

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DE TRÊS ESPÉCIES  
ARBÓREAS**

**MÁBELE DE CÁSSIA FERREIRA**

**ITAJUBÁ (MG), BRASIL**

**2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**MÁBELE DE CÁSSIA FERREIRA**

**DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DE TRÊS ESPÉCIES**  
**ARBÓREAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

**Área de concentração:**

Modelagem do Crescimento e Desenvolvimento de Plantas.

**Orientadora:**

Prof<sup>a</sup> Dra. Fabrina Bolzan Martins

**Coorientadora:**

Prof<sup>a</sup> Dra. Liliana Auxiliadora Avelar Pereira Pasin

**Itajubá (MG), Brasil**

**2017**

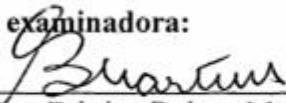
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**


**MÁBELE DE CÁSSIA FERREIRA**

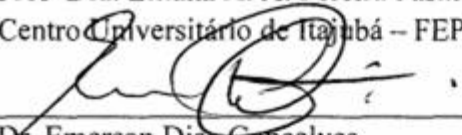
**DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DE TRÊS ESPÉCIES**  
**ARBÓREAS**

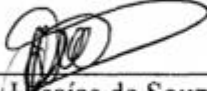
Dissertação aprovada por banca examinadora em 23 de fevereiro de 2017 conferindo ao autor o título de **Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos**.

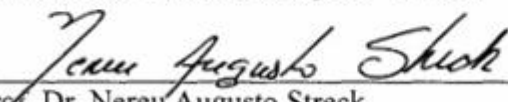
**Banca examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dra. Fabrina Bolzan Martins (Orientadora)  
Universidade Federal de Itajubá – Unifei

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dra. Liliansa A. A. Pereira Pasin (Coorientadora)  
Centro Universitário de Itajubá – FEPI

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Emerson Dias Gonçalves  
Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Isaías de Souza Almeida  
Universidade Federal de Itajubá – Unifei

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Nereu Augusto Streck  
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

**Itajubá (MG), Brasil**

**2017**

À Deus, condutor dos meus passos e pensamentos.

Aos meus amados pais, Laurelise e Maurício, pelo apoio incondicional e por acreditarem sempre na minha capacidade.

## **OFEREÇO**

Ao meu amor Luiz Gustavo, pelo companheirismo, compreensão e paciência.

À minha irmã Ana Flávia, pela amizade, e aos meus estimados tios e avós, pelo carinho e incentivo.

## **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível devido às valiosas contribuições que recebi ao longo da caminhada. Portanto, é com grande prazer que registro minha gratidão a todos que, direta ou indiretamente participaram deste resultado.

Agradeço inicialmente à Universidade Federal de Itajubá e ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, pela oportunidade de aprendizado, de aprimoramento pessoal e profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa, tornando possível a execução deste trabalho. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Unifei, pelo apoio financeiro e incentivo para a divulgação do meu trabalho em evento científico.

À professora e orientadora Fabrina Bolzan Martins, pelos ensinamentos, pela paciência, confiança, incentivo, amizade e pela demonstração sem igual de seu profissionalismo, através da energia e amor que dedica a tudo que faz e a todos com quem convive.

Da mesma forma sou grata à professora e Coorientadora Liliana Pasin, pelo inestimável carinho e amizade, pela dedicação e constante apoio desde o período da graduação e principalmente pelos ensinamentos que muito contribuíram e contribuirão para o meu crescimento profissional.

Ao amigo Cleverson, pela fundamental ajuda na pesquisa com o compartilhamento de informações e experiências. Aos amigos João Pedro, Gabriel e Haroldo, não só pela imensa dedicação aos experimentos, do início ao fim, pelos momentos de aprendizado e troca de conhecimento, mas pelos risos e momentos sem igual que abrandavam um pouco o peso do cansaço. Formamos uma grande equipe que vai deixar muita saudade.

