

Implicações do regime hídrico na taxa de crescimento de genótipos de cafeeiro conilon cultivados em altitude de transição

Implications of the water management on the growth rates of genotypes of conilon coffee grown at transitional altitude

Implicaciones del régimen hídrico en la tasa de crecimiento de genotipos de café conilon cultivados en altitud de transición

DOI: 10.54033/cadpedv22n11-173

Originals received: 8/15/2025

Acceptance for publication: 9/5/2025

Inês Viana de Souza

Mestre em Agronomia

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Endereço: Alegre, Espírito Santo, Brasil

E-mail: ines.viana.18@gmail.com

Tafarel Victor Colodetti

Doutor em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Endereço: Alegre, Espírito Santo, Brasil

E-mail: tafarel.colodetti@incaper.es.gov.br

Lucas Sartori

Graduado em Agronomia

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Endereço: Alegre, Espírito Santo, Brasil

E-mail: lucasksartori@gmail.com

Pedro Henrique Steill Oliveira

Graduado em Agronomia

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Endereço: Alegre, Espírito Santo, Brasil

E-mail: pedrosteill@gmail.com

Amanda Dutra de Vargas

Doutor em Agronomia

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Endereço: Alegre, Espírito Santo, Brasil

E-mail: amanda.vargas@incaper.es.gov.br

Wagner Nunes Rodrigues

Doutor em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Endereço: Alegre, Espírito Santo, Brasil

E-mail: wagner.rodrigues@incaper.es.gov.br

Marcelo Antonio Tomaz

Doutor em Fitotecnia

Instituição: Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Endereço: Viçosa, Minas Gerais, Brasil

E-mail: marcelo.tomaz@ufes.br

RESUMO

Objetivou-se analisar a variabilidade do crescimento de nove genótipos de cafeeiro conilon, com diferentes regimes hídricos, cultivados em altitude de transição. O experimento seguiu o esquema de parcelas subdivididas, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. O fator subparcela consistiu em nove genótipos de cafeeiro conilon. O fator parcela correspondeu a dois regimes hídricos, irrigado e não irrigado. Foram avaliadas características de crescimento vegetativo, iniciadas na antese de um ciclo reprodutivo, sendo finalizada no estágio de maturação dos frutos do mesmo ciclo, percorrendo todas as fases do ciclo reprodutivo. A taxa de crescimento do cafeeiro conilon foi influenciada pela variabilidade entre os genótipos e pelo manejo hídrico adotado, onde o comportamento da curva de crescimento vegetativo ao longo do ciclo reprodutivo oscila de forma diferenciada conforme o manejo hídrico. Além disso, as máximas e mínimas para cada característica são fortemente influenciadas pelo material genético, além do manejo da água no solo. A altura da planta, o comprimento do ramo plagiotrópico e a área foliar do ramo plagiotrópicos ao final do ciclo reprodutivo (maturação dos frutos) foram favorecidos pelo manejo irrigado, com ganhos de 7,6%, 9,5% e 13,0%, respectivamente, em relação ao manejo não irrigado. O genótipo 108 sobressaiu os demais ao apresentar copas mais altas, com ramos maiores e mais enfolhados, enquanto os genótipos 101 e 103 estiveram nos grupos com as menores médias para essas características.

Palavras-chave: *Coffea canephora*. Manejo Hídrico. Biometria. Crescimento Vegetativo.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the variability in growth of nine conilon coffee genotypes, with different water management, cultivated at transitional altitude. The experiment was conducted using a split-plot design in randomized blocks with four replications. The subplot factor consisted of nine conilon coffee genotypes, and the main plot factor consisted of two water regimes, irrigated and non-irrigated. Vegetative growth traits were evaluated, starting at the anthesis of one reproductive cycle, and ending at fruit maturation of the same cycle, covering all phases of the reproductive cycle. Growth rate of conilon coffee was influenced by both genotype variability and water management, with the behavior of

vegetative growth curves differing according to the water regime. Moreover, the maximum and minimum values for each trait were strongly influenced by genetic material and soil water management. Plant height, length of plagiotropic branches, and leaf area of plagiotropic branches at the end of the reproductive cycle (fruit maturation) were favored by irrigation, with increases of 7.6%, 9.5%, and 13.0%, respectively, compared to non-irrigated management. Genotype 108 stood out by presenting taller crowns, longer branches, and more leaf area, while genotypes 101 and 103 showed the lowest averages for these traits.

Keywords: *Coffea canephora*. Water Management. Biometry. Vegetative Growth.

RESUMEN

El objetivo fue analizar la variabilidad del crecimiento de nueve genotipos de café conilon, con diferente gestión del agua, cultivados en altitud de transición. El experimento se realizó con un diseño de parcelas subdivididas en bloques al azar, con cuatro repeticiones. El factor subparcela consistió en nueve genotipos de café conilon, y el factor parcela correspondió a dos regímenes hídricos, irrigado y no irrigado. Se evaluaron características de crecimiento vegetativo, iniciadas en la antesis del un ciclo reproductivo, y finalizadas en la maduración de los frutos del mismo ciclo, abarcando todas las fases del ciclo reproductivo. La tasa de crecimiento del café conilon estuvo influenciada tanto por la variabilidad entre genotipos como por el manejo hídrico, observándose diferencias en el comportamiento de las curvas de crecimiento vegetativo según el régimen hídrico. Además, los valores máximos y mínimos de cada característica fueron fuertemente influenciados por el material genético y el manejo del agua en el suelo. La altura de la planta, la longitud de las ramas plagiotrópicas y el área foliar de estas ramas al final del ciclo reproductivo (maduración de frutos) se favorecieron con el riego, con incrementos de 7,6%, 9,5% y 13,0%, respectivamente, en comparación con el manejo no irrigado. El genotipo 108 se destacó por presentar copas más altas, ramas más largas y mayor área foliar, mientras que los genotipos 101 y 103 mostraron los menores promedios para estas características.

Palabras clave: *Coffea canephora*. Gestión del Agua. Biometría. Crecimiento Vegetativo.

1 INTRODUÇÃO

As perspectivas estimam que as áreas destinadas a cafeicultura devem enfrentar limitações relacionadas com as mudanças climáticas, principalmente nas regiões de menores altitudes (Bunn *et al.*, 2015) devido ao aumento das temperaturas (IPCC, 2014). Com a variabilidade genética da espécie *Coffea canephora*, alguns genótipos podem apresentar adaptações às condições

ambientais de regiões com altitudes mais elevadas (Martins *et al.*, 2019). Estudos já tem demonstrado que o café conilon quando cultivado em maiores altitudes tem apresentado um aumento na qualidade dos grãos, tornando-se uma alternativa para a obtenção de cafés especiais dessa espécie (Pinheiro *et al.*, 2019). Além disso, tem sido observado um aumento no interesse por parte dos cafeicultores pelo cultivo de conilon em regiões com altitudes de transição, principalmente devido à maior resistência da espécie ao ataque de pragas e doenças, maior facilidade de manejo, dentre outras características (Colodetti *et al.*, 2016).

Lavouras cafeeiras em maiores altitudes e em época de dias mais longos (verão) têm apresentado ganhos em crescimento vegetativo. Se a queda da temperatura ocorrer de forma gradual nessas regiões, os genótipos de *C. canephora* podem ser capazes de se adaptar as essas condições através de mecanismos de defesa e aclimação (Ramalho *et al.*, 2014), o que poderia ajudar a contornar os efeitos das baixas temperaturas. A irrigação também pode trazer muitos benefícios para o cafeeiro, intervindo de forma positiva no crescimento vegetativo e no aumento e qualidade da produção (Fernandes *et al.*, 2012).

O café conilon é uma espécie que apresenta naturalmente uma elevada variabilidade genotípica e fenotípica, fazendo com que exista uma grande diversidade em relação às características agronômicas (Fonseca *et al.*, 2006). Certamente essa característica da espécie pode contribuir para que ocorra diferentes respostas entre os genótipos quando cultivados em maiores altitudes, permitindo a seleção daqueles com características de interesse nessas regiões (Colodetti *et al.*, 2016). Além disso, essa condição contribui para avanços nos programas de melhoramento genético do cafeeiro conilon (Oliveira *et al.*, 2015).

