

DESCRIÇÃO DO CRESCIMENTO VEGETATIVO DO CAFEIEIRO CULTIVAR RUBI MG 1192, UTILIZANDO MODELOS DE REGRESSÃO

Adrielle Aparecida Pereira¹, Augusto Ramalho de Moraes², Myriane Stella Scalco³
Tales Jesus Fernandes⁴

(Recebido: 19 de junho de 2013; aceito: 5 de setembro de 2013)

RESUMO: Os produtos agrícolas constituem uma das bases da economia brasileira, e entre eles, destaca-se o café. Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar, ao longo do tempo, o crescimento vegetativo de plantas do cafeeiro, cultivar Rubi MG 1192, cultivadas nas densidades 3333 e 10000 plantas ha⁻¹ e nos regimes de irrigação testemunha, 20 kPa e 60 kPa. Os dados são oriundos de experimento realizado em Lavras-MG, no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, utilizando uma adaptação da análise conjunta de experimentos, com o esquema de parcelas divididas. As densidades de plantio foram consideradas como os ambientes, os regimes de irrigação, as parcelas e as épocas de avaliação constituíram as subparcelas no tempo. Segundo o coeficiente de determinação ajustado e o critério de informação de Akaike utilizados, o modelo Gompertz é o que melhor representa o crescimento em altura de plantas do cafeeiro e, o linear simples, o que melhor descreve a relação entre o número de ramos plagiotrópicos e o tempo. As plantas mais altas e com maior número de ramos plagiotrópicos foram observadas nos regimes irrigados, indicando que a irrigação contribui positivamente para o desenvolvimento vegetativo do cafeeiro. Maiores médias para a altura e para o número de ramos plagiotrópicos também foram observadas na maior densidade de plantio.

Termos para indexação: Altura, densidade de plantio, irrigação, modelo não linear, ramo plagiotrópico.

DESCRIPTION VEGETATIVE GROWTH OF COFFEE TREE FARMING RUBY MG 1192 USING REGRESSION MODELS

ABSTRACT: Agricultural products constitute one of the bases of the Brazilian economy, and between them stands out the coffee. The objective of this study was to evaluate, over time, the vegetative growth of coffee plants, Rubi MG 1192 grown in densities 3333 and 10000 plants ha⁻¹ and irrigation regimes control, 20 kPa and 60 kPa. The data are from an experiment carried out in Lavras, Brazil, using randomized blocks design with four replications, using an adaptation of the joint analysis of the experiments with split plots. The planting density were considered environments, systems of irrigation plots and the evaluation time constituted the subplots in time. According to the adjusted coefficient of determination and Akaike information criterion used, the Gompertz model is the one that best represents the growth in height of the coffee plants and the simple linear, which best describes the relationship between the number of plagiotropics branches and time. The higher plants and greater number of plagiotropics branches were observed in the irrigated schemes, indicating that irrigation contributes positively to the vegetative development of the coffee. Largest average height and number of plagiotropics branches were also observed in the higher planting densities.

Index terms: Height, planting density, irrigation, nonlinear model, plagiotropic branche.

1 INTRODUÇÃO

Os produtos agrícolas constituem uma das bases da economia brasileira, e entre eles, se destaca o café (RODRIGUES et al., 2010). O Brasil é o país que apresenta a maior produção de café do mundo, sendo Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná e Rondônia, os principais estados produtores (SILVA et al., 2011). Dentre as diversas espécies do cafeeiro existentes, *Coffea arabica* L. e *C. canephora* Pierre, são as

que propiciam uma bebida de melhor qualidade, e assim, apresentam maior valor no mercado.

Deste modo, a preocupação em se produzir café de qualidade e também em aumentar a produtividade, tem levado os produtores a investirem mais no processo que envolve a sua produção (SILVA et al., 2011). Alguns fatores como a densidade de plantio e o suprimento das necessidades hídricas das plantas, influenciam diretamente no desenvolvimento vegetativo, na produtividade e na qualidade final do café.

¹Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciências Exatas/DEX - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG adrieleapvga@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciências Exatas/DEX - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG armorais@dex.ufla.br

³Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG msscalco@dag.ufla.br

⁴ Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciências Exatas/DEX - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG talesest@yahoo.com.br

Atualmente, grande parte dos cafeicultores está aderindo aos sistemas adensados, devido ao melhor aproveitamento das áreas cultivadas e ao aumento da produção por hectare. Esses sistemas de plantio são caracterizados pelo cultivo de mais de 5000 plantas ha⁻¹ (ARANTES et al., 2006; PEREIRA et al., 2011).

Aliada aos sistemas de plantio adensados, a prática da irrigação tem sido cada vez mais empregada, tanto nas regiões onde as chuvas são mal distribuídas, quanto nas regiões livres de déficit hídrico. A irrigação contribui para o aumento da produtividade (BONOMO et al., 2013), melhor desenvolvimento vegetativo das plantas e obtenção de grãos e bebida de melhor qualidade (CARVALHO et al., 2006; COSTA et al., 2010; SILVA et al., 2011).