Aos professores do Instituto de Recursos Naturais da Unifei, pela oportunidade de aprendizado através das disciplinas e da convivência, em especial à Ana Lúcia Fonseca, Janaína dos Santos, Rogério Melloni, Maria Inês Alvarenga, Daniela Riondet Costa, e aos professores membros do colegiado do MEMARH: Roger Torres, Michelle Reboita e Marcelo Corrêa, com os quais pude aprender muito sobre o meio acadêmico. Ao professor Hisaiás Almeida, pelas sugestões na etapa inicial e na fase da qualificação deste trabalho.

Aos servidores Josivaldo Rodrigues, Alexandre Germano, Paulo Sérgio Marques,

Tatiana Amaro e Willians Silva, pelos auxílios nos laboratórios e com os materiais da pesquisa.

Aos amigos de pós-graduação, especialmente Rúbia Siqueira, Plínio Souza, Natana Paiva, Fernando Yuri, Patrícia Lopes, Ana Cristina e Cássia Gabriele, agradeço pelo companheirismo, pelos conselhos e pela companhia agradável e divertida nas inúmeras tardes na sala de estudos. Agradeço também aos amigos do curso de Ciências Atmosféricas, a “família CAT”, pela receptividade e por serem tão prestativos.

Agradeço aos amigos de longas datas: Elias Fernandes, José Luiz de Sene, Leopoldo Junior, Kátia Oliveira, Daniele Santos, Letícia Mendonça, Beatriz Marques, Cidinha Machado e Débora Souza, pela cumplicidade e por sempre torcerem por mim.

Enfim, agradeço a todos que colaboraram não só com este trabalho, mas também para o meu crescimento pessoal e profissional.

*“If we aren’t willing to pay a price for our values, if we aren’t willing to make some sacrifices in order to realize them, then we should ask ourselves whether we truly believe in them at all.”*

Barack Obama

## RESUMO

FERREIRA, Mábele de Cássia. **Desenvolvimento vegetativo de três espécies arbóreas.** 2017. 82 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.

Estudos fenológicos considerando fatores ambientais como a temperatura do ar e o fotoperíodo contribuem efetivamente para o conhecimento dos padrões de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas, os quais desempenham papel relevante na otimização de estratégias de manejo e melhoria da qualidade de mudas em espécies florestais. O objetivo geral desta dissertação foi conhecer a fenologia do desenvolvimento vegetativo, representado na fase de muda, de três espécies arbóreas: goiabeira (*Psidium guajava* L.), pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham.) e urucuzeiro (*Bixa orellana* L.), submetidas a diferentes condições de temperatura e fotoperíodo. Para atender o objetivo geral, foram estimadas as temperaturas cardinais para o desenvolvimento vegetativo: basal inferior (Tb), ótima (Tot) e basal superior (TB), baseado em metodologias distintas (Capítulo I), avaliado as necessidades térmica e fotoperiódica do desenvolvimento vegetativo das espécies estudadas (Capítulo II), realizada a avaliação e a comparação do desenvolvimento vegetativo das espécies estudadas por meio dos modelos filocrono (linear) e Wang e Engel (não linear) (Capítulo III). Para isso, foi instalado um experimento a campo sob delineamento inteiramente casualizado, organizado em esquema fatorial 3 x 12, sendo três espécies florestais (goiabeira, pau viola e urucuzeiro) e doze épocas de semeadura, com cinco unidades experimentais por tratamento, na área experimental da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá (MG). Os valores estimados de Tb, Tot e TB para o desenvolvimento vegetativo da goiabeira são de 10,9°C, 17,3°C e 51,2°C, do pau viola são de 11,4°C, 18,1°C e 36,6°C e do urucuzeiro são de 12°C, 18,4°C e 46,4°C, respectivamente, indicando que a goiabeira é mais tolerante a temperaturas extremas. O desenvolvimento vegetativo, quantificado através do filocrono, das três espécies é influenciado pelo método de cálculo dos graus-dia, sendo o melhor método aquele que considera as três temperaturas cardinais e as compara com a temperatura média do ar (método 3.1). Verificou-se que as três espécies são responsivas à temperatura do ar e fotoperíodo, e os modelos do filocrono e Wang e Engel apresentaram desempenhos diferentes na simulação do desenvolvimento vegetativo para as três espécies arbóreas. O modelo do filocrono proporcionou simulação coerente do desenvolvimento vegetativo para a goiabeira e o urucuzeiro, e o modelo de Wang e Engel para o pau viola.