Nesse contexto, frente às mudanças climáticas e com o aumento do interesse dos produtores rurais em produzir o café conilon em regiões com maiores altitudes, se torna imprescindível o estudo das respostas de diferentes genótipos para as características de crescimento vegetativo e reprodutivo das plantas, possibilitando a identificação de comportamento variável entre os genótipos nesses ambientes, sobretudo quando associado ao manejo hídrico diferencial. Isto posto, objetivou-se analisar as implicações de diferentes regimes hídricos nas

taxas de crescimento vegetativo de nove genótipos de cafeeiro conilon, cultivados em altitude de transição.

2 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na localidade de Lagoa Seca, zona rural do município de Alegre-ES, região do Caparaó Capixaba, a uma altitude de 650 m. As plantas de cafeeiro conilon foram implantadas em fevereiro de 2015, no espaçamento de 3,0 × 1,0 m. Cada planta foi conduzida com três ramos ortotrópicos e com a poda programada de ciclo (Verdin Filho *et al.*, 2014). O campo experimental foi conduzido conforme as recomendações vigentes (Ferrão *et al.*, 2019).

O experimento seguiu o esquema de parcelas subdivididas, com dois manejos de água no solo (compondo as parcelas) e nove genótipos de *C. canephora* (compondo as subparcelas), em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições e três plantas por unidade experimental. Os dois manejos hídricos consistiram em manejo irrigado e não irrigado. No manejo irrigado, a umidade do solo foi monitorada por tensiômetros (25 cm de profundidade) e a água distribuída por sistema de irrigação localizada (gotejamento). A irrigação ocorreu sempre que o potencial de retenção de água no solo atingiu entre 70 e 60% da água disponível (34 e 46 kPa, respectivamente), retornando à umidade à capacidade de campo. Para o sistema não irrigado, a entrada de água ocorreu principalmente por precipitação natural. Os nove genótipos de *C. canephora* corresponderam àqueles componentes da cultivar clonal de ciclo de maturação precoce “Diamante ES8112” (número de certificação SNPC: 20140103), referidos no estudo como 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108 e 109.

Após a colheita dos frutos de 2021, as plantas foram podadas e os ramos ortotrópicos velhos foram eliminados, dessa forma, as brotações selecionadas no ano anterior formaram a nova parte aérea das plantas. Nessa nova parte aérea foram realizadas as avaliações de crescimento. Na antese do estágio fenológico de florescimento do ano de 2021, foram iniciadas as avaliações, intercaladas de 30 dias, e finalizadas no estágio fenológico de maturação dos frutos do

ano subsequente. Dessa forma, buscou-se estudar a evolução do crescimento vegetativo dos genótipos, tendo como base as fases fenológicas de desenvolvimento dos frutos. Sendo assim, considerou-se: a Fase 1 (F1) correspondeu ao período de formação do chumbinho, iniciada após a antese; a Fase 2 (F2) compreendeu ao período de expansão rápida dos frutos; a Fase 3 (F3) representou a formação do endosperma dos frutos; a Fase 4 (F4) demonstrou a granação dos frutos; a Fase 5 (F5) representou a maturação dos frutos. Para a definição dessas fases, seguiu-se a descrição estabelecida por Ronchi e DaMatta (2019).

Foram marcados dois ramos plagiotrópicos (ramos laterais) de primeira produção e um ramo ortotrópico (ramo vertical) em cada planta útil da parcela experimental. Nesses ramos foram avaliadas as seguintes características: altura da planta (ALT; cm), obtida com trena graduada (mm), sendo medido o comprimento entre o solo e o ápice do ramo vertical; diâmetro do caule (DC; mm), obtido com paquímetro digital (precisão de 0,01 mm), aferindo-se o diâmetro no meio do primeiro internódio do ramo ortotrópico acima da região de inserção no tronco original; comprimento do ramo plagiotrópico (CRP; cm), obtido com trena graduada (mm), medindo-se a distância entre o ápice do ramo lateral e a inserção no ramo vertical; número de ramos plagiotrópicos (NRP; unidades) e número de nós do ramo plagiotrópico (NNO; unidades), ambos obtidos por contagem direta. A área foliar do ramo plagiotrópico (AFP; cm²) foi obtida pela multiplicação entre o número de folhas do ramo e a área foliar unitária, sendo esta obtida pelo método de medidas das dimensões lineares proposto por Barros *et al.* (1973).

As taxas de crescimento em altura (TCA_{ALT}; cm dia⁻¹), em expansão do caule (TCA_{DC}; mm mês⁻¹), do comprimento do ramo plagiotrópico (TCA_{CRP}; cm dia⁻¹), em emissão de ramos plagiotrópicos (TCA_{NRP}; unidades mês⁻¹), em emissão de nós no ramo plagiotrópico (TCA_{NNO}; unidades mês⁻¹) e em expansão da área foliar (TCA_{AFP}; cm² dia⁻¹), foram estimadas com base na variação temporal dessas características (TCA; Taxa de Crescimento Absoluta), de acordo com a metodologia para análise do crescimento de comunidades vegetais estabelecida por Silva *et al.* (2000). Empregou-se a análise descritiva das médias em cada período de avaliação, para cada genótipo e em função de cada manejo hídrico para o estudo da evolução temporal das taxas de crescimento.

Para a caracterização do crescimento das plantas ao final do período experimental (maturação dos frutos na safra de 2022), os dados foram submetidos à análise de variância onde, na presença de efeito significativo para as fontes de variação, empregou-se o critério de Scott-Knott para agrupamento das médias dos genótipos e o teste de Tukey para a comparação das médias entre os regimes hídricos, ambos em nível de 5% de probabilidade. Utilizou-se o software de análises estatísticas “Sisvar” (Ferreira, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao analisar o comportamento dos genótipos para as características de crescimento vegetativo ao final do período experimental (maturação dos frutos da primeira colheita após a renovação da copa), notou-se interação significativa entre os fatores (genótipos e manejos hídricos) para todas as características analisadas, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo da análise de variância (ANOVA) para a altura da planta (ALT; cm), diâmetro do caule (DC; mm), número de ramos plagiotrópicos no ramo ortotrópico (NRP; unid.), comprimento do ramo plagiotrópico (CRP; cm), número de nós no ramo plagiotrópico (NNO; unid.) e área foliar do ramo plagiotrópico (AFP; cm²) de nove genótipos de cafeeiro conilon em dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado) e em altitude de transição, avaliados no estágio fenológico de maturação dos frutos da primeira colheita após a renovação da copa (650 m, Alegres).

FV	Quadrado Médio					
	ALT	DC	NRP	CRP	NNO	AFP
Bloco	500,823 ^{ns}	2,207 ^{ns}	37,051*	132,186 ^{ns}	9,278 ^{ns}	17003,036 ^{ns}
Regime (R)	3716,657*	38,281*	0,347 ^{ns}	1533,657*	1,389 ^{ns}	636854,684*
Erro a	134,061	1,170	3,495	66,875	6,018	41354,809
Genótipo (G)	1551,398*	19,148*	107,108*	370,435*	26,024*	1848001,597*
R x G	272,719*	8,023*	24,941*	172,249*	12,733*	128917,166*
Erro b	120,575	3,306	10,658	70,393	5,763	27442,398
CVa (%)	6,38	4,28	4,02	8,75	12,25	14,98
CVb (%)	6,05	7,19	7,02	8,98	11,99	12,20
Média geral	181,59	25,27	46,49	93,45	20,03	1357,69

FV: fonte de variação. *significativo e ^{ns}não significativo pelo teste F (5% de probabilidade).

Fonte: Autores.