Sendo o líder em produção e o segundo maior país consumidor, o Brasil se desenvolve em vasta rede de pesquisa, envolvendo a cultura do café (SILVA et al., 2011). As pesquisas acerca do desenvolvimento do cafeeiro, que podem ser feitas utilizando-se da análise do crescimento, apresentam uma importante aplicação na pesquisa agropecuária, pois permite ao pesquisador comparar o comportamento das plantas diante das diversas situações experimentais empregadas (MAIA et al., 2009). E, com os resultados desses estudos podem-se indicar melhorias no manejo da cultura, como por exemplo, a melhor forma e/ou época de realizar as adubações, pulverizações, capinas, podas, colheita, entre outros.

A análise de crescimento pode ser realizada por meio de modelos de regressão lineares e não lineares. Porém, os modelos não lineares destacam-se por apresentarem parâmetros interpretáveis biologicamente (MAZZINI et al., 2005; OLIVEIRA; LÔBO; PEREIRA, 2000).

Carvalho et al. (2006) utilizaram o modelo não linear logístico para descrever o crescimento em altura e o modelo linear simples para descrever o número de ramos plagiotrópicos, ambos em função do tempo, de plantas do cafeeiro cultivadas nas densidades de plantio 2500 e 10000 plantas ha⁻¹, e sob o efeito dos regimes de irrigação testemunha (não irrigado), 20 kPa e 100 kPa. Eles verificaram que, as plantas mais altas e, com maior número de ramos plagiotrópicos, foram observadas na maior densidade de plantio e que a irrigação propiciou maiores médias em relação à testemunha.

Paulo, Furlani Junior e Fazuoli (2005) avaliaram o crescimento de duas cultivares de baixo porte, submetidas às densidades de plantio 2500, 5000, 7519 e 10000 plantas ha⁻¹, dos dois

aos cinco anos de idade. Eles constataram que as maiores densidades de plantio apresentaram plantas mais altas; apresentando, no quinto ano, altura média de 1,81 m na densidade 10000 e 1,57 m na densidade 2500.

Pereira et al. (2011) avaliaram o efeito da redução do espaçamento entre as linhas – 2; 2,5; 3 e 3,5 m – e entre as plantas na linha – 0,5; 0,75 e 1 m – sobre o crescimento em altura, da cultivar Catuaí Vermelho IAC. Foi constatada que a evolução da altura das plantas, em função dos espaçamentos (entre as linhas ou entre as plantas na linha), foi bem representada por modelos lineares simples. Observou-se também que a altura das plantas aumentou com a diminuição, tanto do espaçamento entre as linhas, quanto do espaçamento entre as plantas na linha.

O desenvolvimento vegetativo do café arábica foi avaliado por Rodrigues et al. (2010), por meio das variáveis altura e número de ramos plagiotrópicos, em um experimento delineado em blocos casualizados, com seis repetições, e três lâminas de irrigação – 0%, 50%, 100% da capacidade do campo. Eles verificaram que essas variáveis em função das lâminas de irrigação, podem ser descritas por modelos lineares quadráticos; e, que ambas apresentaram incrementos significativos com o aumento das lâminas de irrigação.

Objetivou-se, no presente trabalho, descrever e analisar o crescimento vegetativo de plantas do cafeeiro, cultivar Rubi MG 1192, cultivadas em diferentes densidades de plantio, 3333 e 10000 plantas ha⁻¹, e regimes de irrigação, testemunha - Si, 20 kPa e 60 kPa, ao longo do tempo, por meio de modelos de regressão. Na descrição e análise do crescimento foram utilizadas as variáveis altura de planta e número de ramos plagiotrópicos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados são provenientes de experimento realizado com cafeeiro, cultivar Rubi MG 1192, na área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, em Lavras-MG. O plantio da lavoura foi realizado em janeiro de 2001, após a limpeza da área; essa foi preparada com uma aração e duas gradagens.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. O experimento foi conduzido em duas áreas contíguas, uma ao lado da outra, nas quais foram alocadas as densidades de plantio, 3333 plantas ha⁻¹ (3 m x 1 m) e 10000 plantas ha⁻¹ (2 m x 0,5 m).

Cada uma dessas áreas foi repartida em quatro porções, as quais constituíram os blocos. Dentro de cada bloco foram sorteados os tratamentos de irrigação, 20 kPa, 60 kPa e Si – testemunha, e as épocas de avaliação constituíram as subparcelas no tempo. As irrigações de cada parcela ocorreram quando o tensiômetro, na profundidade de 25 cm, registrou no tensímetro a leitura de tensão correspondente àquele tratamento.