Palavras-chave: temperatura do ar; fotoperíodo; emissão de folhas.



## ABSTRACT

FERREIRA, Mábele de Cássia. **Vegetative development in seedlings of three forest species** 2017. 82 f. Master of Science Dissertation (Master in Environment and Water Resources) – Natural Resources Institute, Federal University of Itajubá, Itajubá, 2017.

Phenology is the study of the progress in development stages in plant cycles and how these are influenced by environmental factors, such as air temperature and photoperiod. These studies are important in optimizing management strategies and improving the quality of seedlings forest species. The main objective of this work was to know the phenology of vegetative development in seedlings of three forest species: guava (*Psidium guajava* L.), pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham.) and urucuzeiro (*Bixa orellana* L.), under different conditions of temperature and photoperiod. The first objective was to estimate the cardinal temperatures based on different methodologies (Chapter I); the second was to evaluate the thermal and photoperiodic requirements of vegetative development (Chapter II); and the third was to evaluate and compare two development models in seedlings of three forest species (Chapter III). To achieve these objectives, one experiment was carried out at the field area, Federal University of Itajubá, Itajubá, MG, Brazil. The experiment in a completely randomized design, arranged in a factorial scheme (3 x 12), with three forest species (guava, pau viola and urucuzeiro) and twelve sowing dates and five replications per treatment. The cardinal temperatures estimated for guava were 10.9, 17.3 and 51.2 ° C, for pau viola were 11.4, 18.1 and 36.6 ° C and for urucuzeiro were 12, 18.4 and 46.4 ° C, indicating that guava is more tolerant to extreme temperatures. The vegetative development is influenced by the thermal time method and the best method it is one that considers the three cardinal temperatures and compare with the average air temperature. Also, the three species are sensitive to the air temperature and photoperiod. The phyllochron and Wang and Engel models showed different performances to estimate vegetative development in seedlings the three forest species. The phyllochron model estimated better the vegetative development for guava and urucuzeiro, and the Wang and Engel model estimated better for pau viola.

Keywords: air temperature; photoperiod; leaf appearance.

# LISTA DE FIGURAS

## Capítulo I

Figura 1.1 - Representação gráfica dos métodos tradicionais de estimativa da Tb para as espécies goiabeira, pau viola e urucuzeiro.....28

Figura 1.2 – Representação da relação entre o número de folhas emitidas na haste principal (NF) e graus-dia acumulado (GD) a partir da emergência, utilizado na estimativa do filocrono para goiabeira, pau viola e urucuzeiro, em três épocas de semeadura. ....30

## Capítulo II

Figura 2.1 - Representação gráfica dos três métodos de cálculo dos graus-dia (Método 1.1, Método 2.1, Método 3.1) usados no estudo para pau viola.....44

Figura 2.2 - Representação da relação entre o número de folhas emitidas na haste principal (NF) e graus-dia acumulado (GD), pelo método 3.1, utilizado na estimativa do filocrono para goiabeira, pau viola e urucuzeiro, em quatro épocas de semeadura. .... 49

Figura 2.3 - Relação entre o filocrono médio e fotoperíodo médio em mudas de goiabeira, pau viola e urucuzeiro nas doze épocas de semeadura. Itajubá (MG), 2015/2016..... 52