No presente estudo, a duração do ciclo reprodutivo para desenvolvimento dos frutos foi de 273 dias (39 semanas), o que difere de períodos médios descritos na literatura. Bragança *et al.* (2001) relataram 238 dias (34 semanas), Partelli

et al. (2014) verificaram 216 dias (31 semanas) e Ronchi e DaMatta (2019) relataram duração de 252 dias (36 semanas). Ciclos mais longos de desenvolvimento dos frutos de café conilon são esperados quando o cultivo se dá em regiões de maiores altitudes e temperaturas médias menores (Taques e Dadalto, 2019), como é o caso do local onde o estudo foi desenvolvido (650 m).

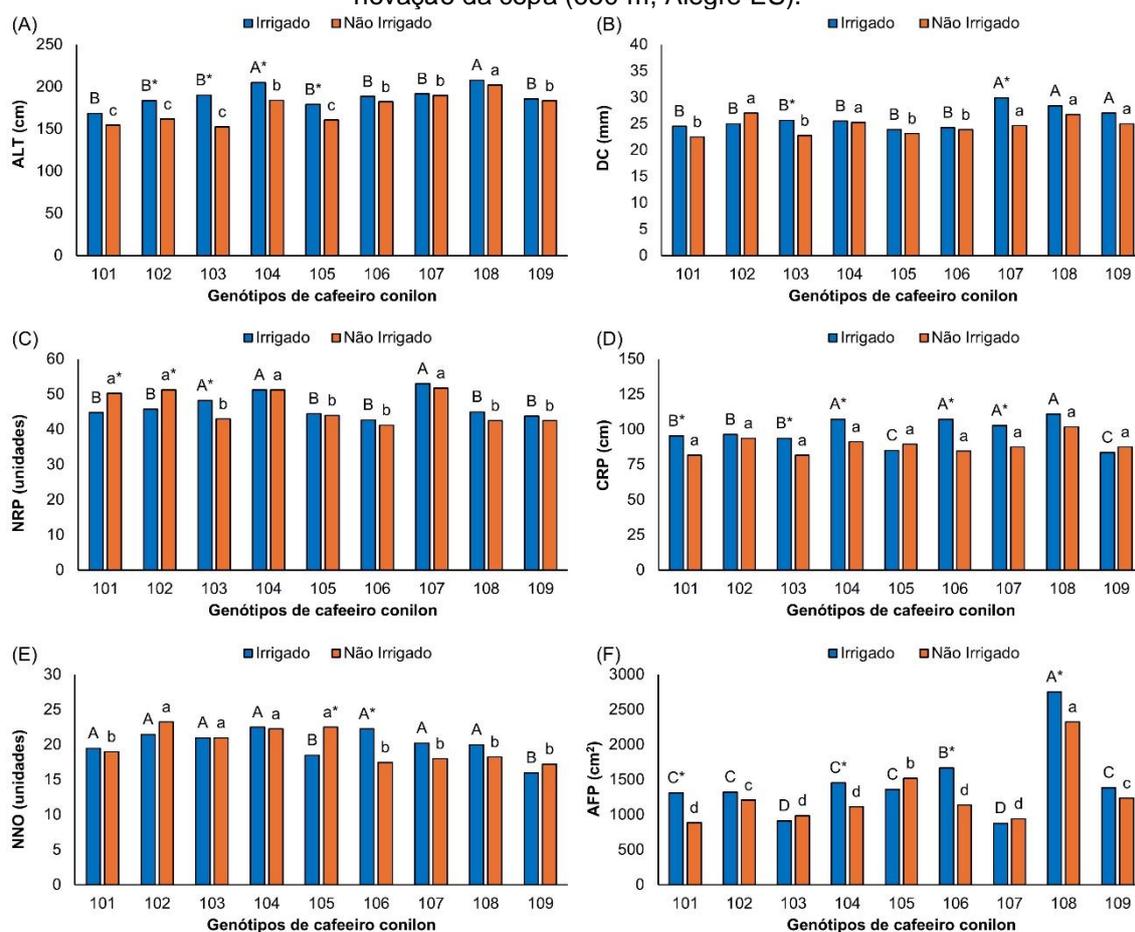
Analisando o desdobramento das interações, para a altura das plantas (ALT), ocorreu a formação de dois grupos de médias entre os genótipos no manejo irrigado e três grupos no manejo não irrigado (Figura 1A). As maiores médias no irrigado foram apresentadas pelos genótipos 104 e 108, enquanto no não irrigado o genótipo 108 integrou o grupo de maior média (Figura 1A). Ao comparar o efeito do manejo hídrico em cada genótipo, notou-se que apenas o 102, 103 e 104 apresentaram as maiores médias em função do manejo irrigado quando comparado com o não irrigado (Figura 1A). Rodrigues *et al.* (2016) observaram diminuições na altura do cafeeiro conilon em função da menor disponibilidade de água no solo, evidenciando os benefícios da irrigação.

Para o diâmetro do caule (DC), dois grupos de médias ocorreram entre os genótipos em ambos os manejos hídricos, onde o 107, 108 e 109 compuseram o grupo de maiores médias no irrigado, e o 102, 104, 107, 108 e 109 no não irrigado (Figura 1B). Ao comparar os manejos hídricos, notou-se que apenas os genótipos 103 e 107 apresentaram diferenças significativas em função do manejo irrigado quando comparado ao manejo não irrigado (Figura 1B). No trabalho realizado por Dardengo *et al.* (2010), também se observou uma diminuição do diâmetro do caule do cafeeiro conilon submetido ao déficit hídrico.

Dois grupos foram formados para o número de ramos plagiotrópicos (NRP), com os genótipos 103, 104 e 107 no manejo irrigado, e o 101, 102, 104 e 107 no não irrigado, compondo os grupos de maiores médias. Comparando os regimes hídricos, o genótipo 103 apresentou maior média em função do manejo irrigado, enquanto os genótipos 101 e 102 obtiveram médias maiores em função do manejo não irrigado (Figura 1C). O número de ramos plagiotrópicos está relacionado com a capacidade produtiva das plantas, uma vez que são nesses ramos que ocorrem a produção de frutos (Rocha *et al.*, 2013). No entanto, o aumento do NRP não reflete, necessariamente, em maiores produções, visto

que diversos outros fatores atuam em conjunto para a definição da carga produtiva.

Figura 1. Comparação de médias para a altura das plantas (A), diâmetro do caule (B), número de ramos plagiotrópicos do ramo ortotrópico (C), comprimento do ramo plagiotrópico (D), número de nós do ramo plagiotrópico (E) e área foliar do ramo plagiotrópico (F) de nove genótipos de cafeeiro conilon em dois regimes hídricos (Irrigado e Não Irrigado), em altitude de transição, avaliados no estágio fenológico de maturação dos frutos da primeira colheita após a renovação da copa (650 m, Alegre-ES).



Fonte: os autores. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (comparação entre os genótipos no manejo Irrigado) e minúscula (comparação entre os genótipos no manejo Não Irrigado), não diferem entre si pelo critério de Scott-Knott (5% de probabilidade). Médias seguidas por asterisco (*) demonstram diferença significativa entre os manejos hídricos para aquele genótipo, de acordo com teste de Tukey (5% de probabilidade).

Analisando o comprimento do ramo plagiotrópico (CRP), houve a formação de três grupos de médias para o manejo irrigado, com os genótipos 104, 106, 107 e 108 compondo o grupo de maiores médias, enquanto não houve diferenciação significativa entre os genótipos no manejo não irrigado (Figura 1D). Na comparação entre os manejos, os genótipos 101, 103, 104, 106 e 107

obtiveram maiores médias com a irrigação (Figura 1D). Covre *et al.* (2016), estudando o crescimento vegetativo de plantas de café conilon sob condições irrigadas e não irrigadas, observaram que a taxa de crescimento dos ramos plagiotrópicos também foi maior sob a condição de manejo irrigado.

