



**LILLIAN MAGALHÃES AZEVEDO**

**POTENCIAL MORFOFISIOLÓGICO DE PORTA ENXERTO  
DE *Coffea arabica* RESISTENTE A *Meloidogyne paranaensis***

**LAVRAS - MG  
2020**

**LILLIAN MAGALHÃES AZEVEDO**

**POTENCIAL MORFOFISIOLÓGICO DE PORTA ENXERTO DE *Coffea arabica*  
RESISTENTE A *Meloidogyne paranaensis***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Dra. Vânia Aparecida Silva  
Orientadora  
Prof. Dr. Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori  
Coorientador

**LAVRAS - MG  
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Azevedo, Lillian Magalhães.

Potencial morfofisiológico de porta enxerto de *Coffea arabica*  
resistente a *Meloidogyne paranaensis* / Lillian Magalhães Azevedo.  
- 2020.

42 p.

Orientador(a): Vânia Aparecida Silva.

Coorientador(a): Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Café. 2. Enxertia. 3. Nematoides das galhas. I. Silva, Vânia  
Aparecida. II. Marchiori, Paulo Eduardo Ribeiro. III. Título.

**LILLIAN MAGALHÃES AZEVEDO**

**POTENCIAL MORFOFISIOLÓGICO DE PORTA ENXERTO DE *Coffea arabica*  
RESISTENTE A *Meloidogyne paranaensis*  
MORPHOPHYSIOLOGICAL POTENTIAL OF *Meloidogyne paranaensis* RESISTANT  
*Coffea arabica* ROOTSTOCK**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 10 de fevereiro de 2020  
Dra Vânia Aparecida Silva EPAMIG  
Dr Willian César Terra UFLA  
Dr Gladyston Rodrigues Carvalho EPAMIG

Dra. Vânia Aparecida Silva  
Orientadora  
Prof. Dr. Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2020**

*Aos meus pais Rodrigo e Marlene por serem meus exemplos de vida.*

*Ao meu irmão Wendell por todo apoio e carinho.*

*Ao meu namorado Caio pelo amor e motivação.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para concluir todo esse trabalho.

Ao meu pai Rodrigo, pelo amor e apoio incondicional em todas as minhas decisões nas diferentes etapas da minha vida.

À minha mãe Marlene, heroína que sempre me deu força, coragem e incentivo nas horas difíceis de desânimo.

Ao meu irmão Wendell, que mesmo longe, me apoiou e sempre se fez presente em minha vida.

Aos meus inesquecíveis avós “Terezinha” e “Tônho”, Idalina e “Setenta”, exemplos de amor e honestidade, figuras de grande importância em minha formação.

Ao meu namorado Caio que esteve ao meu lado em todas as etapas me apoiando e motivando a nunca desistir dos meus sonhos, por todo carinho e paciência.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Setor de Fisiologia Vegetal, pela oportunidade e aprendizado adquirido.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais e funcionários (EPAMIG) pela disponibilidade do local onde foi realizado o trabalho.

À minha orientadora Vânia Aparecida Silva, primeiramente pela amizade e por todo conhecimento que foi passado a mim, pelas suas correções, paciência e incentivo.

À pesquisadora Sônia Maria Salgado pelos ensinamentos e pelo suporte para a realização desse trabalho.

Aos meus colegas de trabalho, Francisco Hélio Alves de Andrade, Lermen Forigua Acosta e Jacqueline Oliveira que se tornaram grandes amigos e estiveram comigo em todas as etapas do trabalho.

Aos grupos do “Coffee del LEV” e “Tendel”, amigos que fiz durante o mestrado em Fisiologia Vegetal que me proporcionaram momentos de descontração, amizade e incentivo.

A todos funcionários e colegas do DBI/UFLA.

A todos que de alguma maneira fizeram parte da minha formação, vocês construíram comigo um sonho que hoje se torna realidade.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

MUITO OBRIGADA

## RESUMO

Tendo em vista que a área contaminada por *Meloidogyne paranaensis* tem aumentado nas principais regiões produtoras de café, e que esse é um nematoide extremamente prejudicial à cafeicultura, surge a necessidade da investigação de técnicas de manejo que sejam eficazes, de baixo custo e de recomendação imediata. Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o potencial de genótipo de *Coffea arabica* resistente a *M. paranaensis* para uso como porta enxerto para cultivar altamente suscetível, como o Catuaí Vermelho IAC 144. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial de 6 combinações de enxertia, sendo pé franco correspondendo as mudas não enxertadas da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 e do genótipo 28 em estudo, auto-enxertia desses materiais e enxertia de Catuaí no genótipo 28 e genótipo 28 enxertado no Catuaí. Nesse esquema de enxertia foram aplicados dois níveis do nematoide *M. paranaensis*, quais sejam presença e ausência com 8 repetições, sendo cada parcela constituída por uma planta por vaso. Foi avaliado o crescimento, trocas gasosas, potencial hídrico e fator de reprodução dos nematoides (FR). Verificou-se aos 0, 65, 101, 147, 190 e 250 dias após a inoculação (DAI) que em mudas com o genótipo resistente como porta enxerto não houve alteração no crescimento, na taxa fotossintética e potencial hídrico quando inoculadas. Além disso, essas mudas apresentaram baixo fator de reprodução, representado por um valor menor do que 10% do fator de reprodução do controle suscetível. Conclui-se que a o porta enxerto do genótipo 28 mostrou potencial para uso como porta enxerto para o Catuaí, produzindo mudas altamente resistentes ao *M. paranaensis*.

**Palavras-chaves:** Café. Enxertia. Nematoides das galhas. Crescimento.

## ABSTRACT

Bearing in mind that the area contaminated by *Meloidogyne paranaensis* has been increasing in the main coffee growing regions, and that it is an extremely harmful nematode to coffee farming, arises the need to investigate effective, low-cost and short-term management techniques. Facing that, the aim of this work is to evaluate the genotype potential of *M.paranaensis* resistant *Coffea arabica* for use as rootstock with highly susceptible cultivars, such as IAC 144 Catuaí Vermelho. The experiment was conducted in a greenhouse in a randomized block design in a factorial scheme of 6 grafting combinations which were, ungrafted IAC 144 Catuaí Vermelho and genotype 28 seedlings, self-grafting of these materials, Catuaí grafting in genotype 28 and genotype 28 grafted in Catuaí. Two levels of *M.paranaensis* nematode were applied in this grafting scheme, namely presence and absence through 8 replications, each plot consisting of one plant per pot. Growth, gas exchange, water potential and nematode replication factor (RF) were evaluated. It was found that at 0, 65, 101, 147 and 250 days after inoculation (DAI), resistant genotype seedlings used as rootstock presented no change in growth, photosynthetic rate and water potential when inoculated. In addition, these seedlings demonstrated low nematode replication factor, represented by a value lower than 10% of the susceptible control's replication factor. It follows that genotype 28 rootstocks presented potential for use as rootstock for Catuaí, producing seedling which are highly resistant to *M. paranaensis*.

**Keywords:** Coffee. Grafting. Galls nematodes. Growth.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Material biológico e enxertia.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 Delineamento experimental e inoculação dos nematoides.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 Análises fisiológicas .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4 Análise nematológica.....</b>	<b>18</b>
<b>3.5 Análise Estatística .....</b>	<b>18</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>19</b>
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>38</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O ataque de fitonematoides tem sido um grande problema para a cafeicultura brasileira, devido às condições climáticas do país favorecer a incidência desses patógenos durante todo o ciclo da cultura. Esses parasitas interferem no crescimento e desenvolvimento das plantas, contribuindo para a queda de produtividade nas lavouras, sendo a espécie *Meloidogyne paranaensis* a mais prejudicial em virtude da sua alta agressividade e destruição do sistema radicular.

Visto que a área contaminada por *Meloidogyne paranaensis* tem aumentado no Brasil e que esse é um nematoide extremamente prejudicial às lavouras cafeeiras, a técnica de enxertia utilizando porta enxerto resistente tem possibilitado o cultivo de cafeeiro em áreas onde há incidência de nematóides, por ser uma técnica eficaz, de baixo custo e de recomendação imediata.

Dentre as espécies de cafeeiro que apresentam resistência a *Meloidogyne paranaensis*, *Coffea canephora* se destaca em relação à *Coffea arabica*, em que a maioria das cultivares comerciais são consideradas suscetíveis. Apesar de *C. arabica* ser mais suscetível a nematoides, trata-se de uma espécie autógama, ou seja, apresenta uma maior estabilidade fenotípica.

Dessa forma, existe disponível no programa de melhoramento de café da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), genótipo de *Coffea arabica* resistente a *Meloidogyne paranaensis*, mas que ainda não foi melhorado em características agronômicas como porte e uniformidade de maturação, o que demanda muito tempo. Portanto, possui potencial como porta enxerto às cultivares “elites” altamente suscetíveis, como a cultivar Catuaí.

Porém, até o momento não foram realizados estudos dos impactos da enxertia sobre o crescimento, desenvolvimento e sobre a ecofisiologia das plantas enxertadas e, portanto, sobre a viabilidade de utilização desse genótipo como porta enxerto. Além disso, a maioria dos estudos tem focado basicamente em parâmetros fitotécnicos, como crescimento e produção para estudar o comportamento de genótipos em áreas infestadas por *M. paranaensis*. No entanto, avaliações de características fisiológicas tem se mostrado de extrema importância para identificação de resistência a nematoides nesses genótipos.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial morfofisiológico do genótipo de *Coffea arabica* para uso como porta enxerto para a cultivar Catuaí para produção de mudas resistentes a *M. paranaensis*.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### Cultura do Cafeeiro

O cafeeiro pertence à família *Rubiaceae* e ao gênero *Coffea*. Dentre 120 espécies descritas, apenas duas são de grande importância econômica, *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (IOC, 2015), sendo conhecidas popularmente como Arábica e Conilon, respectivamente.

O café tem sua origem na Etiópia e foi introduzido no norte do Brasil no século XVIII e, devido às condições edafoclimáticas semelhantes ao seu local de origem, se estabeleceu rapidamente ao longo do território nacional. A produção de café arábica se concentra nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia e Espírito Santo, enquanto a produção de conilon se concentra no Espírito Santo e Rondônia. (REIS; CUNHA, 2010).

O Brasil, na safra de 2018, foi responsável pela produção de 61,7 milhões de sacas de 60 kg, um novo recorde da cafeicultura brasileira. Nesse mesmo ano o café atingiu valor bruto de R\$ 25,05 bilhões de reais, sendo R\$ 20,10 bilhões de café arábica. Nesse contexto, o café arábica representa 80% da produção brasileira, sendo Minas Gerais o estado que se destaca como maior produtor, responsável por um total de 33.360,4 milhões de sacas, o que representa 50% da produção nacional (CONAB, 2018).

Aliado a importância econômica, a produção cafeeira também está ligada a aspectos sociais, uma vez que cerca de 8 milhões de pessoas fazem parte dessa atividade produtiva, gerando empregos diretos e indiretos e proporcionando renda aos trabalhadores e suas famílias (CONAB, 2018).

### Fitonematoides na cultura do cafeeiro

*Meloidogyne* spp. são endoparasitas sedentários e todos possuem um ciclo de vida semelhante. Os ovos presentes no solo ou até mesmo em plantas eclodem dando origem aos juvenis do segundo estágio (J2), que se movem até as pontas das raízes onde penetram e migram para baixo pelas células do córtex até a região do meristema apical. Ao atingirem o tecido vascular secretam substâncias que provocam hipertrofia e hiperplasia nos tecidos da planta induzindo a formação de galhas nas raízes (SAUCET et al., 2016).

A partir dessas células gigantes, os nematoides extraem nutrientes necessários para seu desenvolvimento e reprodução. Eles se tornam juvenis sedentários do terceiro estágio e finalmente se transformam em fêmeas adultas, podendo depositar massas gelatinosas contendo mais de 1000 ovos. Os machos não parasitam as plantas e abandonam as raízes (SAUCET et al., 2016). Além da formação das galhas, o parasitismo induz alterações anatômicas nas raízes, tais como, descorticamento, rachaduras e pontas necróticas ao longo das raízes mais velhas, o que afeta a absorção de água e nutrientes, resultando em clorose das folhas devido à deficiência nutricional, seguidas de redução no crescimento das plantas e, conseqüentemente, na produção (VILLAIN et al., 2018).

