee (*Coffea arabica* L.). **Molecular Breeding**, 21:105–113. 2008.

MARCOLAN, A. L., et al. **"Cultivo dos cafeeiros conilon e robusta para Rondônia."** 2009.

MATA, J. S. et al. Seleção para resistência ao nematóide *Meloidogyne paranaensis* emn95001: IAPARLN 94066 de "Catuaí x Icatu" em área altamente infestada. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. 1, 2000. Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília: EMBRAPA, 2000. p. 515-518. 2000.

MAZZAFERA, P.; GONÇALVES, W.; FERNANDES, J. A. R. Fenóis, peroxidase e polifenoxidase na resistência do cafeeiro a *Meloidogyne incognita*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15., 1989, Maringá. **Anais ...** Rio de Janeiro: IBC, p.4-6, 1989.

McCOOK, S. Global rust belt: *Hemileia vastatrix* and the ecological integration of world coffee production since 1850. **Journal of Global History**, v. 1, n. 2, p. 177-195, 2006.

MORELI, A. P. et al. **Tendências para a sustentabilidade da cafeicultura de Conilon.** 2019.

NGOLO, A. O. **"Zoneamento agroclimático para cultura do café em Angola."** 2014.

NORONHA-WAGNER M., BETTENCOURT A. J. Genetic study of resistance of *Coffea* spp. to leaf rust. I. Identifi cation and behaviour of four factors conditioning disease reaction in *Coffea arabica* to twelve physiologic races of *Hemileia vastatrix*. **Canadian Journal of Botany**, 45(11), 2021-2031. 1967.

OLIVEIRA, C. M. G. de; ROSA, J. M. O. Nematoides parasitos do cafeeiro. 2018.

PEREIRA, A. A. et al. Identification and use of sources of durable resistance to coffee leaf rust in the UFV, EPAMIG breeding program. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. p. 215-232. 2005.

PEREIRA, A. A. et al. **Cultivares: origem e suas características.** In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Ed). **Café arábica: do plantio a colheita.** Lavras: EPAMIG, v.1, p.163-222. 2010.

PESTANA K. N., et al. Inheritance study and linkage mapping of resistance loci to *Hemileia vastatrix* in Híbrido de Timor UFV 443-03. **Tree Genetics & Genomes**, 11(4), 1-13. 2015.

RAGA et al. PESQUISA E. DESENVOLVIMENTO DO CAFÉ. Melhoramento Genético do Cafeeiro. **X REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO CAFÉ**, p. 2. Anais..2004.

REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da (ed.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG. v.1. 895 p. 2010.

ROLDI et al. CONTROLE DE *Meloidogyne paranaensis* EM CAFEEIRO MEDIADO PELA APLICAÇÃO DE SILÍCIO. In; IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Junho de 2015, **Anais....** Curitiba – PR, 2015.

SALGADO, S. M. L.; REZENDE, J. C.; NUNES, J. A. R. Selection of coffee progenies for resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis* in infested area. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 14, p. 94-101, 2014.

SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; ZAMBOLIM, L. **Melhoramento de café arábica**. In: BORÉM, A. (Ed.). Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, p. 189-204. 1999,

SANTOS, J. M. **Estudos das principais espécies de *Meloidogyne Goeldi* que infectam o cafeeiro no Brasil com descrição de *M. goldii* sp.** 1997. 153f. Tese (Doutorado em proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

SANTOS, M. A. F. Dos. **Diversidade de *Meloidogyne incognita* e espécies correlatadas como sugerem abordagens correlatadas morfológicas, biológicas, citológicas e moleculares.** 2012. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SANTOS, M. F. A. dos. **"Desenvolvimento de marcadores scar para identificação de espécies de *Meloidogyne* do cafeeiro e variabilidade genética e agressividade de populações de *M. paranaensis* a genótipos de *Coffea* spp."** 2016.

SANTOS, A. V. **"Reação de cafeeiros (*Coffea canephora*) ao nematoide das galhas *Meloidogyne incognita* (Est I2) sob condições controladas de inoculação."** 2017.

