

# EVOLUÇÃO DA FOTOSÍNTESE DE GENÓTIPOS DE CAFÉ CONILON AO LONGO DO CICLO FENOLÓGICO REPRODUTIVO

Tafarel Victor Colodetti<sup>1</sup>; Wagner Nunes Rodrigues<sup>2</sup>; Samuel Cola Pizetta<sup>3</sup>; Bruno Fardim Christo<sup>4</sup>; João Felipe de Brites Senra<sup>5</sup>; Marcelo Antonio Tomaz<sup>6</sup>

**Resumo** – O conhecimento sobre o desempenho fotossintético de genótipos de café conilon é crucial para a identificação daqueles mais eficientes e resilientes, contribuindo para impulsionar a produtividade. Nesse contexto, objetivou-se estudar a variabilidade entre 27 genótipos de cafeeiro conilon para características fotossintéticas em cada fase fenológica do ciclo reprodutivo, bem como compreender a evolução das trocas gasosas dos genótipos ao longo das fases. Para isso, o experimento foi conduzido em esquema de parcela subdividida, com 27 genótipos compondo a parcela e quatro fases do ciclo reprodutivo compondo a subparcela. O delineamento foi em blocos casualizados, quatro repetições e parcelas experimentais compostas por seis plantas. Em meio a cada fase fenológica (florescimento, chumbinho, granação e maturação) foram avaliadas a taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, a condutância estomática, a taxa de transpiração e a concentração subestomática de CO<sub>2</sub>. Os resultados demonstraram haver elevada variabilidade fotossintética entre genótipos de café conilon, sendo a condutância estomática a variável que possibilitou a maior diferenciação entre os genótipos. O genótipo 108 demonstrou as maiores taxas fotossintéticas, especialmente na granação, enquanto o 209 teve as menores. Já os genótipos 104, 106, 306 e 307 apresentaram tendência de maior estabilidade fotossintética ao longo do ciclo de desenvolvimento dos frutos. Informações sobre os aspectos fotossintéticos do cafeeiro podem ser utilizadas para a seleção de genótipos em programas de melhoramento genético, baseados na capacidade adaptativa, eficiência fotossintética e características específicas, sobretudo diante das mudanças climáticas.

**Palavras-chaves:** *Coffea canephora*; trocas gasosas; variabilidade genética; produtividade.

<sup>1</sup>D.Sc. Produção Vegetal, Agente de Pesquisa e Inovação em Desenvolvimento Rural do Incaper, tafarel.colodetti@incaper.es.gov.br

<sup>2</sup>D.Sc. Produção Vegetal, Agente de Pesquisa e Inovação em Desenvolvimento Rural do Incaper

<sup>3</sup>D.Sc. Recursos Hídricos, Professor EBTT do Instituto Federal do Maranhão

<sup>4</sup>D.Sc. Administração, Especialista em commodities da Veeries

<sup>5</sup>D.Sc. Genética e Melhoramento, Agente de Extensão em Desenvolvimento Rural do Incaper

<sup>6</sup>D.Sc. Fitotecnia, Professor titular da Ufes

## EVOLUTION OF PHOTOSYNTHESIS IN GENOTYPES OF CONILON COFFEE THROUGHOUT THE REPRODUCTIVE PHENOLOGICAL CYCLE

**Abstract** – Knowledge about the photosynthetic performance of genotypes of Conilon coffee is crucial for identifying the most efficient and resilient plants, thereby boosting productivity. In this context, the objective was to study the variability among 27 genotypes of Conilon coffee regarding photosynthetic characteristics during each phenological stage of the reproductive cycle, as well as to understand the evolution of gas exchange in the genotypes throughout these stages. To achieve this, the experiment was conducted using a split-plot design, with 27 genotypes forming the main plots and four stages of the reproductive cycle forming the subplots. The experiment followed a randomized block design with four replications, and each plot was composed of six plants. During each phenological stage (flowering, pinhead, fruit expansion, and maturation), net CO<sub>2</sub> assimilation rate, stomatal conductance, transpiration rate, and substomatal CO<sub>2</sub> concentration were evaluated. The results showed high photosynthetic variability among genotypes of Conilon coffee, with stomatal conductance being the variable that allowed for the greatest differentiation among genotypes. Genotype 108 showed the highest photosynthetic rates, especially during fruit expansion, while genotype 209 had the lowest. Genotypes 104, 106, 306, and 307 showed a trend of greater photosynthetic stability throughout the fruit development cycle. Information on the photosynthetic aspects of coffee plants can be used to select genotypes in genetic improvement programs, based on adaptive capacity, photosynthetic efficiency and specific characteristics, especially in the face of climate changes.

**Keywords:** *Coffea canephora*; gas exchange; genetic variability; productivity.

## EVOLUCIÓN DE LA FOTOSÍNTESIS DE LOS GENOTIPOS DE CAFÉ CONILON A LO LARGO DEL CICLO FENOLÓGICO REPRODUCTIVO

**Resumen** – El conocimiento sobre el desempeño fotosintético de los genotipos de café conilon es crucial para la identificación de aquellos más eficientes y resilientes, contribuyendo de esta manera a impulsar la productividad. En este contexto, el objetivo fue estudiar la variabilidad de las características fotosintéticas entre 27 genotipos de café conilon en cada fase fenológica del ciclo reproductivo, así como comprender la evolución de los intercambios gaseosos de los genotipos a lo largo de las fases. Para este propósito, el experimento se llevó a cabo en un esquema de parcelas divididas, con 27 genotipos que conforman la parcela y cuatro fases del ciclo reproductivo que conforman la subparcela. Las parcelas experimentales consistieron en seis plantas, con cuatro réplicas y bloques aleatorizados. Durante cada fase fenológica (floración, brotación, formación del grano y maduración) se evaluaron la tasa neta de asimilación de CO<sub>2</sub>, la conductancia estomática, la tasa de transpiración y la concentración subestomática de CO<sub>2</sub>. Los resultados demostraron una alta variabilidad fotosintética entre los genotipos de café conilon, siendo la conductancia estomática la variable que permitió la mayor diferenciación entre genotipos. El genotipo 108 mostró las tasas fotosintéticas más altas, especialmente durante la formación del grano, mientras que el 209 tuvo las más bajas. Los genotipos 104, 106, 306 y 307 mostraron una tendencia hacia una mayor estabilidad fotosintética a lo largo del ciclo de desarrollo del fruto. La información sobre los aspectos fotosintéticos de las plantas de café puede utilizarse para seleccionar genotipos en programas de mejoramiento genético, con base en la capacidad adaptativa, la eficiencia fotosintética y características específicas, especialmente ante el cambio climático.

**Palabras clave:** *Coffea canephora*; intercambio gaseoso; variabilidad genética; productividad.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, com produção oriunda, principalmente, das espécies *Coffea arabica* Lineu (café arábica) e *C. canephora* Pierre ex A. Froehner (café conilon). Em função da importância da cafeicultura para a economia brasileira, o desenvolvimento de pesquisas ao longo dos anos tem contribuído para a obtenção de significativos avanços científicos, principalmente através do melhoramento genético de ambas as espécies (Borém; Miranda, 2005).