Além das alterações morfológicas e anatômicas, muitos processos fisiológicos da planta hospedeira como a respiração, fotossíntese, absorção e translocação de água e nutrientes e balanço hormonal podem ser afetados direta ou indiretamente pelo parasitismo dos nematoides (LU et al., 2014; WALTERS et al., 2015). Ao se estabelecer nas plantas, esse parasita estimula a mobilização dos fotoassimilados da parte aérea para as raízes, assumindo a condição de um dreno metabólico, resultado da alta atividade metabólica das células gigantes (GOULART et al., 2018). Isso ocorre para suprir suas necessidades principalmente na fase de reprodução, já que as fêmeas precisam de fonte de energia para a produção de ovos. Exemplo disso foi demonstrado por Machado et al. (2012) que observou um aumento na concentração de sacarose em raízes de cafeeiro após a inoculação com *M.exigua*.

Diversos estudos relatam uma redução na taxa fotossintética e no potencial hídrico de plantas parasitadas por nematoides (STRAJNAR et al., 2012; SILVA et al., 2015 ; GOULART et al., 2018). Isso se deve aos danos causados às raízes, que comprometem a absorção de água e nutrientes (REZENDE et al., 2012). No entanto, para evitar a perda de água pela transpiração, ocorre o fechamento parcial dos estômatos, resultando na redução da entrada de CO<sub>2</sub> nas folhas e, conseqüentemente da taxa fotossintética (TEZARA et al., 1999). Já no experimento realizado por Abrão e Mazzafera (2001) em plantas de algodoeiro inoculadas com *M. incognita*, foi observado um aumento na fotossíntese, teor de clorofila e de massa seca nas raízes, porém resultou em uma diminuição de massa seca na parte aérea.

Sendo assim, o ataque de fitonematoides tem sido um grande problema para a cafeicultura brasileira, visto que esses parasitas interferem em processos fisiológicos afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas hospedeiras, resultando em grandes perdas na produção cafeeira (SALGADO et al., 2011). Os prejuízos são variáveis, de acordo com

Carvalho et al. (2017) cultivares suscetíveis apresentaram uma redução na produção de até 20 vezes em relação às cultivares resistentes.

No Brasil, *M. paranaensis* e *M. exigua* destacam-se por serem as espécies responsáveis pelas maiores perdas econômicas do café (SANTOS et al., 2017), sendo *M. paranaensis*, embora menos frequente, encontrado nas principais regiões produtoras de café do país, ou seja, Minas Gerais (SALGADO et al., 2018), São Paulo (FERRAZ, 2008), Paraná (ITO et al., 2013), Espírito Santo (BARROS et al., 2011) e Goiás (SILVA et al., 2009), além de ter sido detectado em outras regiões nas Américas, incluindo a Guatemala e Havaí (CARNEIRO; COFCEWICZ, 2008) e posteriormente no México (LOPEZ-LIMA et al., 2015). Essa espécie se destaca por causar danos mais graves devido a sua facilidade de disseminação, adaptação em diferentes regiões e persistência no solo (SALGADO et al., 2014), resultando em redução na produtividade e aumento no custo da produção.

Deve-se enfatizar que os nematoides são organismos microscópicos, sendo difícil reconhecer e diagnosticar sua presença no campo, por isso têm sido amplamente disseminado por solo e mudas infestadas. Desse modo, a erradicação desses microorganismos quando introduzidos em uma lavoura, é praticamente impossível (SALGADO et al., 2011). Por esses motivos, é de extrema importância a investigação do controle desses microorganismos, especialmente com métodos de controle que tenham menor impacto ambiental e que sejam eficazes.

### **Controle de fitonematoides**

A principal técnica de controle de nematoides é a prevenção, baseia-se em evitar a introdução e disseminação desse patógeno no campo, que ocorre principalmente por meio de mudas infestadas, solo infestado aderido a máquinas e implementos, e água contaminada proveniente de outras propriedades, que através de enxurradas podem atingir uma área isenta de nematoides (SALGADO; REZENDE, 2010). Outras estratégias de manejo são: controle químico, controle genético e uso de porta enxertos resistentes.

O controle químico feito por meio de nematicidas sistêmicos ou de contato possui grandes consequências, pois são substâncias tóxicas que resultam na contaminação humana e ambiental sem, contudo, erradicar os nematoides. Na maioria dos casos esses produtos apenas diminuem a população desses microorganismos por um tempo determinado. Por ser um método altamente agressivo e de alto custo, são necessárias técnicas alternativas de controle

que apresentam um melhor retorno econômico e que sejam mais seguras (MACHADO et al., 2012).

Nesse contexto, a resistência genética presente em algumas espécies de cafeeiro tem sido utilizada para o cruzamento interespecífico possibilitando gerar plantas resistentes a nematoides. A partir do melhoramento visando à resistência genética, foi possível a obtenção de materiais resistentes sem que haja danos ambientais sendo, portanto, uma alternativa mais viável para controle desse patógeno (PERES et al., 2017).

Dentre as espécies que apresentam resistência a nematoides, *Coffea canephora* se destaca em relação à *Coffea arabica*, em que a maioria das cultivares comerciais e tradicionais são consideradas suscetíveis a *M. exigua* (REZENDE et al., 2017), *M. incognita* (GONÇALVES; FERRAZ, 1987) e *M. paranaensis* (SILVA et al., 2015). Apesar de *C. arabica* ser mais suscetível a nematoides, por outro lado, possui alto potencial, vigor vegetativo e qualidade de bebida muito superior, além de ser uma espécie predominantemente autógama, ou seja, praticam autofecundação natural (não ocorre troca de genes entre plantas), por isso as plantas são homozigotas (linhas puras), resultando em uma maior estabilidade fenotípica em comparação com *C. canephora* (BOTELHO et al., 2010).

A cultivar de café arábica “Catuaí” tem sido bastante utilizada em programas de melhoramento por apresentar características agrônomicas desejáveis, como alta produtividade. A variedade Amphillo, que tem sua origem na Etiópia, assim como o Catuaí, também tem sido muito utilizada em programas de melhoramento. A partir do cruzamento desses materiais, várias instituições de pesquisa receberam plantas F2 e a partir da geração F3 a EPAMIG mantém esses materiais no seu Banco de Germoplasma de Café. Peres et al., (2017) relatou que o cruzamento de “Catuaí vermelho” x “Amphillo MR 2-161” resultou em plantas com bons rendimentos e resistência a *M. paranaensis* e *M. incognita*. Sendo esse o único material proveniente do cruzamento de duas cultivares de *C. arábica* que apresentou resistência a ambas as espécies de nematoides.

Outro método eficaz, ecologicamente correto, de curto prazo e que pode estar ao alcance dos produtores, é o uso de plantas enxertadas usando como porta enxerto materiais genéticos resistentes, sendo o porta enxerto selecionado para conferir várias características, como por exemplo, resistência a pragas e doenças e o enxerto conferindo características agrônomicas desejáveis da parte aérea (WARSCHEFSKY et al., 2016). Essa técnica de enxertia é bastante utilizada em cafeeiro com o porta enxerto Apoaã IAC 2258 de *C.*

*canephora* (PAIVA et al., 2012), porém esse material apresenta segregação para resistência a nematoides de 12 % (SANTOS et al., 2017).

Além da resistência do porta enxerto aos fitonematoides, alguns estudos apontam a presença de um sistema radicular mais desenvolvido, resultando em uma maior eficiência para absorção de água e nutrientes em comparação com as plantas não enxertadas. Sendo assim, a utilização de plantas enxertadas proporcionou um melhor desempenho e maior produtividade, mesmo em áreas isentas de nematoides (FERREIRA et al., 2010). Dessa forma, o controle genético utilizando plantas em pé franco ou enxertadas apresenta a melhor chance de sucesso contra os nematóides.

Pasquallotto et al (2015) verificaram que o genótipo MG 0179-3-R1-151-5-3-IV (28) proveniente do cruzamento de “Catuaí Vermelho” x “Amphillo 2-161” apresentou isoladamente maior área superficial e maior volume de raízes quando inoculada com *M. paranaensis*. Outros estudos também mostraram que plantas originárias do cruzamento de “Catuaí Vermelho” x “Amphillo 2-161” apresentaram resistência a *M. paranaensis* (SALGADO et al., 2014; SILVA et al., 2015) e índice de segregação para resistência de apenas 2,4% (SANTOS et al., 2017).

Nesse sentido, existe disponível no programa de melhoramento de café da EPAMIG, genótipo proveniente do cruzamento de “Catuaí Vermelho” x “Amphillo 2-161” resistente a *M. paranaensis*, mas que ainda não foi melhorado em características agrônomicas como porte e uniformidade de maturação, pois requer tempo. Portanto, esse genótipo possui potencial como porta enxerto às cultivares “elites” altamente suscetíveis, como o Catuaí. Sendo assim, objetivo-se no presente trabalho avaliar o potencial morfofisiológico do genótipo de *Coffea arabica* para uso como porta enxerto para a cultivar Catuaí para produção de mudas resistentes a *M. paranaensis*.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Material biológico e enxertia**

O material vegetal utilizado corresponde à genótipo de *Coffea arabica* L. originária do acesso MG 0179-pl.3-R1, em geração F6 e corresponde ao material 28-4-I-151-5-3-IV resistente a *M. paranaensis* conforme Pasquallotto (2015). Sementes desse genótipo e da cultivar suscetível Catuaí Vermelho IAC 144, obtidas da safra de 2018, foram semeadas em saquinhos pretos contendo a mistura terra, areia e esterco bovino (2:1:1) previamente

desinfestado com Basamid® (dazomete), na dose de 50g/m<sup>2</sup>. Os saquinhos com as sementes foram mantidas em casa de vegetação irrigadas sob sistema de aspersão com livre circulação de ar.

Na fase de folha cotiledonar as mudas foram submetidas ao processo de enxertia hipocotiledonar pelo sistema de garfagem. Fitas de Parafilm® foram colocadas no ponto da enxertia para proteção das mudas que permaneceram sob sistema de nebulização até que apresentaram completo pegamento (aproximadamente 40 dias). Após o pegamento, as mudas enxertadas foram transplantadas para vasos de 5 litros contendo mistura previamente desinfestada com Basamid® composta de terra, areia e fertilizante superfosfato simples (18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 16% de Ca e 8% de S). Após esta etapa, as mudas permaneceram em casa de vegetação em condições de 50% de sombreamento e regadas com irrigação por gotejamento duas vezes ao dia durante 5 minutos (volume diário de 170 ml), conforme capacidade de campo, com os tratos necessários ao seu desenvolvimento, conforme recomendação para a cultura.

### **3.2 Delineamento experimental e inoculação dos nematoides**

Foram utilizadas mudas de cafeeiros em pé franco correspondendo as mudas não enxertadas dos materiais cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 (144) e do genótipo 28-4-I-151-5-3-I (28), auto-enxertia desses materiais (144/144 e 28/28) e enxertia da cultivar Catuaí no genótipo 28 (144/28) e esse genótipo enxertado na cultivar Catuaí (28/144). A utilização da auto-enxertia (enxertia de uma cultivar sobre ela mesma) teve por objetivo isolar o efeito do processo de enxertia no crescimento e desenvolvimento dos cafeeiros. A porcentagem de pegamento das mudas foi calculada de acordo com a quantidade de mudas que obtiveram sucesso no pegamento de enxertia.

Na casa de vegetação do Campo Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) em Lavras, localizado no Campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), as mudas foram distribuídas em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial de 6 tipos de mudas em dois níveis de inoculação do nematoide (presença e ausência), com 8 repetições, sendo cada parcela constituída por uma planta por vaso.