SERA, T. et al. Identificação de cafeeiros resistentes aos nematoides *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* raças 2 e 1 em populações de Icatu (*Coffea arabica*). **SBPN Scientific Journal**, [S.l.], v. 8, p.20, 2004.

SERA, T. et al. Seleção de cafeeiros resistentes ao nematóide *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* raças 2 e 1 em populações de "Icatu" (*Coffea arabica*). **SBPN Scientific Journal**, São Paulo, 2005.

SERA, G. H. et al. Porta-enxertos de café robusta resistentes aos nematoides *Meloidogyne paranaensis* M. incognita raças 1 e 2. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, p. 171-184, 2006.

SERA, G. H. et al. Progênies de *Coffea arabica* cv. IPR-100 resistente ao nematoide *Meloidogyne paranaensis*, **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 43-49, 2007.

SERA, T. et al. IPR 100 - Rustic dwarf Arabica coffee cultivar with resistance to nematodes *Meloidogyne paranaensis* and *M. incognita*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [S.I.], v. 17, p. 175-179, 2017.

SERA, G. H., et al. Coffee leaf rust in Brazil: Historical events, current situation, and control measures. **Agronomy**, v. 12, n. 2, p. 496, 2022.

SILVA R. A., et al. The Híbrido de Timor germplasm: identification of molecular diversity and resistance sources to coffee berry disease and leaf rust. **Euphytica**, 214(9), 153. 2018.

SAAVEDRA TOBAR, L. M. **Piramidação de alelos de resistência a patógenos em cafeeiros arábica utilizando seleção recorrente assistida por marcadores moleculares**. 2019.

SILVA, R. V., OLIVEIRA, R. D., FERREIRA, P. S., FERREIRA, A. O., & RODRIGUES, F. A. Defense responses to *Meloidogyne exigua* in resistant coffee cultivar and non-host plant. **Tropical Plant Pathology**, n.38 (2), p. 114-121, 2013.

ROBERTS, P.A., MATTHEWS, W.C. & VEREMIS, J.C. Genetic mechanisms of host plant resistance to nematodes. In: Barker, K.R., Pederson, G.A. & Windham, G.L. (Eds.) Plant and nematode interactions. Madison WI. **American Society of Agronomy Inc.** pp. 209-238, 2002.

TALHINHAS, P. et al. Overview of the functional virulent genome of the coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix* with an emphasis on early stages of infection. **Frontiers in plant science**, v. 5, p. 88, 2014.

TEIXEIRA, A. L., ROCHA R. B., e RAMALHO. A. R. **"Melhoramento genético, registro e proteção de cultivares de *Coffea canephora* para o Estado de Rondônia."** 2011.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP. 372p. 1993.

TOMAZINI M. D.; SILVA, R. A.; OLIVEIRA, C. M. G.; GONÇALVES, W.; INOMOTO, M. M. Resistência de genótipos de cafeeiros a *Pratylenchus coffeae* e *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Brasileira**, v.29, pp.193- 198, 2005.

TONIUTTI, L. et al. Influence of environmental conditions and genetic background of arabica coffee (*C. arabica* L) on leaf rust (*Hemileia vastatrix*) pathogenesis. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.

VAN DER VOSSEN, H., BERTRAND, B. E CHARRIER, A. Next generation variety development for sustainable production of arabica coffee (*Coffea arabica* L.): a review. **Euphytica**, 204(2), 243-256. 2015.

VÁRZEA, V. M. P.; MARQUES, D. V. Population variability of *Hemileia vastatrix* vs. coffee durable resistance. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 53-74. 2005.

ZAMBOLIM, L. et al. Physiological races of *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. in Brazil. Physiological variability, current situation future prospects. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa, MG: UFV. p. 53-74. 2005.

ZAMBOLIM, L. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2016.

ZAMBOLIM, L.; CAIXETA, E. T. Ferrugem. In: ZAMBOLIM, L.; BRENES, B. M. (Ed.). **Doenças no café no Brasil - enfermedades del café en Central America**. Viçosa, MG.: Universidade Federal de Viçosa. p. 17-45. 2018.

WILLIAMSON, V. M.; HUSSEY, R. S. Nematode pathogenesis and resistance in plants. **Plant Cell**, n.8, pag.1735-1745, 1996.