

INORBERT DE MELO LIMA

**CRESCIMENTO VEGETATIVO, TROCAS GASOSAS E PRODUTIVIDADE  
DE CLONES DE CAFEEIRO CONILON SUSCETÍVEIS E RESISTENTES À  
*Meloidogyne incognita* E *M. paranaensis*.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2016

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

L732c  
2016  
Lima, Inorbert de Melo, 1977-  
Crescimento vegetativo, trocas gasosas e produtividade de clones de cafeeiro Conilon suscetíveis e resistentes à *Meloidogyne incognita* e *M. paranaensis* / Inorbert de Melo Lima. – Viçosa, MG, 2016.  
xi, 61f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Rosângela D'Arc de Lima Oliveira.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Café. 2. *Coffea canephora*. 3. Café - Resistência a Nematóide-das-galhas. 4. Café - Produtividade. 5. Troca gasosa em plantas. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitopatologia. Programa de Pós-graduação em Fitopatologia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.73

INORBERT DE MELO LIMA

CRESCIMENTO VEGETATIVO, TROCAS GASOSAS E PRODUTIVIDADE  
DE CLONES DE CAFEIEIRO CONILON SUSCETÍVEIS E RESISTENTES À  
*Meloidogyne incognita* E *M. paranaensis*.

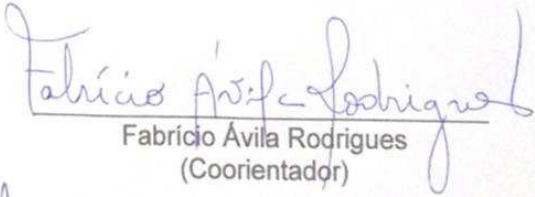
Tese apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Fitopatologia, para  
obtenção do título de *Doctor Scientiae*.


APROVADA 26 de Fevereiro de 2016.

  
Wânia dos Santos Neves

  
Antonio Carlos Baião de Oliveira

  
Emerson Medeiros Del Ponte

  
Fabrício Ávila Rodrigues  
(Coorientador)

  
Rosângela D'Arc de Lima Oliveira  
(Orientadora)

Sem dúvida, a conclusão desse trabalho é para mim uma grande satisfação e vitória. Porém, não conseguiria e nem poderia realizar esse grande sonho sem a ajuda de algumas pessoas que foram fundamentais nessa caminhada. Portanto...

Ofereço a minha mãe, Izalete de Melo Lima, por todo seu carinho e dedicação em minha educação. Por ter me dado forças para chegar aonde cheguei, por não me deixar saber o que a palavra desistir significa, mas também por traduzir muito bem a palavra lutar. E graças a você mamãe, consegui lutar e alcançar mais esse sonho.

Dedico a minha amada esposa Elaine Cristina de Ponte Melo e ao meu maior projeto de vida, meus amados filhos Guilherme e Mateus, que deram outro sentido a minha vida, inspiração e mais alegria aos meus dias.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus

A minha amada esposa, Elaine Cristina de Ponte Melo, que é a paz, o amor e a felicidade em pessoa e, por isso, foi meu alicerce e nos momentos mais difíceis esteve ao meu lado, incentivando-me a sempre superar minhas limitações. E nos momentos que estive ausente em função dos estudos, foi presente aos nossos filhos. Eu te amo.

Aos meus filhos Guilherme e Mateus que sempre tiveram um abraço e sorriso para fazer meus dias mais que perfeitos. Eles são a razão do meu ser.

Ao meu irmão Joubert e irmã Gillian que sempre me incentivaram.

Ao povo capixaba que, por meio do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, confiou em mim e me possibilitou mais essa conquista.

Ao Departamento de Fitopatologia da UFV, por oferecer uma excelente infraestrutura a qual foi essencial para realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pelo incentivo constante ao aperfeiçoamento profissional por meio de aporte financeiro para participação em cursos, congressos e treinamentos.

A professora Rosângela D'Arc de Lima Oliveira pela orientação e por ter acreditado na proposta de trabalho e aceito em seu laboratório e sempre com muita sabedoria me mostrou novos caminhos.

Ao meu Coorientador, Prof. Fabrício de Ávila Rodrigues, a quem tenho muito a agradecer por toda paciência, ajuda e dedicação.

Aos pesquisadores José Aires Ventura e Hércio Costa, colegas de profissão e de trabalho e referências pessoais de excelentes profissionais, que sempre torceram e me incentivaram nessa conquista. Fornecendo conselhos e apoio ao longo deste trabalho.

Ao amigo Bento e Rodrigo Bozzi, proprietário da área experimental de campo, que nunca mediram esforços, fornecendo mão de obra e apoio logístico, os quais foram essenciais para o andamento desta pesquisa.

Ao professor Emerson Medeiros Del Ponte e ao pesquisador Rogério Carvalho Guarçoni pela paciência e pelo suporte estatístico essencial para compreensão desse trabalho.

A Luciana Mendanha, que sempre esteve disposta a me ajudar, por toda sua dedicação e amizade, pela sua companhia, por ter sido muito mais que uma companheira de laboratório, uma verdadeira amiga e principalmente por me mostrar que não existe acaso.

Aos amigos Guilherme e Mário, pelo auxílio na manutenção dos experimentos em condições controladas e pelos bons momentos de prosa.

Aos colegas do Laboratório de Nematologia/UFV Elói, Aline, Huarlen, Elder, Dalila, Raul, Cássia, Patrícia e Rodrigo, por toda ajuda, conselhos e amizade.

Aos colegas de pós-graduação Adans, Carlos, Sara, Jonas, Thais, Ana, Nilmara, Diego, Maria, Tassia, Milene e muitos outros que sempre estiveram comigo e participaram de boas e memoráveis confraternizações em minha casa.

Aos meus vizinhos Fernanda e Heitor, Roberta e Túlio, Juliana e Jeferson, Sueli, Laudo e Climene que nos acolheram e trataram, eu e a minha família, como entes queridos.

Obrigado a todos os professores e funcionários do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa, que de forma direta ou não, também colaboraram para realização desse trabalho.

Agradeço a todos os obstáculos e dificuldades que encontrei, pois me encorajaram a ir mais adiante e fizeram da vitória algo mais especial. Também agradeço a todas as críticas, pois me fizeram amadurecer e ser uma pessoa melhor.

Enfim, tenho a certeza que o caminho até aqui foi longo, e nem sempre a caminhada foi fácil. Mas nessas horas mais difíceis, diversas pessoas me estenderam a mão para me ajudar ou simplesmente, disseram palavras para me apoiar e me dizer “vá em frente, dará tudo certo”. Por isso, esse trabalho também é um pouco de cada uma dessas pessoas, e eu não poderia deixar de agradecê-las...

## **BIOGRAFIA**

INORBERT DE MELO LIMA, filho de Izalete de Melo Lima e Luiz Norberto Barbosa Lima, nasceu em 11 de setembro de 1977, em São Paulo, São Paulo.

Em janeiro de 2001, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), em Maringá, Paraná.

Em setembro de 2003, obteve o título de Magister Scientiae em Produção Vegetal com ênfase em Fitossanidade, pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

Em maio de 2005, ingressou no serviço público do Estado do Espírito Santo na função de pesquisador do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER.

Em março de 2012, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, em nível de Doutorado, na Universidade Federal de Viçosa.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS .....	4
CAPÍTULO 1 .....	8
Impacto do Parasitismo de <i>Meloidogyne paranaensis</i> e <i>M. incognita</i> no crescimento e nos processos fisiológicos de mudas de cafeeiro conilon .....	8
1.1 INTRODUÇÃO.....	9
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
1.2.1 Material vegetal .....	11
1.2.2 Populações de <i>Meloidogyne</i> spp.....	11
1.2.3 Preparo do inóculo.....	11
1.3 Efeito de <i>Meloidogyne paranaensis</i> no desenvolvimento do cafeeiro conilon .....	12
1.3.1 Avaliação das trocas gasosas .....	12
1.3.2 Avaliação do potencial hídrico .....	13
1.3.3 Avaliação das variáveis alométricas .....	13
1.3.4 Quantificação da população de <i>Meloidogyne paranaensis</i> .....	14
1.4 Efeito de <i>Meloidogyne incognita</i> no desenvolvimento do cafeeiro conilon .....	14
1.5 Análise estatística .....	14
1.3 RESULTADOS.....	15
1.3.1.1 Efeito de <i>Meloidogyne paranaensis</i> no desenvolvimento do cafeeiro conilon .....	15
1.3.1.2 Potencial hídrico .....	17
1.3.1.3 Trocas gasosas .....	18
1.3.1.4 Quantificação população de <i>M. paranaensis</i> .....	19
1.3.2.1 Efeito de <i>Meloidogyne incognita</i> no desenvolvimento do cafeeiro conilon .....	19
1.3.2.2 Potencial hídrico .....	21



1.3.2.3 Trocas gasosas .....	21
1.3.2.4 Quantificação da população de <i>M. incognita</i> .....	22
1.4 DISCUSSÃO .....	23
1.5 REFERÊNCIAS .....	27
CAPITULO 2 .....	32
2.1 INTRODUÇÃO .....	33
2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	35
2.3 RESULTADOS .....	38
2.3.1 Flutuação da população de <i>M. paranaensis</i> .....	38
2.3.2 Crescimento e produtividade dos clones .....	39
2.4 DISCUSSÃO .....	44
2.5 REFERÊNCIAS .....	49
2.6 MATERIAL SUPLEMENTAR .....	53
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	60

## RESUMO

LIMA, Inorbert de Melo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016. **Crescimento vegetativo, trocas gasosas e produtividade de clones de cafeeiro conilon suscetíveis e resistentes à *Meloidogyne incognita* e *M. paranaensis*.** Orientadora: Rosângela D'Arc de Lima Oliveira. Coorientador: Fabrício de Ávila Rodrigues.

A produção de café conilon (*Coffea canephora*) no Brasil corresponde a 1/3 da mundial e a maioria das variedades clonais utilizadas são suscetíveis a *Meloidogyne incognita* (*M.i.*) e *M. paranaensis* (*M.p.*), comprovadamente as espécies de nematoides mais agressivas e limitantes à cafeicultura. Os trabalhos conduzidos em casa-de-vegetação e no campo tiveram como objetivo estudar a interação entre clones suscetíveis e resistentes de conilon e *Meloidogyne* spp. com ênfase no crescimento vegetativo, produtividade e trocas gasosas dos clones. No ensaio de casa-de-vegetação, avaliou-se a reação dos clones 12V (suscetível) e do clone C14 (resistente) a diferentes densidades de inóculo (ovos) de *M. p.* (0, 5000 e 50000). As trocas gasosas foram avaliadas no plantio, 120 e 400 dias após a inoculação (DAI). Aos 400 DAI, determinou-se o potencial hídrico e a matéria seca da parte aérea (MSPA) e do sistema radicular (MSSR). Experimento com a mesma estrutura foi instalado com *M. i.*, porém com a avaliação final aos 370 DAI. O experimento de campo foi realizado no município de Sooretama-ES em solo naturalmente infestado com *M. p.* e foram avaliados os clones suscetíveis 1V e 12V e os resistentes 13V e C14, enxertados ou não sobre o C14. Nas safras 2013, 2014 e 2015 foram avaliados o crescimento vegetativo, a produtividade (sacas beneficiadas de 60 kg.ha<sup>-1</sup>) e as trocas gasosas. Essa estrutura e avaliações foram repetidas em área isenta de *M. paranaensis*. Na área infestada, no período de novembro/2010 a junho/2015 a população de J2 (J2.200cc solo<sup>-1</sup>) e ovos (ovos.10g raiz<sup>-1</sup>) de *M. p.* foi monitorada nos meses de junho e dezembro. Observou-se que, em condições controladas, as densidades a partir de 5000 ovos de *M. i.* e *M. p.* reduziram a MSPA e MSSR do clone 12V em mais de 50% e somente *M.i* interferiu negativamente no desenvolvimento do clone C14. Reduções significativas na taxa assimilatória de CO<sub>2</sub>, condutância estomática para vapor de H<sub>2</sub>O e taxa transpiratória foram observadas aos 120 e 370 DAI para *M. i.* e aos 400 DAI para *M. p.* O clone

C14 não apresentou diferenças significativas para as variáveis e parâmetros estudados quando inoculado com *M. p.* No campo, observou-se que ambos os clones, 13V e C14, foram resistentes a *M. p.* e influenciaram negativamente a reprodução do nematoide. Os clones 1V e 12V foram suscetíveis a *M. p.*, porém não apresentaram diferenças significativas na produtividade entre as áreas sadia e infestada. O clone C14, quando usado como porta-enxerto, apresentou compatibilidade com os diferentes clones de conilon, mas, não acrescentou vantagens significativas ao crescimento, produtividade e as trocas gasosas do enxerto. Em conclusão, *M. paranaensis* foi capaz de causar danos severos aos clones suscetíveis de *C. canephora* na fase vegetativa e reprodutiva, todavia o clone 14, caracterizado como resistente, apresentou excelentes características para o uso como porta-enxerto ou para cultivo em áreas infestadas, além de ser uma potencial fonte de genes de resistência a *Meloidogyne*.

## ABSTRACT

LIMA, Inorbert de Melo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2016. **Vegetative growth, gas exchange and yield of susceptible and resistant conilon coffee clones to *Meloidogyne incognita* and *M. paranaensis*.** Advisor: Rosangela D'Arc de Oliveira Lima. Co-advisor: Fabrício de Ávila Rodrigues.

The conilon coffee (*Coffea canephora*) Brazilian production corresponds to 1/3 of the worldwide, by which the main conilon clones are susceptible to *Meloidogyne incognita* (*M. i.*) and *M. paranaensis* (*M. p.*). These nematodes species have been proved the more aggressive and limiting to coffee production. The studies were carried out on greenhouse and field to evaluate the consequences of the interactions between (susceptible and resistant) conilon clones to *Meloidogyne* spp. with emphasis on vegetative growth, gas exchange and yield clones. By the greenhouse experiment evaluated the response of the 12V (susceptible) and C14 (resistant) clones to inoculum densities different (eggs) of *M. p.* (0; 5,000 and 50,000). The gas exchange was evaluated at planting, 120 and 400 days after inoculation (DAI). To 400 DAI was determined the water potential, dry matter from canopy (DMC) and root system (DMRS) of the clones. The same experiment was carried out with *M. i.*, however the evaluation lasted 370 DAI. The field experiment was carried out on Sooretama city, Espírito Santo state, due the soil be naturally infested only with *M. p.* On this experiment were evaluated two susceptible clones (1V and 12V), two resistant clones (13V and C14), both grafted or not on C14 clone. During three years (2013, 2014 and 2015) were evaluated the vegetative growth, yield (bags of 60 kg.ha<sup>-1</sup>) and gas exchange. The same experiment was carried out as described above but on areas uninfested by *M. p.* During the November/2010 until June/2015 period, the *M. p.* population – J2 (J2.200cc soil<sup>-1</sup>) and eggs (ovos.10g root<sup>-1</sup>) – was monitored on June and December months on the infested area. It was observed under controlled conditions that the densities from 5,000 eggs of the both *M. i.* and *M. p.* reduced more than 50% the DMC and DMRS on 12V clone. There were significant reductions on CO<sub>2</sub> assimilation rate, steam stomatal conductance

and transpiration rate at 120 and 370 DAI to *M. i.* and 400 DAI to *M. p.* The C14 clone showed no significant differences for variables and parameters studied when inoculated with *M. p.* The 13V and C14 clones were resistant to *M. p.* on field experiment. Moreover, they negatively affected this nematode species reproduction. The 1V clone was susceptible and reduced the yield. The 12V clone was also susceptible but showed no significant differences on yield between infested and uninfested area. When the C14 clone was used as a rootstock it showed compatibility with conilon clones different but not significant advantages was observed to the vegetative growth, yield and gas exchange of the graft. In conclusion, *M. paranaensis* was able to cause severe damage to *C. canephora* susceptible clones in the vegetative and reproductive phase, however, clone 14, characterized as resistant, presented excellent characteristics for use as rootstock or for cultivation in infested areas, as well as being a potential source of *Meloidogyne* resistance genes.