O inóculo de *M. paranaensis*, originalmente obtido de área infestada no município de Piumhi, MG e identificado como Mpar EST P1 (SANTOS et al., 2017), foi multiplicado em tomateiro cultivado com cafeeiro no mesmo vaso. Obteve-se o inóculo das raízes desses

tomateiros, cuidadosamente lavadas com água, cortadas em pedaços de 1 cm e trituradas em liquidificador por 40s com solução de hipoclorito de sódio na concentração 0,5% (HUSSEY; BARKER, 1973). O material triturado foi passado por uma peneira, onde os ovos retidos foram coletados e utilizados para inoculação das mudas. Após a extração, foi calibrada uma suspensão aquosa contendo 8000 ovos (concentração de 1,6 ovos por  $\text{cm}^3$  de substrato) de *M. paranaensis*, que foi distribuída por planta em quatro orifícios cilíndricos equidistantes (0,5 cm de largura e 4,0 cm de profundidade) feitos no substrato ao redor do colo da planta quando atingiram 3 a 4 pares de folha definitiva.

Durante o período experimental, de 0 a 250 dias após a inoculação (DAI), a casa de vegetação apresentou temperaturas máximas e mínimas de 38,2°C e 5,6°C, respectivamente, com médias de 21,21°C. A umidade relativa, nesse mesmo período, variou entre 92,8 e 28,8 %, com médias de 71,75 %.

### **3.3 Análises fisiológicas**

#### **3.3.1 Análise de crescimento**

O crescimento foi avaliado aos 0, 65, 101, 147, 190 e 250 DAI, tomando-se por base as seguintes variáveis morfológicas: altura das plantas (medida do colo da planta até o meristema apical), área foliar (medidas com auxílio de uma régua comum), diâmetro do caule (medidas com paquímetro, 3 cm acima do colo da planta) e comprimento dos ramos plagiotrópicos. O acúmulo de massa seca na parte aérea e raiz foram quantificados após a secagem do material vegetal em estufa de circulação forçada a 65° C até peso constante. A massa seca da raiz do sistema inoculado não foi medida devido à necessidade de quantificação dos nematoides na raiz. Dessa maneira a massa seca foi quantificada somente no sistema não inoculado, com objetivo de verificar efeitos da enxertia no crescimento radicular.

#### **3.3.2 Trocas gasosas**

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas aos 101, 147, 190 e 250 DAI com um analisador de gás por infravermelho (LI-6400XT Portable Photosynthesis System, LICOR, Lincoln, USA) em folhas completamente expandidas, no 2° ou 3° pares de folhas. As características avaliadas foram: fotossíntese líquida ( $A$ ;  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$ ;  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ;  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e relação carbono interno/carbono externo ( $C_i/C_a$ ). Todas as avaliações foram realizadas entre 8 e 10 horas com utilização de fonte artificial de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em câmara fechada

fixada em 1500  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Blue + Red LED LI-6400-02B, LI-COR, Lincoln, USA).

### 3.3.3 Potencial Hídrico

O potencial hídrico das plantas foi medido aos 250 DAI no período antemanhã com o auxílio de uma câmara de pressão (PMS Instruments-Plant Moisture 1000), segundo o método descrito por Scholander et al. (1964).

### 3.4 Análise nematológica

Em laboratório, aos 250 DAI, as raízes foram lavadas, retirado o excesso de água em papel absorvente e pesadas para obtenção do peso da matéria fresca das raízes. A população de *M. paranaensis* foi avaliada empregando-se a técnica de extração de Hussey e Barker (1973). A população média (ovos+juvenis do segundo estágio - J2) de *M. paranaensis* por grama de raiz fresca do cafeeiro foi obtida pela média da tríplice leitura da suspensão de nematoides em lâmina de contagem sob microscópio de objetiva invertida. O fator de reprodução de nematoides (FR) foi calculado usando a fórmula  $\text{FR} = \frac{\text{População final}}{\text{População inicial}}$ , sendo a população inicial de 8000 ovos (OOSTENBRINK, 1966). Segundo Sasser et al. (1984) genótipos que apresentam  $\text{FR} < 1$  são considerados resistentes, enquanto que  $\text{FR} > 1$  são considerados suscetíveis.

### 3.5 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos primeiro a avaliações de normalidade pelos testes Shapiro-Wilk ( $P \geq 0,05$ ) e Bartlett ( $P \geq 0,05$ ) para verificar a homocedasticidade das variâncias. Os dados considerados normais e demonstrando homogeneidade de variância foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em esquema fatorial em blocos. Interações entre os genótipos e sistema de inoculação foram incluídas no modelo. O modelo foi utilizado em cada período de avaliação. Quando as diferenças foram detectadas pela ANOVA, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott (1974) ( $P < 0,05$ ), usando o software R (R core team 2019) e pacotes ExpeDes (FERREIRA et al., 2018), e o ggplot (WICKHAM, 2009).

#### 4. RESULTADOS

O percentual de pegamento da enxertia (Tabela 1) não apresentou diferença significativa entre as mudas auto-enxertadas e de enxertias recíprocas. Todas as combinações apresentaram valores próximos de 100% de pegamento, indicando compatibilidade entre a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 e o genótipo 28.

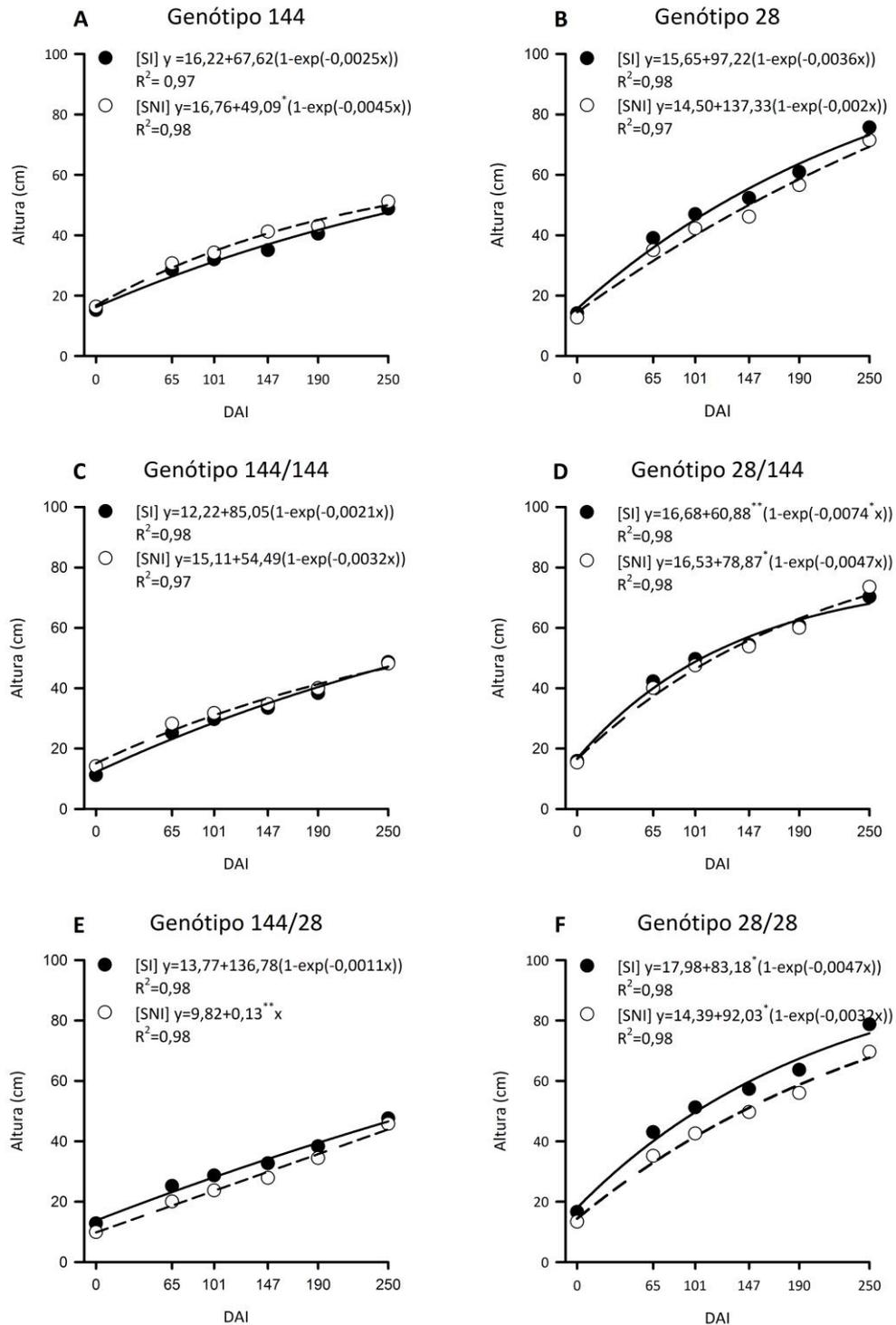
**Tabela 1** – Porcentagem de pegamento da enxertia para diferentes combinações de enxerto/porta enxerto de cafeeiro, aos 40 dias após a enxertia, em viveiro experimental da EPAMIG SUL. Lavras, MG. 2019.

Genótipo	Taxa de pegamento (%)
28/28	92 a
144/144	96 a
28/144	96 a
144/28	96 a

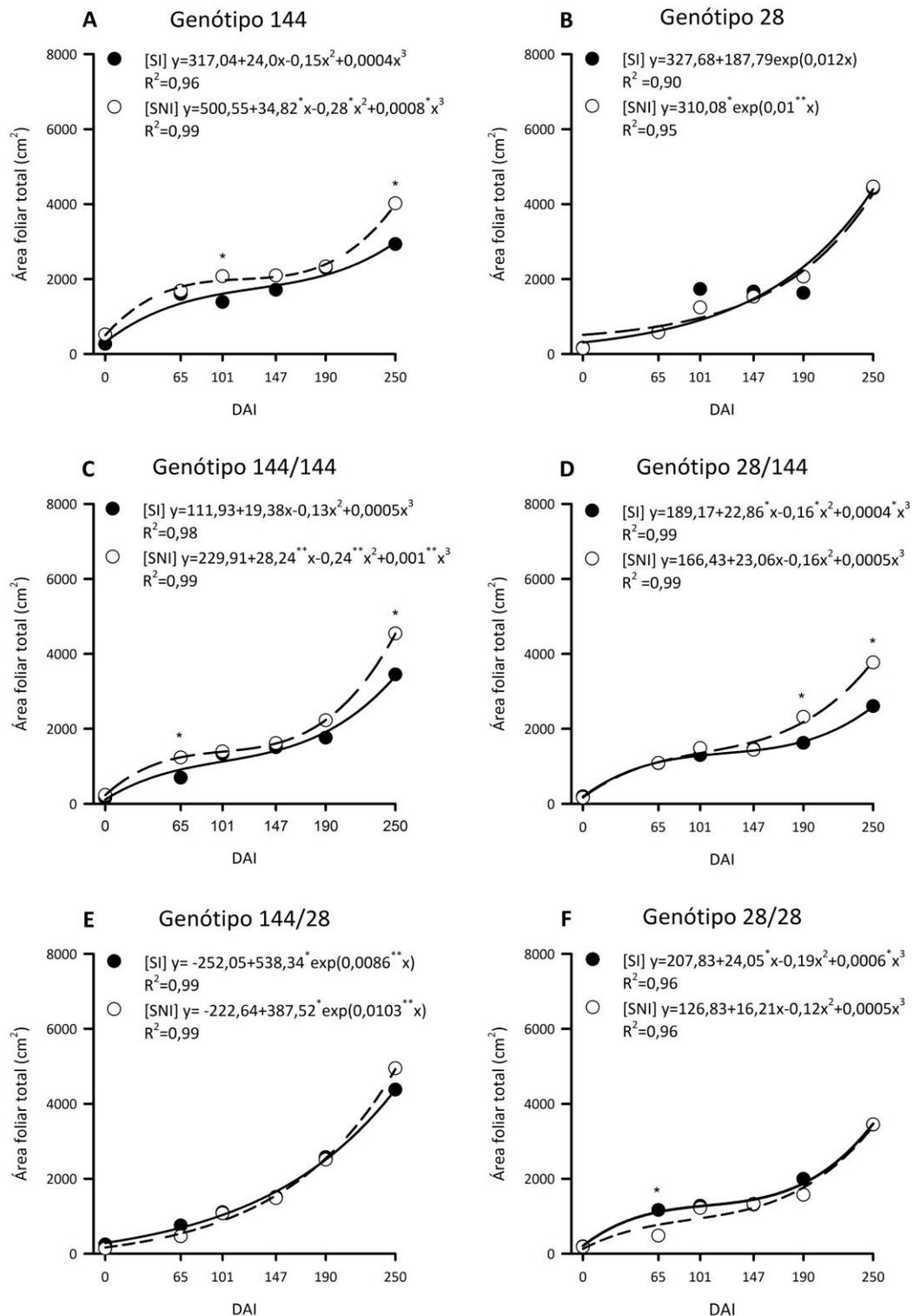
Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. Fonte: Do autor (2020).