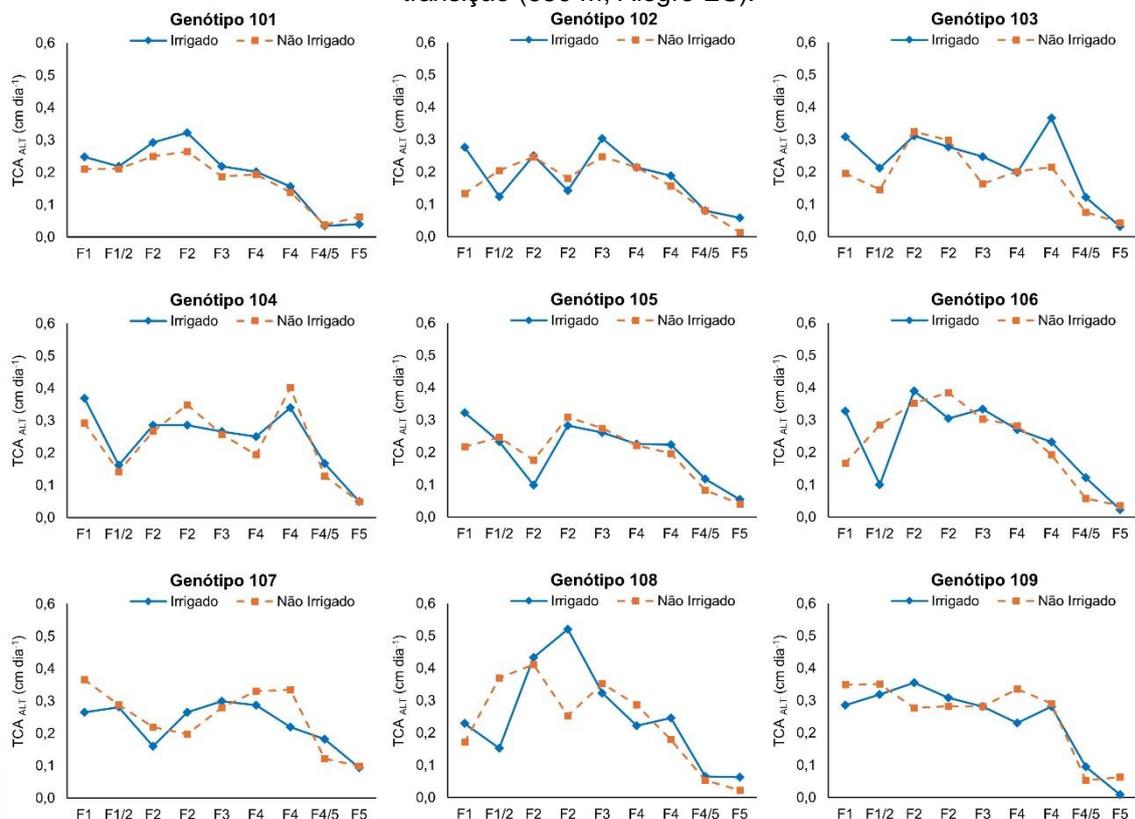
Ao analisar o número de nós no ramo plagiotrópico (NNO), notou-se a formação de dois grupos em ambos os manejos hídricos, com os genótipos 105 e 109 formando o grupo com as menores médias no manejo irrigado, enquanto no manejo não irrigado os genótipos 101, 106, 107, 108 e 109 formaram o grupo com as menores médias (Figura 1E). Ao comparar o efeito do manejo hídrico, verificou-se que a irrigação favoreceu o genótipo 106, enquanto o manejo não irrigado favoreceu o genótipo 105 (Figura 1E). A produção de nós nos ramos plagiotrópicos varia conforme a taxa de crescimento dos ramos laterais no cafeeiro conilon (Ronchi e DaMatta, 2019), e a irrigação exerce influência positiva sobre crescimento do cafeeiro (Ferreira *et al.*, 2013).

Para a área foliar do ramo plagiotrópico (AFP), notou-se a formação de quatro grupos de médias para cada manejo hídrico, com o genótipo 108 compondo o grupo de maior média em ambos os regimes (Figura 1E). Na comparação entre os manejos hídricos, apenas o regime irrigado promoveu diferenças significativas, sendo-as observadas para os genótipos 101, 104, 106, e 108 (Figura 1E). A inibição da expansão foliar é uma das primeiras respostas das plantas quando submetidas ao déficit hídrico (Taiz *et al.*, 2007), sendo considerada uma estratégia de sobrevivência pela diminuição da transpiração (Correia e Nogueira, 2014).

Ao analisar a evolução da taxa de crescimento em altura (TCA_{ALT}) durante o período reprodutivo do cafeeiro (florescimento até a maturação dos frutos), notou-se que os genótipos apresentaram variações em seus padrões de crescimento, porém, com tendência de diminuição em função do avanço dos estágios de desenvolvimento dos frutos, independente do manejo hídrico adotado, com redução significativa na fase de maturação (Figura 2). No entanto, a TCA_{ALT} média entre os genótipos no manejo irrigado foi 4,4% maior que no manejo não irrigado. Além disso, notou-se que as TCA_{ALT} máximas no manejo irrigado foram observadas na fase da antese ao chumbinho (F1) para os genótipos 104 e 105

(0,37 e 0,32 cm dia⁻¹, respectivamente); na fase de expansão dos frutos (F2) para os genótipos 101, 106, 108 e 109 (0,32; 0,39; 0,52 e 0,35 cm dia⁻¹, respectivamente); na fase de formação do endosperma (F3) para os genótipos 102 e 107 (0,30 cm dia⁻¹, respectivamente); e na fase de granação (F4) para o 103 (0,37 cm dia⁻¹). Já no manejo não irrigado, as máximas TCA_{ALT} ocorreram na F1 para os genótipos 107 e 109 (0,37 e 0,35 cm dia⁻¹, respectivamente); na F2 para os genótipos 101, 103, 105, 106 e 108 (0,26; 0,32; 0,31; 0,38 e 0,41 cm dia⁻¹, respectivamente); na F3 para o genótipo 102 (0,25 cm dia⁻¹); e na F4 para o 104 (0,40 cm dia⁻¹). Para ambos os manejos hídricos, foi na fase de expansão rápida dos frutos que se observou maior número de genótipos com seus respectivos valores máximos de TCA_{ALT} (Figura 2).

Figura 2. Evolução da taxa de crescimento absoluta em altura da planta (TCA_{ALT}; cm dia⁻¹) de nove genótipos de cafeeiro conilon, durante o primeiro ciclo reprodutivo após a renovação da copa (F1 – da antese ao chumbinho; F1/2 – chumbinho/expansão rápida; F2 – expansão rápida; F3 – formação do endosperma; F4 – granação; F4/5 – granação/maturação; F5 – maturação dos frutos), conduzidos com dois regimes hídricos (Irigado e Não Irrigado) e em altitude de transição (650 m, Alegre-ES).