## INTRODUÇÃO GERAL

O cafeeiro pertence à família Rubiaceae, gênero *Coffea*, cujas espécies são nativas da África e Madagascar, e compreendem aproximadamente 120 espécies (Pinto-Maglio, 2006; Hendre et al., 2008; De Kochko et al., 2010). Dentre as espécies descritas, apenas os grãos de *C. arabica* e *C. canephora* são usados no mercado mundial de café (IOC, 2015), o que faz deles uma commodity agrícola de importância social e responsável pela economia de muitos municípios, estados e países produtores.

O cafeeiro conilon e robusta (*C. canephora*), representam 40% do mercado mundial (IOC, 2015). No Brasil, a área estimada de produção de *C. canephora* é de 442,3 mil ha. O Estado do Espírito Santo detém a maior área com 309,6 mil ha, seguido de Rondônia, com 94,6 mil ha, e da Bahia, com 39 mil ha (CONAB, 2015). Com o intuito de atender a crescente demanda de mercado por grãos de café conilon e garantir a atividade viável e lucrativa, investiu-se na melhoria dos processos produtivos, como, por exemplo, o uso massivo de variedades clonais (Ferrão et al., 2007).

Com o uso de variedades clonais de cafeeiro conilon, veio o estreitamento da base genética da espécie. Se por um lado, ajudou no aumento da produtividade, por outro, trouxe a preocupação associada a riscos fitopatológicos. Dados recentes demonstram a suscetibilidade dessa cultura, anteriormente considerada rústica, a *Hemileia vastatrix* (Ventura et al., 2007; Capucho et al., 2013) e a *Meloidogyne* spp. (Oliveira, et al., 2009, Barros, et al., 2014, Lima et al., 2015)

Os fitonematoides estão associados a cafeicultura de diversos países produtores de café, mas as espécies do gênero *Meloidogyne* são as que causam as maiores preocupações. Dentre as mais de 90 espécies do gênero *Meloidogyne* (Hunt & Handoo, 2009), 18 atacam o cafeeiro no mundo (Carneiro & Cofcewicz, 2008), e três são economicamente importantes no Brasil: *M. exigua*, *M. incognita* (Kofoid & White, 1919) (Chitwood, 1949) e *M. paranaensis* Carneiro et al., 1996 (Campos & Villain, 2005). No Brasil, o ataque de *M. incognita* e *M. paranaensis* já dizimou muitos cafezais e tornou

terras impróprias para o cultivo de *C. arabica* (Carneiro et al., 1996, Gonçalves & Silvarolla, 2001).

Na interação *Meloidogyne* spp. e *Coffea* sp. a estrutura interna da raiz é sempre modificada no local de alimentação do parasita, com a formação de células gigantes, que são adaptações celulares altamente especializadas, induzidas e mantidas pelo nematoide (Bird, 1974). No conilon, *M. incognita* e *M. paranaensis* causam engrossamentos irregulares com rachaduras, escamações com descolamento dos tecidos corticais (descorticação) (Oliveira, et al., 2009), podendo ocorrer necrose do tecido infectado (Bertrand & Anthony, 2008). Essa severidade atribuída aos fitonematoides ocasiona um efeito primário como o aumento da resistência ao fluxo de água para o dossel da planta (Rahi et al., 1988, Dorhout et al., 1991). Strajnar et al. (2012) destacaram que em tomateiros parasitados por *M. ethiopica*, ocorre o decréscimo do potencial hídrico com a consequente redução de 60 a 70% na condutância estomática ( $g_s$ ) e nas taxas fotossintéticas ( $A$ ) da planta.

Como forma de contornar esse estresse biótico, o uso de cultivares resistentes na cafeicultura é uma das medidas mais desejáveis de controle de nematoides. A resistência da planta impede que o nematoide se desenvolva, conduzindo-o a baixas taxas reprodutivas ou até impedindo a sua reprodução. Consequentemente, além do parasita não causar dano à cultura, o uso de resistência leva também à redução da densidade populacional do nematoide no solo, sendo eficiente meio de controle (Ito et al., 2009). No cafeeiro, assim como em outras espécies perenes (Duncan et al., 1994, Britto et al., 2000, Calzavara et al., 2007, Paula et al., 2011, Ferris et al., 2012), quando não é possível a obtenção de uma variedade resistente ao nematoide, pode-se lançar mão de porta-enxertos resistentes. Experiências bem sucedidas são relatadas no Brasil com Apoatã IAC 2258 (Fazuoli et al., 2002) e na América Latina com uso de porta-enxerto multirresistente como o Nemaya (Anzueto et al., 1996), ambos materiais provenientes de *C. canephora* e aplicado a cafeicultura de arábica.

Mas para cafeeiro conilon clonal inexistem pesquisas que demonstrem as consequências da interação entre *Meloidogyne* e clones resistentes ou suscetíveis, seja nas fases iniciais de desenvolvimento da

planta ou durante o período produtivo. Nesse sentido, visando contribuir para o manejo sustentável do cafeeiro conilon, implantaram-se dois experimentos. Em um, sob condições controladas e simulando o período inicial de crescimento, foi avaliado o efeito de densidades populacionais de *M. incognita* e *M. paranaensis* no crescimento vegetativo e nas características fisiológicas dos clones resistente e suscetível de conilon. Em outro, sob condições de campo, avaliou-se o efeito da resistência genética e do emprego de porta-enxerto na flutuação da população de *M. paranaensis* e seu reflexo na produtividade, no crescimento de planta e nas trocas gasosas de clones com diferentes graus de resistência e ciclos de maturação.



## REFERÊNCIAS

- Anzueto F, Bertrand B, Peña M, Marban-Mendoza N, Villain L (1996) Desarrollo de una variedad porta-injerto resistente a los principales nematodos de America Central. In: 17º Simposio sobre Caficultura Latino-Americana, San Salvador, SV. IICA-PROMECAFÉ.
- Barros AF, Oliveira RDL, Lima IM, Coutinho RR, Ferreira AO, Costa A (2014) Root-knot nematodes, a growing problem for Conilon coffee in Espírito Santo state, Brazil. *Crop Protection*, 55:74-79.
- Bertrand B, Anthony F (2008) Genetics of resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) and breeding. In: Souza RM (Ed.) *Plant-Parasitic Nematodes of Coffee*. Dordrecht, NL. Springer Science Business. pp.165-190.
- Bird AF (1974) Plant response to root-knot nematode. *Annual Review of Phytopathology*, 69-85.
- Britto JA, Lourdes Mendes M, Rodrigues R (2000) Reação de porta-enxerto de *Citrus* spp. a *Meloidogyne incognita* Raças 2 e 4 e *M. javanica*. *Nematologia Brasileira*, 24:253-256.
- Calzavara SA, Santos JM, Favoreto L (2007). Citrus rootstocks resistance to *Pratylenchus Jaehni* (Nematoda: Pratylenchidae). *Nematologia Brasileira*, 31: 7-11.
- Campos V, Villain L (2005) Nematode parasites of *Coffee* and *Cocoa*. In: Luc M, Sikora RA, Bridge J (Eds.) *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. 2ª ed. Egham, UK. CABI. pp. 529-580.
- Capucho AS, Zambolim L, Lopes UN, Milagres NS (2013) Chemical control of coffee leaf rust in *Coffea canephora* cv. conilon *Australasian Plant Pathology*
- Carneiro RMDG, Carneiro RG, Abrantes IMO, Santos MSN, Almeida SA (1996) *Meloidogyne paranaensis* n. sp. (Nemata: Meloidogynidae), a root-knot nematode paraziting coffee in Brazil. *Journal of Nematology*, 28:177-189.

Carneiro RMDG, Cofcewicz ET (2008) Taxonomy of coffee-parasitic root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp. In: Souza RM (Ed.) Plant-Parasitic Nematodes of Coffee. Dordrecht, NL. Springer ScienceBusiness. pp.87-121.

Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) (2015) Acompanhamento da safra brasileira: Café - Quarto levantamento Agrícola, Dezembro/2015. Publicação integrante do Observatório. Disponível em: <http://www.conab.gov.br> Consultado em: 11/01/2016

De Kochko A, Akaffou S, Andrade AC, Campa C, Crouzillat D, Guyot R, Hamon P, Ming R, Mueller LA, Poncet V, Tranchant-Dubreuil C, Hamon S, Jean-Claude K, Michel D (2010) Advances in *Coffea* Genomics. In: Delseny M, Kader JC (Eds.) Advances in Botanical Research, Volume 53. Londres, UK. Academic Press. pp. 23-63.

Dorhout R, Gommers FJ, Kolloffel C (1991) Water transport through tomato roots infected with *Meloidogyne incognita*. Phytopathology, 81:379-385.

Duncan LW, Inserra RN, O'Bannon JH, El-Morshedy MM (1994) Reproduction of a Florida population of *Tylenchulus semipenetrans* on resistant citrus rootstocks. Plant Disease, 78:1067-1071.

Fazuoli LC, Medina Filho HP, Gonçalves W, Guerreiro Filho O, Silvarolla MB, Zambolim L (2002) Melhoramento do cafeeiro: variedades tipo arábica obtidas no Instituto Agronômico de Campinas. In: Zambolim L (Ed.) O Estado da Arte de Tecnologias na Produção de Café. Viçosa, BR. UFV. pp. 163-216.

Ferrão RG, Ferrão MAG, Fonseca AFA, Pacova BEV (2007) Melhoramento genético do *Coffea canephora*. In: Ferrão, RG, Fonseca, AFA, Bragança, SM, Ferrão MAG., Muner LH (Ed.). Café Conilon. Espírito Santo: Incaper, p. 121-173.

Ferris H, Zheng L, Walker MA (2012) Resistance of grape rootstocks to plant-parasitic nematodes. Journal of Nematology, 44:377-386.

Gonçalves W, Silvarolla MB (2007) A luta contra a doença causada pelos nematoides parasitos do cafeeiro. Revista O Agrônomo, 59:54-56,

Hendre PS., Phanindranath R, Annapurna V, Lalremruata A, Aggarwal RK (2008) Development of new genomic microsatellite markers from robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) showing broad cross-species transferability and utility in genetic studies. *BMC Plant Biology*, 8:51.

Hunt DJ, Handoo ZA (2009) Taxonomy, identification and principal species. In: Perry RN, Moens M, Starr JL (Eds.) *Root-Knot Nematodes*. Egham, UK. CABI. pp. 55-88.

International Coffee Organization (ICO) (2016) Relatório sobre o mercado de café – dezembro/2015 Disponível em: [http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/publicacoes\\_tecnicas/Relatorio\\_sobre\\_o\\_mercado\\_de\\_cafe\\_Dezembro\\_2015\\_1.pdf](http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Relatorio_sobre_o_mercado_de_cafe_Dezembro_2015_1.pdf) Acesso em: 10/02/2016

Ito DS, Sera T, Santiago DC, Alegre CR, Kanayama FS, Ribeiro Filho C, Del Grossi L, Shigueoka L.H, Rocha VPC, Sera GH (2009) Tecnologia “kit de resistencia aos nematóides” para viabilização de áreas infestadas para o cultivo de café. In: 6º Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Anais... Vitória, BR. Consórcio Pesquisa Café.

Lima EA, Furlanetto C, Nicole M, Gomes AC, Almeida MRA, Junior AJ, Correa VR, Salgado SM, Ferrão MAG, Carneiro RMDG (2015) The Multi-Resistant Reaction of Drought-Tolerant Coffee 'Conilon Clone 14' to *Meloidogyne* spp. and Late Hypersensitive-Like Response in *Coffea canephora*. *Phytopathology*. 105:805-814.

Oliveira RDL, Lima IM, Barros AF (2009) Importância e diagnose do parasitismo de nematoides em cafeeiro Conilon. In: Zambolim L (Org.). *Tecnologias para produção do Café Conilon*. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, pp. 65-82.

Paula LA, Bianchi VJ, Gomes CB, Fachinello JC (2011) Reação de porta-enxertos de pessegueiro à *Meloidogyne incognita* Revista Brasileira de Fruticultura, 33:680-684.

Pinto-Maglio CAF (2006) Cytogenetics of coffee. *Brazilian Journal Plant Physiology*, 18:37-44.

Rahi GS., Rich JR, Hodge C (1988) Effect of *Meloidogyne incognita* and *M. javanica* on leaf water potential and water use of tobacco. *Journal of Nematology*, 20:516–522.

Strajnar P, Sirca S, Urek G, Sircelj H, Zeleznik P, Vodnik D (2012) Effect of *Meloidogyne ethiopica* parasitism on water management and physiological stress in tomato. *European Journal of Plant Pathology*, 132:49-57.

Ventura JA, Costa H, Santana EM, Martins MVV (2007) Diagnóstico e manejo das doenças do cafeeiro conilon. In: Ferrão RG, Fonseca AFA, Bragança SM, Ferrão MAG, Muner LH (Eds.) *Café Conilon*. Vitória, BR. Incaper. pp. 451-497.

## **CAPÍTULO 1**

**Impacto do Parasitismo de *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* no crescimento e nos processos fisiológicos de mudas de cafeeiro conilon**

## 1.1 INTRODUÇÃO

O consumo dos grãos de *Coffea canephora* cresce a índices superiores aos de *C. arabica*, e atualmente 40% do mercado mundial de cafés é abastecido com grãos de *C. canephora* (IOC, 2016).

No Brasil, país responsável por 1/3 da produção mundial de *C. canephora* (IOC, 2016), os nematoides do gênero *Meloidogyne*, há mais de um século, apresentam-se como um dos principais desafios fitossanitários da cafeicultura. No cafeeiro arábica, esse patossistema é responsável pelo maior volume de informações publicadas, mas no cafeeiro conilon, inexistem pesquisas que qualifiquem e quantifiquem essa interação, possivelmente devido ao mito de rusticidade atribuído a *C. canephora*. Alguns relatos recentes cobriram a distribuição dos nematoides das galhas em áreas de produção de conilon no Estado do Espírito Santo (Barros et al., 2014), e estudos da suscetibilidade dos principais materiais genéticos cultivados (Lima, et al., 2015), mas existe toda uma gama de conhecimento a ser explorada nessa espécie cafeeira, principalmente na sua fase inicial de desenvolvimento.

Por se tratar de uma espécie perene, as fases iniciais de desenvolvimento do cafeeiro são fundamentais para garantir o pleno estabelecimento do sistema radicular, longevidade da planta e produtividade adequada (Ronchi, et al., 2007). No entanto, ao infectar as raízes, juvenis e adultos de *Meloidogyne* spp. provocam desordens fisiológicas nas plantas jovens ou adultas, desencadeando alterações diretas no funcionamento de vários processos biológicos, como na absorção e translocação de água e solutos para a parte aérea da planta (Strajnar et al., 2012). Longe de ser apenas uma consequência do ataque, esse parasitismo também influencia indiretamente os mecanismos ligados a fotossíntese, alterando as trocas gasosas, que vão afetar a energia metabólica total disponível para a planta e a subsequente partição de assimilados para as estruturas vegetativas como folhas, caules, raízes e frutos (Walters, 2015).