## Capítulo III

Figura 3.1 - Representação gráfica do método de cálculo dos graus-dia usado no modelo do Filocrono e curva da função resposta usada no modelo de Wang e Engel para as três espécies arbóreas.....62

Figura 3.2 – Número de folhas simulado versus observado pelos modelos do filocrono e Wang e Engel para goiabeira, pau viola e urucuzeiro.....73

# LISTA DE TABELAS

## Capítulo I

- Tabela 1.1 – Datas de semeadura e emergência de cada época para as espécies goiabeira, pau viola e urucuzeiro.....19
- Tabela 1.2 – Duração e caracterização da temperatura do ar durante a condução do experimento a campo para goiabeira, pau viola e urucuzeiro.....25
- Tabela 1.3 – Valores de temperatura basal inferior ( $T_b$ , °C) estimados pelas dez metodologias analisadas, para a goiabeira, pau viola e urucuzeiro.....26
- Tabela 1.4 – Médias do filocrono (°C dia folha<sup>-1</sup>) para a goiabeira, pau viola e urucuzeiro para 12 épocas de semeadura.....31

## Capítulo II

- Tabela 2.1 – Duração das doze épocas de semeadura correspondentes à fase de muda, caracterização da temperatura do ar e fotoperíodo médio durante a condução do experimento a campo para goiabeira, pau viola e urucuzeiro. Itajubá (MG), 2015/2016.....46
- Tabela 2.2 – Média  $\pm$  desvio padrão do filocrono (°C dia . folha<sup>-1</sup>) para a goiabeira, pau viola e urucuzeiro nas doze épocas de semeadura, calculados pelos seis métodos de graus-dia. Itajubá (MG), 2015/2016. ....48
- Tabela 2.3 – Médias do filocrono (°C dia . folha<sup>-1</sup>), calculado pelo método de graus-dia 3.1, para a goiabeira, pau viola e urucuzeiro nas doze épocas de semeadura. Itajubá (MG), 2015/2016. ....50

## Capítulo III

- Tabela 3.1 – Duração e caracterização da temperatura do ar durante a condução do experimento a campo para goiabeira, pau viola e urucuzeiro.....66
- Tabela 3.2 – Média, desvio padrão e quadrado médio do erro (QME) referente ao número de folhas observado, consideradas na avaliação do desempenho dos modelos filocrono (FIL) e Wang e Engel (WE) para a simulação da emissão de folhas em goiabeira, pau viola e urucuzeiro. ....67
- Tabela 3.3 – Valores das estatísticas utilizadas para avaliação dos modelos do filocrono (FIL) e de Wang e Engel (WE) para a estimativa do aparecimento de folhas das espécies goiabeira, pau viola e urucuzeiro nas épocas de E6 a E12.. ....70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA – análise de variância  
cv. – cultivar  
CR – coeficiente de regressão  
 $CV_d$  = coeficiente de variação em dias  
 $CV_{gd}$  = coeficiente de variação em graus-dia  
 $CV_{d\text{Mod}}$  = coeficiente de variação em dias (modificado)  
 $CV_{gd\text{Mod}}$  = coeficiente de variação em graus-dia (modificado)  
DP – desvio padrão  
 $DP_d$  = menor desvio padrão em dias  
 $DP_{gd}$  = menor desvio padrão em graus-dia  
 $DP_{d\text{Mod}}$  = menor desvio padrão em dias (modificado)  
 $DP_{gd\text{Mod}}$  = menor desvio padrão em graus-dia (modificado)  
DR – desenvolvimento relativo  
E1 – época de semeadura 1  
E2 – época de semeadura 2  
E3 – época de semeadura 3  
E4 – época de semeadura 4  
E5 – época de semeadura 5  
E6 – época de semeadura 6  
E7 – época de semeadura 7  
E8 – época de semeadura 8  
E9 – época de semeadura 9  
E10 – época de semeadura 10  
E11 – época de semeadura 11  
E12 – época de semeadura 12  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
 $F_{\text{med}}$  – fotoperíodo médio  
FIL - filocrono  
 $GD_d$  – graus-dia  
GD – graus-dia acumulado  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
N - fotoperíodo  
N1/N2 – número de dias com temperaturas elevadas  
NF – número de folhas emitidas  
 $NF_{\text{obs}}$  – número de folhas observado  
 $NF_{\text{est}}$  – número de folhas estimado pelo modelo  
QME – quadrado médio do erro  
 $R^2$  - Coeficiente de determinação  
Syx – Erro padrão de estimativa  
Tb – Temperatura basal Inferior  
TB – Temperatura basal Superior