Para o cafeeiro conilon, tais avanços têm permitido o desenvolvimento de novas cultivares a partir do agrupamento de genótipos (Ferrão et al., 2019), melhorando a compreensão sobre os aspectos relacionados ao crescimento e fisiologia (DaMatta et al., 2003), à nutrição e eficiência nutricional (Martins et al., 2013; Colodetti et al., 2014), entre outros. Além do mais, a elevada variabilidade fenotípica e genotípica dessa espécie, tem possibilitado a seleção de genótipos com características específicas, como a elevada produtividade, tolerância à seca e ciclos de maturação definidos (Fonseca et al., 2006; Rodrigues et al., 2012).

O conhecimento do desempenho fotossintético do café conilon pode contribuir para o desenvolvimento de cultivares clonais e/ou genótipos mais eficientes em termos fisiológicos e produtivos, capazes de evitar o envelhecimento prematuro das plantas ou tolerar condições de déficit hídrico. Por exemplo: genótipos com controle deficiente da taxa transpiratória e da condutância estomática ao déficit hídrico e altas temperaturas, podem ser mais suscetíveis à desidratação rápida em caso de seca (Ronchi; DaMatta, 2019). Ao se conhecer o desempenho fisiológico das plantas, problemas como esse podem ser contornados no momento da escolha do genótipo a ser plantado. Da mesma forma, genótipos com capacidade fotossintética mais expressiva podem corresponder em maiores produções, otimizando recursos naturais e insumos aplicados.

Sabe-se que as taxas fotossintéticas do cafeeiro conilon são relativamente baixas, quando comparadas às de outras espécies lenhosas, e que as grandes resistências à difusão do CO<sub>2</sub> (estomática e mesofílica) são os principais mecanismos responsáveis por tal resultado (Martins et al., 2014). Para o conilon, é possível que haja maior manutenção da absorção cumulativa de CO<sub>2</sub> ao longo do dia, devido à provável menor sensibilidade estomática à demanda evaporativa do ar

(Ronchi; DaMatta, 2019), o que pode ajudar a explicar as maiores produções observadas nessa espécie, quando comparada ao cafeeiro arábica. Também é lícito inferir que o conilon é capaz de apresentar maiores acúmulos de amido nas folhas, sem a ocorrência de retroinibição metabólica da fotossíntese (Morais et al., 2012).

As elevadas produtividades de alguns genótipos de conilon podem estar associadas às maiores taxas fotossintéticas da planta inteira, dependente da manutenção da área foliar sadia, e da arquitetura da copa, capaz de otimizar os processos fotossintéticos (Ronchi; DaMatta, 2019). Isso posto, ressalta-se a necessidade do conhecimento sobre o comportamento fotossintético dos genótipos de café conilon, sobretudo a evolução desses parâmetros fisiológicos ao longo do tempo para genótipos melhorados.

Nesse contexto, objetivou-se estudar a variabilidade entre 27 genótipos de cafeeiro conilon para características fotossintéticas em cada fase fenológica do ciclo reprodutivo da segunda safra após o plantio, bem como compreender a evolução das trocas gasosas dos genótipos ao longo das fases do ciclo reprodutivo.

## METODOLOGIA

O trabalho se baseou numa pesquisa explicativa, na qual dois fatores qualitativos foram atribuídos para compor os tratamentos, sendo os genótipos de cafeeiro conilon e as fases fenológicas do ciclo reprodutivo como as variáveis independentes do estudo. As características de trocas gasosas foram atribuídas como parâmetros quantitativos, integrando, assim, as variáveis dependentes.

## CONDIÇÕES DE CULTIVO E DESENHO EXPERIMENTAL

O campo experimental foi conduzido no município de Castelo, Sul do estado do Espírito Santo, região Sudeste do Brasil, coordenadas geográficas 20°34'19,6"S 41°18'51,7"W, altitude de 126 m e topografia plana no local do estudo. A caracterização climática do local do estudo apresenta acumulado anual médio de precipitação de 1.266 mm e temperatura média anual de 21,7 °C (Climate Data, 2022). No período experimental (agosto de 2017 a julho de 2018), verificou-se o acumulado de 1.375 mm de chuva distribuídos em 143 dias, 23,9 °C de temperatura média, 30,8 °C de média das temperaturas máximas e 18,9 °C de média das temperaturas mínimas.

O experimento foi implantado em agosto de 2014 no espaçamento de 3,0 m × 1,0 m (3.333 plantas por hectare). Cada planta foi conduzida com três ramos ortotrópicos (9.999 ramos por hectare), o que proporcionou uma população de plantas e de ramos dentro do recomendado para o cultivo de cafeeiro conilon (Ferrão *et al.*, 2019). Desde o plantio e durante todo o período experimental, o campo foi irrigado utilizando sistema de aspersão em malha, com monitoramento da umidade do solo realizado por tensiômetros. A irrigação ocorria sempre que a tensão de retenção de água no solo correspondia àquela entre 36 kPa e 26 kPa, a fim de retornar a umidade do solo à capacidade de campo. Desde o plantio, os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações para a cultura do café conilon no estado do Espírito Santo (Ferrão *et al.*, 2019).

O experimento foi conduzido em esquema de parcela subdividida, com 27 genótipos de café conilon (parcela) e quatro fases do ciclo reprodutivo (subparcela), totalizando 108 tratamentos. O delineamento foi em blocos casualizados, com quatro repetições e parcelas experimentais compostas por seis plantas.

### GENÓTIPOS UTILIZADOS NO ESTUDO

Os 27 genótipos de cafeeiro conilon são componentes de três cultivares clonais certificadas no Brasil pelo SNPC (Serviço Nacional de Proteção de Cultivares), sendo eles: nove genótipos de maturação precoce da cultivar Diamante ES8112 (número de certificação SNPC: 20140103), referidos no estudo como 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108 e 109; nove genótipos de maturação intermediária da cultivar Jequitibá ES8122 (número de certificação SNPC: 20140104), denominados como 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208 e 209; e nove genótipos de maturação tardia da cultivar Centenária ES8132 (número de certificação SNPC: 20140102), denominados como 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308 e 309.

Essas cultivares clonais foram desenvolvidas e registradas pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e são resultado de arranjos compatíveis, caracterizados por alto rendimento e qualidade de bebida (Ferrão *et al.*, 2019).

### FASES DO CICLO REPRODUTIVO

A diferença entre os ciclos de maturação dos referidos genótipos consiste no período compreendido entre a antese e a colheita, sendo, em média, de 34 semanas para genótipos precoces; 41 semanas para genótipos

intermediários; e 45 semanas para genótipos tardios (Bragança *et al.*, 2001).

Para a realização das avaliações, o ciclo reprodutivo do cafeeiro foi dividido em quatro fases: (i) florescimento, (ii) chumbinho, (iii) granação e (iv) maturação dos frutos, com a identificação e separação das fases baseadas em Ronchi e DaMatta (2019). No presente estudo, a média de duração total do ciclo (antese à colheita) foi de 39 semanas para os genótipos de maturação precoce, 45 semanas para os intermediários e 50 semanas para os tardios. Esse ciclo reprodutivo correspondeu à segunda safra produtiva após o plantio (safra 2017/2018).