O presente estudo teve por objetivo avaliar os efeitos da densidade de inóculo de *Meloidogyne paranaensis* e *M. incognita* no crescimento vegetativo e nas respostas fisiológicas de clones de conilon resistente e suscetíveis, em condições que simulassem o período que antecede a fase produtiva.

## 1.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.2.1 Material vegetal

O clone 12V (constituente da variedade Conilon Vitória Incaper 8142) serviu como padrão de suscetibilidade e o clone C14 como padrão de resistência a *Meloidogyne* spp. (Lima et al., 2015). As estacas utilizadas para a produção das mudas foram provenientes de ramos ortotrópicos, adquiridas no germoplasma ativo de cafeeiro conilon do Instituto Capixaba de Pesquisas, Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper.

As estacas foram enraizadas individualmente em sacolas de polietileno (Fonseca et al., 2007) contendo substrato (57% de areia, 7% de silte e 36% de argila) previamente corrigido e fumigado com óleo de mostarda (Oliveira et al., 2011).

### 1.2.2 Populações de *Meloidogyne* spp.

As populações de *M. paranaensis* e *M. incognita* foram obtidas de massas de ovos extraídas de raízes (Boneti & Ferraz, 1981) do clone 12V, cultivado em lavouras comerciais localizadas no município de Sooretama-ES. As populações desses nematoides, após a confirmação da espécie pelo fenótipo da isoenzima esterase (Davis, 1964) foram mantidas e multiplicadas em tomateiro Santa Cruz Kadá.

### 1.2.3 Preparo do inóculo

Os ovos foram extraídos das raízes de tomateiro segundo o método de Boneti & Ferraz (1981). A suspensão de ovos foi calibrada para concentração de 1000 ovos/mL e depositada na rizosfera das mudas no volume necessário de acordo com a densidade de inóculo (DI) de cada tratamento.



### 1.3 Efeito de *Meloidogyne paranaensis* no desenvolvimento do cafeeiro conilon

O experimento foi instalado em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3, com os fatores clones de conilon (12V e C14) e DI (0, 5000 e 50000 ovos.planta<sup>-1</sup>), repetidos seis vezes. Cada repetição foi representada por um recipiente de 14 litros contendo uma planta. O ensaio foi implantado e conduzido em casa de vegetação com temperatura de 26 ± 5°C e UR de 70 ±5%. As plantas receberam os tratos culturais necessários ao seu desenvolvimento, conforme recomendação para a cultura.

O ensaio foi conduzido por 400 dias entre novembro/2013 e dezembro/2014. No transplântio, foram utilizadas mudas de cafeeiro com um ramo ortotrópico e com 5 pares de folhas definitivas. As mudas foram inoculadas 60 dias após o transplântio com a densidade de inóculo correspondente.

#### 1.3.1 Avaliação das trocas gasosas

As trocas gasosas foram avaliadas antes da inoculação, aos 120 e 400 dias após a inoculação (DAI), quando foram registradas as seguintes variáveis: taxa assimilatória de CO<sub>2</sub> ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática para vapor de H<sub>2</sub>O ( $g_s$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) e taxa transpiratória ( $E$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). Para estas medições foram utilizadas folhas completamente expandidas, localizadas no terço superior da planta, posicionadas no terceiro par do ápice para a base do ramo (DaMatta, et al., 2003).

A determinação de  $A$ ,  $g_s$ ,  $C_i$  e  $E$  foram realizadas em dias claros, entre 8:00 e 11:00 h, utilizando-se um analisador portátil de infravermelho de CO<sub>2</sub> (modelo LI-6400XT LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA). A concentração de CO<sub>2</sub> na câmara foi ajustada para 400 mol mol<sup>-1</sup> e densidade de fluxo de fótons de 1.000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

### 1.3.2 Avaliação do potencial hídrico

O potencial hídrico foi mensurado aos 400 DAI e foi determinado em folhas individuais com uma câmera de pressão do tipo Scholander. O potencial hídrico da antemanhã ( $\psi_{am}$ ) foi determinado entre 3:30 e 5:00 h e o potencial hídrico do meio-dia ( $\psi_{md}$ ) foi determinado entre 11:30 e 13:00 h. O solo estavam na capacidade de campo 30 horas antes da avaliação da  $\psi_{am}$ .

### 1.3.3 Avaliação das variáveis alométricas

O crescimento vegetativo do cafeeiro foi avaliado aos 400 DAI, conforme as medidas:

- Altura de planta (ALT): obtida por medição direta do ramo ortotrópico com uso de uma trena milimétrica, tomando como referência a distância entre o solo e o último nó formado do ramo;
- Comprimento do ramo plagiotrópico (CRP): medido da base do ramo até o ápice. Foram medidos 4 ramos plagiotrópico opostos do terço médio da planta. A média dos 4 ramos constituiu a média da planta;
- Número de ramos plagiotrópicos (NRP): contagem direta de todos os ramos da planta com mais de um par de folhas desenvolvidas;
- Diâmetro do caule (DIC): medido a 1cm do solo com auxílio de um paquímetro;

Após as medições acima mencionadas, as plantas foram particionadas e o material fresco acondicionado separadamente em sacolas de papel e, posteriormente, seco em estufa de circulação forçada a 60 °C até atingirem massa constante. Obtiveram-se as seguintes variáveis: Massa da matéria seca dos ramos plagiotrópicos (MSRP), dos ramos ortotrópicos (MSRO), das folhas (MSFO), das raízes pseudopivotantes (MSRZP) e das raízes absorventes (MSRZB). Três parâmetros originaram-se dessas matérias secas individuais: Matéria seca do sistema radicular (MSSR), originada do somatório da raiz pseudopivotante com as raízes absorventes, Matéria seca dos ramos (MSROP) obtida pelo somatório dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos e

Matéria seca da parte aérea (MSPA), do somatório dos ramos plagiotrópicos, ortotrópicos e das folhas.

Com as variáveis da matéria seca, calculou-se a proporção de MSFO, MSRP e MSRO na parte aérea, a proporção de MSRZP e MSRZA no sistema radicular, e de MSPA e MSSR na planta.

#### 1.3.4 Quantificação da população de *Meloidogyne paranaensis*

Ao final do experimento, 400 DIA, o sistema radicular foi cortado em pedaços de 1 a 2 cm, homogeneizado e retirado 10 gramas de raízes. Essa alíquota foi processada conforme (Boneti & Ferraz, 1981) e posteriormente quantificou-se o número de ovos em lâmina de Peters.

#### 1.4 Efeito de *Meloidogyne incognita* no desenvolvimento do cafeeiro conilon

Esse experimento seguiu a mesma estrutura do item anterior, exceto que no plantio utilizaram-se mudas com 3 pares de folhas definitivas; a inoculação ocorreu aos 25 dias após o transplante e o intervalo entre inoculação e avaliação foi de 370 dias, pois o experimento foi inoculado em outubro/2014 e avaliado em outubro/2015.

#### 1.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos às pressuposições da análise de variância. Quando a variável foi significativa no teste  $F$ , as médias entre os tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para verificar o efeito da DI na proporção das variáveis constituintes da parte aérea, do sistema radicular e da planta, considerou-se o tratamento DI zero de cada clone como padrão e realizou-se o teste qui-quadrado de Pearson para as comparações de divergências entre as frequências observadas e esperadas. Verificaram-se as correlações entre a DI e as variáveis de crescimento pela análise de correlação de Pearson.

Todas as análises foram realizadas utilizando-se o pacote computacional R Versão 3.2.3.

## 1.3 RESULTADOS

### 1.3.1.1 Efeito de *Meloidogyne paranaensis* no desenvolvimento do cafeeiro conilon

Houve efeito altamente significativo de *M. paranaensis* na redução do desenvolvimento do cafeeiro conilon, como observado nas variáveis da parte aérea e do sistema radicular das plantas infectadas, tanto no fator clones (C) como na densidade de inóculo (DI). Mesmo na interação C x DI, esse efeito foi detectado especialmente nas variáveis de parte aérea (Tabela 1).

Durante os 400 dias de avaliação, foi possível notar a diferença no vigor dos sistemas radiculares dos clones avaliados, o que já era esperado. O clone C14<sub>0</sub> (sem inoculação) tinha um sistema radicular com 104,8 g após seco, e foi estaticamente diferente do clone 12V<sub>0</sub> (79,5 g). O sistema radicular do C14 não foi significativamente reduzido ( $p \leq 0,05$ ) pelo parasitismo de *M.p.* e não apresentou correlação significativa entre aumento do inóculo e a massa seca das raízes (Tabela 2) e, mesmo parasitado, ele manteve a proporcionalidade entre as raízes pseudopivotantes e absorventes (Tabela 3). O clone suscetível (12V) apresentou desenvolvimento inversamente proporcional a presença do nematoide (Tabela 2). A presença de *M.p.* foi capaz de reduzir em 2/3 o seu sistema radicular e essa redução se deu, principalmente, nas raízes absorventes (Tabela 3).

O comprometimento do sistema radicular do clone 12V foi acompanhado de reduções significativas na parte aérea da planta. Enquanto as plantas sadias do clone 12V (12V<sub>0</sub>), aos 400 DAI, apresentaram 83,6 cm de ALT, 19,2 mm de DIC, 39,5 cm de CRP, 66,1 g de MSFO, 29,0 g de MSRP, 52,3 g de MSRO e 147,5 g de MSPA, as plantas infectadas por *M. p.*, apresentaram aproximadamente a metade dos valores das referidas variáveis. Apesar das reduções significativas na parte aérea das plantas inoculadas, o clone 12V manteve a proporcionalidade entre ramos plagiotrópicos, ortotrópicos e folhas (Tabela 3).

A presença do nematoide foi mais importante em afetar o desenvolvimento do cafeeiro do que a densidade do inóculo, pois diferenças

estatísticas só foram observadas entre plantas inoculadas e não inoculadas, mas não entre as densidades de 5000 e 50000 ovos, independente do clone. Entretanto, destaca-se que a DI interferiu significativamente ( $p \leq 0,05$ ) na relação parte aérea:sistema radicular, com redução no sistema radicular (Tabela 3).

Tabela 1: Resultados da ANOVA para os efeitos do clone (C), densidade de inóculo (DI) e a sua interação (C x DI) para as características alométricas quando cafeeiros conilon foram inoculados com *Meloidogyne paranaensis* ou *M. incognita*.

Variável	<i>Meloidogyne paranaensis</i> <sup>a</sup>			<i>Meloidogyne incognita</i> <sup>b</sup>		
	Clone (C)	Densidade de inóculo (DI)	C x DI	Clone (C)	Densidade de inóculo (DI)	C x DI
ALT	**	**	**	**	**	**
DIC	**	**	**	ns	**	ns
NRP	**	**	ns	ns	**	**
CRP	**	**	**	ns	**	**
MSFO	**	**	*	ns	**	**
MSRP	**	**	*	ns	**	ns
MSRO	**	**	**	ns	**	ns
MSPA	**	**	*	ns	**	ns
MSRZA	**	**	ns	ns	**	ns
MSRZP	**	**	ns	ns	**	ns
MSSR	**	**	*	ns	**	ns

<sup>a</sup>:avaliação aos 400 DAI. <sup>b</sup>:avaliação aos 370 DAI. Os resultados são apresentados como não significativo (ns) ou significativos a  $p \leq 0,05$  (\*) ou  $p \leq 0,01$  (\*\*). ALT= altura de planta, DIC= diâmetro de caule, NRP= número de ramos plagiotrópicos, CRP= comprimento de ramo plagiotrópico, MSFO= matéria seca foliar, MSRP= matéria seca dos ramos plagiotrópicos, MSRO= matéria seca dos ramos ortotrópicos, MSPA= matéria seca da parte aérea, MSRZA= matéria seca das raízes absorventes, MSRZP= matéria seca das raízes pseudopivotantes, MSSR= matéria seca do sistema radicular

Tabela 2: Correlação de Pearson entre a densidade de inóculo de *Meloidogyne paranaensis* ou *M. incognita* e o crescimento vegetativo dos clones 12V e C14 de cafeeiro conilon (*C. canephora*).

Variável	<i>Meloidogyne paranaensis</i> <sup>1</sup>		<i>Meloidogyne incognita</i> <sup>2</sup>	
	12V	C14	12V	C14
ALT	-0,77**	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>
DIC	-0,73**	-0,48*	-0,29 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>
NRP	-0,59**	-0,51*	-0,43 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>
CRP	-0,59**	-0,30 <sup>ns</sup>	-0,62*	-0,13 <sup>ns</sup>
MSFO	-0,53*	-0,29 <sup>ns</sup>	-0,54*	-0,46 <sup>ns</sup>
MSRPO	-0,62**	-0,20 <sup>ns</sup>	-0,54*	-0,58*
MSPA	-0,59**	-0,25 <sup>ns</sup>	-0,55*	-0,48*
MSRZA	-0,55**	-0,26 <sup>ns</sup>	-0,56*	-0,56*
MSRZP	-0,44 <sup>ns</sup>	-0,37 <sup>ns</sup>	-0,60*	-0,58*
MSSR	-0,53**	-0,36 <sup>ns</sup>	-0,58*	-0,62*

<sup>1</sup>: avaliação aos 400 dias após a inoculação; <sup>2</sup>: avaliação aos 370 dias após a inoculação. Os resultados são apresentados como não significativo (ns) ou significativos a  $p \leq 0,05$  (\*) ou  $p \leq 0,01$  (\*\*). ALT= altura de planta, DIC= diâmetro de caule, NRP= número de ramos plagiotrópicos, CRP= comprimento de ramo plagiotrópico, MSFO= matéria seca foliar, MSRPO= matéria seca dos ramos plagiotrópicos e ortotrópico, MSPA= matéria seca da parte aérea, MSRZA= matéria seca das raízes absorventes, MSRZP= matéria seca das raízes pseudopivotantes, MSSR= matéria seca do sistema radicular

### 1.3.1.2 Potencial hídrico

As plantas que receberam mais inóculo de *M. p.* apresentaram maior dificuldade para o transporte da água até o dossel da planta, nas leituras do potencial hídrico tanto da antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) quanto do meio dia ( $\Psi_{md}$ ) (Tabela 4). Essa significância se deu entre as plantas inoculadas com 50000 ovos, que apresentaram -0,26 MPa ( $\Psi_{am}$ ) e -0,68 MPa ( $\Psi_{md}$ ), enquanto as plantas sadias registraram -0,18 MPa e -0,48 MPa, respectivamente.

Tabela 3: Distribuição percentual da matéria seca dos componentes vegetativos que compõem a parte aérea (RO:RP:FO), sistema radicular (RPP:RAB) e planta total (PA:SR) dos clones 12V e C14 de cafeeiro conilon cultivados em solo infestado com *Meloidogyne paranaensis* ou *M. incognita*.

Proporção	Clone					
	12V			C14		
	0 <sup>a</sup>	5000	50000	0	5000	50000
<i>M. paranaensis</i>						
MSRO:MSRP: MSFO	35:20:45	35:23:42 <sup>ns</sup>	36:20:44 <sup>ns</sup>	32:21:48	34:22:45 <sup>ns</sup>	34:20:46 <sup>ns</sup>
MSRZP:MSRZA	42:58	60:40*	64:36*	45:55	52:48 <sup>ns</sup>	48:52 <sup>ns</sup>
MSPA:MSSR	64:36	76:24*	70:30*	63:37	68:32*	66:34*
<i>M. incognita</i>						
MSRO:MSRP: MSFO	25:15:60	18:11:71 <sup>ns</sup>	23:12:66 <sup>ns</sup>	20:13:66	24:9:66 <sup>ns</sup>	25:13:62 <sup>ns</sup>
MSRZP:MSRZA	44:56	63:37*	66:34*	40:60	66:34*	58:42*
MSPA:MSSR	57:43	61:39 <sup>ns</sup>	68:32 <sup>ns</sup>	62:38	55:45 <sup>ns</sup>	73:27 <sup>ns</sup>

<sup>a</sup> densidade de ovos inoculados. MSRO: Matéria seca do ramo ortotrópico; MSRP: Matéria seca dos ramos plagiotrópicos; MSFO: Matéria seca foliar; MSRZP: Matéria seca das raízes pseudopivotantes; MSRZA: Matéria seca da raízes absorventes; MSPA: Matéria seca da parte aérea; MSSR: Matéria seca do sistema radicular. Os resultados são apresentados como não significativos (ns) ou significativos a  $p \leq 0,05$  (\*) ou  $p \leq 0,01$  (\*\*).