Cada parcela foi constituída por uma linha de plantio, com dez plantas; dessas, apenas oito foram consideradas como plantas úteis, sendo a primeira planta de cada extremidade considerada como bordadura. Tanto a altura de planta quanto o número de ramos plagiotrópicos, foram representados pela média das oito plantas centrais (úteis) de cada unidade experimental.

A variável altura de planta foi avaliada a cada três meses, no período que compreendeu o pós-plantio até fevereiro de 2005, correspondendo a 16 medições. Já o número de ramos plagiotrópicos, foi avaliado a partir dos 720 dias após o plantio, totalizando nove medições. Na última medição, as plantas tinham, aproximadamente, quatro anos de idade.

Para realização da análise de variância, utilizou-se uma adaptação da análise conjunta, tomando-se as densidades como dois ambientes e realizando, inicialmente, uma análise em cada um deles para verificar a homogeneidade dos erros. Em seguida, procedeu-se à análise conjunta das duas densidades conforme esquema apresentado na Tabela 1.

Após esta análise, procedeu-se ao desdobramento das interações triplas, estudando-se o comportamento do crescimento da planta, em altura e no número de ramos plagiotrópicos, em função das épocas de avaliação, em cada combinação de densidade de plantio com regime de irrigação. Em cada combinação densidade-regime, para descrever o crescimento em altura, foram utilizados os modelos não lineares:

$$y_{tj} = \frac{\alpha}{1 + \exp(\delta - \beta \cdot t)} + e_{tj} \text{ (modelo Logístico)}$$

$$y_{tj} = \alpha \cdot \exp[-\exp(\delta - \beta \cdot t)] + e_{tj} \text{ (modelo Gompertz)}$$

em que, y_{ij} são os valores observados da altura de planta na época t e na repetição j , sendo $t=90,180,\dots,1440$ as épocas de avaliação em dias após o plantio e $j=1,2,3,4$ as repetições; α é a

assíntota superior (altura máxima da planta); δ é um parâmetro que é importante para manter o formato sigmoidal do modelo e está relacionado com o ponto de inflexão; β está associado ao crescimento e indica o índice de maturidade e, e_{ij} é o erro aleatório associado ao modelo, considerando inicialmente que $e_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ (MAIA et al., 2009).

Para a variável número de ramos plagiotrópicos, foi realizado o ajuste dos modelos lineares:

$$y_{tj} = a \cdot t + b + e_{tj} \text{ (modelo linear simples)}$$

$$y_{tj} = a \cdot t^2 + b \cdot t + c + e_{tj} \text{ (modelo linear quadrático)}$$

em que, y_{ij} são os valores observados de número de ramos plagiotrópicos na época t e na repetição j , sendo $t=720, 810, \dots, 1440$ as épocas de avaliação em dias após o plantio e $j=1,2,3,4$ as repetições; a , b e c são os parâmetros a serem estimados e, e_{ij} é o erro aleatório associado ao modelo, considerando inicialmente que $e_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$.

Na estimação dos parâmetros foi utilizado o método de mínimos quadrados e o processo iterativo de Gauss-Newton.

Após o ajuste dos modelos, foi realizada a análise de resíduos, com o objetivo de verificar se todas as pressuposições de normalidade, independência e homocedasticidade entre os resíduos foram satisfeitas. Optou-se por utilizar o teste de Shapiro-Wilk, na verificação do pressuposto de normalidade dos resíduos; os testes de Breusch-Pagan nos modelos não lineares e o ncv Teste - nos lineares, para verificar se as variâncias residuais eram homogêneas e, o de Durbin-Watson, para verificar a independência residual.

A análise de resíduos constitui um dos passos mais importantes no processo de modelagem dos dados, pois se algum pressuposto não for atendido, a estimação dos parâmetros deve ser refeita, considerando as características apresentadas pelo vetor de resíduos.

Nesta análise, os ajustes feitos, em algumas situações, apresentaram dependência residual. Dessa forma, esses foram refeitos, utilizando o método de mínimos quadrados generalizados e incorporando-se aos resíduos um parâmetro de autocorrelação de primeira ordem – AR(1):

$$e_t = \phi \cdot e_{t-1} + k_t$$

em que, e_t corresponde ao resíduo no tempo t ; e_{t-1}

é o resíduo gerado no tempo t-1; ϕ o parâmetro de autocorrelação de primeira ordem e, k_t é o erro puro; ou seja, $E[k_t]=0$, $E[k_t \cdot k_{t-h}]=0$, para $h \neq 0$ e $E[k_t^2]=\sigma_k^2$ (MORETTIN; TOLOI, 2004).

Para determinar o modelo que proporcionou o melhor ajuste, foram utilizados os avaliadores de qualidade de ajuste: coeficiente de determinação ajustado e critério de informação de Akaike (TERRA; MUNIZ; SAVIAN, 2010).