$T_{\max}$  – Temperatura máxima média do ar  
 $T_{\text{med}}$  – Temperatura média diária do ar  
 $T_{\min}$  – Temperatura mínima média do ar  
 $T_{\text{ot}}$  – Temperatura ótima de desenvolvimento  
 $TM1/TM2$  – Temperaturas máximas das épocas  
 $Tm1/Tm2$  – Temperaturas mínimas das épocas  
U.E – Unidade experimental  
vol. – volume  
WE – modelo Wang e Engel

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	14
CAPÍTULO I.....	16
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
2.1. Descrição do protocolo experimental.....	19
2.2. Estimativa da temperatura basal inferior (Tb).....	21
2.3. Estimativa da temperatura ótima (Tot).....	23
2.4. Estimativa da temperatura basal superior (TB).....	24
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
3.1. Temperatura basal inferior (Tb) .....	26
3.2. Temperatura ótima (Tot) .....	29
3.3. Temperatura basal superior (TB).....	32
4. CONCLUSÕES .....	34
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34
CAPÍTULO II.....	40
1. INTRODUÇÃO.....	40
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
2.1. Protocolo experimental.....	42
2.2. Métodos de cálculo de graus-dia e estimativa do Filocrono .....	43
2.3. Influência do Fotoperíodo .....	45
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
4. CONCLUSÕES .....	53
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
CAPÍTULO III .....	59
1. INTRODUÇÃO.....	59
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	61
2.1. Protocolo experimental.....	61
2.2. Descrição dos modelos de simulação do desenvolvimento (Filocrono e WE) 62	
2.3. Estimativa dos coeficientes dos modelos Filocrono e WE.....	63
2.4. Avaliação do desempenho dos modelos filocrono e WE .....	64
2.5. Comparação do desempenho dos modelos filocrono e WE .....	65
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	65
4. CONCLUSÕES .....	75
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
2. DISCUSSÃO GERAL.....	79
3. CONCLUSÃO GERAL .....	80
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS.....	80

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O comportamento fenológico das espécies vegetais varia em função da sua sensibilidade a diferentes condições ambientais (SEGANTINI et al., 2010), sendo a temperatura do ar e o fotoperíodo os fatores que mais influenciam o desenvolvimento vegetal (SOLTANI; SINCLAIR, 2012). Estudos que consideram esses fatores são importantes por contribuírem para a otimização de estratégias de manejo, melhora na produção e qualidade de mudas e na escolha de espécies mais adaptadas às condições climáticas do local de cultivo (ARAÚJO; SANTOS; LEMOS, 2014; FORTUNATO; QUIRINO, 2016; MARTINS et al., 2014).

É crescente a procura por mudas de espécies arbóreas, tendo em vista o avanço das leis de proteção que reflete na conscientização ambiental e no aumento de programas de arborização urbana e reflorestamento (NASCIMENTO et al., 2012), tornando necessário o conhecimento dos padrões de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas para garantir o sucesso no estabelecimento dos plantios (MONTEIRO et al., 2014). No entanto, devido à grande diversidade da flora arbórea brasileira e menor interesse econômico, são escassas as informações a respeito da fenologia destas plantas (KISSMANN et al., 2013).