### AValiação DO DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO

Em duas plantas representativas da parcela experimental, foram marcados dois ramos plagiotrópicos de primeira produção, localizados na porção mediana da copa do cafeeiro. Em uma folha madura e sadia de cada ramo (terceiro/quarto par de folhas a partir do ápice do ramo), procederam-se as análises de trocas gasosas, sendo obtidas cinco leituras ( $n = 5$ ) sequenciadas em cada folha.

Avaliou-se a taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a taxa de transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e a concentração subestomática de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ). Para isso, medições pontuais foram realizadas com analisador de gases por infravermelho (IRGA Licor 6400XT), no período matutino, em dias sem nebulosidade. A radiação fotossinteticamente ativa foi padronizada em  $1.000 \mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , utilizando luz artificial saturante. A concentração interna de  $\text{CO}_2$  na câmara foi padronizada em  $420 \mu\text{mol mol}^{-1}$ , um valor superior ao limite máximo observado na atmosfera durante o período experimental (405,0 ppm, conforme Scott e Lindsey (2018)). O déficit de pressão de vapor (DPV), as temperaturas foliar e do ar foram monitorados durante as medições para evitar a coleta de dados quando a temperatura ou o DPV estivessem muito altos. As avaliações ocorreram nos horários: (i) de 8:00 às 10:20, na fase de florescimento; (ii) de 7:30 às 10:00, na fase de chumbinho; (iii) de 7:30 às 9:50, na fase de granação; e (iv) de 7:30 às 10:10, na fase de maturação dos frutos.

### ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, de modo a identificar a existência de

diferenças significativas entre os genótipos e em cada fase do ciclo reprodutivo. Na presença de diferenças significativas, utilizou-se o critério de Scott-Knott para agrupamento das médias dos genótipos (5% de probabilidade).

Para o estudo das trocas gasosas ao longo das fases do ciclo reprodutivo, empregou-se o cálculo da média e desvio-padrão ( $n = 4$ ) e o cálculo de perdas e ganhos (%) nas fases de chumbinho, granação e maturação em relação ao florescimento. Para análises estatísticas, utilizou-se o “Sisvar” (Ferreira, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se efeito significativo para a interação (5% de probabilidade) entre os genótipos e as fases fenológicas do ciclo reprodutivo para todas as variáveis de trocas gasosas analisadas. Na Tabela 1, pode-se observar o desdobramento dos níveis do fator “genótipos” dentro de cada nível do fator “fases fenológicas”. O desdobramento dos níveis do fator “fases fenológicas” dentro de cada nível do fator “genótipo” não foi efetuado, pois preconizou-se compreender a evolução dos parâmetros fotossintéticos em função das fases, e não a comparação estatística entre elas.

**Tabela 1** – Comparação de médias entre os 27 genótipos de café conilon para  $A$ ,  $g_s$ ,  $E$  e  $C_i$  em cada fase do ciclo reprodutivo (2017/2018, Castelo-ES, Brasil)

(continua)

Genótipo	$A$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )				$g_s$ ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )			
	Florescimento	Chumbinho	Granação	Maturação	Florescimento	Chumbinho	Granação	Maturação
101	4,31 b	5,28 c	8,58 a	8,89 c	0,30 a	0,12 c	0,69 a	0,14 b
102	4,06 b	4,82 c	6,62 c	9,96 b	0,14 c	0,23 a	0,32 e	0,14 b
103	4,50 b	4,35 c	6,58 c	9,97 b	0,15 c	0,13 c	0,24 f	0,11 c
104	5,07 a	5,33 c	4,77 d	6,17 d	0,14 c	0,09 d	0,16 h	0,08 d
105	5,31 a	7,95 a	7,94 b	9,52 b	0,09 d	0,25 a	0,55 c	0,18 a
106	5,52 a	6,78 b	5,46 d	5,89 d	0,09 d	0,15 c	0,12 i	0,12 c
107	4,13 b	5,45 c	7,26 b	10,14 b	0,10 d	0,14 c	0,20 g	0,15 b
108	5,68 a	5,67 b	9,63 a	12,88 a	0,13 c	0,21 b	0,33 e	0,21 a
109	3,74 b	8,54 a	7,54 b	7,77 c	0,08 d	0,27 a	0,47 d	0,15 b
201	3,67 b	4,24 c	7,08 b	7,77 c	0,19 b	0,07 d	0,31 e	0,13 c
202	4,69 a	2,70 d	5,03 d	7,46 c	0,09 d	0,11 d	0,14 h	0,10 c
203	3,90 b	2,57 d	6,31 c	8,22 c	0,10 d	0,09 d	0,24 f	0,08 d
204	4,15 b	6,84 b	5,96 c	11,37 a	0,15 c	0,13 c	0,30 e	0,14 b
205	4,09 b	6,48 b	8,60 a	7,03 d	0,10 d	0,15 c	0,19 g	0,10 c
206	5,39 a	5,79 b	8,74 a	8,17 c	0,10 d	0,10 d	0,21 g	0,10 c
207	4,11 b	4,51 c	7,31 b	8,61 c	0,07 d	0,08 d	0,16 h	0,12 c
208	6,67 a	3,07 d	5,37 d	9,96 b	0,08 d	0,18 b	0,19 g	0,15 b
209	3,57 b	3,43 d	3,51 d	7,32 c	0,06 d	0,13 c	0,08 i	0,05 d
301	2,84 b	3,97 c	6,57 c	8,39 c	0,16 c	0,10 d	0,30 e	0,10 c
302	3,73 b	4,96 c	8,68 a	8,57 c	0,11 d	0,20 b	0,62 b	0,12 c
303	3,72 b	5,31 c	6,71 c	4,53 e	0,10 d	0,09 d	0,19 g	0,03 d
304	2,82 b	4,84 c	5,30 d	4,06 e	0,09 d	0,09 d	0,22 g	0,04 d
305	4,08 b	4,06 c	9,34 a	5,86 d	0,07 d	0,23 a	0,21 g	0,03 d
306	4,80 a	4,80 c	6,70 c	4,87 e	0,11 d	0,12 c	0,16 h	0,04 d
307	4,68 a	6,29 b	4,42 d	4,81 e	0,10 d	0,18 b	0,12 i	0,04 d
308	4,84 a	6,55 b	6,10 c	9,24 c	0,09 d	0,25 a	0,27 f	0,11 c
309	4,20 b	4,25 c	5,84 c	7,58 c	0,07 d	0,15 c	0,12 i	0,06 d

(conclusão)