Foram utilizados os softwares estatísticos Sisvar (FERREIRA, 2011), para realizar as análises de variância, e o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013) na estimação dos parâmetros, geração de figuras e obtenção dos valores para os avaliadores de qualidade de ajuste.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise de variância são apresentados na Tabela 1.

De acordo com a Tabela 1, os três fatores tiveram efeitos significativos sobre a altura de plantas e número de ramos plagiotrópicos, pelo teste F, ao nível de significância de 1% (valor- $p < 0,01$). Assim, verificou-se que, tanto a variável altura de planta, como o número de ramos plagiotrópicos, se comportaram de forma diferenciada perante as densidades de plantio, aos regimes de irrigação e às épocas de avaliação.

A interação tripla afetou apenas o desenvolvimento da altura das plantas.

A análise de variância referente ao desdobramento das épocas de avaliação, dentro de cada combinação de densidades de plantio com os regimes de irrigação é apresentada na Tabela 2.

As épocas de avaliação tiveram efeitos significativos em todas as situações estudadas (Tabela 2). Verificou-se efeito significativo para os modelos de regressão, sugerindo que ambos podem descrever de modo adequado, o crescimento do cafeeiro em altura de planta. A análise de resíduos, referente aos ajustes é apresentada na Tabela 3.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3, verificou-se pelo teste de Shapiro-Wilk, que os resíduos apresentaram distribuição Normal, em todas as situações analisadas (valor- $p \geq 0,05$) e em ambas as variáveis. Pelo teste de Breush-Pagan e ncv Teste, verificou-se que os resíduos também apresentaram homogeneidade de variâncias, para todas as situações e variáveis analisadas (valor- $p \geq 0,05$). Para a variável altura de planta, na densidade de plantio 3333 plantas ha^{-1} , o teste de Durbin-Watson não foi significativo apenas para os resíduos do modelo Gompertz, no regime Si.

Já na densidade 10000 plantas ha^{-1} , o teste foi significativo (valor- $p < 0,05$), indicando dependência residual, para os resíduos do modelo Logístico nos regimes de irrigação 20kPa e 60 kPa, sendo necessário incorporar aos resíduos um parâmetro de autocorrelação.

Já os ajustes à variável número de ramos plagiotrópicos apresentaram independência residual em todas as situações.

TABELA 1 - Análise de variância apresentando as fontes de variação (FV), números de graus de liberdade (GL) e valores dos quadrados médios (QM) para a altura de planta e número de ramos plagiotrópicos do cafeeiro, cultivar Rubi MG 1192, avaliados nas densidades de plantio 3333 e 10000 plantas ha^{-1} , e nos regimes de irrigação (RI), Si, 20 kPa e 60 kPa.

| FV | GL | Altura de planta (QM) | GL | Núm. de Ramos (QM) |
|----------------------|-----|-----------------------|-----|--------------------|
| Densidades | 1 | 8336,554** | 1 | 1062.226** |
| Blocos(Densidade) | 6 | 640,101 | 6 | 97.695 |
| RI | 2 | 26353,362** | 2 | 1574.504** |
| Densidade*RI | 2 | 1243,855 | 2 | 290.449 |
| Erro 1 | 12 | 273,464 | 12 | 63.334 |
| Épocas | 15 | 53306,474** | 8 | 3985.070** |
| Blocos*Épocas | 45 | 38,286** | 24 | 32.457 |
| Épocas*Densidades | 15 | 407,752** | 8 | 69.383 |
| Épocas*RI | 30 | 203,801** | 16 | 72.390** |
| Épocas*Densidades*RI | 30 | 38,674** | 16 | 46.855 |
| Erro 2 | 225 | 10,813 | 120 | 35.521 |

** Valores significativos pelo teste F, ao nível 1% de significância.

TABELA 2 - Análise de variância referente ao desdobramento de épocas de avaliação (t) dentro de cada combinação de densidades de plantio, 3333 e 10000 plantas ha⁻¹, com os regimes de irrigação, Si, 20 kPa e 60 kPa, apresentando os números de graus de liberdade (GL), os valores dos quadrados médios (QM) para a altura de plantas do cafeeiro, cultivar Rubi MG 1192, considerando os ajustes dos modelos Logístico e Gompertz.