### 1.3.1.3 Trocas gasosas

Para a espécie *M. paranaensis*, os efeitos significativos nas trocas gasosas foram obtidos somente aos 400 DAI. Dentre os parâmetros avaliados, a taxa assimilatória de CO<sub>2</sub> (*A*), condutância estomática do vapor de H<sub>2</sub>O (*g<sub>s</sub>*) e taxa transpiratória (*E*) foram os que refletiram o estresse ocasionado pelo parasitismo (Tabela 5). A significância na interação entre DI x C, foi fortemente influenciada pelo clone 12V, uma vez que o clone C14, não apresentou DI significativa para os referidos parâmetros. A planta sadia do clone 12V<sub>0</sub> apresentou taxas de 10,6 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de *A*, 0,2 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de *g<sub>s</sub>* e 7,3 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de *E*, e a presença de *M. p.* foi capaz de reduzir em 25% a taxa da *A* e 50% as taxas da *g<sub>s</sub>* e da *E*.

#### 1.3.1.4 Quantificação população de *M. paranaensis*

Quando inoculado, *M. paranaensis* foi capaz de se multiplicar em ambos os clones avaliados, no entanto, o clone suscetível 12V produziu cerca de 10 vezes mais ovos/10 g de raízes ( $p \leq 0,05$ ) que o clone resistente C14 (Tabela 6). Considerando apenas o clone, a quantidade de ovos final não apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos DI 5000 e 50000 ovos (Tabela 6).

Tabela 4: Resultados da ANOVA para os efeitos do clone (C), densidade de inóculo (DI) e a sua interação (C × DI) no potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) de cafeeiro conilon quando inoculados com *Meloidogyne paranaensis* ou *M. incognita*.

Parametro	<i>M. paranaensis</i> <sup>a</sup>			<i>M. incognita</i> <sup>b</sup>		
	C	DI	C x DI	C	DI	C x DI
$\Psi_{am}$	ns	**	ns	ns	**	ns
$\Psi_{md}$	*	**	ns	**	**	*

<sup>a</sup>: avaliação aos 400 DAI. <sup>b</sup>: avaliação aos 370 DAI. Os resultados são apresentados como não significativo (ns) ou significativos a  $p \leq 0,05$  (\*) ou  $p \leq 0,01$  (\*\*).  $\Psi_{am}$ = potencial hídrico na manhã,  $\Psi_{md}$ = potencial hídrico ao meio dia

#### 1.3.2.1 Efeito de *Meloidogyne incognita* no desenvolvimento do cafeeiro conilon

Essa espécie de nematoide interferiu negativa e significativamente ( $p \leq 0,05$ ) na maioria das variáveis que compõem a parte aérea e o sistema radicular dos clones 12V e C14 (Tabela 1). Nesse estudo, o aumento da DI de ovos de *M. i.* ocasionou uma correlação inversa nos valores das variáveis analisadas, sendo que no clone 12V essa correlação variou de -0,54 à -0,62 e no clone C14 de -0,48 à -0,62 (Tabela 2).

Tanto o clone suscetível 12V, quanto o clone resistente C14, apresentaram reduções significativas ( $p \leq 0,05$ ) na altura (ALT), quantidade (NRP) e comprimento (CRP) dos ramos plagiotrópicos e na massa foliar (MSFO) quando interagiram com *M.i.* e na interação de ambos os clones não detectaram-se diferenças entre as DI de 5000 e 50000 ovos, novamente



mostrando que a presença do nematoide foi mais importante que a quantidade de ovos inoculados.

Tabela 5: Resultados da ANOVA para os efeitos de clone (C), densidade de inóculo (DI) e a sua interação (C × DI) nos parâmetros fisiológicos de cafeeiro conilon quando inoculados com *Meloidogyne paranaensis* ou *M. incognita* aos 0, 120 e 400/370 dias após a inoculação (DAI)

Parâmetros	DAI	<i>M. paranaensis</i>			<i>M. incognita</i>		
		C	DI	C x DI	C	DI	C x DI
A	0	**	ns	ns	**	ns	ns
	120	**	ns	ns	ns	**	**
	400/370 <sup>a</sup>	**	**	**	ns	**	*
g <sub>s</sub>	0	*	ns	ns	ns	*	**
	120	ns	*	ns	**	**	**
	400/370	*	**	*	ns	**	ns
C <sub>i</sub>	0	*	ns	ns	ns	ns	ns
	120	ns	ns	ns	**	ns	ns
	400/370	ns	ns	ns	ns	*	ns
E	0	**	ns	ns	*	ns	ns
	120	ns	*	ns	ns	**	*
	400/370	ns	**	*	ns	**	ns

<sup>a</sup> Avaliação realizada aos 400 DAI para *M. paranaensis* e 370 DAI para *M. incognita*. Os resultados são apresentados como não significativos (ns) ou significativos (\* p ≤ 0,05 ou \*\* p ≤ 0,01). A= taxa assimilatória de CO<sub>2</sub> (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), g<sub>s</sub>= condutância estomática para vapor de H<sub>2</sub>O (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), C<sub>i</sub>= concentração interna de CO<sub>2</sub> (μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>), E= taxa transpiratória (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)

Tabela 6 - Quantidade de ovos de *Meloidogyne paranaensis* ou *M. incognita* obtidas em 10 g raízes dos clones 12V e C14 de cafeeiro conilon.

Clones	Densidade de inóculo (ovos)		
	0	5000	50000
<i>Meloidogyne paranaensis</i> <sup>a</sup>			
12V	0 ±0 aB	11731 aA	18709 aA
C14	0 ±0 aB	1983 bA	1383 bA
<i>Meloidogyne incognita</i> <sup>b</sup>			
12V	0 ±0 aB	17457 aA	28113 aA
C14	0 ±0 aB	17913 aA	12515 bA

<sup>a</sup> Avaliação realizada aos 400 dias após a inoculação. <sup>b</sup> Avaliação realizada aos 370 dias após a inoculação. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na horizontal e de pelo menos uma mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05). n=6.

Na condição sadia, o clone 12V apresentou altura média de 49 cm, e as plantas apresentaram, em média, 13 ramos plagiotrópicos de 25 cm, o que totalizou 44 g de massa seca foliar, valores 50% superiores as plantas inoculadas. Já as plantas sadias do clone C14 apresentaram 44 g de MSFO, 45 cm de ALT, 11 ramos plagiotrópicos com comprimento médio de 24 cm. A massa foliar foi a variável mais afetada na interação com *M.i.*, com redução de 2/3 em relação a planta sadia. As plantas inoculadas apresentaram ainda uma altura 32% menor e o número e o comprimento dos ramos foram 17 e 18%, respectivamente, menores que a planta sadia. A agressividade de *M.i.* ao sistema radicular foi observada tanto no clone 12V quanto o C14, com a redução de até 76% das raízes absorventes (Tabela 3), o que, conseqüentemente, ocasionou o desequilíbrio entre as raízes pseudopivotantes e absorventes (Tabela 3).

#### 1.3.2.2 Potencial hídrico

Observou-se pelas leituras do potencial hídrico realizadas ao meio dia ( $\Psi_{md}$ ), que foi quando as plantas apresentaram maior sensibilidade ao parasitismo de *M. incognita*. Nesse momento, as taxas desse parâmetro para o clone 12V variaram significativamente de acordo com a DI. O maior valor, 0,11 MPa, foi registrado nas plantas inoculadas com 50000 ovos de *M.i.*, enquanto a DI<sub>5000</sub> apresentou -0,9 MPa e as plantas sadias (12V<sub>0</sub>) registraram -0,7 MPa, valores esses significativamente distintos entre si ( $p \leq 0,05$ ). O clone C14, por sua vez, apresentou apenas diferença entre a presença e a ausência de *M.i.*, nessas condições, as plantas sadias apresentaram -0,8 MPa, valores 19% inferior as plantas inoculadas.

#### 1.3.2.3 Trocas gasosas

Já aos 120 DAI foi possível detectar interações significativas entre as DI de *M. incognita* e os clones, e essa interação se manteve aos 370 DAI (Tabela 5). Em ambos os períodos avaliados, a presença do nematoide foi mais importante que a quantidade inoculada inicialmente. Aos 120 DAI, as

taxas da  $A$  ( $9,79 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ),  $g_s$  ( $0,6 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e  $E$  ( $6,7 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) do clone 12V<sub>0</sub>, ou planta sadia, foram 88, 200 e 116% superiores aos tratamentos inoculados, e 34, 400 e 76% superiores ao do clone C14<sub>0</sub>, respectivamente. No entanto, aos 370 DAI, observou-se que apenas a taxa assimilatória de CO<sub>2</sub> ( $A$ ) mostrou-se significativa ( $p \leq 0,05$ ). Nesse período, os tratamentos 12V<sub>0</sub> ( $8,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e C14<sub>0</sub> ( $7,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) não diferiram entre si, mas os tratamentos inoculados apresentaram aproximadamente a metade dessa taxa.

#### 1.3.2.4 Quantificação da população de *M. incognita*

*Meloidogyne incognita*, aos 370 DAI, mostrou-se uma espécie agressiva ao cafeeiro conilon. As plantas do clone suscetível 12V não apresentaram diferença ( $p \leq 0,05$ ) na quantidade de ovos/10 g raízes entre os tratamentos 12V<sub>5000</sub> e 12V<sub>50000</sub> (Tabela 6) e, apesar da resistência do clone C14, o mesmo não apresentou diferença na quantidade de ovos/10 g de raízes com o clone suscetível 12V na DI de 5000 ovos (Tabela 6).

## 1.4 DISCUSSÃO

Dentre as espécies cafeeiras cultivadas, *C. canephora* é considerada resistente a fatores de estresses bióticos (Capucho et al., 2013, Lima et al., 2015) e abióticos (Marraccini et al., 2012). Os resultados aqui apresentados constituem evidências inéditas que demonstram os danos que *M. paranaensis* e *M. incognita* causam ao crescimento e a fisiologia de clones de cafeeiro conilon pertencentes as variedades botânicas 'Conilon' do grupo Guineano de *C. canephora*.

As diferenças significativas detectadas entre o sistema radicular dos clones 12V e C14, na condição sem inóculo, eram esperadas uma vez que *C. canephora* apresenta uma grande diversidade genética e fisiológica no seu sistema radicular (Ferrão et al, 2007, Partelli et al., 2014). Ademais, a maior quantidade de raízes do clone C14, em relação ao clone 12V, corrobora com os resultados de Pinheiro et al. (2005) que afirmam que clones com maior resistência à deficiência hídrica, como o clone C14, apresentam relação raiz/parte área mais elevada do que os clones com menos resistentes.

O severo comprometimento do sistema radicular do clone 12V quando parasitado, com redução de mais 60% na sua massa seca pode ser explicado pela sua suscetibilidade às duas espécies de *Meloidogyne* (Lima et al., 2015) e a conseqüente agressividade de *M. paranaensis* e *M. incognita* ao hospedeiro (Roberts, 2002). Pois ao contrário de *M. exigua*, que comumente não destrói o sistema radicular do cafeeiro ao parasitá-lo, *M. paranaensis* e *M. incognita* provocam escamação, fissuras nos tecidos corticais e necrose do tecido infectado (Vovlas & Di Vito, 1991; Bertrand & Anthony, 2008) e assim são, portanto, considerados de maior agressividade ao cafeeiro (Carneiro et al. 2008, Elling, 2013).

Os mecanismos pré e pós-infeccionais do clone C14, que atuam na resistência a *Meloidogyne* (Lima et al. 2015) foram eficazes à população de *M. paranaensis* usada nesse estudo, pois não se detectou efeito significativos nas variáveis analisadas nem correlação com aumento na densidade de inóculo ( $p \leq 0,05$ ) e o crescimento vegetativo. A maior agressividade observada de *M. incognita* ao sistema radicular dos clones estudados pode

ser consequência do somatório da idade e vigor das mudas no momento da inoculação (Schmitz et al., 2006) e da elevada plasticidade genômica de *M. incognita* (Abad et al., 2008, Castagnone-Sereno e Danchin de 2014).

A adaptação da população de *M. paranaensis* e *M. incognita* a disponibilidade de alimento (raízes) observada pela quantidade de ovos/10 g de raízes justificam os resultados não significativos na MSSR entre os tratamentos 12V<sub>5000; 50000</sub>, haja vista que *Meloidogyne* tende a ter taxas mais baixas de reprodução em populações elevadas (Di Vito et al., 2004, 2009). Todavia, a destruição do sistema radicular, principalmente das raízes absorventes, refletiram negativamente no desenvolvimento e na fisiologia da parte aérea. O efeito da densidade de inóculo ( $p \leq 0,05$ ) na ALT, DIC, NRP, CRP, MSFO, MSRP, MSRO e MSPA, principalmente no clone 12V são decorrentes modificações anatômicas ou morfológicas no sistema radicular, menor eficiência de absorção de água e nutrientes, e consequente aumento da relação fonte:dreno (Carmi & Heuer, 1981, Strajnar et al., 2012).

As plantas não foram submetidas à restrição hídrica nem a restrição do crescimento radicular, uma vez que os vasos que as mantiveram comportavam grande volume de substrato (14 L). Assim, as reduções significativas ( $p \leq 0,05$ ) de 18 e 58% do  $\psi_{md}$ , respectivamente, observadas nos tratamentos do clone 12V<sub>5000</sub> e 50000 inoculados com *M. incognita*, são atribuídas primeiramente ao reduzido sistema radicular desses tratamentos, que apesar de não terem dado interação significativa para MSSR, apresentou 1/5 da MSSR do 12V<sub>0</sub>, sendo que maior parte desse total, aproximadamente 60%, são de raízes lignificadas (MSRZP) e, os 40% de raízes absorventes (MSRZA) estavam intensamente danificadas pelo parasitismo, consequentemente ocasionando uma resistência ao fluxo de água para o dossel da planta. Portanto, no cafeeiro conilon, assim como em outras espécies botânicas, os nematoides têm um efeito primário na absorção de água pelas plantas (Rahi et al., 1988, Dorhout et al., 1991) interferindo diretamente nas raízes absorventes e as plantas infectadas mostram um aumento na susceptibilidade a estresse abiótico (Khan & Khan 1996; Audebert et al., 2000; Smit & Vamerli, 1998).

O cafeeiro é uma espécie que exibe relativamente baixa taxa assimilatória de CO<sub>2</sub> ( $A$ ), com valores máximos normalmente ao redor ou abaixo de 10  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (DaMatta, 2004), mas fica evidente que os clones 12V e C14, em condições saudáveis, apresentam taxas fisiológicas significativamente distintas, sendo a do clone 12V sempre superior a do C14. Os clones 12V e C14, quando inoculados com DI crescentes de *M. paranaensis* ou *M. incognita*, não apresentaram aumentos na  $A$ ,  $g_s$  e  $E$  como fator compensatório da infecção como observado por Abrão & Mazzafera (2001) em algodoeiro. Possivelmente, o lento crescimento vegetativo do cafeeiro e a agressividade dos nematoides propiciaram esse decréscimo nas taxas.