Genótipo	E (mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )				Ci (µmol CO <sub>2</sub> mol <sup>-1</sup> )			
	Florescimento	Chumbinho	Granação	Maturação	Florescimento	Chumbinho	Granação	Maturação
101	2,40 a	1,79 c	4,32 a	2,02 b	356,5 a	327,5 b	378,0 a	278,5 a
102	2,34 a	2,64 b	2,39 d	2,07 b	333,4 a	366,7 a	354,1 a	267,7 a
103	2,24 a	1,54 d	2,35 d	1,79 c	336,9 a	329,6 b	338,1 a	249,5 a
104	2,57 a	1,92 c	1,90 e	1,22 d	324,6 a	305,4 b	338,8 a	258,3 a
105	1,62 b	2,44 b	3,84 b	2,57 b	302,5 a	358,7 a	384,4 a	296,7 a
106	1,49 b	2,80 b	2,00 e	1,92 c	297,8 a	327,6 b	307,0 b	306,0 a
107	1,57 b	2,30 c	3,41 b	2,39 b	301,4 a	336,4 b	324,1 b	280,1 a
108	1,99 a	2,73 b	2,99 c	3,22 a	319,0 a	385,7 a	320,7 b	286,8 a
109	1,49 b	3,59 a	3,32 b	2,50 b	307,4 a	353,3 a	322,0 b	296,0 a
201	2,02 a	1,27 d	3,37 b	1,85 c	338,3 a	310,7 b	373,8 a	270,2 a
202	1,65 b	1,86 c	1,57 f	1,63 c	314,3 a	365,3 a	336,7 a	261,3 a
203	1,59 b	1,41 d	2,50 d	1,59 c	327,0 a	345,1 a	350,4 a	224,6 a
204	2,46 a	2,20 c	3,63 b	2,56 b	346,1 a	316,5 b	365,2 a	249,5 a
205	1,85 b	1,74 c	2,65 d	1,92 c	317,4 a	327,4 b	305,0 b	244,1 a
206	1,78 b	1,93 c	3,35 b	1,91 c	310,2 a	306,2 b	311,7 b	252,0 a
207	1,39 b	1,79 c	3,07 c	2,34 b	293,7 a	313,0 b	310,5 b	263,7 a
208	1,28 b	1,52 d	1,31 f	2,92 a	270,3 a	381,4 a	277,4 b	257,0 a
209	1,06 b	1,87 c	1,15 f	1,26 d	292,3 a	358,9 a	295,7 b	177,8 b
301	1,78 b	1,43 d	2,93 c	1,80 c	336,0 a	345,3 a	369,2 a	245,7 a
302	2,04 a	3,44 a	4,83 a	2,36 b	337,4 a	367,7 a	373,4 a	282,6 a
303	1,74 b	1,58 d	2,43 d	0,92 d	322,2 a	307,0 b	340,8 a	187,7 b
304	1,86 b	2,01 c	2,70 d	0,98 d	323,9 a	315,1 b	350,5 a	230,4 a
305	1,24 b	2,90 b	3,00 c	0,89 d	321,1 a	383,2 a	315,6 b	109,3 c
306	1,76 b	2,02 c	2,65 d	1,15 d	309,2 a	341,4 b	294,5 b	136,0 c
307	1,83 b	3,42 a	2,52 d	1,14 d	308,4 a	347,1 a	331,8 b	210,8 b
308	1,64 b	2,17 c	2,59 d	2,53 b	304,8 a	341,4 b	301,1 b	239,3 a
309	1,45 b	1,99 c	2,08 d	1,48 c	299,2 a	339,4 b	306,1 b	182,8 b

**Nota:** Médias de genótipos seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo critério de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática ( $g_s$ ), taxa de transpiração (E) e concentração subestomática de CO<sub>2</sub> (Ci).

Ao analisar a taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), notou-se que o maior número de grupos entre os genótipos ocorreu na fase de maturação dos frutos, com a formação de cinco grupos de médias. A menor diferenciação entre os genótipos ocorreu na fase de florescimento, com a formação de apenas dois grupos. O genótipo 108 foi o único que esteve nos grupos de maiores médias em três fases fenológicas (florescimento, granação e maturação). O genótipo 105 integrou o grupo de maiores médias em duas fases (florescimento e chumbinho), bem como o genótipo

206 (florescimento e granação). Os genótipos 209 e 304 integraram o grupo de menores médias em três fases fenológicas (florescimento, chumbinho e granação, para o 209; e florescimento, granação e maturação para o 304) (Tabela 1).

Em função da condutância estomática ( $g_s$ ), foram observados quatro grupos de médias entre os genótipos nas fases de florescimento, chumbinho e maturação dos frutos, enquanto nove grupos foram obtidos entre os genótipos na fase de granação. Os genótipos 101 e 105 integraram o grupo de maiores

médias em duas fases fenológicas (florescimento e granação; chumbinho e maturação, respectivamente). Seis genótipos integraram o grupo de menores médias em três fases fenológicas, sendo o 203, o 303 e o 304 nas fases de florescimento, chumbinho e maturação; e os genótipos 209, 307 e 309 no florescimento, granação e maturação (Tabela 1).

Ao analisar a taxa de transpiração ( $E$ ), observaram-se dois grupos de médias entre os genótipos na fase de florescimento, quatro grupos nas fases de chumbinho e maturação e seis grupos na granação dos frutos. Os genótipos 101 e 209 apresentaram o mesmo comportamento que o observado para o  $g_s$ . O genótipo 108 integrou o grupo de maiores médias nas fases de florescimento e maturação, enquanto o genótipo 302 esteve nesse grupo nas fases de florescimento, chumbinho e granação. O genótipo 208 integrou o grupo de menores médias nas fases de florescimento, chumbinho e granação, enquanto o 303 apresentou esse comportamento nas fases de florescimento, chumbinho e maturação dos frutos (Tabela 1).

Para a concentração subestomática de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ), notou-se a formação de dois grupos de médias entre os genótipos nas fases de chumbinho e granação, e três grupos na fase de maturação. Na fase de florescimento não foi observada diferenciação significativa entre os genótipos. Os genótipos 102, 105, 202, 203, 301 e 302 integraram o grupo de maiores médias nas fases de chumbinho, granação e maturação dos frutos (Tabela 1).

De modo geral, foi observada uma expressiva variabilidade entre os genótipos de café conilon para os parâmetros fotossintéticos, sobretudo para a  $g_s$  e  $E$ , na fase de granação, e para a  $A$ , na fase de maturação dos frutos. Essa variabilidade é fundamental para programas de melhoramento genético da espécie e para a identificação de genótipos com características específicas, e pode ser explicada pela ampla variabilidade genética existente no *C. canephora* (Fonseca et al., 2006). A variável  $g_s$  foi a que promoveu a maior diferenciação entre os genótipos, indicando a possibilidade de ser uma característica intrinsecamente dependente do genótipo e capaz de expressar de forma mais relevante a variância genética. Tal constatação já foi relatada quando se analisou a média ponderada dos parâmetros de trocas gasosas no cafeeiro conilon (Colodetti et al., 2025).

Os maiores valores e as maiores quantidades de genótipos no grupo de maiores médias para os

parâmetros fotossintéticos, sobretudo para a  $A$ , entre as fases fenológicas, ocorreram para os genótipos de ciclo de maturação precoce. Essa constatação pode ser embasada na elevada demanda por fotoassimilados para a formação dos frutos (drenos fortes) desses genótipos, tendo em vista que dispõem de menos tempo para formarem os frutos em relação aos genótipos de ciclos de maturação mais tardia (Morais et al., 2012; Partelli et al., 2014).