Nas análises dos parâmetros de crescimento (Figuras 1, 2, 3 e 4), verificou-se que todos os tratamentos pé francos (Catuaí 144 e genótipo 28), auto-enxertias (Catuaí 144/Catuaí 144 e genótipo 28/genótipo 28) e enxertias (144/28 e 28/144) apresentaram um aumento da altura, diâmetro do caule, área foliar e comprimento dos ramos plagiotrópicos de 0 à 250 DAI.

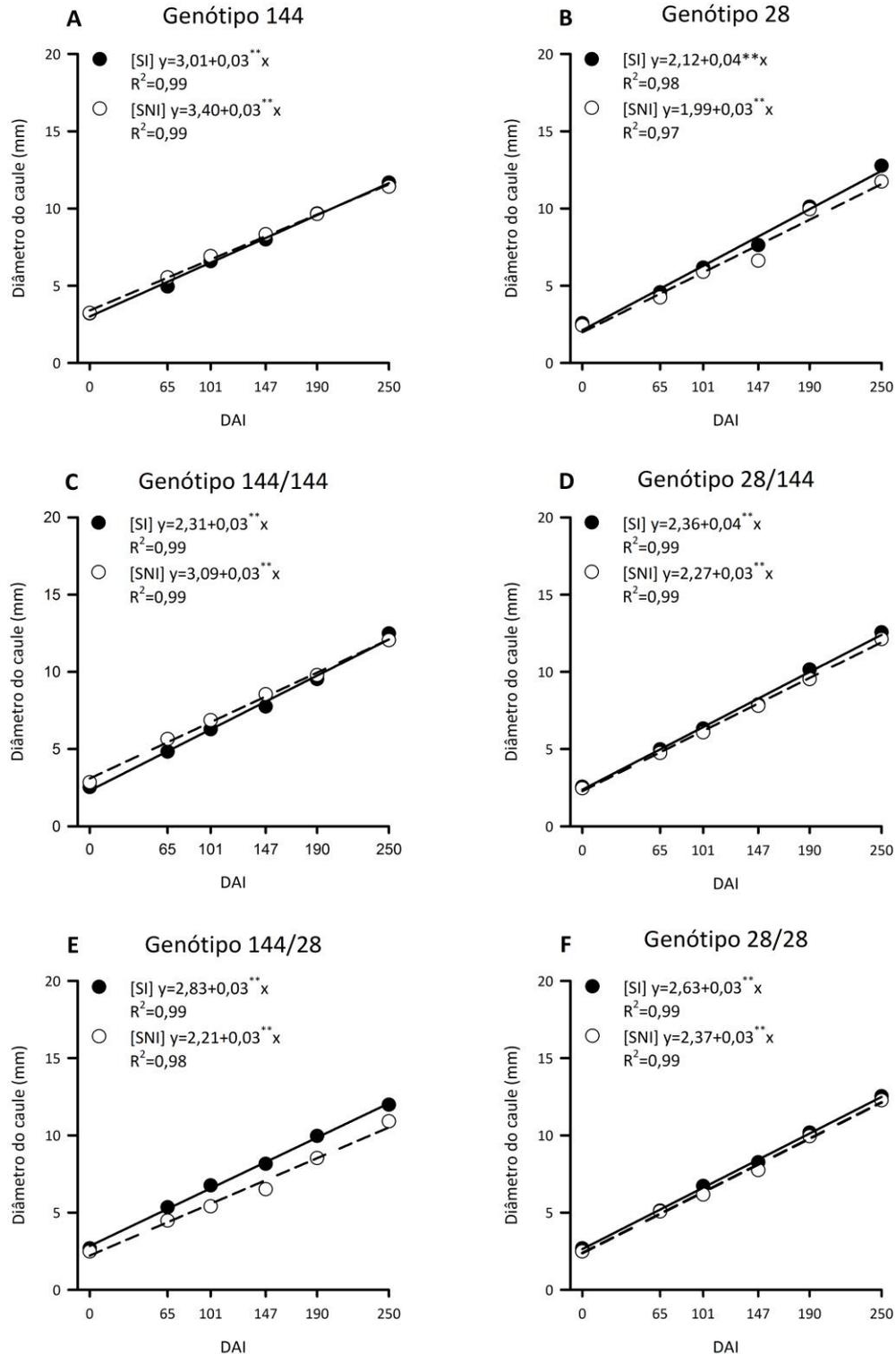
Independentemente das combinações não houve diferença significativa para altura, diâmetro do caule e comprimento dos ramos plagiotrópicos entre o sistema inoculado (SI) e não inoculado (SNI). Contudo, no sistema inoculado verificou-se menor área foliar total (AFT) no pé franco de 144 aos 101 e 250 DAI (Figura 2A), na auto-enxertia de 144/144 aos 65 e 250 DAI (Figura 2C) e enxertia de 28/144 a partir dos 190 DAI (Figura 2D). Já o pé franco 28 (Figura 2B) e enxertia 144/28 (Figura 2E) não apresentaram diferenças quanto a AFT entre mudas inoculadas e não inoculadas.



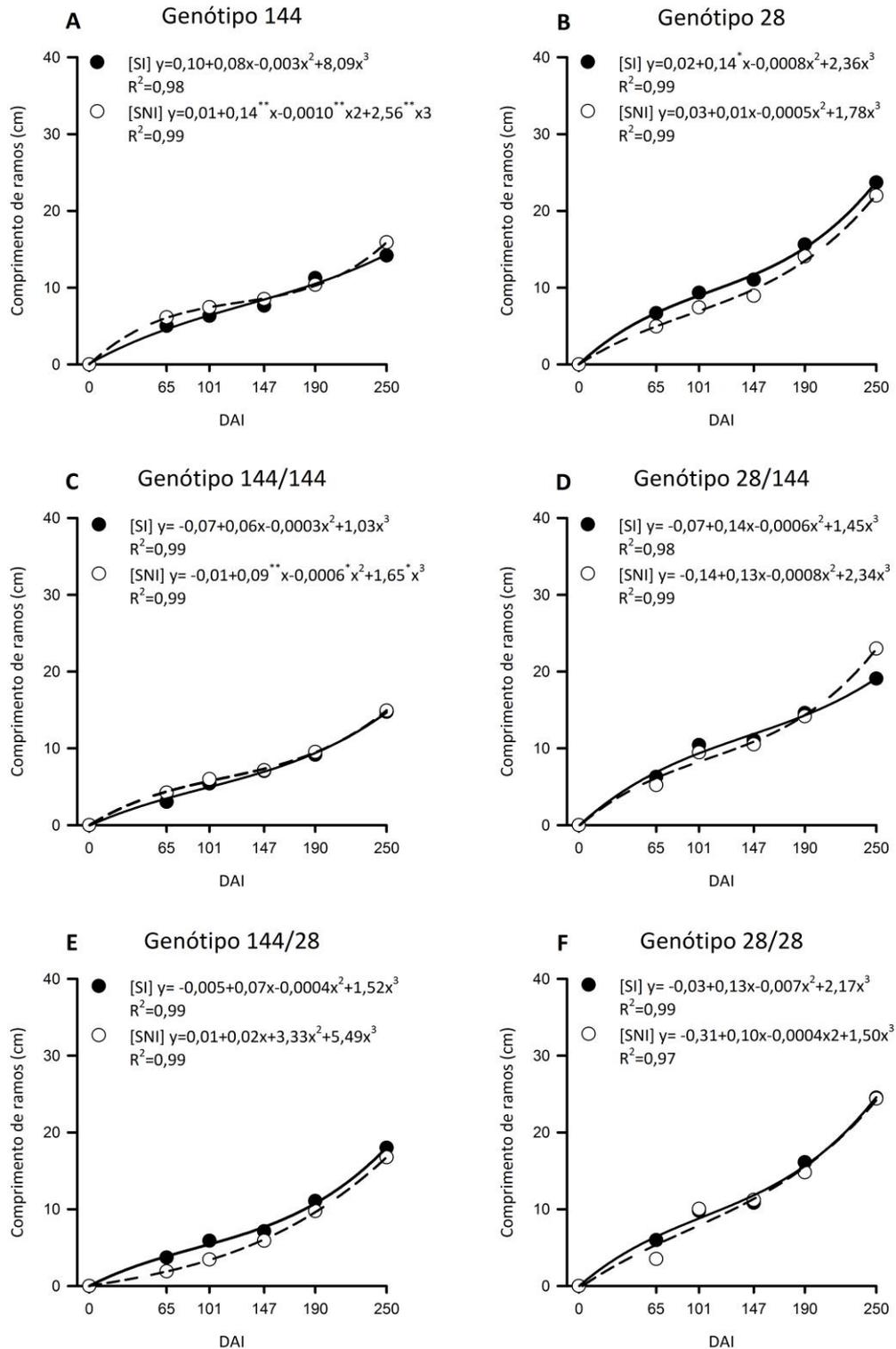
**Figura 1** – Altura (cm) de cafeeiros submetidos a diferentes combinações de enxerto/porta enxerto em função dos dias após a inoculação (DAI). 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. [SI]: sistema inoculado; [SNI]: sistema não inoculado. Significativo \*\* a 1% e \* a 5% pelo teste f. Fonte: Do autor (2020).



**Figura 2** – Área foliar total (cm<sup>2</sup>) de cafeeiros submetidos a diferentes combinações de enxerto/porta enxerto em função dos dias após a inoculação (DAI). 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. [SI]: sistema inoculado; [SNI]: sistema não inoculado. Significativo \*\* a 1% e \* a 5% pelo teste f. Fonte: Do autor (2020).