As reduções na  $A$  foram acompanhadas por taxas de condutância estomática do vapor de H<sub>2</sub>O ( $g_s$ ) e taxa transpiratória ( $E$ ) reduzidas, mas não por uma redução na  $C_i$  sugerindo que as reduzidas taxas de  $A$  nas plantas infectadas foram influenciadas não somente pelo severo comprometimento do sistema radicular, mas provável a fatores estomáticos (Saeed et al., 1997). Há concordância entre estes resultados e de outras interações planta-nematoide, como *M. incognita* na videira (Melakeberhan et al., 1990), *Globodera pallida* na batata (Schans e Arntzen, 1991) e *M. ethiopica* em tomateiro (Strajnar et al., 2012). Tezara et al. (2002) destacaram que o fechamento estomático ajuda a manter o elevado teor de água nas folhas, porém, resulta na redução da atividade fotossintética e transpiração.

Possivelmente, a idade das plantas ao serem inoculadas com *M. incognita* fora o fator decisivo nas baixas taxas de  $A$ ,  $g_s$  e  $E$  registradas aos 370 DAI (Schmitz et al., 2006) haja vista que o efeito debilitante de *M. incognita* na fotossíntese de *P. vulgaris* é mais importante em plantas jovens do que em plantas mais velhas e o efeito aumenta com a duração da infecção e aumento do inóculo do nematoide (Melakeberhan et al., 1984).

Nas condições experimentais, que simularam o período inicial do crescimento vegetativo do cafeeiro conilon a campo, foi possível obter importantes conclusões da interação com *Meloidogyne* e também questionamento. O principal questionamento está focado no clone C14, ao

considerar o cafeeiro uma espécie perene e de crescimento lento, o desbalanço na relação MSPA:MSSR principalmente quando inoculado com *M.incognita*, traz consigo o questionamento se esse clone, com seus referidos mecanismos de resistência, tolerará infestações iniciais altas e, principalmente, as consequências de um período maior de interação. Com os dados pode-se seguramente concluir que a interação *M. paranaensis* ou *M. incognita* com o clone 12V ocasionou a redução de mais 60% do sistema radicular, afetando principalmente as raízes absorventes e essa redução das raízes acarretou prejuízos na relação parte aérea/sistema radicular, no potencial hídrico e nas trocas gasosas. Conclui-se ainda que não há diferença significativa entre inocular 5000 ou 50000 ovos/planta de cafeeiro conilon, e a presença do nematoide e sua interação com o clone, ainda que na fase vegetativa, traz comprometimento as funções vitais ligadas ao crescimento e respostas fisiológicas.

## 1.5 REFERÊNCIAS

- Abad P, Gouzy J, Aury JM, Castagnone-Sereno P, Danchin EG, Deleury E, Perfus-Barbeoch L, Anthouard V, Artiguenave F, Blok VC, Caillaud MC, Coutinho PM, Dasilva C, De Luca F, Deau F, Esquibet M, Flutre T, Goldstone JV, Hamamouch N, Hewezi T, Jaillon O, Jubin C, Leonetti P, Magliano M, Maier TR, Markov GV, McVeigh P, Pesole G, Poulain J, Robinson-Rechavi M, Sallet E, Segurens B, Steinbach D, Tytgat T, Ugarte E, van Ghelder C, Veronico P, Baum TJ, Blaxter M, Bleve-Zacheo T, Davis EL, Ewbank JJ, Favery B, Grenier E, Henrissat B, Jones JT, Laudet V, Maule AG, Quesneville H, Rosso MN, Schiex T, Smant G, Weissenbach J, Wincker P (2008) Genome sequence of the metazoan plant-parasitic nematode *Meloidogyne incognita*. *Nature Biotechnology*, 26:909-915.
- Abrão MM, Mazzafera P (2001) Efeitos do nível de inóculo de *Meloidogyne incognita* em algodoeiro. *Bragantia*, 60:19-26.
- Audebert A, Coyne DL, Dingkuhn M, Plowright RA (2000) The influence of cyst nematodes (*Heterodera sacchari*) and drought on water relations and growth of upland rice in Cote d'Ivoire. *Plant and Soil*, 220:235-242.
- Barros AF, Oliveira RDL, Lima IM, Coutinho RR, Ferreira AO, Costa A (2014) Root-knot nematodes, a growing problem for Conilon coffee in Espírito Santo state, Brazil. *Crop Protection*, 55:74-79.
- Bertrand B, Anthony F (2008) Genetics of resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) and breeding. In: Souza RM (Ed.) *Plant-Parasitic Nematodes of Coffee*. Dordrecht, NL. Springer Science Business. pp.165-190
- Boneti JIS, Ferraz S (1981) Modificação do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira*, 6:553.
- Capucho AS, Zambolim L, Lopes UN, Milagres NS. (2013) Chemical control of coffee leaf rust in *Coffea canephora* cv. conilon *Australasian Plant Pathology*, 42:667-673.



Carmi A, Hesketh JD, Enos WT, Peters DB (1983) Interrelationships between shoot growth and photosynthesis, as affected by root growth restriction. *Photosynthetica* 17:240-245.

Carneiro RMDG, Almeida MRA, Quénéhervé P (2000) Enzyme phenotypes of *Meloidogyne* spp. populations. *Nematology*, 2:645-654.

Carneiro RMDG, Mesquita LFG, Gonçalves W, Pereira AA (2008) Pathogenicity of *Meloidogyne* spp. (Tylenchida: Meloidogynidae) from Brazil and Central America on two genotypes of *Coffea arabica*. *Tropical Plant Pathology*, 33:309-312.

Castagnone-Sereno P, Danchin EGJ (2014) Parasitic success without sex - the nematode experience. *Journal of Evolutionary Biology*, 27:1323-1333.

DaMatta FM (2004) Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, 86:99-114.

DaMatta FM, Chaves ARM, Pinheiro HA, Ducatti C, Loureiro ME (2003) Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Science*, 164:111-117.

Davis BJB (1964) Disk electrophoresis. II. Method and application to human serum proteins. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 121:404-427.

Di Vito M, Magunacelaya JC, Ahumada T, Catalano F (2009) Relationships between initial population densities of *Meloidogyne ethiopica* and growth of vinifera grape in pots. *Nematologia Mediterranea*, 37:105-108.

Di Vito M, Parisi B, Catalano F (2004) Effect of population densities of *Meloidogyne incognita* in common bean. *Nematologia Mediterrânea*, 32:81-85.

Dorhout R, Gommers FJ, Kolloffel C (1991) Water transport through tomato roots infected with *Meloidogyne incognita*. *Phytopathology*, 81:379-385.

Elling AA (2013) Major emerging problems with minor *Meloidogyne* species. *Phytopathology*, 103:1092-1102.

Ferrão RG, Ferrão MAG, Fonseca AFA, Pacova BEV (2007) Melhoramento genético do *Coffea canephora*. In: Ferrão RG, Fonseca AF, Bragança SM,

Ferrão MAG, Muner LH (Ed.). Café Conilon. Espírito Santo: Incaper. p. 121-173.

Fonseca AFA, Ferrão RG, Ferrão MAG, Verdin Filho AC, Volp, PS, Bittencourt MLC (2007) Jardins clonais, produção de sementes e mudas. In: Ferrão RG, Fonseca AF, Bragança SM, Ferrão MAG, Muner LH (Ed.). Café Conilon. Espírito Santo: Incaper. p. 229-255.

Khan MR, Khan MW (1996) Interaction of *Meloidogyne incognita* and coal-smoke pollutants on tomato. *Nematropica*, 6: 47-56.

Marraccini P, Vinecky F, Alves GSC, Ramos HJO, Elbelt S, Vieira NG, Carneiro FA, Sujii OS, Alekcevetch GC, Silva VA, DaMatta FM, Ferrão MA, Leroy T, Pot D, Vieira LGE, Silva FR, Andrade AC (2012) Differentially expressed genes and protein sup on drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. *Journal of Experimental Botany*, 63: 4191-4221.

Mataa M, Tominaga S (1998) Effects of root restriction on tree development in Pondan Mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). *Journal of American Society of Horticultural Science*, 123:651-655.

Melakeberhan H, Ferris H, Dias J (1990) Physiological response of resistant and susceptible *Vitis vinifera* cultivars to *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology*, 22:224-30.

Melakeberhan H, Webster JM, Brooke RC (1984) Improved techniques for measuring the CO<sub>2</sub> exchange rate of *Meloidogyne*-infected beans. *Nematologica*, 30:213-211.

Oliveira RDL, Dhingra OD, Lima AO, Jham GN, Berhow MA, Holloway RK, Vaughn SF (2011) Glucosinolate content and nematicidal activity of Brazilian wild mustard tissue against *Meloidogyne incognita* in tomato. *Plant Soil*, 341:155-164.

Partelli FL, Covre AM, Oliveira MG, Alexandre RS, Vitória EL, Silva MB (2014) Root system distribution and yield of 'Conilon' coffee propagated by seeds or cuttings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49:349-355.

Pinheiro HA, DaMatta FM, Chaves ARM, Loureiro ME, Ducatti C (2005) Drought Tolerance is Associated with Rooting Depth and Stomatal Control of Water Use in Clones of *Coffea canephora*. *Annals of Botany*, 96: 101-108.

Rahi GS, Rich JR, Hodge C (1988) Effect of *Meloidogyne incognita* and *M. javanica* on leaf water potential and water use of tobacco. *Journal of Nematology*, 20:516-522.

Roberts PA (2002) Concepts and Consequences of Resistance. In: Starr JL, Cook R, Bridge J (eds) *Plant Resistance to Parasitic Nematodes*. CAB International, Wallingford. pp. 25-41.

Ronchi CP, DaMatta FM (2007) Aspectos fisiológicos do café Conilon. In: Ferrão RG, Fonseca AF, Bragança SM, Ferrão MAG, Muner LH (Ed.). *Café Conilon*. Espírito Santo. Incaper. pp. 95-119.

Saeed IAM, MacGuidwin AE, Rouse DI (1997) Synergism of *Pratylenchus penetrans* and *Verticillium dahliae* manifested by reduced gas exchange in potato. *Phytopathology*, 87:435-439.

Schans J, Arntzen FK (1991) Photosynthesis, transpiration and plant growth characters of different potato cultivars at various densities of *Globodera pallida*. *Netherland Journal of Plant Pathology*, 97:297-310.

Schmitz A, Tartachnyk I, Kiewnick S (2006) Detection of *Heterodera schachtii* infestation in sugar beet by means of laser-induced and pulse amplitude modulated chlorophyll fluorescence. *Nematology*, 8:273-286.

Smit AL, Vamerali T (1998) The influence of potato cyst nematodes (*Globodera pallida*) and drought on rooting dynamics of potato (*Solanum tuberosum* L.). *European Journal of Agronomy*, 9:137-146.

Strajnar P, Sirca S, Urek G, Sircelj H, Zeleznik P, Vodnik D (2012) Effect os *Meloidogyne ethiopica* parasitismo on water management and physiological stress in tomato. *European Journal of Plant Pathology*, 132:49-57.

Tezara W, Mitchell VJ, Driscoll SD, Lawlor DW, (1999) Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature*, 401:914-917.

Vovlas N, Di Vito M (1991) Effect of root-knot nematodes *Meloidogyne incognita* and *M. javanica* on the growth of coffee (*Coffea arabica* L.) in pots. *Nematologia Mediterranea*, 19:253-258.

Walters DR (2015) Growth, development and yield of infected and infested plants and crops. In: *Physiological Responses of Plants to Attack*. Wiley-Blackwell. pp. 61-65.

## **CAPITULO 2**

**Desenvolvimento, produtividade e fisiologia de clones de cafeeiro conilon com ou sem resistência a *Meloidogyne paranaensis*, em campo naturalmente infestado**

## 2.1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva do café é responsável por garantir a dignidade social e a economia ativa de muitos estados e países do mundo. Os grãos de *Coffea canephora*, seja de conilon ou robusta, representam 40% do consumo mundial, mas a perspectiva é que na próxima década, haja equivalência com o café arábica (*C. arabica*) no mercado de cafés (ICO, 2016). A produção brasileira de *C. canephora* abastece 1/3 do consumo mundial, mas está alicerçada no uso de variedades clonais e possui uma matriz de produção distinta do cafeeiro arábica.

Dados fitonematológicos recentes (Barros et al., 2014, Lima et al., 2015) demonstraram que a fragilidade fitossanitária detectada no cafeeiro conilon pode trazer consequências catastróficas para o sistema de produção do ES, onde o cafeeiro conilon é mais expressivo. Considerando as experiências econômicas e sociais resultantes da interação entre *Meloidogyne incognita*, ou *M. coffeicola* ou *M. paranaensis* e *C. arabica*, é de se esperar que a sustentabilidade da cafeicultura se encontra em risco.

Como medida segura e eficiente de controle de *Meloidogyne* spp. recomenda-se o uso de variedades resistentes. No cafeeiro, assim como acontece com outras espécies perenes, pode-se lançar mão de porta-enxertos resistentes, constituindo um método de baixo custo e boa eficácia no controle de fitonematoides (Bertrand & Anthony, 2008).

Apesar do expressivo volume comercial registrado e do novo desafio fitossanitário para os produtores de *C. canephora*, inexistem pesquisas de campo que demonstrem o potencial risco de *M. paranaensis* a cafeicultura de conilon, ou mesmo qualquer informação que possa orientar as estratégias de manejo.

Há conhecimento sobre a fisiologia de cafeeiro, especialmente de *C. arabica* sadio, mas o reflexo da interação nematoides das galhas e cafeeiro conilon no desenvolvimento da cultura é escasso. Por isso, vem-se estudar, em condições de campo, as consequências da interação de clones (suscetíveis e resistentes) de conilon, enxertados ou não sobre clone

resistente a *M. paranaensis*, com ênfase no crescimento vegetativo, produção e trocas gasosas do cafeeiro, bem como do uso de clones resistentes na flutuação da população do nematoide no solo.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Produção das mudas: As estacas dos clones 1V e 12V (suscetíveis), e 13V e C14 (resistentes) foram obtidas da coleção de germoplasma ativo de conilon do Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper, e enraizadas em substrato isento de fitonematoides. Todas as mudas enxertadas tiveram o C14 como porta-enxerto, e o método de enxertia empregado foi o de mesa adaptado (Regina et al., 2012) no qual utilizaram-se estacas de mesmo diâmetro na garfagem de fenda cheia.

Área experimental: As áreas experimentais (com ausência e presença de *M. paranaensis*) estavam localizadas no município de Sooretama-ES, a 40° 13'36.9634" W e 19°3'1.5079" S e altitude de 80 m. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) de textura argilosa. O experimento foi implantado em dezembro de 2010, no espaçamento de 3 m entre linhas e 1 m entre plantas. As plantas foram conduzidas com 3 ramos ortotrópicos e os tratos culturais e fitossanitários foram realizados conforme as necessidades da cultura, sem uso de nematicida ou inseticida de solo. A lavoura era irrigada por aspersão.

Amostragem e quantificação de *M. paranaensis*: as coletas ocorreram de novembro/2010 (plantio) a junho de 2015 nos períodos de estiagem (junho) e períodos chuvosos (dezembro). Em cada coleta, obteve-se uma amostra composta/parcela (3 litros de solo mais raízes) formada por seis sub-amostras, as quais foram coletadas perpendiculares à linha de plantio, a 30 cm profundidade e distantes 50 cm do tronco.