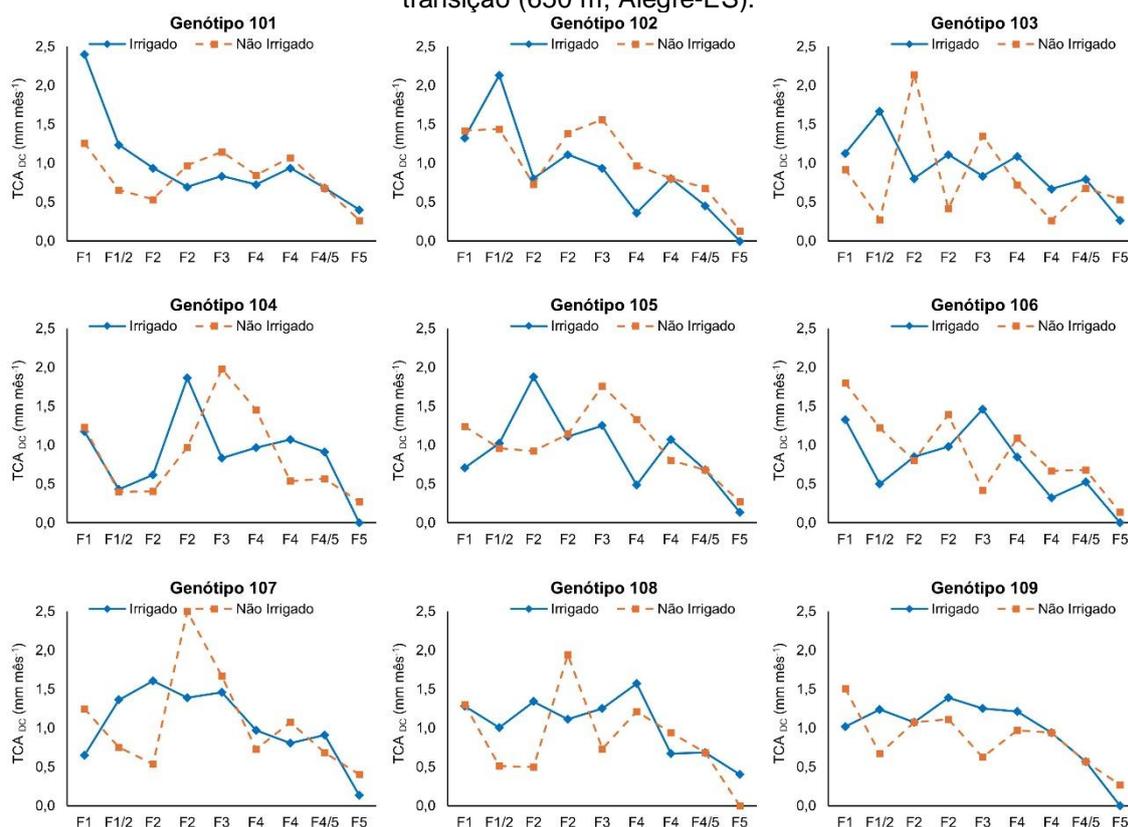


Fonte: os autores.

Sabe-se que os frutos de café atuam como dreno prioritário por fotoassimilados, dessa forma, o crescimento vegetativo dos cafeeiros com frutos pode diminuir com o avanço do período reprodutivo (Amaral *et al.*, 2006), uma vez que o crescimento vegetativo e reprodutivo ocorre de forma concomitante.

Com relação a evolução da taxa de crescimento em expansão do caule (TCA_{DC}), os genótipos, tanto do manejo irrigado quanto no manejo não irrigado, também apresentaram oscilações ao longo do período reprodutivo analisado, com diminuição na taxa de crescimento ao final do ciclo reprodutivo (Figura 3).

Figura 3. Evolução da taxa de crescimento absoluta do diâmetro do caule (TCA_{DC} ; $mm\ mês^{-1}$) de nove genótipos de cafeeiro conilon, durante o primeiro ciclo reprodutivo após a renovação da copa (F1 – da antese ao chumbinho; F1/2 – chumbinho/expansão rápida; F2 – expansão rápida; F3 – formação do endosperma; F4 – granação; F4/5 – granação/maturação; F5 – maturação dos frutos), conduzidos com dois regimes hídricos (Irigado e Não Irrigado) e em altitude de transição (650 m, Alegre-ES).



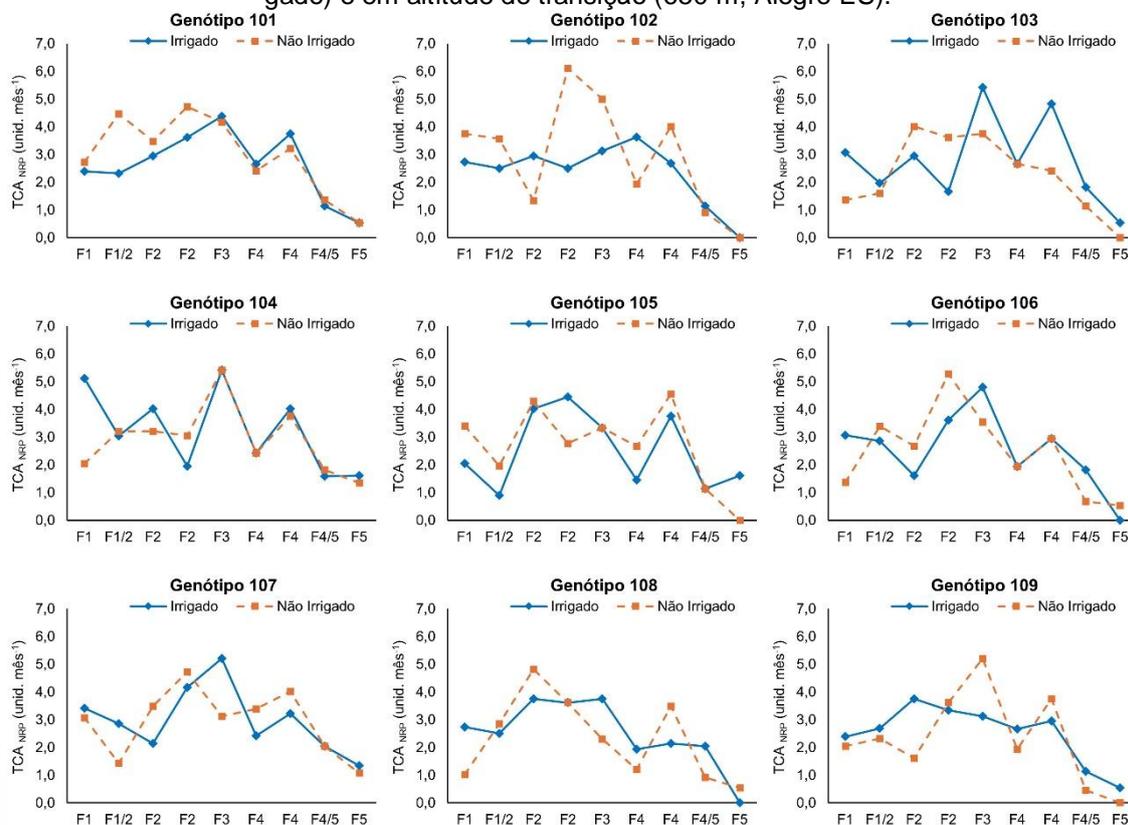
Fonte: os autores.

Ao analisar a média de TCA_{DC} entre os genótipos, notou-se que o manejo irrigado favoreceu taxas de crescimento 1,7% maiores que no manejo não irrigado, corroborando com o observado para a taxa de crescimento em altura.

Além disso, as TCA_{DC} máximas no manejo irrigado foram observadas na F1 para o genótipo 101 ($2,40 \text{ mm mês}^{-1}$); na F1/F2 para o 102 e 103 ($2,13$ e $1,67 \text{ mm mês}^{-1}$, respectivamente); na F2 para os genótipos 104, 105, 107 e 109 ($1,86$; $1,88$; $1,61$ e $1,39 \text{ mm mês}^{-1}$, respectivamente); na F3 para o 106 ($1,46 \text{ mm mês}^{-1}$); e na F4 para o genótipo 108 ($1,57 \text{ mm mês}^{-1}$). No manejo não irrigado, notou-se valores máximos de TCA_{DC} na F1 para o 101, 106 e 109; na F2 para o 103, 107 e 108; e na F3 para os genótipos 102, 104 e 105 (Figura 4).

Analisando a evolução da taxa de crescimento em emissão de ramos plagiotrópicos (TCA_{NRP}), observaram-se oscilações nas taxas ao longo do período estudado para os nove genótipos, independentemente do regime hídrico, corroborando com o observado para as demais características (Figura 4).

Figura 4. Evolução da taxa de crescimento absoluta em emissão de ramos plagiotrópicos (TCA_{NRP} ; unidades mês^{-1}) de nove genótipos de cafeeiro conilon, durante o primeiro ciclo reprodutivo após a renovação da copa (F1 – da antese ao chumbinho; F1/2 – chumbinho/expansão rápida; F2 – expansão rápida; F3 – formação do endosperma; F4 – granação; F4/5 – granação/maturação; F5 – maturação dos frutos), conduzidos com dois regimes hídricos (Irigado e Não Irrigado) e em altitude de transição (650 m, Alegre-ES).