Ao analisar a evolução dos parâmetros fotossintéticos dos genótipos de café conilon ao longo das fases fenológicas do ciclo reprodutivo, nota-se que, no geral, houve aumento na  $A$  para a maioria dos genótipos estudados. Genótipos como o 101, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 201, 202, 203, 204, 207, 208, 209, 301, 308 e 309 apresentaram as maiores  $A$  na fase de maturação dos frutos. Já para o 205, 206, 302, 303, 304, 305 e 306, isso ocorreu na fase de granação. Para o 106, 109 e 307, as maiores  $A$  ocorreram na fase de chumbinho (Figura 1).

Ganhos de  $A$  – nas fases de chumbinho, granação e maturação, em relação à fase de florescimento – foram observados para o genótipo 109 (mais de 100% de ganho). Resultados semelhantes foram observados para o 101, 107, 108, 201, 205, 207, 301 e 302, com ganhos em  $A$  superiores a 70% nas fases de granação e maturação, relacionados com a fase de florescimento. Perdas na capacidade fotossintética ocorreram nos genótipos 202, 203 e 208, na fase de chumbinho em relação ao florescimento. Enquanto genótipos como o 104, 106, 306 e 307 apresentaram tendência de maior estabilidade fotossintética ao longo das fases fenológicas de desenvolvimento dos frutos (Figura 1).

Oscilações na  $g_s$  foram observadas para os genótipos 101, 105, 109 e 302, com ganhos chegando a 510% na fase de granação, em relação ao florescimento. Os genótipos 101, 104, 201 e 301 sofreram perdas na  $g_s$  nas fases de chumbinho e maturação, enquanto para os genótipos 303, 304, 305, 306 e 307, essas perdas ocorreram na fase de maturação, em relação ao florescimento. Maior tendência de estabilidade na condutância estomática parece ter ocorrido para os genótipos 106, 202, 207 e 209 ao longo das fases de desenvolvimento dos frutos (Figura 2).

Ao analisar a  $E$ , notou-se que os genótipos 101, 103, 105, 106, 107, 201, 203, 204, 206, 301, 302, 303, 304, 305, 306 e 307 apresentaram comportamento semelhante ao observado para a  $g_s$ , com modificação

apenas na magnitude dos valores. O genótipo 104 apresentou perdas na *E* em todas as fases fenológicas, em relação ao florescimento. Em contrapartida, apenas o genótipo 108 demonstrou ganhos na *E* ao longo das fases. Os genótipos 102 e 202 foram os que apresentaram maior tendência de estabilidade para a *E* ao longo das fases (Figura 3).

Todos os genótipos analisados apresentaram perdas na *C<sub>i</sub>* na fase de maturação, em relação ao florescimento, com exceção apenas para o 106. As maiores perdas ocorreram para o 203, 209, 303, 305, 306, 307 e 309, ultrapassando 30% de diminuição na *C<sub>i</sub>* na maturação, em relação ao florescimento. O maior ganho na *C<sub>i</sub>* ocorreu para o genótipo 208 na fase de chumbinho. No geral, os maiores valores de *C<sub>i</sub>* ocorreram na fase de chumbinho, para os genótipos 102, 106, 107, 108, 109, 202, 205, 208, 209, 305, 306, 307, 308 e 309, e na fase de granação, para o 101, 104, 105, 201, 203, 204, 301, 302, 303 e 304. Os genótipos 103, 206 e 207 apresentaram menores variações na *C<sub>i</sub>* entre as fases de florescimento à granação, configurando maior estabilidade para esse parâmetro (Figura 4).

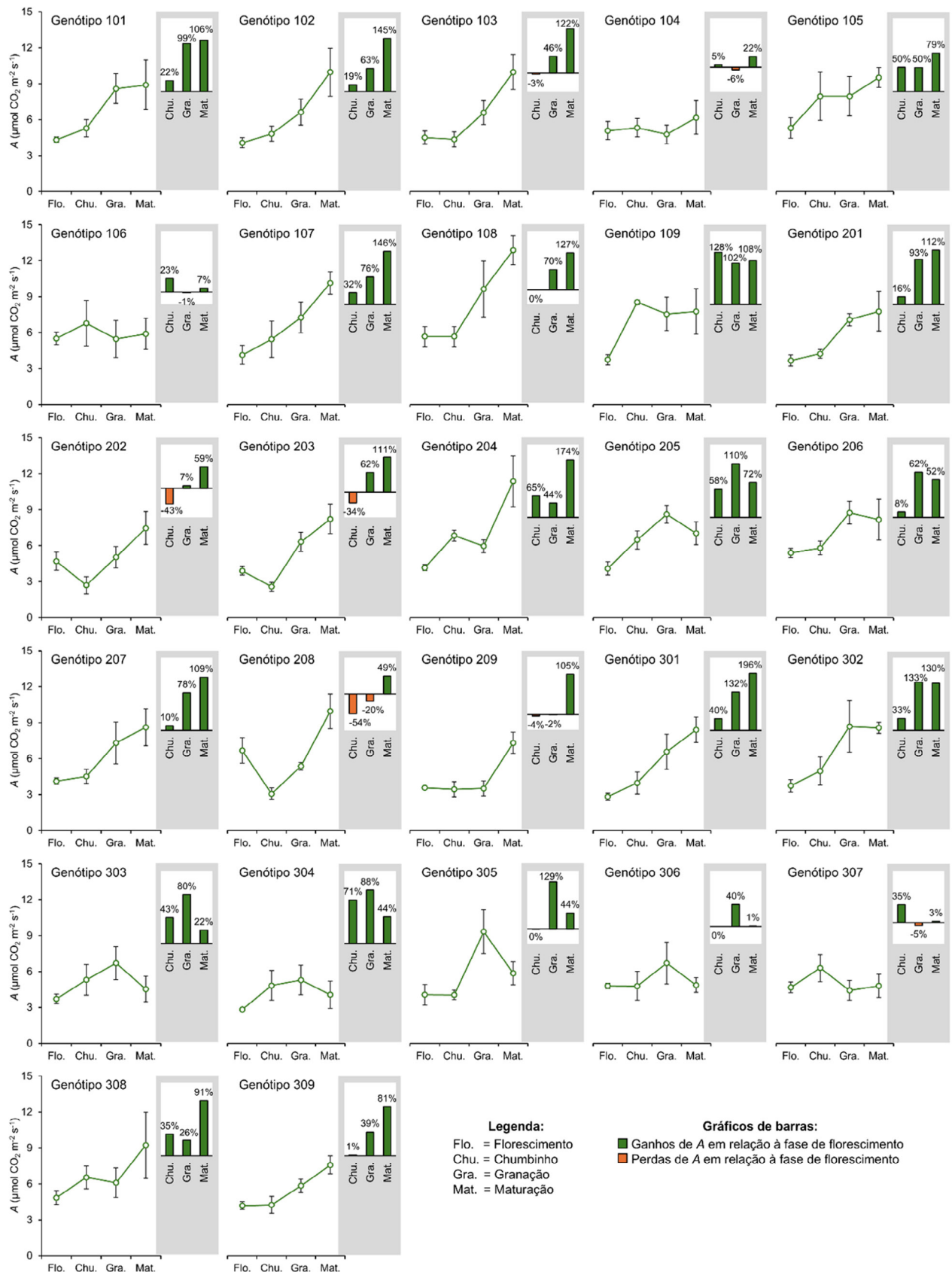
No geral, os genótipos de maturação precoce e intermediária apresentaram comportamento semelhante, com *A* aumentando do florescimento até a maturação, maiores *g<sub>s</sub>* e *E* ocorrendo na fase de granação e maiores *C<sub>i</sub>* nas fases de chumbinho e granação. Já para os genótipos tardios, notou-se comportamento diferenciado, em que as maiores *A* ocorreram na fase de granação, porém, com valores bem próximos ao observado na fase de maturação.