| FV | GL | Gompertz | | Logístico | |
|-------------------|----|--------------|----|--------------|----|
| | | Altura (QM) | GL | Altura (QM) | GL |
| (t/3333 e 20kPa) | 15 | 7997,706*** | 15 | 7997,706*** | |
| Regressão | 3 | 39289,733*** | 3 | 38924,233*** | |
| Desvio | 12 | 174,699*** | 12 | 265,951*** | |
| (t/3333 e 60kPa) | 15 | 7731,544*** | 15 | 7731,544*** | |
| Regressão | 3 | 38335,667*** | 3 | 37968,167*** | |
| Desvio | 12 | 80,513*** | 12 | 286,029*** | |
| (t/3333 e Si) | 15 | 7160,956*** | 15 | 7160,956*** | |
| Regressão | 3 | 35197,100*** | 3 | 34961,800*** | |
| Desvio | 12 | 151,920*** | 12 | 210,983*** | |
| (t/10000 e 20kPa) | 15 | 10335,670*** | 15 | 10335,670*** | |
| Regressão | 3 | 51139,667*** | 3 | 50873,000*** | |
| Desvio | 12 | 134,670*** | 12 | 201,007*** | |
| (t/10000 e 60kPa) | 15 | 12220,911*** | 15 | 12220,911*** | |
| Regressão | 3 | 60745,800*** | 3 | 60528,200*** | |
| Desvio | 12 | 89,689*** | 12 | 144,474*** | |
| (t/10000 e Si) | 15 | 8752,390*** | 15 | 8752,390*** | |
| Regressão | 3 | 43408,767*** | 3 | 43288,967*** | |
| Desvio | 12 | 88,296*** | 12 | 118,513*** | |

*** Valores significativos pelo teste F, ao nível 0,01% de significância.

Após realizar alguns reajustes indicados pela análise de resíduos, observou-se, pelos resultados obtidos para os avaliadores de qualidade apresentados na Tabela 4, qual modelo apresentou melhor ajuste à altura de planta e ao número de ramos plagiotrópicos.

Para a variável altura de planta, o modelo Gompertz, ora com estrutura de erros independentes, ora com erros autocorrelacionados, apresentou, nas seis situações analisadas, os valores mais próximos de um para o coeficiente de determinação ajustado e, também os menores valores para o critério de informação de Akaike; sendo o que melhor descreveu o crescimento em altura de plantas do cafeeiro. E, como a regressão referente ao modelo Gompertz - apresentada na Tabela 2, foi significativa, confirmou-se que o modelo proporcionou bons ajustes, apesar do

desvio também ter sido significativo, pois levou-se em consideração a parcimônia do modelo (GUJARATI, 2006).

Em relação à variável número de ramos plagiotrópicos, o modelo linear simples foi o que apresentou os melhores resultados em todas as situações estudadas.

Altura de plantas do cafeeiro

A descrição da altura das plantas do cafeeiro em função das diferentes épocas de avaliação em cada densidade de plantio e regime de irrigação é apresentada na Figura 1.

Como pode ser verificado pelos ajustes, as plantas mais altas foram observadas nos regimes irrigados (20 e 60 kPa) e na maior densidade de plantio, corroborando com os resultados obtidos por Carvalho et al. (2006), Paulo, Furlani Junior e Fazuoli (2005) e Pereira et al. (2011).

Em relação ao parâmetro α , que representa a altura máxima a ser atingida, obteve-se estimativas em torno de 2 m (Figura 1), o que vem a confirmar que a cultivar Rubi MG 1192 se enquadra na classe das cultivares de baixo porte. Esse porte é o mais indicado aos cafeicultores, pois facilita a aplicação do manejo na lavoura e a realização tanto da colheita manual quanto da mecânica, devido à baixa estatura das plantas (MENDES; GUIMARÃES; SOUZA, 2002).

Analisando separadamente as estimativas para o índice de maturidade - parâmetro β , dentro de cada regime de irrigação, verificou-se que a diferença entre as densidades de plantio é bem pequena. Porém, ao analisá-las dentro de cada densidade é constatada uma diferença considerável entre os regimes de irrigação, sendo as maiores estimativas observadas nos tratamentos irrigados, indicando que, nesses tratamentos, as plantas apresentam um crescimento mais rápido (precoce) do que no regime sem irrigação.

Número de ramos plagiotrópicos

A descrição do número de ramos plagiotrópicos das plantas do cafeeiro, em função das diferentes épocas de avaliação, em cada densidade de plantio e regimes de irrigação, é apresentada na Figura 2.

Diferente da variável altura, que apresentou comportamento assintótico, ao longo do período analisado, a variável número de ramos plagiotrópicos apresentou tendência de crescimento linear (Figura 2).

Ao comparar o coeficiente angular das retas ajustadas nas duas densidades, considerando os regimes de irrigação 60 Kpa e Si, verificaram-se valores bem próximos: 0,0550 e 0,0567; 0,0555 e 0,0558, respectivamente. Já no regime 20 kPa, a reta ajustada para a densidade 10000 plantas ha⁻¹ apresentou uma inclinação bem menor que a reta ajustada para a densidade 3333 plantas ha⁻¹; porém esse comportamento não foi suficiente para que a interação tripla (Épocas*Densidades*RI) apresentada na Tabela 1 fosse significativa.