Espécies como goiabeira (*Psidium guajava* L., família Myrtaceae), pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham., família Verbenaceae) e urucuzeiro (*Bixa orellana* L., família Bixaceae) são descritas como importantes contribuintes nos programas de recomposição de áreas degradadas e de preservação por apresentarem intensa regeneração espontânea, boa capacidade de dispersão e rápido crescimento no campo (AMARAL; ANTIQUEIRA; HORBACH, 2013; LORENZI, 2014). Além disso, possuem finalidades paisagísticas em arborização urbana e relevante importância econômica, com destaque para goiabeira e urucuzeiro, com crescente índice de produção. (FERREIRA; NOVEMBRE, 2015; PEREIRA; KAVATI, 2011). Contudo, a viabilidade econômica do cultivo dessas espécies pode ser sensivelmente afetada pelos fatores ambientais (BARBOSA; LIMA, 2010; CASTRO et al., 2009).

A exploração comercial da goiabeira (*Psidium guajava* L.) teve início no fim da década de 1950 (PEREIRA; KAVATI, 2011) e seu cultivo no Brasil se estende desde o Estado do Rio Grande do Sul até a região Nordeste. Seu fruto é uma das mais importantes matérias prima para as indústrias de sucos, polpas e néctares (BRUNINI; OLIVEIRA; VARANDA, 2003). No ano de 2015, o total de área plantada foi de 17.688 ha, com registro de aumento de 18% na produção em relação ao ano anterior (IBGE, 2015). Além disto, a

planta é indicada para plantios mistos de recuperação de recomposição de áreas degradadas, por apresentar intensa regeneração espontânea em capoeiras, devido a sua ampla disseminação pela avifauna (LORENZI et al., 2014).

Já *Citharexylum myrianthum* Cham é uma espécie arbórea nativa do Brasil, conhecida popularmente como pau viola, de ocorrência natural em formações de florestas pluviais e semidecíduas da Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado das regiões do nordeste, sudeste e sul do país (AMARAL; ANTIQUEIRA; HORBACH, 2013; LORENZI et al., 2014). O ambiente de ocorrência e as características da espécie demonstram sua relevância em plantios mistos destinados à recomposição de áreas ciliares degradadas. Além disso, a espécie vem sendo muito utilizada em programas de arborização urbana, além de finalidades paisagísticas em praças e parques (LORENZI et al., 2014).

Assim como a goiabeira, o urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) apresenta crescente índice de produção no Brasil, atingindo 11.950 ha de área plantada em 2015 (IBGE, 2015), com aumento de 15,2 % em relação a 2014. Sua cultura tem como principal produto a semente, cujo valor agrícola e econômico está relacionado aos pigmentos associados à superfície da semente, que são utilizados nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética em função da tendência de substituir os corantes artificiais pelos naturais (FABRI; TERAMOTO, 2015; FERREIRA; NOVEMBRE, 2015). Além destas aplicações, o urucuzeiro possui importância cultural, muito empregado pelos índios amazônicos como repelente de insetos, em tingimento de pele e rituais religiosos. Pode ser explorado como planta ornamental e em sistemas agroflorestais, devido ao seu rápido desenvolvimento e crescimento no campo (LORENZI, 2014).

O incentivo para a realização desta dissertação foi a inexistência e carência de estudos relacionados a fenologia do desenvolvimento vegetativo destas três espécies arbóreas na fase de muda, considerada a fase mais crítica (ABREU et al., 2015), principalmente com relação as variáveis ambientais temperatura do ar e fotoperíodo. Esta dissertação está dividida em três capítulos: o Capítulo I teve como objetivo estimar as temperaturas cardinais (T<sub>b</sub>, T<sub>ot</sub> e T<sub>B</sub>) para o desenvolvimento vegetativo, representado pela fase de muda, de goiabeira, pau viola e urucuzeiro; o capítulo II teve como objetivo avaliar seis métodos de cálculo de graus-dia e identificar a resposta do filocrono e do fotoperíodo na emissão de folhas das espécies arbóreas e o capítulo III teve como objetivo avaliar e comparar os modelos de simulação filocrono e Wang e Engel para estimar o desenvolvimento vegetativo de goiabeira, pau viola e urucuzeiro, durante a fase de muda.