Em termos clássicos, a literatura aponta para a fase de granação como sendo a de maior atividade fotossintética e, conseqüentemente, de maiores taxas de fotossíntese líquida no cafeeiro. Tal efeito é impulsionado pelo aumento na demanda por fotoassimilados nesta fase, onde a força dos drenos (enchimento dos frutos) se relaciona com a atividade fotossintética das fontes (folhas) (Vaast *et al.*, 2005; DaMatta *et al.*, 2008).

Os dados do presente estudo mostram que, no geral, a *A* foi crescente até a maturação dos frutos, enquanto a *g<sub>s</sub>*, *E* e *C<sub>i</sub>* apresentaram os maiores valores nas fases de chumbinho e granação. Com isso, levanta-se a hipótese de que os genótipos de café conilon apresentaram mecanismos para impulsionar a fotossíntese na fase de maior demanda metabólica dos frutos (*e.g.*, maior abertura estomática, maior

taxa transpiratória e maiores concentrações de CO<sub>2</sub>), mas não necessariamente conseguiram refletir na assimilação do carbono. Possivelmente, as maiores temperaturas e os eventos climáticos adversos – cada vez mais frequentes e ocorridos no período do ano que coincidem com a fase de enchimento dos frutos – podem ter contribuído para a ocorrência desses resultados. Nesse cenário, os genótipos podem ter tido suas atividades fotossintéticas favorecidas no período em que a temperatura média diminuiu relativamente, porém, com demandas metabólicas ainda aceleradas, coincidindo com o período entre a granação e a maturação dos frutos.

Genótipos com elevada capacidade em assimilar CO<sub>2</sub> e com maior estabilidade fotossintética ao longo do ciclo reprodutivo podem indicar maior capacidade produtiva e eficiência agrônômica, pois a manutenção de maiores taxas fotossintéticas ao longo das fases fenológicas pode refletir em maiores produções de fotoassimilados, que poderão ser direcionados para a formação dos frutos, traduzindo-se em maiores produtividades (DaMatta, 2004). Além disso, a manutenção ou aumento da taxa fotossintética do genótipo ao longo do ciclo reprodutivo pode indicar uma maior resiliência a estresses abióticos (*e.g.*, hídrico e térmico), o que configura uma importante informação para programas de melhoramento genético da espécie e favorece a produção em ambientes com adversidades (Pinheiro *et al.*, 2005).



**Figura 1** – Evolução da assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A) de 27 genótipos de cafeeiro conilon ao longo das fases fenológicas de desenvolvimento dos frutos da segunda safra produtiva (2017/2018, Castelo-ES, Brasil).

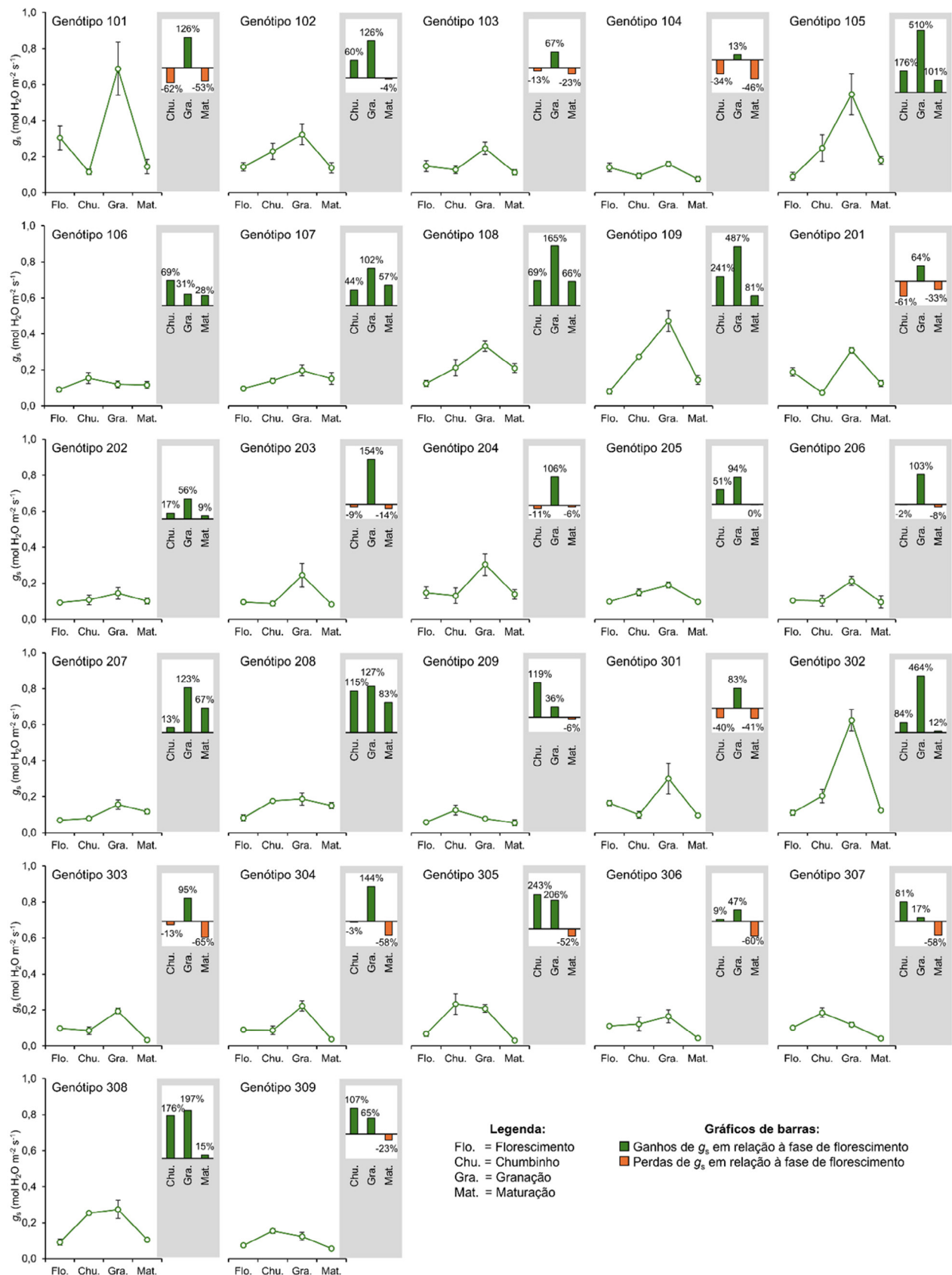


Figura 2 – Evolução da condutância estomática ( $g_s$ ) de 27 genótipos de café conilon ao longo das fases fenológicas de desenvolvimento dos frutos da segunda safra produtiva (2017/2018, Castelo-ES, Brasil).