TABELA 3 - Valores-p para os testes de normalidade de Shapiro-Wilk (SW); independência de Durbin-Watson (DW); e homogeneidade de variâncias de Breusch-Pagan (BP) e ncv teste (NCV), para análise de resíduos dos modelos, Logístico, Gompertz, linear simples e quadrático, nos regimes de irrigação Si, 20 kPa e 60 kPa, e nas densidades de plantio 3333 e 10000 plantas ha⁻¹; considerando as variáveis altura de planta e número de ramos plagiotrópicos.

| Modelos | Densidade 3333 | | | | Densidade 10000 | | |
|------------|------------------|-------|--------|-------|-----------------|--------|-------|
| | Altura de planta | | | | | | |
| | RI | SW | DW | BP | SW | DW | BP |
| Logístico | Si | 0,096 | 0,014* | 0,124 | 0,941 | 0,096 | 0,451 |
| | 20 kPa | 0,354 | 0,000* | 0,766 | 0,242 | 0,010* | 0,898 |
| | 60 kPa | 0,156 | 0,000* | 0,804 | 0,662 | 0,012* | 0,209 |
| Gompertz | Si | 0,157 | 0,066 | 0,592 | 0,884 | 0,408 | 0,577 |
| | 20 kPa | 0,416 | 0,000* | 0,973 | 0,303 | 0,074 | 0,985 |
| | 60 kPa | 0,259 | 0,002* | 0,998 | 0,582 | 0,318 | 0,174 |
| | Núm. de ramos | | | | | | |
| | RI | SW | DW | NCV | SW | DW | NCV |
| Simples | Si | 0,209 | 0,809 | 0,916 | 0,072 | 0,141 | 0,917 |
| | 20 kPa | 0,076 | 0,237 | 0,153 | 0,510 | 0,622 | 0,167 |
| | 60 kPa | 0,193 | 0,385 | 0,548 | 0,133 | 0,688 | 0,066 |
| Quadrático | Si | 0,298 | 0,691 | 0,994 | 0,842 | 0,141 | 0,503 |
| | 20 kPa | 0,214 | 0,109 | 0,293 | 0,713 | 0,425 | 0,109 |
| | 60 kPa | 0,189 | 0,749 | 0,954 | 0,156 | 0,117 | 0,707 |

* Valores significativos pelo teste F, ao nível 5% de significância.

TABELA 4 - Valores obtidos para os avaliadores de qualidade de ajuste, coeficiente de determinação ajustado R^2a e critério de informação de Akaike (AIC), para as variáveis altura de planta e número de ramos plagiotrópicos, nos regimes de irrigação Si, 20 kPa e 60 kPa, e nas densidades de plantio 3333 e 10000 plantas ha^{-1} .

| | Modelos | RI | Densidade | 3333 | Densidade | 10000 |
|---------------|------------|--------|-----------|---------|-----------|---------|
| | | | R^2a | AIC | R^2a | AIC |
| Altura | Logístico | Si | 0,970 | 111,219 | 0,986 | 103,022 |
| | | 20 kPa | 0,967 | 110,004 | 0,980 | 110,099 |
| | | 60 kPa | 0,963 | 111,501 | 0,987 | 105,584 |
| Altura | Gompertz | Si | 0,978 | 107,020 | 0,989 | 98,361 |
| | | 20 kPa | 0,979 | 106,248 | 0,987 | 105,101 |
| | | 60 kPa | 0,975 | 108,106 | 0,992 | 98,631 |
| Núm. de ramos | Simples | Si | 0,966 | 46,132 | 0,919 | 55,624 |
| | | 20 kPa | 0,857 | 57,565 | 0,737 | 57,879 |
| | | 60 kPa | 0,968 | 47,512 | 0,912 | 60,361 |
| Núm. de ramos | Quadrático | Si | 0,960 | 48,045 | 0,912 | 55,995 |
| | | 20 kPa | 0,838 | 59,277 | 0,704 | 59,556 |
| | | 60 kPa | 0,959 | 48,262 | 0,861 | 60,625 |