## CAPÍTULO I

# ESTIMATIVA DAS TEMPERATURAS CARDINAIS PARA O DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DE MUDAS DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS

### 1. INTRODUÇÃO

A temperatura do ar configura-se como um dos principais fatores ambientais que afetam a fenologia das espécies vegetais anuais e perenes (ANZANELLO; BIASI, 2016; MARTINS; REIS; PINHEIRO, 2012; SOLTANI; SINCLAIR, 2012). Sua importância ocorre devido à influência nos processos fisiológicos como: taxa fotossintética, respiração, atividades enzimáticas, velocidade de transporte e translocação de solutos, balanço entre transpiração e consumo de água no solo, os quais atuam diretamente no crescimento, desenvolvimento e na produtividade das plantas (CALLEJAS et al., 2014; ERPEN et al., 2013; FARIAS et al., 2015), com destaque para a emissão de folhas (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017).

As plantas apresentam limites de temperatura que acionam seus dispositivos metabólicos, definidos pelas temperaturas cardinais: basal inferior ( $T_b$ ), que representa a temperatura abaixo da qual as atividades fisiológicas são interrompidas; temperatura ótima ( $T_{ot}$ ), em que ocorre o máximo desenvolvimento (LISBOA et al., 2012) e a basal superior ( $T_B$ ), que representa o limite máximo em que ocorre o desenvolvimento, acima da qual a taxa respiratória supera a taxa de produção de fotoassimilados (CALLEJAS et al., 2014; MIRANDA; CAMPELO JÚNIOR, 2010; SOUZA; LEONEL; SILVA, 2011).

As temperaturas cardinais podem variar em função do período de desenvolvimento que a planta se encontra, entre espécies, entre cultivares e variedades da mesma espécie (FARIAS et al., 2015; LAGO et al., 2009; SOUZA; MARTINS, 2014). Normalmente estas são determinadas por metodologias estatísticas, as quais contabilizam dados de observações fenológicas, como a emissão de folhas (LAGO et al., 2009; ROSA et al., 2009; SOUZA; MARTINS, 2014), além de submeter às plantas a diferentes condições de temperatura do ar, utilizando uma série de épocas de semeadura, ou de uma mesma época, mas em locais com condições de temperatura do ar distintas (LUZ et al., 2012).

Com relação a  $T_b$ , as metodologias mais utilizadas são: desvio padrão em dias e graus-dia, coeficiente de variação em dias e graus-dia, o coeficiente de regressão, desenvolvimento

relativo e o menor quadrado médio do erro (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017; LIMA; SILVA, 2008; LUCAS et al., 2012). Em todas elas as plantas devem ser submetidas a desenvolverem-se em condições de temperatura amenas, as quais ocorrem principalmente no inverno (MÜLLER et al., 2009). Para estimar a Tot, as plantas devem ser submetidas de modo a se desenvolverem nas melhores condições, que geralmente ocorre em câmaras de crescimento (SOLTANI; SINCLAIR, 2012), as quais são onerosas e justificam-se somente em condições experimentais. Com relação a TB, o número de metodologias é reduzido. Além disso, geralmente, o valor de TB é elevado e dificilmente são atingidos durante o ciclo de desenvolvimento no campo (SOUZA; MARTINS, 2014). Mesmo assim, costuma-se submeter as plantas a desenvolverem-se em condições de temperaturas elevadas, as quais ocorrem principalmente durante o verão (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017).