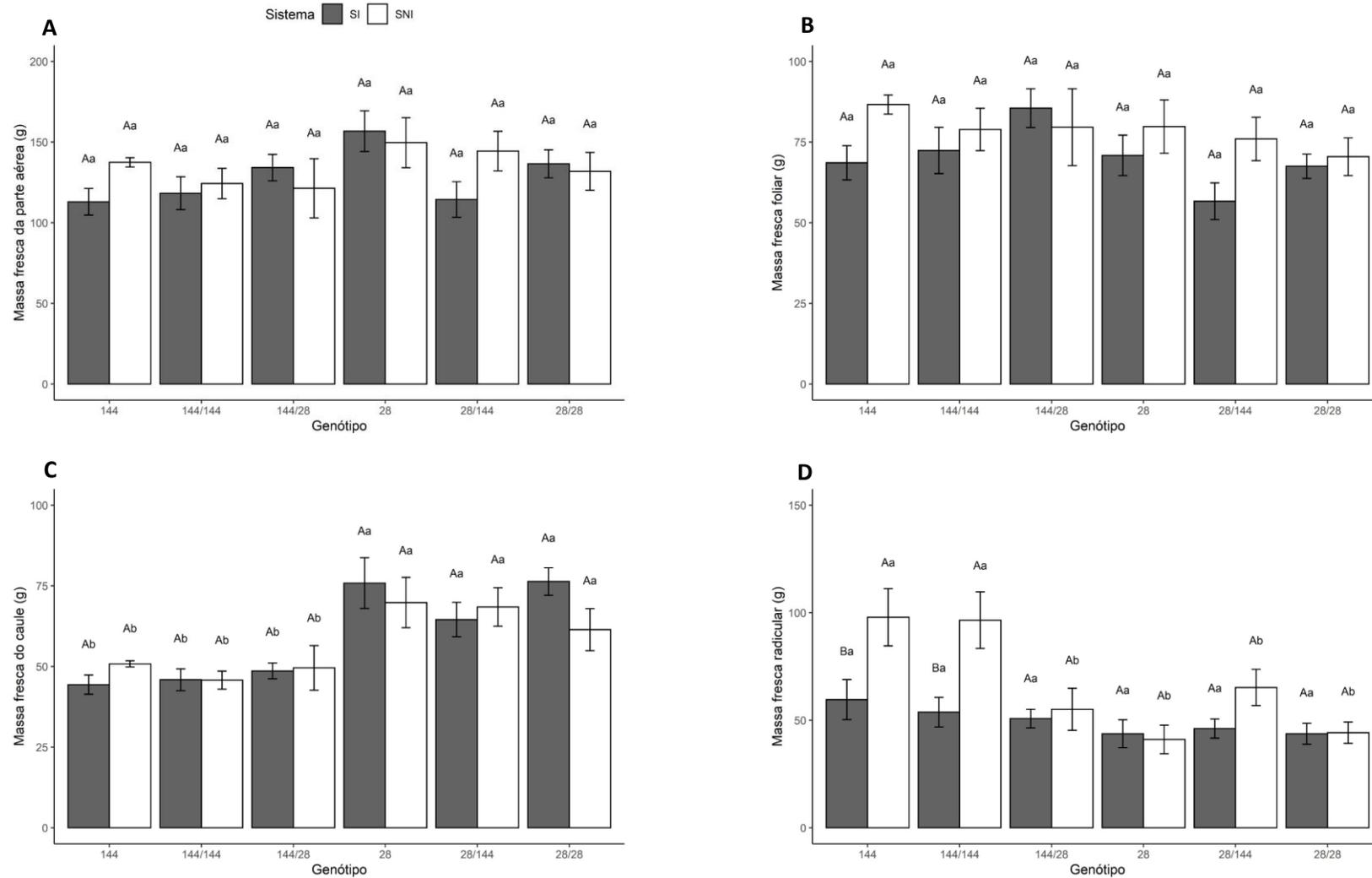


**Figura 3** – Diâmetro do caule (mm) de cafeeiros submetidos a diferentes combinações de enxerto/porta enxerto em função dos dias após a inoculação (DAI). 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. [SI]: sistema inoculado; [SNI]: sistema não inoculado. Significativo \*\* a 1% e \* a 5% pelo teste f. Fonte: Do autor (2020).



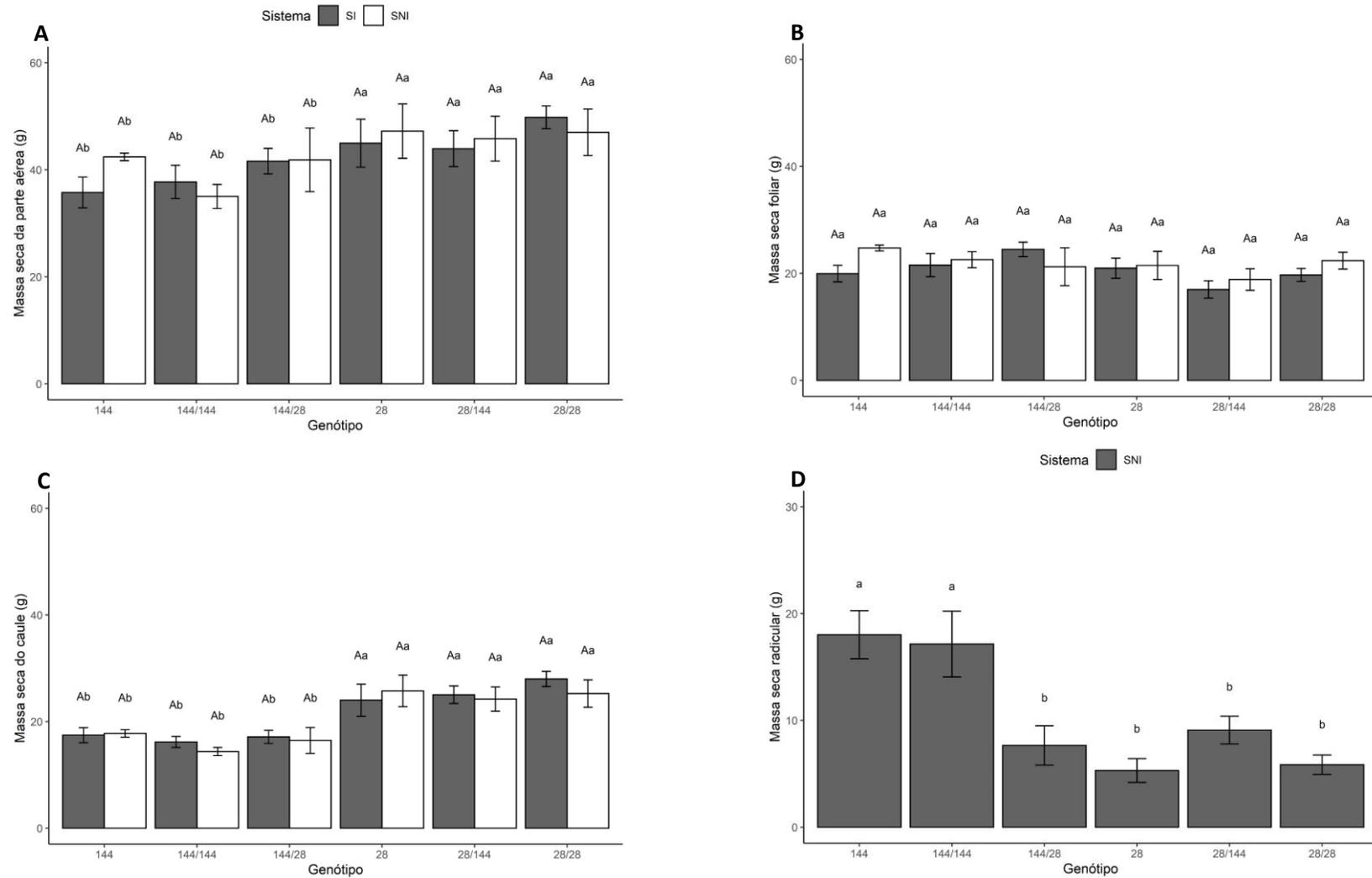
**Figura 4** – Comprimento de ramos plagiotrópicos (cm) de cafeeiros submetidos a diferentes combinações de enxerto/porta enxerto em função dos dias após a inoculação (DAI). 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. [SI]: sistema inoculado; [SNI]: sistema não inoculado. Significativo \*\* a 1% e \* a 5% pelo teste f. Fonte: Do autor (2020).

Em relação à massa fresca (Figura 5), não houve diferença significativa em folha e parte aérea nos pés francos, auto-enxertias e enxertias tanto no SI quanto no SNI (Figura 5A,B). Porém, para massa fresca de caule (Figura 5C) os menores valores foram encontrados para pé franco de 144, auto-enxertia de 144/144 e enxertia de 144/28, independente do sistema de inoculação. Em contrapartida, para massa fresca de raiz (Figura 5D) os menores valores foram verificados no pé franco de 28, auto-enxertia de 28/28, e enxertia 144/28 e 28/144 no SNI. Porém, no SI não houve diferença entre os pés francos, auto-enxertias e enxertias.



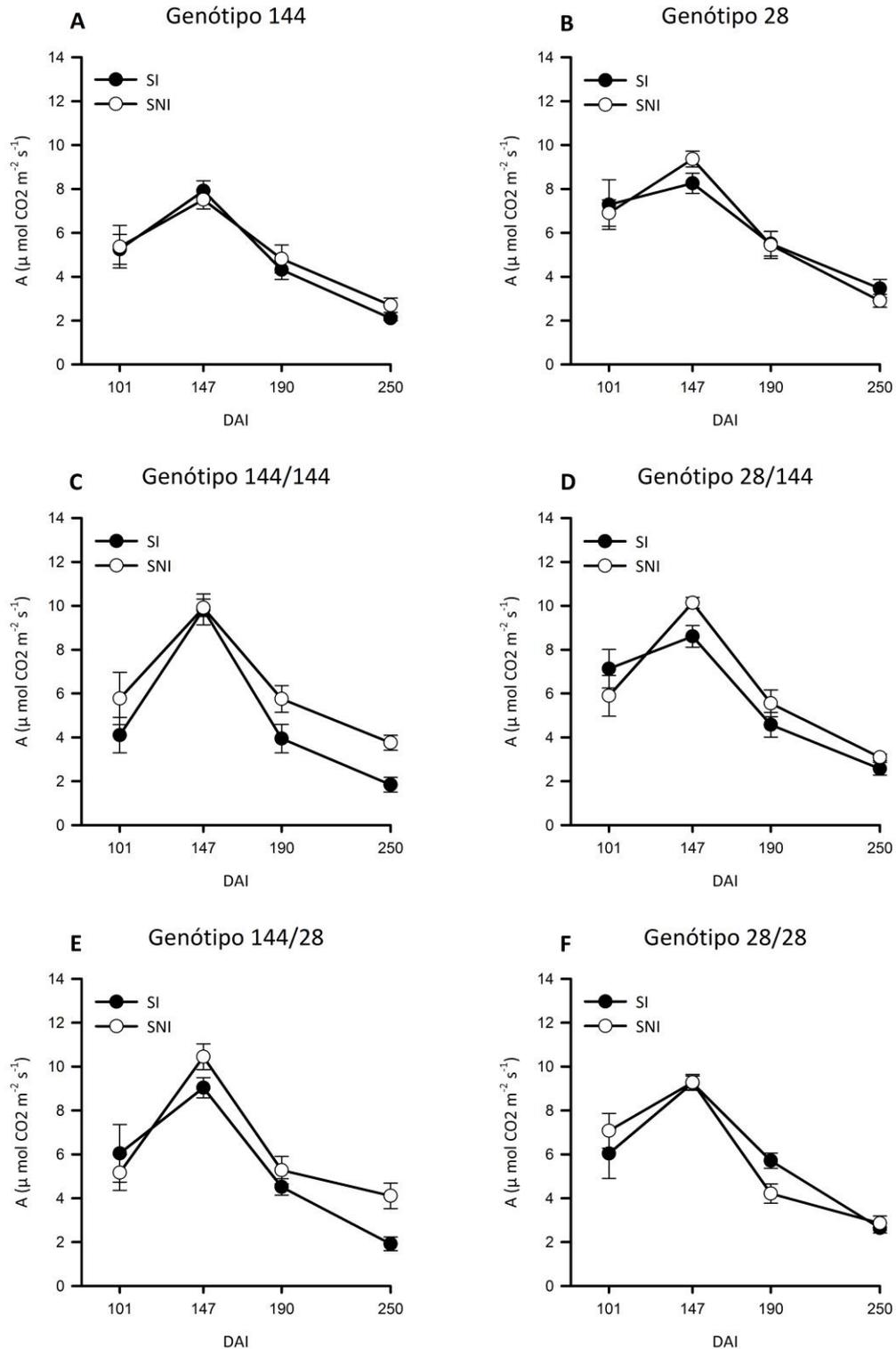
**Figura 5** – Massa fresca de diferentes partes das plantas de cafeeiros submetidos a diferentes combinações de enxerto/porta enxerto. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Letras maiúsculas comparam o sistema inoculado [SI] e não inoculado [SNI] dentro de cada combinação, letras minúsculas comparam as combinações dentro de cada sistema. 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. Fonte: Do autor (2020).

Da mesma forma, para massa seca de folha e parte aérea não apresentou diferenças significativas entre todos tratamentos (Figura 6A,B). Mas para massa seca de caule (Figura 6C) os menores valores foram encontrados para pé franco de 144, auto-enxertia de 144/144 e enxertia de 144/28 em ambos os sistemas de inoculação. A quantificação de massa seca da raiz (Figura 6D), analisada somente no sistema não inoculado, demonstrou que o pé franco de 28, auto-enxertia de 28 e enxertias de 144/28 e 28/144 apresentaram os menores valores.