Para a extração dos juvenis de segundo estágio (J2) das amostras de solo, foram usadas alíquotas de 200cc de solo/parcela, que foram processadas pelo método de flotação–centrífuga (Jenkins, 1964). A extração dos ovos de *M. paranaensis* das raízes foi feita em porções de 10 gramas de raízes, pela técnica da trituração em liquidificador (Boneti & Ferraz, 1981). Essa metodologia foi empregada nas amostras obtidas no período de junho/2012 a junho de 2015.



Avaliação do crescimento e da produtividade: logo antes das colheitas dos anos de 2013, 2014 e 2015 foram avaliadas as variáveis:

- 1) altura de planta (ALT): correspondente a distância entre o solo e o último nó formado do ramo, obtida por medição direta de um ramo ortotrópico de cada planta da parcela;
- 2) Número de ramos plagiotrópicos produtivos (RPP): contagem dos ramos em produção (frutos) na safra corrente;
- 3) Número de ramos plagiotrópicos vegetativo (RPV): contagem dos ramos sem frutos localizados na parte superior dos ramos ortotrópicos;
- 4) Número de rosetas/ramo plagiotrópico produtivo (RRP): contagem direta de todas as rosetas de dois ramos por planta localizados na altura mediana do painel dos ramos produtivos e perpendicular à linha de plantio;
- 5) Número de frutos/roseta (FRO): número de frutos da terceira ou quarta roseta a partir da base do ramo plagiotrópico produtivo;
- 6) Produtividade (PRO): A produção de cada parcela experimental foi colhida de forma não seletiva, e com um mínimo de 65% dos frutos maduros, e pesada. De cada parcela retirou-se uma amostra de 3,0 Kg de café maduro para o beneficiamento. A partir dos grãos beneficiados, calculou-se a produtividade em sacas de 60 Kg (sc) para cada hectare.

Trocas gasosas: as taxas das trocas gasosas foram mensuradas em janeiro/2014 e janeiro/2015, época que correspondia ao enchimento de grãos (Ronchi & DaMatta, 2007). Nessas datas foram registradas as seguintes variáveis: taxa assimilatória líquida de CO<sub>2</sub> ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) e taxa transpiratória ( $E$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Essas taxas foram obtidas em dias claros, entre 8:00 e 10:30 horas, utilizando-se um analisador portátil a infravermelho de CO<sub>2</sub> (modelo LI-6400XT LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA). A concentração de CO<sub>2</sub> na câmara foi ajustada para 400  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  e densidade de fluxo de fótons de 1.000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Foram utilizadas cinco plantas para cada tratamento e folhas completamente expandidas e sadias,

localizadas no terço médio da planta, posicionadas no terceiro par do ápice para a base do ramo (DaMatta, 2003).

Análise estatística: os experimentos, em área sadia e infestada, foram implantados no delineamento de blocos casualizados com 3 repetições, em esquema fatorial 4 x 2, sendo os fatores constituídos por quatro clones (1V, 12V, 13V, C14) e o porta-enxerto C14 (presença ou ausência). A parcela experimental foi constituída de cinco plantas.

Realizaram-se análises conjuntas dos experimentos, área sadia e infestada, para a compreensão dos efeitos de cada ambiente, fixando a enxertia, mudas com enxerto (E) e mudas clonais sem enxerto (C). Os valores apresentados representam a média dos três anos agrícolas (2013/2014/2015) que foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade com uso do programa de análises genéticas GENES (Cruz, 2001).

A população de *M. paranaensis* foi plotada em função da época de amostragem. Para verificar o comportamento temporal da população de *M. paranaensis*, foi calculada a área abaixo da curva da densidade populacional do número de J2/200cc solo (AACPJ2) e do número de ovos/10g raízes de cafeeiro (AACPO). Para o cálculo da área abaixo da curva da densidade populacional utilizou-se o pacote Agricolae versão 1.2-3 para R (Mendiburu, 2015), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 2.3 RESULTADOS

### 2.3.1 Flutuação da população de *M. paranaensis*

Independente do sistema radicular do clone (1V, 12V, 13V ou C14) que explorava o solo, a população de J2 seguiu uma tendência de menores densidades nas amostragens de junho (período da estiagem) em relação ao mês de dezembro anterior (período chuvoso) (Figura 1A).

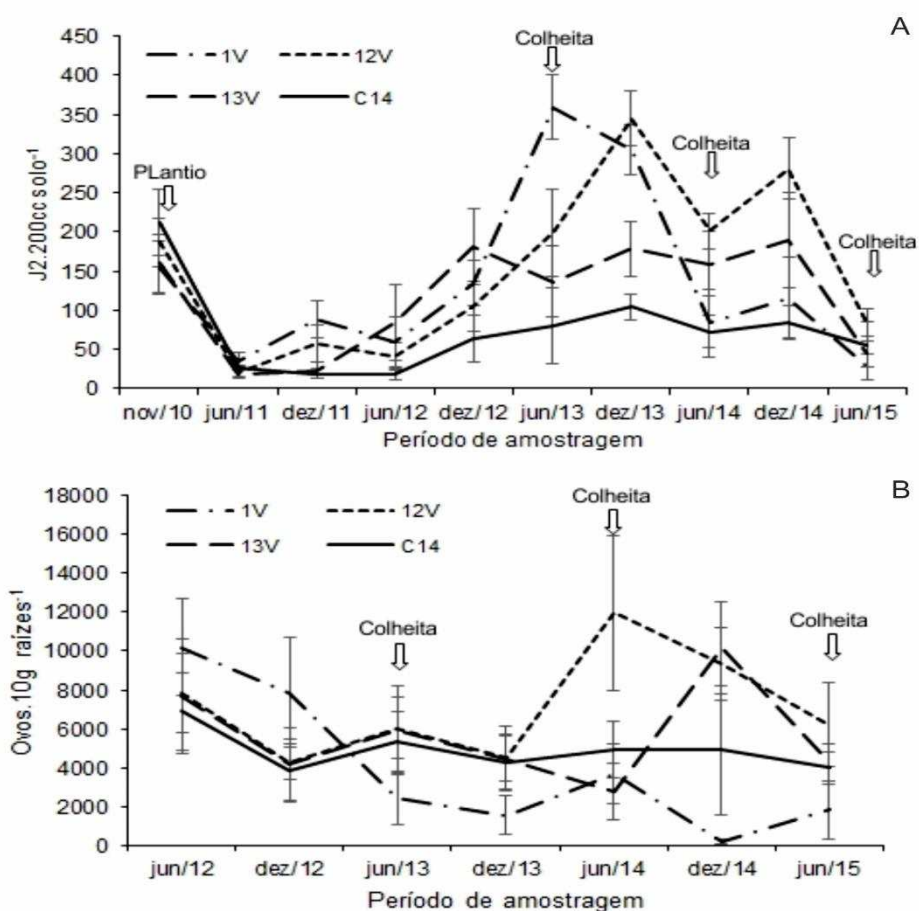


Figura 1 – Flutuação populacional de *Meloidogyne paranaensis* na rizosfera dos clones 1V, 12V, 13V e C14 de cafeeiro conilon cultivados à campo. A: Número de J2/200 cc de solo, de novembro/2010 a junho/2015. B: Número de ovos /10 g de raízes, de junho/2012 a junho/2015). Barras representam o desvio padrão. n=5.

Após mais de 4 anos de avaliação, observou-se que a população de J2 no solo foi influenciada pela resistência do clone. Apesar dos clones resistentes, C14 e 13V, propiciarem a multiplicação de *M. paranaensis*, mantiveram a média da população de J2 abaixo da população inicial (PI) detectada em novembro/2010 (Fig. 1A). O maior pico populacional de J2 na rizosfera desses clones não ultrapassou a PI de 212 e 159 J2/200cc solo respectivamente em C14 e 13V. No C14, a densidade máxima de J2 registrada foi de 104 indivíduos (dezembro/2013) e, considerando todo período avaliativo, houve 72,6% de redução média em relação a população inicial.

Na rizosfera dos clones suscetíveis, 1V e 12V sem enxerto (C), observou-se aumento na densidade de J2 após junho/2011 com pico da população em junho/2013 no clone 1V (359 J2/200 cc solo), e em dezembro/2013 (345 J2/200 cc solo) no clone 12V (Fig. 1B). O clone 1V foi o único que após junho/2012 apresentou decréscimo contínuo no número de ovos no sistema radicular, por sua vez, o clone C14 manteve sempre essa densidade abaixo da população inicial.

Os maiores valores da AACPJ2 ( $P \leq 0,05$ ) foram apresentados nas parcelas cultivadas com os clones suscetíveis 1V, 12V e o resistente 13V, mas, os menores valores foram os do clone C14, como clonal (C) ou como porta-enxerto (E) (Tabela 1). O cultivo do clone C14 causou uma redução média de cerca de 50% na AACPJ2. Não houve diferença na AACPO ( $P \leq 0,05$ ) entre clones, nem com ou sem enxertia.

### 2.3.2 Crescimento e produtividade dos clones

Houve pequeno efeito da enxertia no desenvolvimento do conilon sadio (Tabela 2), mas na área infestada, observaram-se diferenças nas variáveis ligadas a produção, como no número de ramos produtivos, de rosetas, de frutos/roseta desses ramos e na produtividade entre os clones avaliados. O clone 1V (C) apresentou média de 19,5 ramos produtivos com 6 rosetas/ramo, sendo que em cada roseta continha 10,7 frutos o que resultou, ao final do ciclo

produtivo, uma produtividade média de 41 sc/ha, sendo esses valores menores e significativamente diferentes dos demais clones. Apesar da suscetibilidade, a produtividade do clone 12V (C) de 72 sc de grão beneficiado/ha não se diferenciou ( $p \leq 0,05$ ) dos clones resistentes 13V e C14 que registraram 69,10 sc/ha e o C14 63,13sc/ha, respectivamente. Considerando os tratamentos enxertados, ficou evidente que a enxertia agregou vantagem significativa aos clones 1V, 12V e 13V nas variáveis significativas (Tabela 1S, Material suplementar).

Tabela 1: Área abaixo da curva da densidade populacional (AACP) no solo (J2 200cc solo<sup>-1</sup>) e na raiz (ovos.10 g raízes<sup>-1</sup>) de clones de *Coffea canephora* cultivados em solo infestado com *Meloidogyne paranaensis*.

Tratamento	Ovos 10g raízes	
	J2 200cc solo <sup>-1*</sup>	de cafeeiro <sup>-1**</sup>
1V	1272,0 a	21710 <sup>ns</sup>
12V	1388,0 a	43180
13V	1075,0 ab	33470
C14	724,6 b	28590
1V/C14	572,6 b	28690
12V/C14	601,3 b	20270
13V/C14	730,7 b	34380
C14/C14	686,0 b	23270

\*Coletas realizadas de novembro/2010 à junho/2015; \*\*Coletas realizadas de junho/2012 a junho/2015. Intervalo entre coletas = 6 meses.

Nas plantas clonais e sem enxertia (C), a altura foi a principal variável do crescimento influenciada pela presença do nematoide, apresentando diferenças significativas em todos os clones (Tabela 2). Para essa variável e na condição sem enxerto, atribuiu-se à *M. paranaensis* a redução na altura da planta variando de 26% a 38% para os clones estudados. Em contrapartida, a enxertia não proporcionou aumento na altura desses clones quando cultivados em área sem *M. paranaensis*.

Tabela 2 - Resultados da ANOVA para o efeito da muda clonal (C) e enxertada (E) dos clones 1V, 12V, 13V e C14 de cafeeiro conilon na área sadia e infestada com *M. paranaensis* e efeito da interação da área sadia (AS) e infestada (AI) nas mudas C e E para variáveis altura de planta (ALT), número de ramo plagiotrópico produtivo (RPP), de ramo plagiotrópico vegetativo (RPV), de rosetas/ramo produtivo (RRP), de frutos/roseta (FRO), e produtividade (PRO). Média de três safras agrícolas.

Variável	Área				AS x AI							
	Sadia		Infestada		1V		12V		13V		C14	
	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E
ALT	ns	*	ns	ns	*	ns	*	*	*	*	*	*
RPP	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
RPV	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	*	ns	ns
RRP	ns	ns	*	*	*	*	*	ns	*	ns	*	ns
FRO	ns	*	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PRO	ns	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Os resultados são apresentados como não significativo (ns) ou significativos com  $p \leq 0,05$  (\*).

Considerando os clones individualmente, observou-se que o clone 1V, com ou sem enxerto, apresentou o maior número de variáveis com efeito significativo para o parasitismo de *M. paranaensis* (Tabela 2S). Com exceção do número de RPP e de FRO todas as demais variáveis analisadas na planta clonal (SE) foram significativas ( $p \leq 0,05$ ), sendo que as plantas cultivadas em área sadia apresentaram valores superiores a área infestada. Destaca-se que a produção na área infestada foi 44,7% inferior a área sadia, o que equivaleu a uma redução média de 33 sc de grãos beneficiados/ha.

Avaliando-se as plantas clonais (SE) cultivadas na área sadia como referência, ficou evidente que os clones possuem características fisiológicas intrínsecas ( $g_s$ ,  $C_i$  e  $E$ ) que os diferenciam ( $p \leq 0,05$ ). Por exemplo, enquanto o clone 12V apresentou  $0,25 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$  de  $g_s$ , o clone C14 atingiu o máximo de  $0,16 \text{ mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Dentro da área infestada, o clone 1V (SE), que na área sadia não se diferenciou do clone 12V quanto a  $A$ ,  $g_s$ , e  $E$ , quando parasitado por

*M. paranaensis*, diferenciou-se ( $p \leq 0,05$ ) do referido clone e dos demais. Portanto, houve efeito negativo do parasitismo também nas características fisiológicas (Tabela 3).

No clone 1V (SE), em pelo menos um dos anos detectaram-se diferenças significativas na  $A$ ,  $g_s$ ,  $C_i$  e  $E$ . Já na segunda safra, (2014), quando cultivado em área sadia o clone 1V (SE) apresentou  $A$ : 9,60 mol.m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>,  $g_s$ : 22 mol.m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>,  $C_i$ : 291,3 mmolCO<sub>2</sub>.mol<sup>-1</sup> e  $E$ : 3,9 mmolH<sub>2</sub>O.m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, o que representa valores 66%, 80%, 16% e 65% superiores a área infestada, respectivamente. O clone 12V (SE) na área sadia apresentou  $A$ : 11,3 mol.m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>,  $g_s$ : 0,3 mol.m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>,  $C_i$ : 286,7 mmolCO<sub>2</sub>.mol<sup>-1</sup> e  $E$ : 8,2 mmolH<sub>2</sub>O.m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> e esses valores foram respectivamente 25%, 48%, 10% e 41% menores quando cultivado em área infestada (Tabelas 7S a 14S). Esse clone foi o que também apresentou efeito de enxertia entre áreas sadia e infestada (Tabela 3).

Apesar da resistência, o clone C14 apresentou efeito significativo na  $g_s$  (0,2 mol.m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>) e  $C_i$  (297,5 mmol Co<sub>2</sub>.mol<sup>-1</sup>). Apresentou redução de 50% e 26% nesses valores em área infestada em relação a área sadia. O clone 13V, por sua vez, apresentou diferença em  $A$  apenas na avaliação de 2014.

Tabela 3 - Resultados da ANOVA para o efeito da muda clonal (C) e enxertada (E) dos clones 1V, 12V, 13V e C14 de cafeeiro conilon na área sadia e infestada com *M. paranaensis* e efeito da interação entre área sadia (AS) e infestada (AI) nas mudas C e E para os parâmetros fisiológicos apresentados no ano 1 (2014) e 2 (2015).