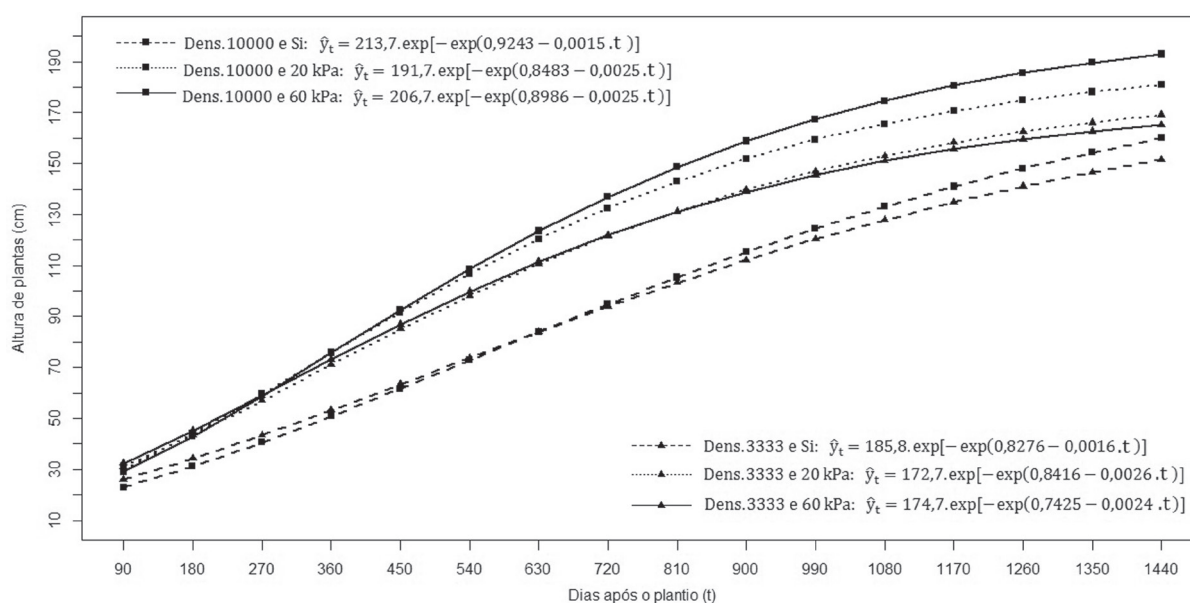


FIGURA 1 - Equações de regressão e ajustes do modelo Gompertz à altura de plantas do cafeeiro, cultivar Rubi MG 1192 em função das épocas de avaliação (t), cultivadas nas densidades de plantio, 3333 e 10000 plantas ha^{-1} , e nos regimes de irrigação, Si, 20 kPa e 60 kPa.

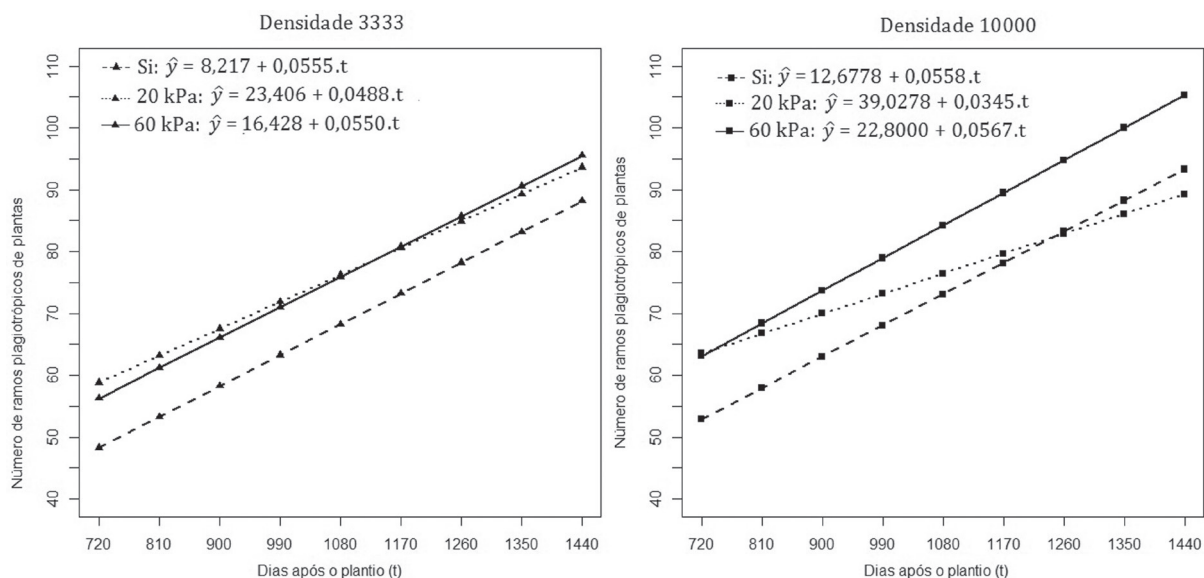


FIGURA 2 - Equações de regressão e ajustes do modelo linear simples ao número de ramos plagiotrópicos de plantas do cafeeiro, cultivar Rubi MG 1192 em função das épocas de avaliação (t), cultivadas nas densidades de plantio, 3333 e 10000 plantas ha⁻¹, e nos regimes de irrigação, Si, 20 kPa e 60 kPa.

Pela Figura 2, observou-se que, novamente, em ambas as densidades de plantio, as plantas irrigadas apresentaram, em média, maior número de ramos plagiotrópicos que as não irrigadas. Esse resultado está em conformidade com os observados por Carvalho et al. (2006) e Rodrigues et al. (2010). Essa variável está indiretamente relacionada à produção do cafeeiro, pois nos ramos plagiotrópicos é que se desenvolvem os frutos.