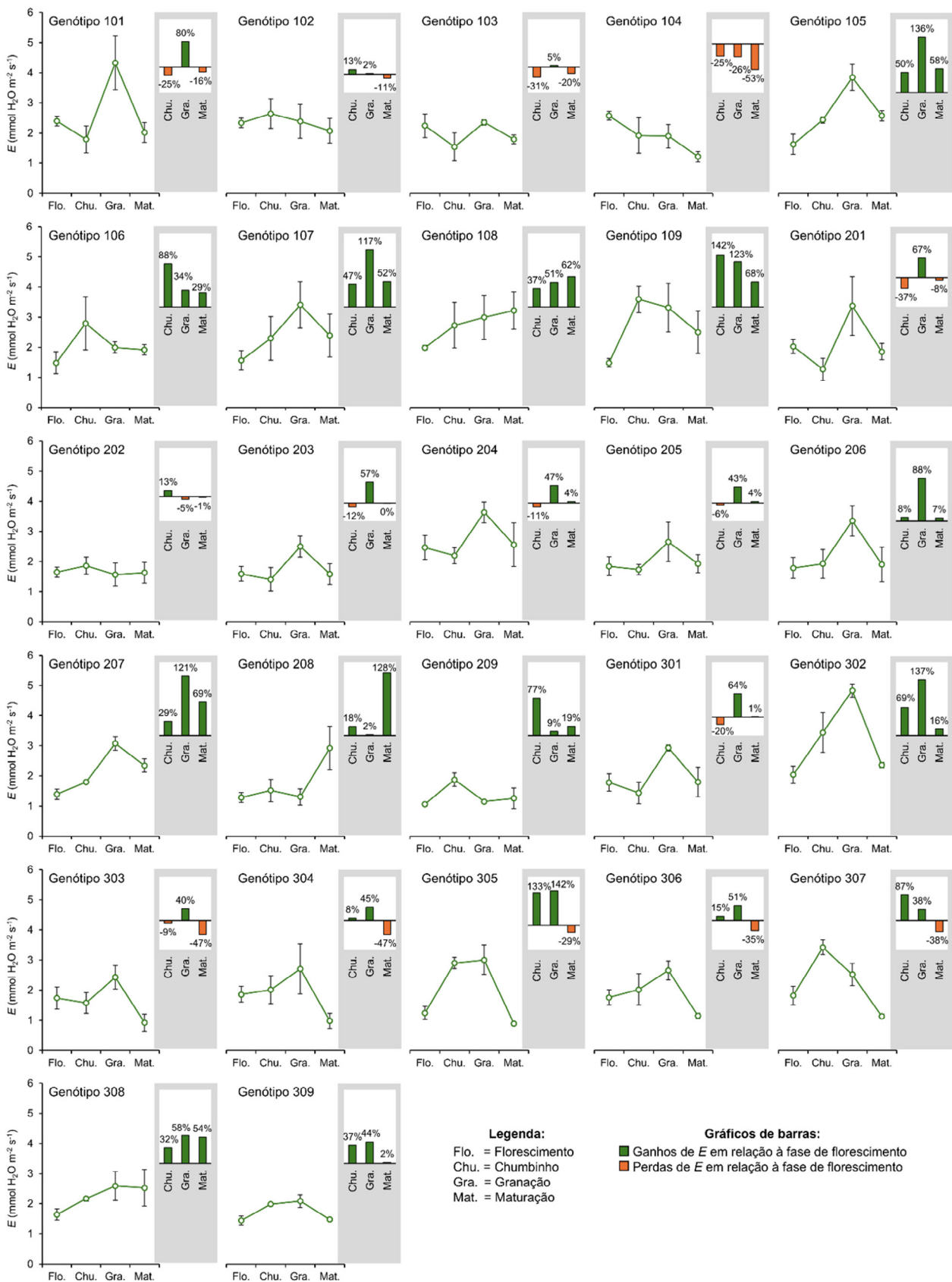
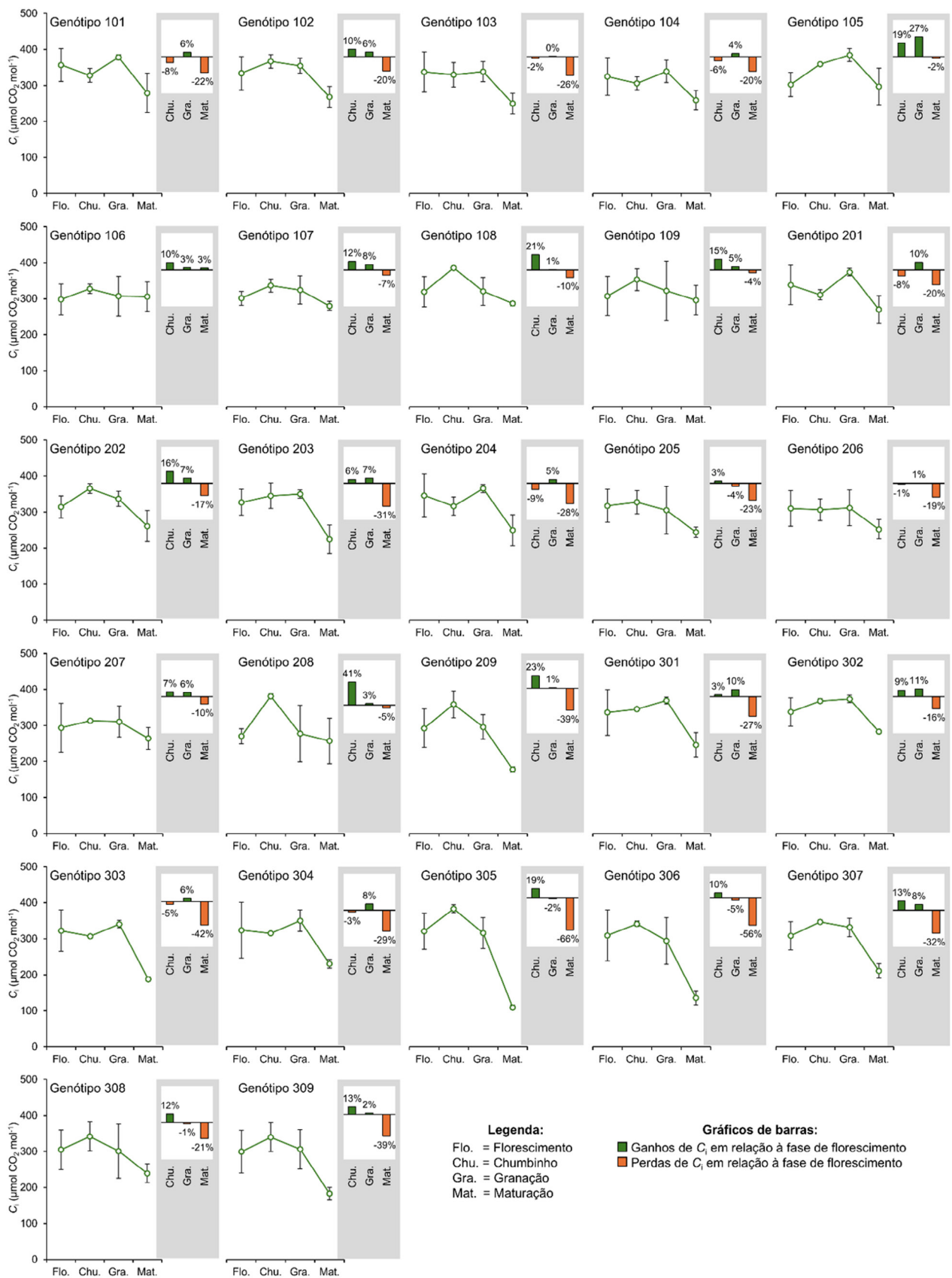