Parâmetro	Área							
	Sadia				Infestada			
	C		E		C		E	
	Ano1	Ano2	Ano1	Ano2	Ano1	Ano2	Ano1	Ano2
<i>A</i>	ns	ns	*	*	*	ns	*	*
<i>g<sub>s</sub></i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>C<sub>i</sub></i>	*	ns	ns	*	*	*	*	*
<i>E</i>	ns	*	*	*	ns	ns	*	*

Parâmetro	AS x AI															
	1V				12V				13V				C14			
	C		E		C		E		C		E		C		E	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>A</i>	*	*	*	ns	*	*	*	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
<i>g<sub>s</sub></i>	*	*	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	*	*	*
<i>C<sub>i</sub></i>	*	ns	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	*	*	*
<i>E</i>	*	*	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	*	*

Os resultados são apresentados como não significativo (ns) ou significativos com  $p \leq 0,05$  (\*).



## 2.4 DISCUSSÃO

Considerando a média de três anos agrícolas, pode se afirmar que *M. paranaensis* interferiu no desenvolvimento, produção e trocas gasosas de clones de *C. canephora*. A agressividade dessa espécie de nematoide das galhas à *C. arabica* é reconhecida desde a sua descrição no Paraná (Carneiro, et al. 1996), mas esse é o primeiro relato, em condições de campo, que demonstra a agressividade de *M. paranaensis* em clones comerciais de *C. canephora*. Esse fato deve ser visto com preocupação, pois a maior parte da produção de café conilon do Brasil está alicerçada em mudas clonais suscetíveis (Lima et al., 2015) a esta e outras espécies de *Meloidogyne* que se encontram amplamente distribuídas em lavouras comerciais (Barros, et al., 2014).

O menor desempenho fisiológico e produtivo do clone 1V (pé franco, isto é, sem enxertia) quando cultivado em área infestada pode ser atribuído a combinação da suscetibilidade do clone à *M. paranensis* (Lima et al., 2015) e o seu menor ciclo de maturação (34 semanas) (Fonseca et al., 2004). Em clones de maturação precoce, os frutos expandem e amadurecem em menor tempo, portanto requerem que os assimilados lhes sejam mobilizados num menor período de tempo, quando comparados com clones de maturação intermediária (12V) ou tardia (13V e C14) (Ronchi & DaMatta, 2007). E para prover essa maior demanda de assimilados pelos frutos, esperam-se aumentos correspondentes na capacidade fotossintética e/ou remobilização de assimilados armazenados no sistema tronco-raiz (DaMatta, 2010). Se isso não ocorre, as plantas começam a apresentar sintomas de deficiência nutricional, desfolha e murcha, principalmente no período logo após a colheita. Principalmente no clone 1V, esse quadro sintomatológico foi muito evidente a partir de agosto de 2013.

Considerando que a água é essencial para a manutenção da turgescência dos tecidos em processos como alongamento celular e crescimento nas fases vegetativas e reprodutivas do cafeeiro (DaMata, Rena, 2001) e que sua absorção se dá essencialmente pelas raízes, assume-se que

os altos níveis de *M. paranaensis* registrados até 2013 na rizosfera do clone 1V (C), comprometeram severa e irreversivelmente o seu sistema radicular, o que afetou a manutenção do status hídrico do clone em comparação ao seu cultivo em área isenta de *M. paranaensis* ou quando enxertado sobre o C14. A qualidade de tolerância a seca, típica do C14 (Ronchi, DaMata, 2007) explicaria o maior desenvolvimento vegetativo, produção e trocas gasosas dos clones 1V, 12V e 13V (E), uma vez que esses materiais clonais não são tolerantes a estresse hídrico e nem possui um sistema radicular com ampla capacidade de exploração do solo. .

O clone 12V (C), ainda que suscetível (Lima et al., 2015), teve a produtividade não diferenciada ( $p \leq 0,05$ ) entre área infestada e sadia. Apesar de ser um clone altamente produtivo (média de 80 sc de grão beneficiados.ha<sup>-1</sup>), a suscetibilidade do clone à *M. paranaensis* não garante o sucesso no manejo integrado do nematoide, uma vez que a população desse nematoide das galhas tende a aumentar e os cultivos seguintes poderão ser comprometidos por altas densidades iniciais de inóculo. Considerar, ainda, que a produção em plantas perenes é dependente de seu status nutricional no ano anterior.

O clone 14, apesar da resistência a *M. paranaensis* (Lima et al., 2015) e tolerância ao estresse hídrico (DaMatta et al., 2006) apresentou, independente da presença do nematoide, produtividade média inferior aos demais clones ( $p \leq 0,05$ ), fato já registrado em outras pesquisas (Ferrão et al., 2009). Esse é um clone, que diante da demanda produtivista e de rentabilidade, deve ter o uso indicado para áreas não irrigadas (Ronchi & DaMatta, 2007) ou para programas de melhoramento (Lima et al., 2015).

A suscetibilidade dos clones 1V e 12V, nos primeiros 36 meses após o plantio, propiciou as maiores densidades do nematoide na área, mas destaca-se que as densidades de J2 no solo e ovos nas raízes, registradas nas últimas avaliações são atribuídas a dois anos consecutivos de déficit hídrico na região. Com isso, ocorre escassez na emissão de novas raízes, fato que pode levar

a regulação ou redução na população de nematoide (Di Vito et al., 2004, 2009).

As referências mais atuais sobre a flutuação de fitonematoides em cafeeiro foram obtidas no patossistema *C. arabica* cultivado em sequeiro e *M. exigua* (Huang et al., 1984, Souza et al., 2008). Nesse patossistema, os picos na população de juvenis de *M. exigua* ocorrem no mês de junho, período de baixa precipitação e temperaturas amenas. Os resultados aqui apresentados constituem o primeiro registro da flutuação populacional de fitonematoides em *C. canephora*, e distintamente do cafeeiro arabica de sequeiro, os picos da população de *M. paranaensis* em *C. canephora* irrigado ocorreram nos meses de dezembro, caracteristicamente chuvoso. Atribui-se esse comportamento populacional de juvenis de *M. paranaensis* as condições climáticas locais (temperatura), a fisiologia do cafeeiro conilon, que apresenta nos meses de temperaturas amenas e de baixa precipitação (junho), taxas de crescimento menores quando comparadas ao período chuvoso, as temperaturas mais elevadas (Rochi, DaMatta, 2007, Partelli et al., 2013) e ao típico desenvolvimento do sistema radicular (Partelli et al., 2014; Covre, et al., 2015). O solo argiloso e a irrigação seguramente contribuiriam para evitar flutuações na umidade do solo, evitando assim estresse que prejudicasse tanto as raízes (DaMatta, Ramalho, 2006) quanto o nematoide (Serracin, Schmitt, 2000, Tronconi, Ferraz, 1985).

A experiência com o uso de porta-enxertos na cafeicultura foi obtida em áreas de produção de *C. arabica*, tendo como porta-enxerto mudas seminais de *C. canephora* ou de *C. congensis* (Costa et al., 1991, Bittenbender et al., 2001, Cabos et al. 2010), portanto não é algo inédito nem recente. Entretanto, esse estudo trouxe inovações por se usar como enxerto um *C. canephora*, permitindo assim o uso de cafés enxertados em áreas aptas ao cultivo de *C. canephora* que estejam contaminadas com *Meloidogyne* spp. Além disso, inovou-se pela metodologia empregada na produção das mudas, ou seja, clone/clone (enxertia de mesa).

Apesar de 100% de compatibilidade entre enxerto e porta-enxerto, não houve efeito significativo na produção ou vigor das plantas, quando o cafeeiro enxertado foi cultivado em área não infestada com *M. paranaensis*, como é comumente observado em *C. arabica* enxertado sobre *C. canephora* (Fahl et al., 1998). O porta-enxerto de *C. canephora*, como a variedade Apoatã sob café arábica, tem também a função de aumentar a capacidade exploratória do sistema radicular, a tolerância ao déficit hídrico e a relação raiz/parte aérea, características essas que o clone C14 pode até ter exercido, mas não apresentou efeito na parte aérea dos clones enxertados de *C. canephora*.

O fechamento estomático é considerado como o indicador primário de déficit hídrico (DaMatta, Rena, 2001) e um dos parâmetros fisiológicos que podem ser usados na seleção de genótipos resistentes de cafeeiro a *M. paranaensis* (Silva et al., 2015). No clone suscetível e produtivo 12V o fechamento parcial dos estômatos não ocasionou reduções significativas na taxa fotossintética. Dessa maneira, a redução no fechamento dos estômatos ( $g_s$ ) associada à manutenção de  $A$ , é indicativo de maior eficiência do uso da água. De acordo com Silva et al., 2010, uma maior eficiência do uso da água pode ser um atributo vantajoso para a planta sob estresse abiótico (seca). Mas, os mesmos autores ainda destacaram que essa característica só é vantajosa para período curto de estresse. No caso dos clones de cafeeiro sob efeito biótico contínuo (fitonematoides) deve-se considerar a necessidade de mais pesquisas.

Considerando que a região produtora de café conilon vem sofrendo com mudanças climáticas e períodos de estiagens prolongados e frequentes, e que esse cafeeiro necessita da retirada dos ramos ortotrópicos (poda programada), o porta-enxerto C14 pode ser uma ferramenta importante na eficiência produtiva da cafeicultura de conilon, pois combina resistência a *M. paranaensis* e capacidade de tolerância diferencial à seca aliada a manutenção da exportação de assimilados e do status hídrico adequado, obtidas pela combinação de sistema radicular mais profundo e controle estomático da transpiração (DaMatta e Ramalho, 2006).

Portanto, conclui-se que apesar de *C. canephora* ser uma das principais fontes de genes de resistência a nematoides, *M. paranaensis* foi capaz de causar prejuízos quantitativos e qualitativos significativos em clones comerciais de cafeeiro conilon cultivados a campo. O clone 1V se mostrou altamente suscetível e, portanto, inapropriado para cultivo em áreas infestadas com *M. paranaensis*. O clone 12V, apesar de suscetível, apresentou até o quinto ano de plantio resultados satisfatórios de desenvolvimento e produtividade, mas devido a sua suscetibilidade a *M. paranaensis* requer mais tempo de avaliação. O clone 14 mostrou-se adequado para uso como porta enxerto em áreas infestadas, porém não apresentou vantagens competitivas para áreas isentas de *M. paranaensis*. Sendo assim, a cafeicultura moderna de conilon necessita de pesquisas que vão além do acréscimo à produtividade ou do uso de porta-enxertos, como um melhor conhecimento da composição genética desse cafeeiro, para manter e ampliar os genes de resistência aos nematoides das galhas em clones produtivos.

## 2.5 REFERÊNCIAS

- Barros AF, Oliveira RDL, Lima IM, Coutinho RR, Ferreira AO, Costa A (2014) Root-knot nematodes, a growing problem for Conilon coffee in Espírito Santo state, Brazil. *Crop Protection*, 55:74-79.
- Bertrand B, Anthony F (2008) Genetics of resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) and breeding. In: Souza, RM (Ed.) *Plant-Parasitic Nematodes of Coffee*. Springer Science Business. pp.165-190.
- Bittenbender HC, Schmitt DP, Serracin M, Cavaletto CG (2001) Fukunaga, Coffee Rootstock Resistant to the Kona Coffee Root-Knot Nematode. *New Plants for Hawaii*. College of Tropical Agriculture and Human Resources (CTAHR). Disponível em: <https://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/NPH-6.pdf> Acesso em: 10/02/2016.
- Cabos RYM, Sipes BS, Nagai C, Serracin M, Schmitt DP (2010) Evaluation of coffee genotypes for root-knot nematode resistance. *Nematropica*, 40:191-202.
- Carneiro RMDG, Carneiro RG, Abrantes IMO, Santos MSN, Almeida AS (1996) *Meloidogyne paranaensis* n. sp. (Nemata: Meloidogynidae), a root-knot nematode parasiting coffee in Brazil. *Journal of Nematology*, 28:177-189.
- Costa WM, Gonçalves W, Fazuoli LC (1991) Produção do café Mundo Novo em porta-enxertos de *Coffea canephora* em área infestada com *Meloidogyne incognita* Raça 1. *Nematologia Brasileira*, 15:43-50.
- Covre AM, Partelli FL, Gontijo I, Zucoloto M (2015) Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50:1006-1016.
- DaMatta FM, Chaves ARM, Pinheiro HA, Ducatti C, Lour ME (2003) Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Science*, 164:111-117.

DaMatta, FM, Rena, AB (2001) Tolerância do café à seca. In: Zambolim L (Ed.), Tecnologias de produção de café com qualidade, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. pp. 65-100.

DaMatta FM, Ramalho JDC (2006) Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18:55-81.

DaMatta FM, Ronchi CP, Maestri M, Barros RS (2010) Coffee: environment and crop physiology. In: DaMatta FM (Ed.) *Ecophysiological of Tropical Tree Crops*. Nova Science Publishers, Inc, New York, p.181-216.

Di Vito M, Magunacelaya JC, Ahumada T, Catalano F (2009) Relationships between initial population densities of *Meloidogyne ethiopica* and growth of vinifera grape in pots. *Nematologia Mediterranea*, 37:105-108.

Di Vito M, Parisi B, Catalano, F (2004) Effect of population densities of *Meloidogyne incognita* in common bean. *Nematologia Mediterrânea*, 32:81-85.

Fahl JI, Carelli MLC, Gallo PB, Costa WM, Novo MCSS (1998) Enxertia de *Coffea arabica* sobre progênies de *Coffea canephora* e de *Coffea congensis* no crescimento, nutrição mineral e produção. *Bragantia*, 57: 297-312.

Ferrão MAG, Fonseca AFA, Ferrão RG, Verdin Filho AC, Volpi PS, DaMata FM, Guarçoni RC (2009) Comportamento de clones promissores de café conilon em condição de déficit hídrico e irrigação. In: Embrapa Café, 2009, Brasília, DF. Inovação científica, competitividade e mudanças climáticas. Brasília, DF: Embrapa Café.

Fonseca AFA, Ferrão MAG, Ferrão RG, Verdin Filho AC, Volpi PS, Zucateli F (2004) Conilon Vitória-INCAPER 8142: improved *Coffea canephora* var. Kouillou clone cultivar for the State of Espírito Santo. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 4:503-505.

Goeldi EA (1892) Relatório sobre a moléstia do cafeeiro na Província do Rio de Janeiro. *Arquivos do Museu Nacional*, Rio de Janeiro, 8:103-115.

Huang SP, Souza PE, Campos VP (1984) Seasonal variation of a *Meloidogyne exigua* population in a coffee plantation. *Journal of Nematology*, 16:115-117.

International Coffee Organization (ICO) Relatório sobre o mercado de café – dezembro/2015 Disponível em: [http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/publicacoes\\_tecnicas/Relatorio\\_sobre\\_o\\_mercado\\_de\\_cafe\\_Dezembro\\_2015\\_1.pdf](http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Relatorio_sobre_o_mercado_de_cafe_Dezembro_2015_1.pdf). Acesso em: 10/02/2016.

Jenkins WR (1964) A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, 48:692.

Lima EA, Furlanetto C, Nicole M, Gomes AC, Almeida MRA, Junior AJ, Correa VR, Salgado SM, Ferrão MAG, Carneiro RMDG (2015) The Multi-Resistant Reaction of Drought-Tolerant Coffee 'Conilon Clone 14' to *Meloidogyne* spp. and Late Hypersensitive-Like Response in *Coffea canephora*. *Phytopathology*, 105:805-14.

Partelli FL, Covre AM, Oliveira MG, Alexandre RS, Vitória EL, Silva MB (2014) Root system distribution and yield of 'Conilon' coffee propagated by seeds or cuttings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49:349-355.