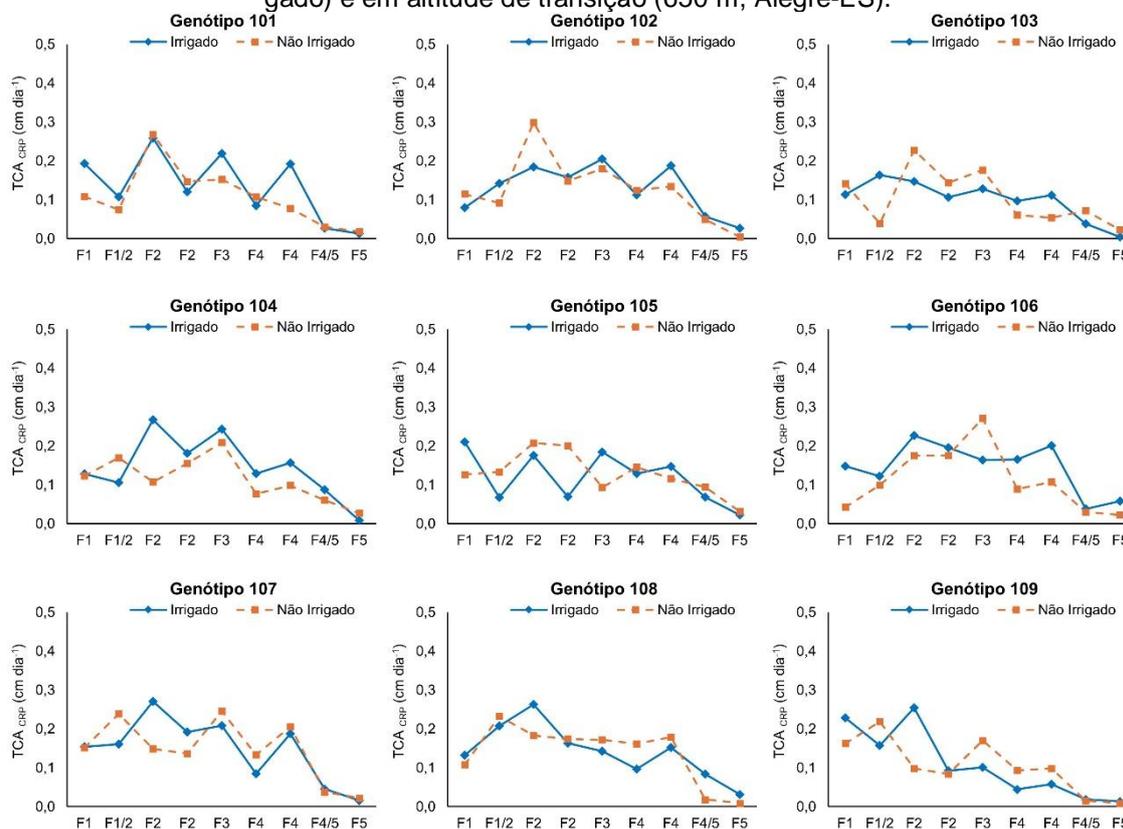


Fonte: os autores.

Ao analisar a média de TCA_{NRP} entre os genótipos e entre os períodos avaliados, não foi verificada diferenças expressivas entre os manejos hídricos, sendo notado um favorecimento do manejo irrigado na emissão de novos ramos em apenas 0,5%. As TCA_{NRP} máximas no manejo irrigado foram observadas na F2 para os genótipos 105, 108 e 109 (4,4; 3,8 e 3,8 unidades $mês^{-1}$, respectivamente); na F3 para os genótipos 101, 103, 104, 106 e 107 (4,4; 5,4; 5,4; 4,8 e 5,2 unidades $mês^{-1}$, respectivamente); e na F4 para o 102 (3,6 unidades $mês^{-1}$). Já no manejo não irrigado, o mesmo foi observado na F2 para os genótipos 101, 102, 103, 106, 107 e 108 (4,7; 6,1; 4,0; 5,3; 4,7 e 4,8 unidades $mês^{-1}$, respectivamente); na F3 para o 104 e 109 (5,4 e 5,2 unidades $mês^{-1}$, respectivamente); e na F4 para o genótipo 105 (4,6 unidades $mês^{-1}$) (Figura 4).

A evolução da taxa de crescimento do comprimento do ramo plagiotrópico (TCA_{CRP}) dos genótipos apresentou semelhança em ambos os manejos hídricos durante o período de desenvolvimento dos frutos, com discrepâncias pontuais para alguns genótipos em fases específicas (Figura 5).

Figura 5. Evolução da taxa de crescimento absoluta do comprimento do ramo plagiotrópico (TCA_{CRP} ; cm dia^{-1}) de nove genótipos de cafeeiro conilon, durante o primeiro ciclo reprodutivo após a renovação da copa (F1 – da antese ao chumbinho; F1/2 – chumbinho/expansão rápida; F2 – expansão rápida; F3 – formação do endosperma; F4 – granação; F4/5 – granação/maturação; F5 – maturação dos frutos), conduzidos com dois regimes hídricos (Irrigado e Não Irrigado) e em altitude de transição (650 m, Alegre-ES).



Fonte: os autores.

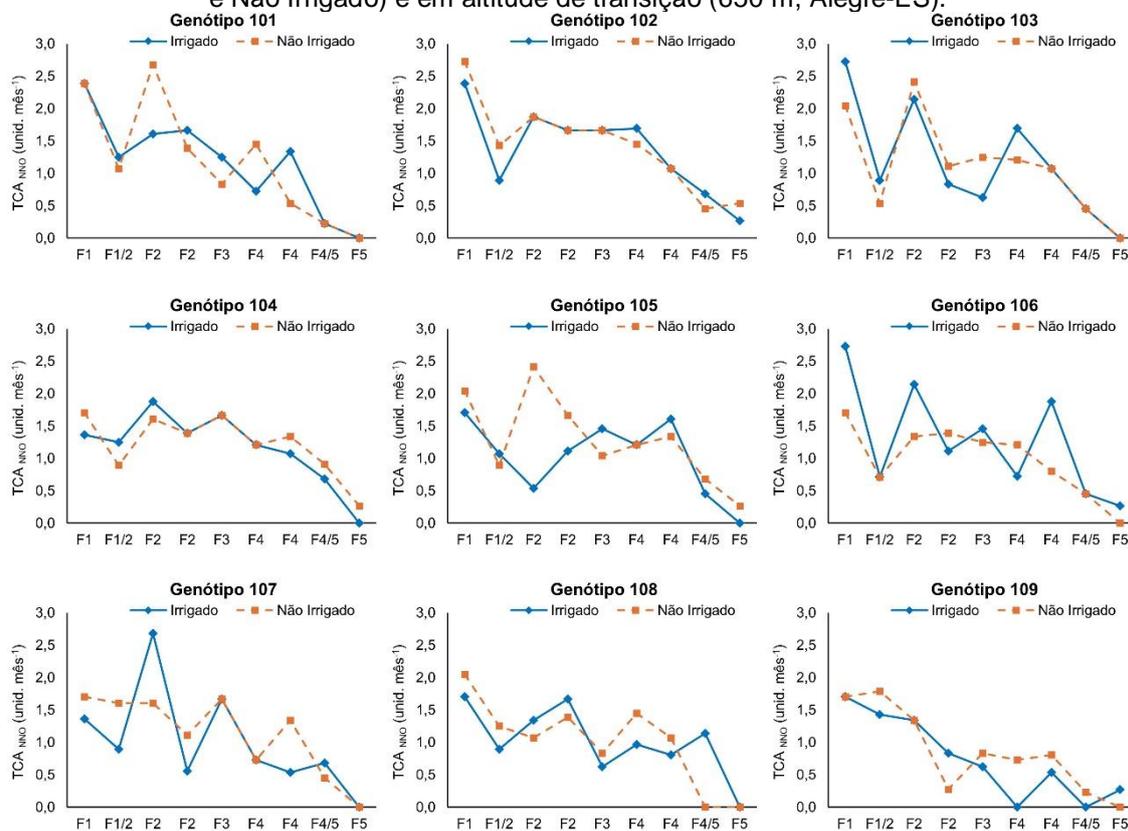
A média entre os genótipos para a TCA_{CRP} foi 7,4% maior no manejo irrigado em relação ao manejo não irrigado. As TCA_{CRP} máximas no manejo irrigado foram observadas na F1 para o genótipo 105 ($0,21 \text{ cm dia}^{-1}$); na F1/2 para 103 ($0,16 \text{ cm dia}^{-1}$); na F2 para os genótipos 101, 104, 106, 107, 108 e 109 ($0,26$; $0,27$; $0,23$; $0,27$; $0,26$ e $0,25 \text{ cm dia}^{-1}$, respectivamente); e na F3 para o 102 ($0,20 \text{ cm dia}^{-1}$). Já no manejo não irrigado, o mesmo foi observado na F1/2 para os genótipos 108 e 109 ($0,23$ e $0,22 \text{ cm dia}^{-1}$, respectivamente); na F2 para o 101, 102, 103 e 105 ($0,27$; $0,30$; $0,23$ e $0,21 \text{ cm dia}^{-1}$, respectivamente); e na F3 para o 104, 106 e 107 ($0,21$; $0,27$ e $0,25 \text{ cm dia}^{-1}$, respectivamente) (Figura 5). No trabalho realizado com cafeeiro arábica, Amaral *et al.* (2006) relataram ocorrer menor crescimento dos ramos quando apresentava maior carga de frutos. O crescimento vegetativo do cafeeiro pode ser reduzido, ou mesmo paralisado,