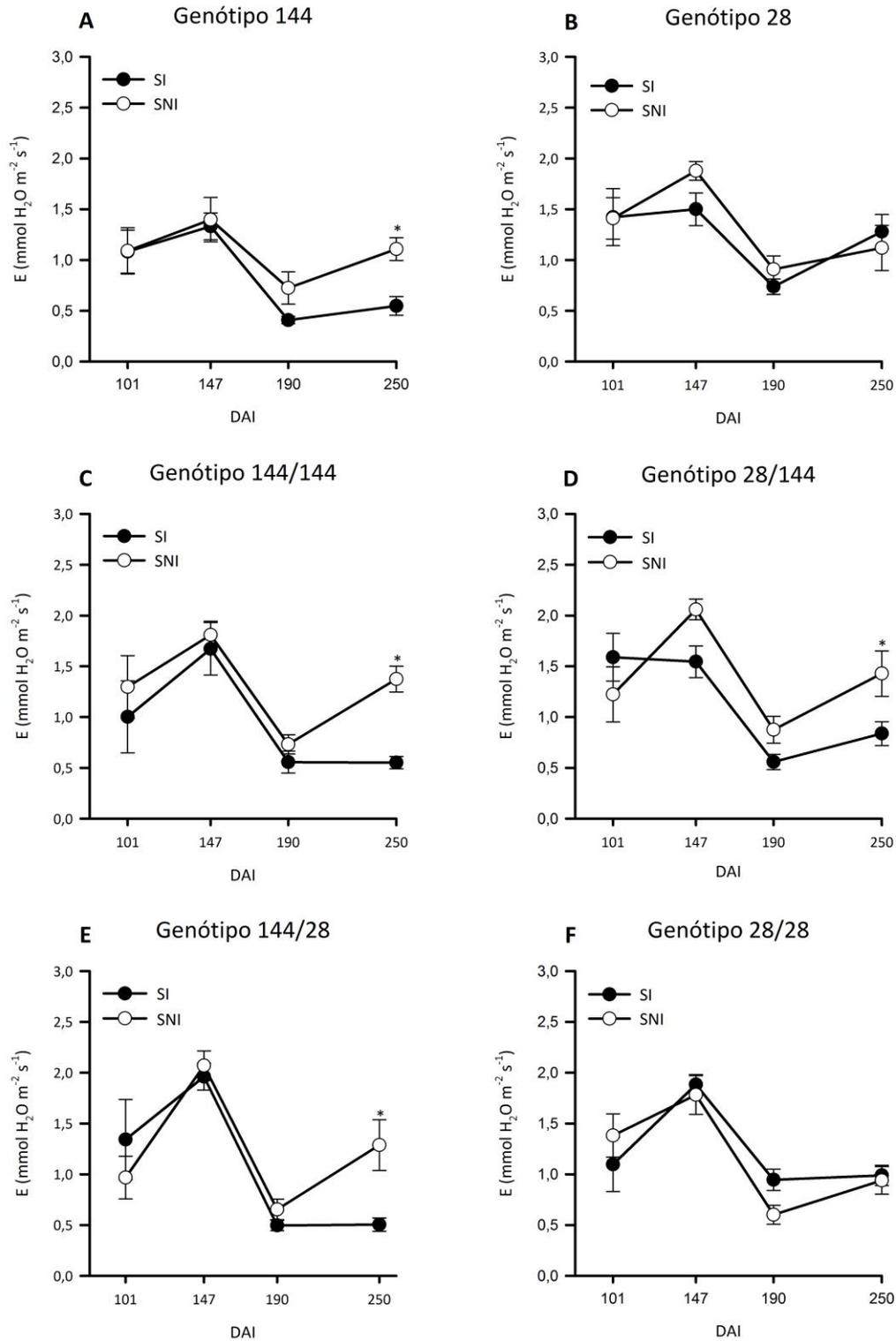


**Figura 6** – Massa seca de diferentes partes das plantas de cafeeiros submetidos a diferentes combinações de enxerto/porta enxerto. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Letras maiúsculas comparam o sistema inoculado [SI] e não inoculado [SNI] dentro de cada combinação, letras minúsculas comparam as combinações dentro de cada sistema. 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. Fonte: Do autor (2020).

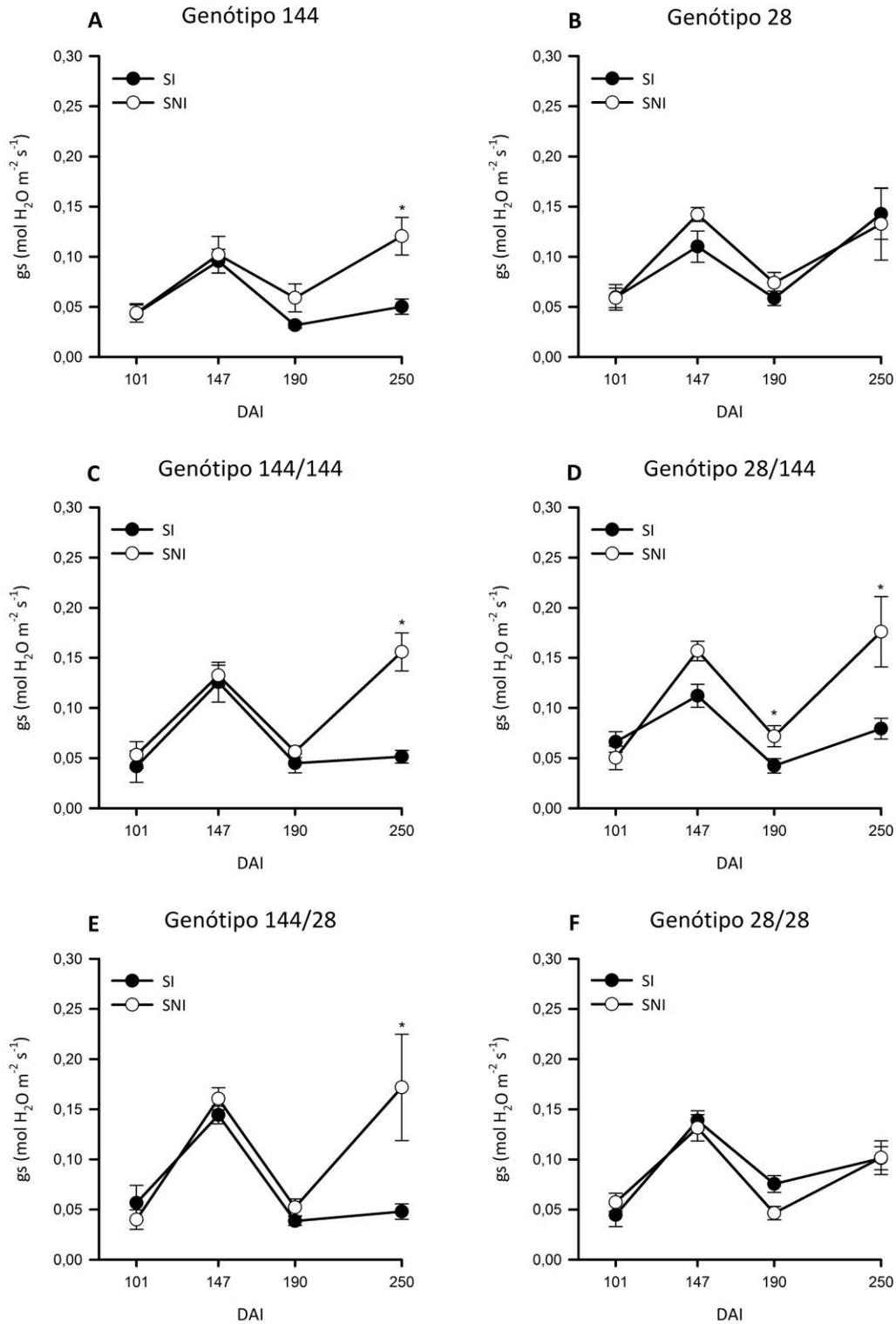
Quanto aos parâmetros de trocas gasosas (Figuras 7, 8, 9 e 10), verificou-se que todos os tratamentos pé francos, auto-enxertias e enxertias não houve diferença significativa de fotossíntese e relação carbono interno/carbono externo entre mudas dos sistemas SI e SNI em todas as épocas (Figuras 7 e 10). Porém, para pé franco 144, auto-enxertia 144/144 e enxertia de 144/28 os valores de transpiração (E) e condutância estomática (gs) foram menores no SI aos 250 DAI (Figuras 8 e 9 A, C e E). Já na enxertia 28/144 a transpiração e a condutância estomática apresentaram menores valores já a partir dos 147 DAI no sistema inoculado em relação ao não inoculado (Figura 8 e 9 D). Destaca-se que para pé franco do genótipo 28 e auto-enxertia 28/28 não houve diferença significativa em nenhuma das variáveis de trocas gasosas entre o SI e SNI (Figuras 7, 8, 9 e 10 B e F).



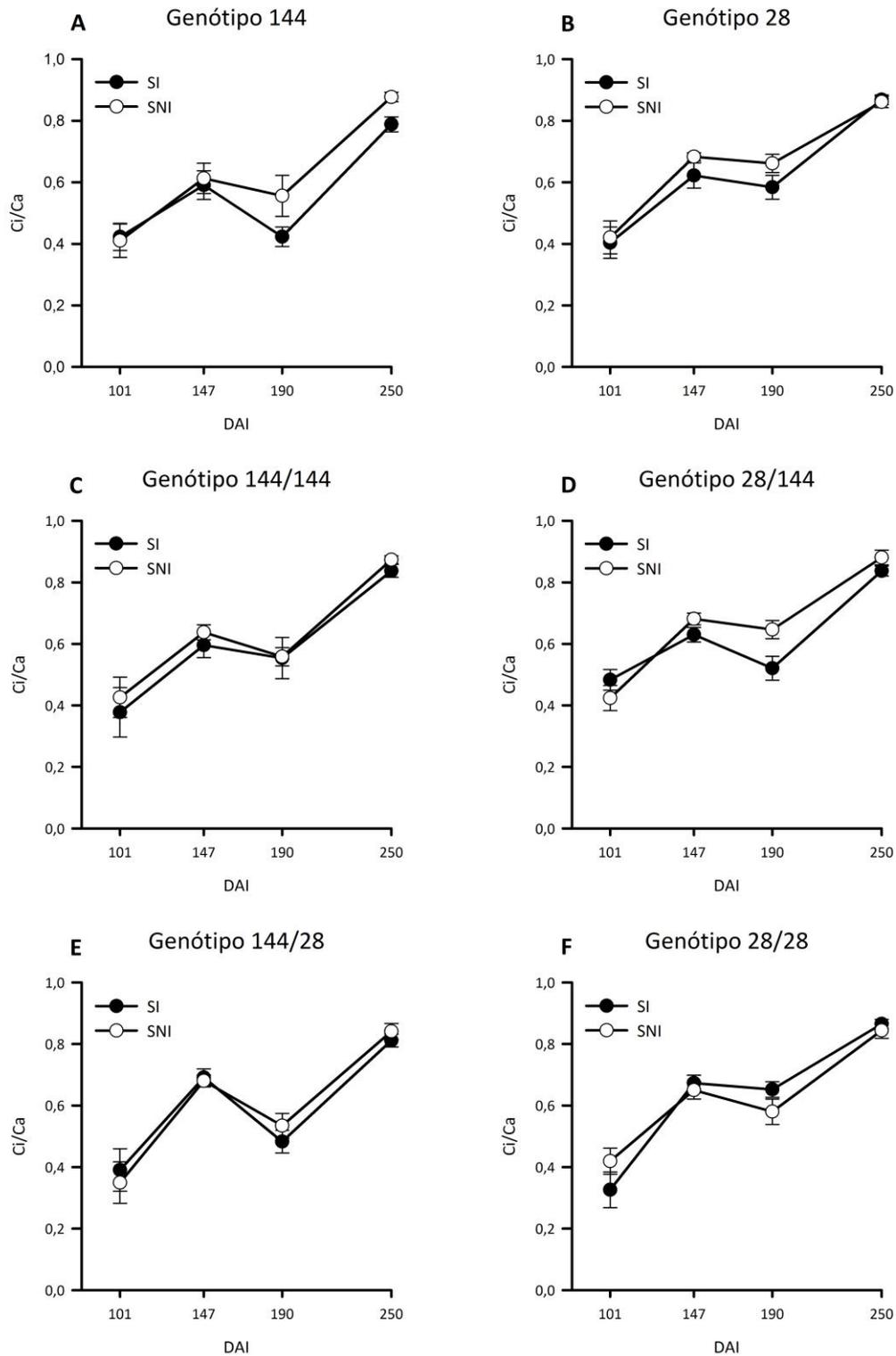
**Figura 7** – Fotossíntese líquida ( $A$ ;  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) de cafeeiros submetidos a diferentes combinações de enxerto/porta enxerto em função dos dias após a inoculação (DAI). 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. [SI]: sistema inoculado; [SNI]: sistema não inoculado. Significativo \*\* a 1% e \* a 5% pelo teste f. Fonte: Do autor (2020).