Figura 3 – Evolução da taxa de transpiração (E) de 27 genótipos de café conilon ao longo das fases fenológicas de desenvolvimento dos frutos da segunda safra produtiva (2017/2018, Castelo-ES, Brasil).



**Figura 4** – Evolução da concentração subestomática de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) de 27 genótipos de cafeeiro conilon ao longo das fases fenológicas de desenvolvimento dos frutos da segunda safra produtiva (2017/2018, Castelo-ES, Brasil).

## CONCLUSÕES

Existe elevada expressão da variabilidade entre os genótipos de café conilon para os parâmetros fotossintéticos ao longo das fases de desenvolvimento dos frutos.

A condutância estomática é a variável que parece estar mais intrinsecamente relacionada com a variabilidade genética, uma vez que possibilitou a maior diferenciação entre os genótipos de café conilon.

Destaca-se o comportamento do genótipo 108, ao apresentar as maiores taxas fotossintéticas, bem como o genótipo 209 com as menores, sobretudo na fase de granação dos frutos. Os genótipos 104, 106, 306 e 307 apresentaram tendência de maior estabilidade fotossintética ao longo das fases fenológicas de desenvolvimento dos frutos.

É fundamental a realização e ampliação de estudos que buscam compreender o comportamento fotossintético de diferentes genótipos de café conilon, a fim de identificar aqueles com maior capacidade adaptativa, eficiência fotossintética e características específicas para atender aos programas de melhoramento, contribuindo para a otimização dos recursos com reflexos positivos na capacidade produtiva, sobretudo frente aos cenários de mudanças climáticas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao cafeicultor Rafael Arcanjo Colodetti e sua família pela disponibilização e manutenção da área experimental, ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) pela disponibilização dos genótipos, à Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes) pela disponibilização dos equipamentos necessários e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (Fapes) pelo financiamento da pesquisa (T.O. 446/2016 e T.O. 447/2016).

## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Tafarel Victor Colodetti delimitou o projeto, implantou o experimento, executou as avaliações, analisou os dados e redigiu o manuscrito. Wagner Nunes Rodrigues participou da concepção do projeto, implantação do experimento e redação do manuscrito. Bruno Fardim Christo, Samuel Cola Pizetta e João Felipe de Brites

Senra participaram das avaliações e da análise dos dados. Marcelo Antonio Tomaz participou da concepção do projeto e da revisão do manuscrito.

## CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## REFERÊNCIAS

- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2005. 525p.
- BRAGANÇA, S. M. et al. Variedades clonais de café Conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 36, n. 6, p. 765-770, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500006>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- CLIMATE DATA.org. **Clima Estrela do Norte**. 2022. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/espírito-santo/estrela-do-norte-316566/>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- COLODETTI, T. V. et al. Differential tolerance between genotypes of conilon coffee (*Coffea canephora*) to low availability of nitrogen in the soil. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 8, p. 1648-1657, 2014. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20153100697>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- COLODETTI, T. V. et al. Variability of photosynthetic performance among improved genotypes of *Coffea canephora*. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 72, e72014, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.71252/2177-34912025720014>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- DaMATTÁ, F. M. et al. Drought tolerance of field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science**, Amsterdã, v. 164, n. 1, p. 111-117, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00342-4](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00342-4). Acesso em: 18 jun. 2025.
- DaMATTÁ, F. M. Ecophysiological constraints on the production of high-quality coffee in Brazil. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 16, n. 2, p. 85-92, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.09.001>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- DaMATTÁ, F. M. et al. In field-grown coffee trees source-sink manipulation alters photosynthetic rates, independently of carbon metabolism, via alterations in stomatal function. **New Phytologist**, Lancaster, v. 178, p. 348-357, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02367.x>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- FERRÃO, R. G. et al. **Conilon coffee**. 3<sup>rd</sup> ed. Vitória-ES: Incaper, 2019. 974p. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/3514/1/book-conilon-coffee-3rd-edition-2019-Incaper.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- FONSECA, A. F. A. et al. Genetic divergence in conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 41, n. 4, p. 599-605, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000400008>. Acesso em: 18 jun. 2025.

MARTINS, L. D. *et al.* Nutritional efficiency in clones of conilon coffee for phosphorus. **Journal of Agricultural Science**, Ontario, v. 5, p. 130–140, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jas.v5n1p130>. Acesso em: 18 jun. 2025.

MARTINS, S. C. V. *et al.* Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusive and biochemical constraints to photosynthesis. **Plos One**, San Francisco, v. 9, p. e95571, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095571>. Acesso em: 17 jun. 2025.

MORAIS, L. E. *et al.* Source strength increases with the increasing precociousness of fruit maturation in field-grown clones of conilon coffee (*Coffea canephora*) trees. **Trees**, Londres, v. 26, p. 1397–1402, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0685-8>. Acesso em: 17 jun. 2025.

PARTELLI, F. L. *et al.* Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 38, p. 214–222, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100021>. Acesso em: 15 jun. 2025.

PINHEIRO, H. A. *et al.* Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, Oxford, v. 96, p. 101–108, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mci154>. Acesso em: 12 jun. 2025.

RODRIGUES, W. N. *et al.* Estimativa de parâmetros genéticos de grupos de clones de café Conilon. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, p. 177–186, 2012. Disponível em: <https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/308/pdf>. Acesso em: 16 jun. 2025.

RONCHI, C. P.; DaMATTa, F. M. Physiological aspects of conilon coffee. In: FERRÃO, R. G. *et al.* **Conilon coffee**. 3<sup>rd</sup> ed. Vitória-ES: Incaper, 2019. p. 111–143.

SCOTT, M. S.; LINDSEY, R. **2017 State of the climate**: atmospheric carbon dioxide. [USA]: Climate.gov, 2018. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/featured-images/2017-state-climate-atmospheric-carbon-dioxide>. Acesso em: 18 jun. 2025.

VAAST, P. *et al.* Fruit load and branch ring-barking affect carbon allocation and photosynthesis of leaf and fruit of *Coffea arabica* in the field. **Tree Physiology**, Oxford, v. 25, n. 6, p. 753–760, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/treephys/25.6.753>. Acesso em: 17 jun. 2025.