pela diminuição das reservas de carboidratos durante o período de demanda de fotoassimilados pelos frutos (Burdekin e Baker, 1964).

A evolução da taxa de crescimento em emissão de nós no ramo plagiotrópico (TCA_{ANNO}) também apresentou oscilações nos dois manejos hídricos e ao longo do período analisado, porém, parece haver uma menor oscilação para a evolução da TCA_{ANNO} em função do manejo não irrigado. Além disso, a média entre os genótipos e entre os períodos avaliados demonstrou que o manejo não irrigado favoreceu taxas de crescimento 3,1% maior do que no cultivo irrigado, para a variável em questão (Figura 6). As TCA_{ANNO} máximas no manejo irrigado foram observadas na F1 para os genótipos 101, 102, 103, 105, 106, 108 e 109 (2,4; 2,4; 2,7; 1,7; 2,7; 1,7 e 1,7 unidades mês^{-1} , respectivamente) e na F2 para os genótipos 104 e 107 (1,9 e 2,7 unidades mês^{-1} , respectivamente). No manejo não irrigado, as máximas TCA_{ANNO} foram observadas na F1 para os genótipos 102, 104, 106, 107 e 108 (2,7; 1,7; 1,7; 1,7 e 2,0 unidades mês^{-1} , respectivamente); na F1/2 para o genótipo 109 (1,8 unidades mês^{-1}); e na F2 para os genótipos 101, 103 e 105 (2,7; 2,4 e 2,4 unidades mês^{-1} , respectivamente) (Figura 6).

Com relação a taxa de crescimento absoluta da área foliar (TCA_{AFP}), notou-se que os genótipos tanto do manejo irrigado quanto do manejo não irrigado, apresentaram médias que oscilaram ao longo do período analisado, porém, não apresentaram tendências de diminuições expressivas com o aproximar da fase de maturação dos frutos, conforme verificado para as demais variáveis analisadas (Figura 7).

Figura 6. Evolução da taxa de crescimento absoluta em emissão de nós no ramo plagiotrópico (TCA_{NNO} ; unidades $mês^{-1}$) de nove genótipos de cafeeiro conilon, durante o primeiro ciclo reprodutivo após a renovação da copa (F1 – da antese ao chumbinho; F1/2 – chumbinho/expansão rápida; F2 – expansão rápida; F3 – formação do endosperma; F4 – granação; F4/5 – granação/maturação; F5 – maturação dos frutos), conduzidos com dois regimes hídricos (Irrigado e Não Irrigado) e em altitude de transição (650 m, Alegre-ES).

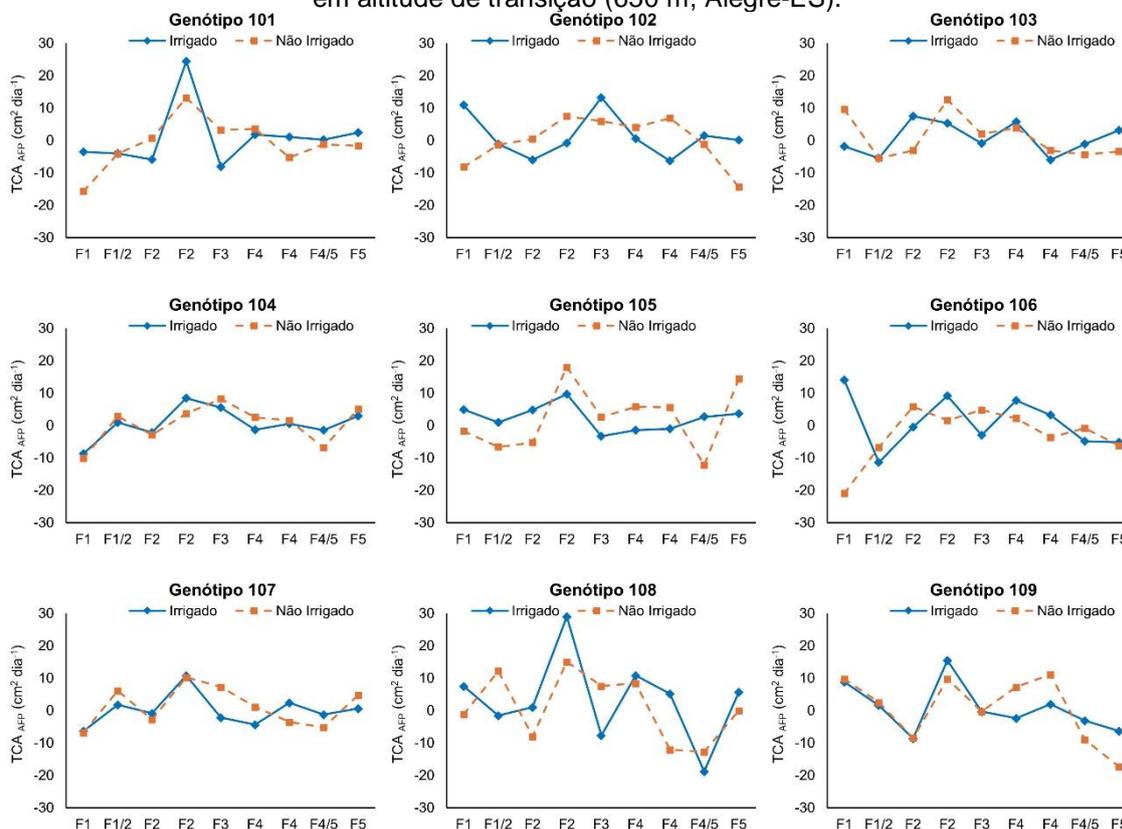


Fonte: os autores.

A média entre os genótipos e entre os períodos avaliados demonstrou que o manejo irrigado favoreceu TCA_{AFP} cerca de 73,2% maior do que no cultivo não irrigado, certamente pelo fato de que no cultivo não irrigado houveram taxas mais negativas para a variável em questão (Figura 7).