Assim como verificado por Carvalho et al. (2006), na densidade de plantio 10000 plantas ha⁻¹, também foram observadas as maiores médias para o número de ramos plagiotrópicos, nos três regimes de irrigação.

Em relação ao uso da irrigação, em ambas as variáveis analisadas, os resultados obtidos, de certa forma, evidenciam a importância de seu uso; pois as plantas irrigadas não sofrem restrições hídricas e com isso, as taxas de crescimento são estimuladas; por outro lado, se as necessidades hídricas das plantas não são totalmente satisfeitas fato que provavelmente ocorreu com as não irrigadas – as taxas de crescimento tendem a diminuir e, assim, o desenvolvimento vegetativo fica prejudicado.

4 CONCLUSÕES

O modelo Gompertz é o que melhor descreve o crescimento em altura de plantas do cafeeiro, cultivar Rubi MG 1192, ao longo do tempo. E, o modelo linear simples o que melhor representa a evolução do número de ramos plagiotrópicos.

Em ambas as densidades de plantio, as plantas irrigadas apresentam maiores valores em relação às não irrigadas, tanto em altura de planta como em número de ramos plagiotrópicos, indicando que a irrigação contribui positivamente para o desenvolvimento vegetativo do cafeeiro.

Nos três regimes de irrigação, a densidade de plantio 10000 plantas ha⁻¹, apresenta maior altura de planta e de número de ramos plagiotrópicos, indicando que, nessa densidade, as plantas apresentam crescimento mais acentuado.

5 AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão de bolsa de estudos à primeira autora, ao CNPq e ao Consórcio Pesquisa Café, pelo apoio financeiro.

6 REFERÊNCIAS

ARANTES, K. R.; ARANTES, S. A. C. M.; FARIA, M. A.; REZENDE, F. C. Desenvolvimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) podado sob irrigação. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 4, n. 1, p. 75-86, 2006.

BONOMO, D. Z.; BONOMO, R.; PARTELLI, F. L.; SOUZA, J. M.; MAGIERO, M. Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro conilon submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, n. 2, p. 157-169, 2013.

- CARVALHO, C. H. M. de; COLOMBO, A.; SCALCO, M. S.; MORAIS, A. R. Evolução do crescimento do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) irrigado e não irrigado em duas densidades de plantio. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, n. 2, p. 243-250, mar./abr. 2006.
- COSTA, E. L.; SIMÃO, F. R.; OLIVEIRA, P. M.; VIEIRA, R. F.; SILVA, V. A. Irrigação. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Ed.). *Café Arábica do plantio à colheita*. Lavras: EPAMIG, 2010. v. 1, p. 451-517.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.
- GUJARATI, D. N. Análise de regressão com duas variáveis: algumas ideias básicas. In: _____. *Econometria básica*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. p. 29-46.
- MAIA, E.; SIQUEIRA, D. L.; SILVA, F. F.; PETERNELLI, L. A.; SALOMÃO, L. C. C. Método de comparação de modelos de regressão não-lineares em bananeiras. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1380-1386, ago. 2009.
- MAZZINI, A. R. A.; MUNIZ, J. A.; SILVA, F. F.; AQUINO, L. H. Curva de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autorregressivos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 422-427, mar./abr. 2005.
- MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, C. A. S. Classificação botânica, origem e distribuição geográfica do cafeeiro. In: _____. *Cafeicultura*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. p. 39-99.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. Análise de séries temporais. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2006. 538 p.
- OLIVEIRA, H. N.; LÔBO, R. B.; PEREIRA, C. S. Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça guzerá. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1843-1851, set. 2000.
- PAULO, E. M.; FURLANI JUNIOR, E.; FAZUOLI, L. C. Comportamento de cultivares de cafeeiro em diferentes densidades de plantio. *Bragantia*, Campinas, v. 64, n. 3, p. 397-409, 2005.
- PEREIRA, S. P.; BARTHOLO, G. F.; BALIZA, D. P.; SOBREIRA, F. M.; GUIMARÃES, R. J. Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 2, p. 152-160, fev. 2011.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 20 jan. 2013.
- RODRIGUES, S.; FERREIRA FILHO, G. S.; ALMEIDA, W. A.; CAMPOS NETO, A. F. Desenvolvimento do café arábica (*Coffea arábica*) submetido a diferentes lâminas de irrigação, nas condições do estado de Rondônia. *Global Science and Technology*, Rio Verde, v. 3, n. 1, p. 44-49, 2010.
- SILVA, A. C.; LIMA, L. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; MARTINS, C. P. Características produtivas do cafeeiro arábica irrigado por pivô central na região de Lavras, MG. *Coffee Science*, Lavras, v. 6, n. 2, p. 128-136, 2011.
- TERRA, M. F.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de crescimento de frutos da tamareira-anã (*Phoenix roebelenii* O'BRIEN). *Magistra*, Cruz das Almas, v. 22, n. 1, p. 1-7, 2010.