**Figura 8** – Transpiração ( $E$ ;  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) de cafeeiros submetidos a diferentes combinações de enxerto/porta enxerto em função dos dias após a inoculação (DAI). 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. [SI]: sistema inoculado; [SNI]: sistema não inoculado. Significativo \*\* a 1% e \* a 5% pelo teste f. Fonte: Do autor (2020).

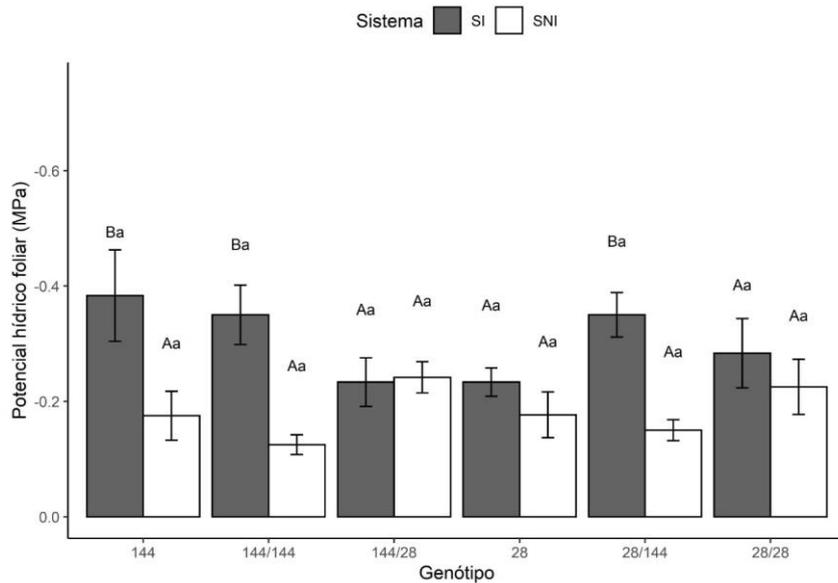


**Figura 9** – Condutância estomática ( $gs$ ;  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) de cafeeiros submetidos a diferentes combinações de enxerto/porta enxerto em função dos dias após a inoculação (DAI). 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. [SI]: sistema inoculado; [SNI]: sistema não inoculado. Significativo \*\* a 1% e \* a 5% pelo teste f. Fonte: Do autor (2020).



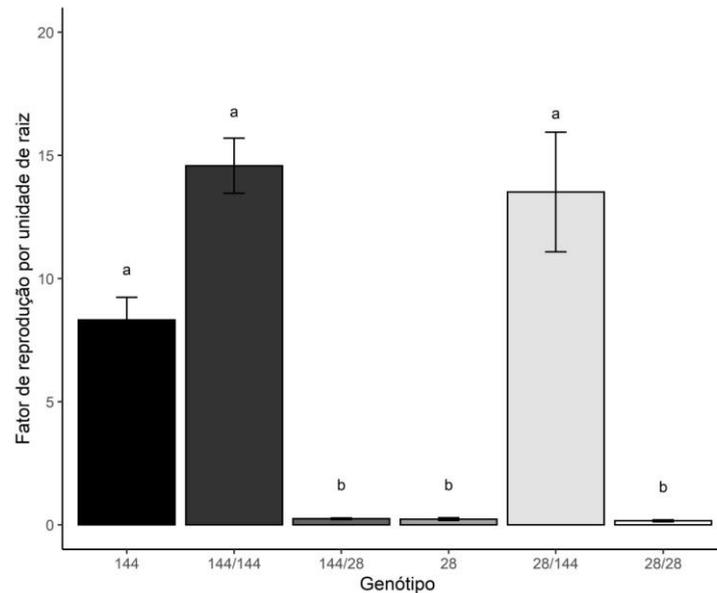
**Figura 10** – Relação carbono interno/carbono externo (Ci/Ca) de cafeeiros submetidos a diferentes combinações de enxerto/porta enxerto em função dos dias após a inoculação (DAI). 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. [SI]: sistema inoculado; [SNI]: sistema não inoculado. Significativo \*\* a 1% e \* a 5% pelo teste f. Fonte: Do autor (2020).

Na análise de potencial hídrico foliar (Figura 11) não houve diferença significativa entre as combinações dentro de cada sistema, porém quando comparados os sistemas dentro de cada combinação verificou-se uma redução significativa em pé franco 144, auto-enxertia de 144/144 e enxertia de 28/144 no SI, enquanto que no pé franco 28, auto-enxertia 28/28 e enxertia de 144/28 não apresentou redução em mudas inoculadas.



**Figura 11** – Potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) de cafeeiros submetidos a diferentes combinações de enxerto/porta enxerto. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Letras maiúsculas comparam o sistema inoculado [SI] e não inoculado [SNI] dentro de cada combinação, letras minúsculas comparam as combinações dentro de cada sistema. 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. Fonte: Do autor (2020).

Os fatores de reprodução (Figura 12) de 12,56; 13,98 e 13,83 foram detectados nos cafeeiros em pé franco 144, auto-enxertia 144/144 e enxertia 28/144. Nos cafeeiros em pé franco 28, auto-enxertia 28/28 e enxertia de 144/28 apresentaram em média FR de 0,36. Esse valor menor que 1,0 indica comportamento de resistência dessas mudas ao *M. paranaensis*.



**Figura 12** – Fator de reprodução (FR) de *Meloidogyne paranaensis* nas raízes de cafeeiro submetidas a diferentes combinações de enxerto/porta enxerto. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. Fonte: Do autor (2020).

A população de *M. paranaensis* por grama de raiz (Tabela 2) em pé franco 144, auto-enxertia 144/144 e enxertia 28/144 foi 1678,87; 2216,87 e 1760,12, respectivamente, enquanto que pé franco 28, auto-enxertia 28/28 e enxertia de 144/28 apresentaram valores de 103; 33,12 e 21,87, o que representa valores baixos de população de nematoides por grama de raiz de acordo com Santos et al., 2017.

**Tabela 2** – População total (ovos + Juvenis do segundo estágio-J2) de *Meloidogyne paranaensis* em todo o sistema radicular e por grama de raiz dos cafeeiros submetidas a diferentes combinações de enxerto/porta enxerto.

Genótipo	População Total	População.g-l
144/28	1401,000 b	21.875 b
28/28	2014,625 b	33,125 b
28	5422,375 b	103,000 b
144	100542,500 a	1678,875 a
28/144	110686,370 a	1760,125 a
144/144	111851,250 a	2216,875 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. 144: Cultivar Catuaí Vermelho IAC 144; 28: progênie Geração F6 do Acesso MG 0179-3-R1. Fonte: Do autor (2020).

## 5. DISCUSSÃO

Os pés francos 28 e 144, bem como suas auto-enxertias apresentaram aspectos do crescimento que os caracterizaram como plantas de porte alto e baixo, respectivamente. Apesar dessas diferenças no porte, não foram verificados sintomas de incompatibilidade entre as enxertias recíproca 28/144 e 144/28, que seguiram os padrões de crescimento da parte aérea dos respectivos enxertos.

Dessa maneira, pode-se dizer que houve a conexão entre o tecido vascular das cultivares em estudo, já que para o sucesso no pegamento das enxertias, verificado no presente estudo, maior que 90%, é necessário a perfeita união das células do xilema e floema até que ocorra a regeneração dos tecidos, permitindo a translocação de água e nutrientes do porta enxerto para o enxerto e de fotoassimilados da copa para o porta enxerto e assim favorecer o desenvolvimento de ambas as partes (DIAS et al., 2009).

As análises de massa fresca e seca do sistema radicular indicaram que o processo de enxertia não alterou a massa de raiz, pois as auto-enxertias apresentaram massas equivalentes aos seus pés francos. Nas enxertias recíprocas, o enxerto 144 não teve efeitos sobre a massa seca de raiz do porta enxerto 28, pois a massa radicular foi semelhante as observadas no pé

franco 28 e auto-enxerto 28/28. Contudo, o enxerto 28 influenciou a massa radicular do 144, pois a massa radicular nessas mudas foi menor do que nos pés francos 144 e auto-enxertia 144/144. Isso pode ter ocorrido devido à maior alocação de carbono do genótipo 28 na parte aérea, devido ao porte alto característico desse genótipo (SANTOS et al., 2017), afetando o crescimento do sistema radicular do 144 como porta enxerto, o que explica a menor massa seca de raiz em mudas com o sistema radicular do genótipo 28.

A infestação do *M. paranaenses* prejudicou significativamente a área foliar total (AFT) e massa fresca de raiz das mudas com o sistema radicular de genótipo suscetível 144. Por outro lado, quando se utilizou o porta enxerto 28 a AFT do enxerto sensível 144 não foi afetada, indicando efeito positivo do porta enxerto 28 sobre a área foliar o que pode favorecer maior capacidade para captação de luz, aumentando sua área fotossintética. De fato, a área foliar do genótipo resistente não é afetada na presença de *M. paranaensis*, conforme Salgado et al., (2019).

A menor AFT observada nas mudas com sistema radicular 144 não foi acompanhada por redução da massa fresca e seca das folhas, sugerindo aumento da espessura foliar, pois nessas mudas verificou-se menor potencial hídrico, e de acordo com Castro et al., (2009) alterações no crescimento podem ser decorrentes da redução no potencial hídrico, visto que a água é um componente essencial para a expansão celular.

Vários estudos relatam o aumento da espessura foliar em resposta ao déficit hídrico resultando em baixa variação na fotossíntese (BATISTA et al., 2010; AFZAL et al., 2017). Foi demonstrado por Takai et al. (2013) que a espessura das folhas interfere na fotossíntese, pois cultivares com folhas mais espessas mostram fotossíntese aprimorada, fato que, segundo Taiz et al. (2017) aumenta o comprimento do caminho a ser percorrido pela luz através da folha, aumentando a possibilidade da mesma ser absorvida.

Mesmo que a redução da área foliar de mudas com o sistema radicular de genótipo suscetível 144 tenha sido afetada na presença de *M. paranaensis*, em condições moderadas de déficit hídrico, a redução na área foliar não necessariamente é acompanhada da redução na fotossíntese, porém, de acordo com Meinzer et al., (1992) se essa condição progredir pode resultar em reduções de "A" por unidade de área foliar. Além disso, os valores de potenciais hídricos entre -0,1 e -0,5 MPa verificados no presente trabalho não correspondem a valores que caracterizam déficit hídrico significativo à atividade fotossintética do cafeeiro (DAMATTA; RAMALHO, 2006; DAMATTA et al., 2018). O que pode ter colaborado para que durante o período até 250 DAI a população de nematóide não prejudicasse de maneira

significativa os demais parâmetros de crescimento analisados de mudas com sistema radicular do genótipo suscetível 144.

Em contrapartida, os menores valores de potencial hídrico verificados nas mudas com o sistema radicular de cultivar suscetível 144 quando inoculadas com *M. paranaensis*, foram suficientes para ocasionar a redução na transpiração (E) e condutância estomática (gs). Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2015) e Goulart et al., (2018) em que “E” e “gs” foram parâmetros que refletiram o estresse causado pelo parasitismo em genótipos de *C. arabica* inoculados com *M. paranaensis*. A redução da condutância estomática pode evitar a perda de água pela transpiração, uma vez que o parasitismo de nematoides afeta a absorção de água pelas raízes (STRAJNAR et al., 2012).

Fato interessante foi que pé franco e auto-enxertia de genótipo resistente 28 não apresentaram nenhuma alteração das variáveis de trocas gasosas na presença de *M. paranaensis*. Portanto, a reação dessas mudas foi de resistência, já que plantas resistentes afetam o desenvolvimento dos nematoides nas raízes, impedindo sua multiplicação (SALGADO et al., 2014). O que foi confirmado pelos resultados de FR dos nematoides, verificando-se que o material genético altamente resistente ao nematoide das galhas apresenta baixo fator de reprodução, representado por um valor menor do que 10% do fator de reprodução do controle suscetível (ALVES et al., 2019). Baseado nesse conceito, o  $FR < 1,0$  do genótipo 28 o classifica como altamente resistente ao *M. paranaensis*.