As TCA_{AFP} máximas no manejo irrigado foram observadas na F1 para o genótipo 106 ($14,1 \text{ cm}^2 \text{ dia}^{-1}$); na F2 para os genótipos 101, 103, 104, 105, 107, 108 e 109 ($24,4$; $7,5$; $8,4$; $9,7$; $10,8$; $28,9$ e $15,5 \text{ cm}^2 \text{ dia}^{-1}$, respectivamente); e na F3 para o genótipo 102 ($13,2 \text{ cm}^2 \text{ dia}^{-1}$). No manejo não irrigado, as máximas TCA_{AFP} foram observadas na F2 para os genótipos 101, 102, 103, 105, 106, 107 e 108 ($13,2$; $7,5$; $12,6$; $17,9$; $5,8$; $10,2$ e $15,1 \text{ cm}^2 \text{ dia}^{-1}$, respectivamente); na F3 para o genótipo 104 ($8,2 \text{ cm}^2 \text{ dia}^{-1}$); e na F4 para o genótipo 109 ($11,1 \text{ cm}^2 \text{ dia}^{-1}$) (Figura 7).

Figura 7. Evolução da taxa de crescimento absoluta da área foliar do ramo plagiotrópico (TCA_{AFP}; cm² dia⁻¹) de nove genótipos de cafeeiro conilon, durante o primeiro ciclo reprodutivo após a renovação da copa (F1 – da antese ao chumbinho; F1/2 – chumbinho/expansão rápida; F2 – expansão rápida; F3 – formação do endosperma; F4 – granação; F4/5 – granação/maturação; F5 – maturação dos frutos), conduzidos com dois regimes hídricos (Irigado e Não Irrigado) e em altitude de transição (650 m, Alegre-ES).



Fonte: os autores.

As taxas negativas em expansão da área foliar indicam que entre uma fase e outra do ciclo reprodutivo, houve uma diminuição do número de folhas e, consequentemente, diminuição da área foliar do ramo, resultando em expansão negativa da área foliar. A queda acentuada de folhas durante o período reprodutivo pode comprometer a produção do ciclo vigente, porém, de forma mais expressiva na produção da safra seguinte, por atrasos na retomada do crescimento após a colheita dos frutos, conforme embasado em Ronchi e DaMatta (2019).

4 CONCLUSÕES

A taxa de crescimento vegetativo do cafeeiro conilon é influenciada pela variabilidade entre os genótipos e pelo manejo hídrico adotado, onde o

comportamento da curva de crescimento vegetativo ao longo do ciclo reprodutivo oscila de forma diferenciada conforme o manejo hídrico. Além disso, as máximas e mínimas para cada característica são fortemente influenciadas pelo material genético.

A altura da planta, o comprimento do ramo plagiotrópico e a área foliar do ramo plagiotrópicos, ao final do ciclo reprodutivo (maturação dos frutos), foram favorecidos pelo manejo irrigado, com ganhos de 7,6%, 9,5% e 13,0%, respectivamente, em relação ao manejo não irrigado. O genótipo 108 sobressaiu os demais ao apresentar copas mais altas, com ramos maiores e mais enfolhados, enquanto os genótipos 101 e 103 estiveram nos grupos com as menores médias para essas características.

Do ponto de vista científico, os resultados contribuem para o avanço do conhecimento sobre a interação de genótipos e manejos hídricos em *Coffea canephora*, oferecendo subsídios para programas de melhoramento e pesquisas voltadas à adaptação do cultivo em ambientes de transição altitudinal. Novos estudos devem ser conduzidos com maior número de locais, genótipos e ciclos produtivos.

AGRADECIMENTOS

Ao cafeicultor José Augusto Demartini Landi e sua família pela disponibilização da área, zelo e manutenção do campo experimental. À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) pelo fornecimento das instalações e equipamentos necessários. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de desenvolvimento científico regional (processo 300971/2021-4) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo auxílio financeiro do projeto (nº FAPES 535/2020) do segundo autor. Ao CNPq pela bolsa de Produtividade em Pesquisa (processo 316070/2021-1) e à FAPES pelo auxílio financeiro do sétimo autor (PRONEM 2022-4V1GJ).

REFERÊNCIAS

- AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.377-384, 2006.
- BARROS, R. S. *et al.* Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, v.20, n.107, p.44-52, 1973.
- BRAGANÇA, S. M. *et al.* Variedades clonais de café Conilon para o estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.5, p.765-770, 2001.
- BUNN, C. *et al.* A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. **Climatic Change**, v.129, n.1-2, p.89-101, 2015.
- BURDEKIN, D. A.; BAKER, R. M. Lyamungu dieback of arabica coffee in Tanganayika, II. Relation of starch to Lyamungu dieback. **Annals of Applied Biology**, v.54, p.107-113, 1964.
- COLODETTI, T. V. *et al.* Aspectos gerais do cultivo de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* em altitudes marginais. In: FERREIRA, A.; LOPES, J. C.; FERREIRA, M. F. S.; SOARES, T. C. B. (org.). **Tópicos Especiais em Produção Vegetal VI**. Alegre: CAUFES, 2016. p.342-362.
- CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.4, n.2, 2014.
- COVRE, A. M. *et al.* Vegetative growth of conilon coffee plants under two water conditions in the Atlantic region of Bahia State, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.38, n.4, p.535-545, 2016.
- DARDENGO, M. C. J. D.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R. Influência da capacidade de campo na taxa de crescimento do cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, v.57, p.42-47, 2010.
- FERNANDES, A. L. T. *et al.* A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.2, p.231-240, 2012.
- FERRÃO, R. G. *et al.* **Conilon Coffee**. 3.ed. Vitória: Incaper, 2019. 973p.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A Computer statistical Analysis System. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011.
- FERREIRA, E. P. B. *et al.* Crescimento vegetativo de *Coffea arabica* L. influenciado por irrigação e fatores climáticos no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.6, p.3235-3244, 2013.

FONSECA, A. F. A. *et al.* Diversidade genética em café conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.599-605, 2006.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: Regional Aspects – Central and South American**. Geneva: IPCC, 2014. 102p.

MARTINS, M. Q. *et al.* Adaptability and stability of *Coffea canephora* genotypes cultivated at high altitude and subjected to low temperature during the winter. **Scientia Horticulturae**, v.252, p.238-242, 2019.

OLIVEIRA, N. S. *et al.* Selection and genetic parameters of coriander progenies with heat tolerance. **Horticultura Brasileira**, v.33, n.3, p.319-323, 2015.

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**, v.38, p.214-222, 2014.

PINHEIRO, C. A. *et al.* Physico-chemical properties and sensory profile of *Coffea canephora* genotypes in high-altitudes. **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.12, p.2046-2052, 2019.

RAMALHO, J. C. *et al.* Cold impact and acclimation response of *Coffea* spp. plants. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v.26, p.5-18, 2014.

ROCHA, R. B. *et al.* Caracterização e uso da variabilidade genética de banco ativo de germoplasma de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. **Coffee Science**, v.8, n.4, p.478-485, 2013.

RODRIGUES, R. R. *et al.* Crescimento inicial do cafeeiro conilon sob déficit hídrico no solo. **Coffee Science**, v.11, p.33-38, 2016.

RONCHI, C. P.; DaMATTA, F. M. Physiological aspects of Conilon coffee. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DEMUNER, L. H. (org.). **Conilon Coffee**. 3.ed. Vitória: Incaper, 2019. p.111-143.

SILVA, L. C.; BELTRÃO, N. E. M.; AMORIM NETO, M. S. **Análise do crescimento de comunidades vegetais**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 2000. (Circular Técnica, 34).

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

TAQUES, R. C.; DADALTO, G. G. Agroclimatic zoning for conilon coffee culture in the state of Espírito Santo. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DeMUNER, L. H. (org.). **Conilon Coffee**. 3.ed. Vitória: Incaper, 2019. p.70-83.

VERDIN FILHO, A. C. *et al.* Conilon coffee yield using the programmed pruning cycle and different cultivation densities. **Coffee Science**, v.9, n.4, p.489-494, 2014.