Partelli FL, Marré WB, Falqueto AR, Vieira HD, Cavatti PC (2013) Seasonal vegetative growth in genotypes of *Coffea canephora*, as related to climatic factors. *Journal of Agricultural, Science*, 5:108-116.

Regina MA, Souza CR, Dias FAN (2012) Propagação de *Vitis* spp. pela enxertia de mesa utilizando diferentes porta-enxertos e auxinas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34:897-904.

Ronchi CP, DaMatta FM (2007) Aspectos fisiológicos do café Conilon. *In*: Ferrão RG, Fonseca AFA, Bragança SM, Ferrão MAG., Muner LH (Eds.) *Café Conilon*. Vitória, BR. Incaper. pp. 95-119.

Serracin M, Schmitt DP (2000) *Meloidogyne konaensis* and coffee rootstock interactions at two moisture regimes in four soils. *Nematropica*, 32:65-74.



Silva VA, Antunes WC, Guimarães BLS, Paiva RMC, Silva VF, Ferrão MAG, DaMatta FM, Loureiro ME (2010) Resposta fisiológica de clone de café conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45:457-464.

Silva VA, Salgado SML, Sá LA, Reis AM, Silveira HRO, Mendes ANG, Barbosa JPRAD, Pereira AA (2015) Uso de características fisiológicas na identificação de genótipos de café arábica tolerantes ao *Meloidogyne paranaensis*. *Coffee Science*, 10: 242-250.

Souza RM, Volpato A, Viana AP (2008) Epidemiology of *Meloidogyne exigua* in an upland coffee plantation in Brazil. *Nematologia Mediterranea*, 36:13-17.

Tronconi NM, Ferraz S (1985) Comportamento de *Meloidogyne exigua* em mudas de cafeeiro plantadas em diferentes tipos de solo. *Fitopatologia Brasileira*, 10:356.

## 2.6 MATERIAL SUPLEMENTAR

### I - CARACTERÍSTICAS DE DESENVOLVIMENTO DA PLANTA

Tabela 1S - Altura média (cm) de 4 clones de cafeeiro conilon, pés francos e enxertados sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média
	Sadia			Infestada			
1V	254,67	a	A	162,50	a	B	208,58 a
12V	267,00	a	A	165,00	a	B	216,00 a
13V	235,33	a	A	174,33	a	B	204,83 a
C14	219,83	a	A	156,33	a	B	188,08 a
Média	244,21	A		164,54	B		

Clone enxertado	Área						Média
	Sadia			Infestada			
1V	240,67	ab	A	167,50	a	B	204,08 a
12V	265,33	a	A	134,27	a	B	199,80 a
13V	239,00	ab	A	146,50	a	B	192,75 a
C14	197,00	b	A	145,47	a	B	171,23 a
Média	235,50	A		148,43	B		

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Média dos anos agrícolas 2013/2014/2015.

Tabela 2S - Número médio de ramos plagiotrópicos produtivos avaliados em 4 clones de cafeeiro conilon, pés francos e enxertados sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média
	Sadia			Infestada			
1V	28,50	a	A	19,50	b	B	24,00 a
12V	27,77	a	A	26,77	ab	A	27,27 a
13V	29,10	a	A	23,33	ab	A	26,22 a
C14	27,57	a	A	29,33	a	A	28,45 a
Média	28,23	A		24,73	B		

Clone enxertado	Área						Média
	Sadia			Infestada			
1V	30,83	a	A	26,00	b	A	28,42 b
12V	35,00	a	A	35,20	a	A	35,10 a
13V	31,10	a	A	27,67	ab	A	29,38 ab
C14	30,57	a	A	29,23	ab	A	29,90 ab
Média	31,88	A		29,53	A		

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Média dos anos agrícolas 2013/2014/2015.

Tabela 3S – Número médios de ramos plagiotrópicos vegetativos de clones de cafeeiro conilon, pé franco e enxertado sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	21,13	a	A	15,50	a	A	18,32	a
12V	24,13	a	A	21,90	a	A	23,02	a
13V	22,57	a	A	18,50	a	A	20,53	a
C14	21,90	a	A	19,10	a	A	20,50	a
Média	22,43	A		18,75	B			

Clone enxertado	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	22,67	a	A	20,50	b	A	21,58	b
12V	23,00	a	A	19,90	b	A	21,45	b
13V	23,23	a	B	36,67	a	A	29,95	a
C14	21,33	a	A	15,83	b	A	18,58	b
Média	22,56	A		23,23	A			

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Média dos anos agrícolas 2013/2014/2015.

Tabela 4S - Médias de roseta/ramo plagiotrópico produtivo de 4 clones de cafeeiro conilon, pé franco e enxertado sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	14,77	a	A	6,00	b	B	10,38	b
12V	15,67	a	A	11,00	a	B	13,33	a
13V	14,53	a	A	9,50	a	B	12,02	ab
C14	13,23	a	A	11,33	a	A	12,28	ab
Média	14,55	A		9,46	B			

Clone enxertado	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	14,67	a	A	10,17	b	B	12,42	a
12V	13,63	a	A	14,33	a	A	13,98	a
13V	15,00	a	A	13,63	a	A	14,32	a
C14	15,30	a	A	11,33	ab	B	13,32	a
Média	14,65	A		12,37	B			

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Média dos anos agrícolas 2013/2014/2015.

Tabela 5S - Médias do número de frutos/roseta de 4 clones de cafeeiro conilon, pé franco e enxertado sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média
	Sadia			Infestada			
1V	17,97	a	A	10,77	b	B	14,37 b
12V	19,10	a	A	15,33	a	B	17,22 a
13V	18,10	a	A	14,67	a	B	16,38 ab
C14	16,77	a	A	15,90	a	A	16,33 ab
Média	17,98	A		14,17	B		

Clone enxertado	Área						Média
	Sadia			Infestada			
1V	17,23	ab	A	16,67	ab	A	16,95 b
12V	18,90	a	A	19,43	a	A	19,17 a
13V	17,10	ab	A	18,37	ab	A	17,73 ab
C14	15,43	b	A	15,90	b	A	15,67 b
Média	17,17	A		17,59	A		

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Média dos anos agrícolas 2013/2014/2015.

Tabela 6S - Produtividade média (sc de grãos beneficiados/ha) de 4 clones de cafeeiro conilon, pé franco e enxertado sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média
	Sadia			Infestada			
1V	74,33	a	A	41,10	b	B	57,72 b
12V	86,90	a	A	72,00	a	A	79,45 a
13V	77,43	a	A	69,10	a	A	73,27 a
C14	52,00	b	A	63,13	a	A	57,57 b
Média	72,67	A		61,33	B		

Clone enxertado	Área						Média
	Sadia			Infestada			
1V	77,43	ab	A	67,43	ab	A	72,43 a
12V	86,47	a	A	76,47	a	A	81,47 a
13V	73,20	ab	A	76,67	a	A	74,93 a
C14	56,33	b	A	54,23	b	A	55,28 b
Média	73,36	A		68,70	A		

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Média dos anos agrícolas 2013/2014/2015.

## II - CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS – Ano 2014

Tabela 7S - Taxa assimilatória de CO<sub>2</sub> de 4 clones de cafeeiro conilon, pé franco e enxertado sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	9,59	a	A	3,26	b	B	6,42	b
12V	10,46	a	A	8,87	a	B	9,66	a
13V	10,33	a	A	6,85	a	B	8,59	a
C14	9,19	a	A	7,38	a	B	8,28	a
Média	9,89	A		6,59	B			

Clone enxertado	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	12,57	a	A	9,27	b	B	10,92	a
12V	10,74	a	B	13,04	a	A	11,89	a
13V	12,29	a	A	11,73	a	A	12,01	a
C14	8,65	b	A	7,17	c	A	7,91	b
Média	11,06	A		10,31	A			

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n=5.

Tabela 8S - Condutância estomática para vapor de H<sub>2</sub>O de 4 clones de cafeeiro conilon, pé franco e enxertado sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	0,2213	ab	A	0,0437	b	B	0,1325	bc
12V	0,2488	a	A	0,1509	a	B	0,1998	a
13V	0,2646	a	A	0,0881	ab	B	0,1764	ab
C14	0,1618	b	A	0,0710	b	B	0,1164	c
Média	0,2241	A		0,0884	B			

Clone enxertado	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	0,3008	a	A	0,1224	b	B	0,2116	b
12V	0,2098	b	A	0,2356	a	A	0,2227	b
13V	0,3091	a	A	0,2864	a	A	0,2978	a
C14	0,1690	b	A	0,0647	b	B	0,1169	c
Média	0,2472	A		0,1773	B			

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n=5.

Tabela 9S - Concentração interna de CO<sub>2</sub> (μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>) de 4 clones de cafeeiro conilon, pé franco e enxertado sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	291,34	ab	A	244,20	a	B	267,77	a
12V	301,59	a	A	260,89	a	B	281,24	a
13V	297,73	ab	A	231,61	ab	B	264,67	a
C14	263,91	b	A	202,46	b	B	233,19	b
Média	288,64	A		234,79	B			

Clone enxertado	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	287,57	a	A	233,98	b	B	260,77	b
12V	260,74	a	A	260,93	ab	A	260,83	b
13V	291,54	a	A	287,59	a	A	289,56	a
C14	274,34	a	A	192,07	c	B	233,21	c
Média	278,54	A		243,64	B			

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n=5.

Tabela 10S - Taxa transpiratória (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) de 4 clones de cafeeiro conilon, pé franco e enxertado sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	3,99	a	A	1,39	b	B	2,69	b
12V	4,66	a	A	3,66	a	B	4,16	a
13V	4,64	a	A	2,39	b	B	3,52	ab
C14	4,24	a	A	1,77	b	B	3,00	b
Média	4,38	A		2,30	B			

Clone enxertado	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	5,29	a	A	3,63	b	B	4,46	a
12V	4,82	a	A	4,76	ab	A	4,79	a
13V	5,11	a	A	5,49	a	A	5,30	a
C14	4,33	a	A	1,54	c	B	2,94	b
Média	4,89	A		3,85	B			

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n=5.

## II - CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS - Ano 2015

Tabela 11S - Taxa assimilatória de CO<sub>2</sub> de 4 clones de cafeeiro conilon, pé franco e enxertado sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	10,39	a	A	4,62	c	B	7,50	b
12V	11,26	a	A	8,48	b	B	9,87	a
13V	9,83	a	A	11,09	a	A	10,46	a
C14	7,51	b	A	7,81	b	A	7,66	b
Média	9,75	A		8,00	B			

Clone enxertado	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	11,21	a	A	10,05	ab	A	10,63	a
12V	11,67	a	A	11,53	a	A	11,60	a
13V	11,54	a	A	12,02	a	A	11,78	a
C14	8,45	b	A	8,19	b	A	8,32	b
Média	10,72	A		10,45	A			

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n=5.

Tabela 12S - Condutância estomática para vapor de H<sub>2</sub>O de 4 clones de cafeeiro conilon, pé franco e enxertado sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	0,2084	ab	A	0,0978	b	B	0,1531	bc
12V	0,2536	a	A	0,1318	b	B	0,1927	ab
13V	0,2092	ab	A	0,2250	a	A	0,2171	a
C14	0,1701	b	A	0,0853	b	B	0,1277	c
Média	0,2103	A		0,1350	B			

Clone enxertado	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	0,2604	a	A	0,1386	bc	B	0,1995	ab
12V	0,1666	bc	A	0,1959	ab	A	0,1812	b
13V	0,2340	ab	A	0,2368	a	A	0,2354	a
C14	0,1592	c	A	0,0940	c	B	0,1266	c
Média	0,2051	A		0,1663	B			

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n=5.

Tabela 13S - Concentração interna de CO<sub>2</sub> (μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>) de 4 clones de cafeeiro conilon, pé franco e enxertado sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	279,64	a	A	280,75	a	A	280,20	a
12V	286,68	a	A	256,84	ab	B	271,76	a
13V	284,56	a	A	271,95	a	A	278,26	a
C14	297,48	a	A	219,68	b	B	258,58	a
Média	287,09	A		257,31	B			

Clone enxertado	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	286,78	a	A	244,96	ab	B	265,87	ab
12V	242,84	b	A	252,56	ab	A	247,70	b
13V	280,00	ab	A	275,24	a	A	277,62	a
C14	266,96	ab	A	222,36	b	B	244,66	b
Média	269,15	A		248,78	B			

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n=5.

Tabela 14S - Taxa transpiratória (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) de 4 clones de cafeeiro conilon, pé franco e enxertado sobre clone 14, cultivados em áreas sadia e infestada com *Meloidogyne paranaensis*.

Clone pé franco	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	7,10	a	A	4,60	b	B	5,85	a
12V	8,23	a	A	4,83	b	B	6,53	a
13V	6,44	a	A	7,96	a	A	7,20	a
C14	3,58	b	A	3,03	b	A	3,31	b
Média	6,34	A		5,11	B			

Clone enxertado	Área						Média	
	Sadia			Infestada				
1V	6,84	a	A	4,96	bc	B	5,90	a
12V	6,96	a	A	6,96	ab	A	6,96	a
13V	6,89	a	A	7,79	a	A	7,34	a
C14	5,10	a	A	3,21	c	B	4,16	b
Média	6,45	A		5,73	A			

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n=5.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados obtidos em condições controladas e visando a sustentabilidade da cultura do conilon a campo, dois fatos devem ser melhor estudados. Primeiro, determinar se a agressividade de *M. incognita* aos clones C14 (considerado resistente) e 12V (suscetível) foi resultado do vigor da muda, da raça de *M. incognita*, de alguma variável edáfica ou ainda, da interação desses fatores. Segundo, como ficou evidente a redução do sistema radicular dos clones inoculados (condições controladas), se faz necessário determinar a consequência dessa restrição radicular nas trocas gasosas e no potencial hídrico da planta.

A região apta ao cultivo do conilon no Espírito Santo apresenta restrições hídricas na maioria dos meses do ano, então, mais estudos devem ser realizados para averiguar a interação do déficit hídrico e a flutuação da população de *Meloidogyne* spp. nessas áreas e seu efeito sobre o conilon.

Em condições de campo infestado e com alta densidade de inóculo cm<sup>3</sup>, o clone 12V destacou-se como o clone mais produtivo e com fenótipo favorável para todas as características avaliadas, mostrando-se nas condições experimentais uma certa tolerância a *M. paranaensis*, todavia os resultados desfavoráveis obtidos em condições controladas, ainda na fase vegetativa de crescimento do clone, sustentam que novas pesquisas a campo com índice de infestação inicial superior a desse experimento devem ser realizadas. Isso posto, e considerando que o cafeeiro conilon é uma planta perene de crescimento lento e que possui tratos culturais estressante como eliminação de ramos plagiotrópicos anual e poda programada de ramos ortotrópicos, o que compromete tanto a parte aérea quanto o sistema radicular, é necessário maior tempo de avaliação a campo para classifica-lo com segurança como tolerante a *M. paranaensis*.

Os clones 13V e C14 apresentaram a menor população de *M. paranaensis* nas raízes durante o período de avaliação a campo, demonstrando serem clones candidatos a integrarem planos de manejo integrado de áreas infestadas ou programas de melhoramento visando a resistência a *M. paranaensis*. Inclusive, o C14, assim como o uso do mesmo como porta-enxerto, se mostraram viáveis para manejo de *M. paranaensis*, pois não alterou as características produtivas e fisiológicas do enxerto, numa clara reação de compatibilidade entre enxerto e porta-enxerto.

Graças a disponibilidade de genes de resistência à *Meloidogyne* spp. encontrados em *C. canephora*, o uso de porta-enxerto resistente deve ser considerado como uma opção em casos específicos, como indisponibilidade imediata de clones produtivos e resistentes, devendo sempre priorizar a busca de um clone com essas características.