A agressividade dessa população de *M. paranaensis* e a alta suscetibilidade da cultivar Catuaí ficou evidenciada no presente estudo e confirma os resultados de Santos et al. (2017) com a mesma população desse nematoide.. Esses autores utilizaram 10.000 ovos no inóculo dos cafeeiros os quais permaneceram 8 meses até a avaliação da reprodução do nematoide. Esse tempo para avaliação é similar ao tempo de 250 dias empregado na presente pesquisa.

Diante desses resultados, constatou-se que o porta enxerto 28 reduziu a multiplicação de nematoides em suas raízes, impedindo danos aos parâmetros de crescimento, trocas gasosas e potencial hídrico. Esses dados corroboram com Peres et al. (2017) que mostraram que progênies provenientes do cruzamento de “Catuaí Vermelho” x “Amphillo 2-161” apresentaram resistência a *M. paranaensis*. Além disso, é importante destacar que, em mudas com o genótipo 28 como enxerto e o 144 como porta enxerto (28/144), os nematoides foram capazes de se multiplicar nas raízes da cultivar suscetível, ficando evidente que a resistência do genótipo 28 se concentra nas raízes, podendo ser utilizado como porta enxerto para cultivares suscetíveis em áreas infestadas com *M. paranaensis*.

Sendo assim, sugere-se o uso do genótipo 28 MG 0179-3-R1-151-5-3-IV como porta enxerto para cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 para produção de mudas resistentes a *M. paranaensis*. Dessa forma, a utilização dessas mudas enxertadas concilia o uso de material resistente a *M. paranaensis* como porta enxerto de uma cultivar “elite” como a cultivar Catuaí, amplamente utilizada nas lavouras cafeeiras por apresentar porte baixo, alta produtividade e estabilidade fenotípica (BOTELHO et al., 2010). No entanto, essa tecnologia possibilita, em curto prazo, a manutenção da atividade cafeeira em áreas infestadas com *M. paranaensis* desde que seja analisado o desempenho produtivo desse tipo de muda em áreas infestadas.

## 6. CONCLUSÃO

O porta enxerto 28 MG 0179-3-R1-151-5-3-IV apresenta compatibilidade morfofisiológica com a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 e pode ser usado como porta enxerto para produção de mudas resistentes a *M. paranaensis*.

## 7. REFERENCIAS

ABRÃO, M. M.; MAZZAFERA, P. Efeitos do nível de inóculo de *Meloidogyne incognita* em algodoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 19-26, 2001.

AFZAL, A.; DUIKER, S. W.; WATSON, J. E. Leaf thickness to predict plant water status. **Biosystems Engineering**, v. 156, p. 148-156, 2017.

ALVES, P. S. et al. Resistance responses of *Coffea arabica* to *Meloidogyne paranaensis*. **Nematology**, 2019.

BARROS, A. F. et al. *Meloidogyne paranaensis* attacking coffee trees in Espírito Santo State, Brazil. **Australasian Plant Disease**, [S.I.] v. 6, p. 43-45, may. 2011.

BATISTA L.A et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, 2010.

BOTELHO, C. E. et al. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de café arábica em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 12, p. 1404-1411, dez. 2010.

CARNEIRO, R.M.D.G.; COFCEWICZ, E.T. The taxonomy of *Meloidogyne* spp. from coffee. In: Souza, R.M. (Ed.). **Plant-Parasitic nematodes of coffee**. New York, NY, USA, APS Press & Springer, p. 87-122, 2008.

CARVALHO, A. et al. Caracterização de genótipos de *Coffea arabica* L. em áreas infestadas pelo nematoide *Meloidogyne paranaensis*. **Coffee Science**, v. 12, n. 1, p. 1-8, jan. 2017.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos**. Lavras: UFLA, p. 234, 2009.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café, Safra 2018: Quarto levantamento**. Brasília, v. 5, n. 4, p. 20-21, 2018.

DAMATTA F.M.; RAMALHO J.D.C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Braz. J. Plant Physiol.*, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.

DAMATTA, F. M. et al. Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 21, p. 5264–5274, 2018.

DIAS F.P. et al. Estudo anatômico de cafeeiros enxertados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 735-742, maio/jun. 2009.

FERRAZ L.C.C.B. Plant parasitic nematodes of coffee in Brazil. In: SOUZA R.M, ed. **Plant Parasitic Nematodes of Coffee**. New York, NY, USA: APS Press & Springer, p. 225-48, 2008.

FERREIRA, A.D. et al. Absorção, translocação e eficiência no uso dos macronutrientes em cafeeiros (*Coffea arabica*) enxertados em Apoatã IAC 2258 (*Coffea canephora*). **Interciencia**, Venezuela, v. 35, n. 11, p. 818-822, nov. 2010.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. Package ‘ExpDes’. Experimental Designs package. R package version 1.1.2. R: **The R Project for Statistical Computing**. p. 42, 2018.

FREITAS, M. N. D.; MUNDIM, P. H. S.; SANTOS, M. A. Penetração de juvenis de 2<sup>o</sup> estágio de *Meloidogyne exigua* em raízes de mudas de cafeeiro tratadas com abamectina. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. 7., 2011, Araxá. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2011.

GONÇALVES, W.; FERRAZ, L.C.C.B. Resistência do cafeeiro a nematoides. II. Testes de progênes e híbridos para *Meloidogyne incognita* raça 3. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 11, p. 125-142, 1987.

GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M.B. A luta contra a doença causada pelos nematoides parasitos do cafeeiro. **O Agrônomo** v. 59, p. 54-56, 2007.

GOULART R.R. et al. *Meloidogyne paranaensis* and *M. exigua* alter coffee physiology. **Nematology** v. 0, p. 1-9, 2018.

HUSSEY, R.S; BARKER, K.R. Comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne spp.* including a new technique. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 57, p. 1025-1028, 1973.

ITO D. S. et al. Levantamento parcial de espécies de meloidogyne em cafeeiros na região do arenito (noroeste) do estado do Paraná. **VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Salvador- BA, 2013.

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: 20/01/2020.

LOPEZ-LIMA, D. et al. Corky-root symptoms for coffee in central Veracruz are linked to the root-knot nematode *Meloidogyne paranaensis*, a new report for Mexico. **European Journal of Plant Pathology**, v. 141, n. 3, p. 623-629, mar. 2015.

LU, P. et al. Physiological effects of *Meloidogyne incognita* infection on cotton genotypes with differing levels of resistance in the greenhouse. **Journal of Nematology** v. 46, n. 4, p. 352-359, dec. 2014.

MACHADO, A.R.T. et al. Metabolic profiling in the roots of coffee plants exposed to the coffee root-knot nematode, *Meloidogyne exigua*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 134, p. 431-441, oct. 2012.

MEINZER F.C., SALIENDRA N.Z., CRISOSTO C.H. Carbon isotope discrimination and gas exchange in *Coffea arabica* during adjustment in different soil moisture regimes. **Aust. J. Plant Physiol.** v. 19, p. 171-184, 1992.

OOSTENBRINK, M. Major characteristic of the relation between nematodes and plants. **Mededlingen voor Landlb Hoogeschool Wageningen**, v. 66, p. 3-46, 1966.

PAIVA, R.F. et al. Comportamento de cultivares de cafeeiros *C. arabica* L. enxertados sobre cultivar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1155-1160, jul. 2012.

PASQUALOTTO, A. T. **Desempenho agrônômico e fisiológico de progênies de cafeeiro parasitadas por *Meloidogyne paranaensis***. 2015. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

PERES, A.C.J. et al. Resistance of *Coffea arabica* genotypes against *Meloidogyne paranaensis* and *M. incognita* under controlled and field conditions. **Nematology**, v. 19, n. 5, p. 617-626, jun. 2017.

REIS, P.R.; CUNHA, R.L. **Café arábica: do plantio a Colheita**. Lavras: EPAMIG-Unidade Regional Sul de Minas, v. 1, p. 896, 2010.

REZENDE, R. M. et al. **Identificação e seleção em campo de progênies de cafeeiro resistentes ao *Meloidogyne exigua***. 2012. 90 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

REZENDE R.M. et al. Genetic gain in the resistance of Arabica coffee progenies to root-knot nematode. **Crop Science**, v. 57, n. 2, p. 1355-1362, may/june, 2017.

SALGADO, S.M.L.; REZENDE, J.C. Manejo de fitonematoides em cafeeiro. In: REIS, P.R.; CUNHA, R.L. **Café arábica: do plantio a colheita**, Lavras: EPAMIG, v. 1, p. 757-804, 2010.

SALGADO, S.M.L.; CARNEIRO, R.M.D.G.; PINHO R.S.C. **Aspectos técnicos dos nematoides parasitas do cafeeiro** (Boletim Técnico 98), Lavras: EPAMIG, p. 60, 2011.

SALGADO, S.M.L.; REZENDE, J. C; NUNES, J.A.R. Selection of coffee progenies for resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis* in infested area. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 94-101, june 2014.

SALGADO, S.M.L. et al. Detecção de *Meloidogyne paranaensis* em Carmo da Cachoeira, região Sul de Minas Gerais. **Circular Técnica**, EPAMIG 269. Belo Horizonte, MG, Brazil, 2018.

SALGADO S.M.L. et al. Resistance of Conilon coffee cultivar Vitoria Incaper 8142 to *Meloidogyne paranaensis* under field conditions. **Experimental Agriculture**, p. 1-6, 2019.

SANTOS, M.F.A. et al. Genetic variability of *Meloidogyne paranaensis* populations and their aggressiveness to susceptible coffee genotypes. **Plant Pathology**, v. 67, p. 193-201, apr. 2017.

SASSER, J. N.; CARTER, C. C.; HARTMAN, K. M. Standardization of host suitability studies and reporting of resistance to root-knot nematodes. **Raleigh: North Carolina State University Graphics**, p. 7 1984.

SAUCET, S.B. et al. Resistance to root-knot nematodes *Meloidogyne* spp. in woody plants. **New Phytologist**, v. 211, p. 41-56, 2016.

SILVA, R. V.; OLIVEIRA, R. D. L.; ZAMBOLIM, L. Primeiro relato da ocorrência de *Meloidogyne paranaensis* em cafeeiro no estado de Goiás. **Nematologia Brasileira**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 187-190, dez. 2009.

SILVA, P. E. M. et al. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: implications for breeding aimed at improving drought tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 87, p. 49-57, 2013.

SILVA V. A. et al. Uso de características fisiológicas na identificação de genótipos de café arábica tolerantes ao *Meloidogyne paranaensis*. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 242-250, abr/jun. 2015.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.Y.; HEMMINGSEN, E.A.; BRADSTREET, E.D. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, New Haven, Connecticut, v. 52, n. 1, p. 119-125, 1964.

STRAJNAR, P. et al. Effect of *Meloidogyne ethiopica* parasitism on water management and physiological stress in tomato. **European Journal of Plant Pathology**, v.132, n. 1, p. 49-57, jan. 2012.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 248, 2017.

TAKAI, T. et al. A natural variant of NAL1, selected in high-yield rice breeding programs, pleiotropically increases photosynthesis rate. **Scientific Reports**, 3, 2149, 2013.

TERRA, W.C. et al. Expanded geographic distribution of *Meloidogyne paranaensis* confirmed on coffee in Brazil. **Plant Disease**, p. 1, 2018.

TEZARA W. et al. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. **Nature**, v. 401, p. 914-917, oct. 1999.

VILLAIN, L.; SALGADO, S.M.L.; TRINH, P. Nematode parasites of coffee and cocoa. In: SIKORA, R.A. et al. (ed). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Boston: CAB International, p.536-583, 2018.

WALTERS D.R. Growth, development and yield of infected and infested plants and crops. In: **Physiological Responses of Plants to Attack**. Wiley-Blackwell, p. 61-65, 2015.

WARSCHEFSKY E.J. et al. Rootstocks: diversity, domestication, and impacts on shoot phenotypes. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 5, p. 418-437, may. 2016.

WHICKHAM H. Ggplot: using the grammar of graphics with R. **Springer**, New York, 2009.