Encontram-se diversos estudos dessa natureza para culturas anuais e bianuais de interesse agrícola como arroz (LAGO et al., 2009), morango (ROSA et al., 2011), batata-doce (ERPEN et al., 2013), ervilha (BARBANO et al., 2002), trigo (ROSA et al., 2009), crambe (PILAU et al., 2011), milho (STRECK et al., 2009), mandioca (SCHONS et al., 2007), feijão (GÓMEZ; CASTAÑEDA, 2009), cana de açúcar (SINCLAIR et al., 2004); de interesse ornamental como malmequer do campo (FAGUNDES et al., 2010), zínia (GONÇAVES et al., 2015) e plantas daninhas como papuã e corriola (PAULA; STRECK, 2008). Entretanto, existem poucos estudos para culturas perenes (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017; SOUZA; MARTINS, 2014), principalmente, relacionados com espécies arbóreas e nativas.

O conhecimento das temperaturas cardinais das espécies arbóreas é fundamental para o sucesso dos programas de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, os quais dependem do conhecimento da fenologia dessas espécies. Além disso, permite escolher as espécies mais adaptadas às condições climáticas do local de cultivo, produzir mudas de melhor qualidade, assim como garantir o bom estabelecimento das mudas no campo (MARTINS; SILVA; STRECK, 2007).

Nesse sentido, as espécies arbóreas como a goiabeira (*Psidium guajava* L., família Myrtaceae), pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham., família Verbenaceae) e o urucuzeiro (*Bixa orellana* L. família Bixaceae) possuem importantes características ecológicas, sendo descritas como espécies pioneiras por apresentarem intensa regeneração espontânea em vários estágios da sucessão secundária, além de produzirem grande quantidade de sementes, dispersas principalmente pela avifauna. Por esses motivos, são comumente utilizadas em plantios mistos destinados à recomposição de áreas degradadas e de preservação de matas

ciliares, utilizadas com finalidades paisagísticas em praças e parques, e também nos programas de arborização urbana (AMARAL; ANTIQUEIRA; HORBACH, 2013, LORENZI 2014). As espécies possuem ainda importância econômica, como no caso do urucuzeiro que é importante fonte de corantes naturais, utilizado pelas indústrias têxtil, farmacêutica, e cosmética (CASTRO et al., 2009; KISSMANN et al., 2013; RIBEIRO et al., 2013) e da goiabeira, que possui alto potencial para a exploração agrícola, atendendo a grande demanda na indústria alimentícia (BARBOSA; LIMA, 2010; PEREIRA; KAVATI, 2011).

Considerando a carência de registros na literatura sobre o conhecimento das temperaturas cardinais das espécies arbóreas, aliada a necessidade de aprimoramento de técnicas de cultivo e a crescente demanda por mudas de qualidade (VIANI; RODRIGUES, 2007), o objetivo deste primeiro capítulo de dissertação foi estimar as temperaturas cardinais para o desenvolvimento vegetativo, representado pela fase de muda, das espécies goiabeira (*Psidium guajava* L.), pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham.) e urucuzeiro (*Bixa orellana* L.).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

As sementes utilizadas neste experimento foram obtidas em dois períodos de dispersão (2015/2016), sendo da espécie goiabeira coletadas de seis matrizes localizadas no município de Pedralva (MG), pau viola coletadas de cinco matrizes localizadas em Piranguinho (MG) e três em São José do Alegre (MG) e urucuzeiro de duas matrizes em Pedralva (MG) e duas em Itajubá (MG). A coleta, secagem e o armazenamento das sementes seguiram as recomendações de Lorenzi (2014) e EMBRAPA (2001), a fim de conservar a viabilidade das mesmas.

Preliminar à instalação do experimento, foram realizados testes com o propósito de acelerar o tempo de emergência das sementes das três espécies. Baseando-se em metodologias distintas encontradas na literatura, foram utilizados diferentes métodos de quebra de dormência (escarificação mecânica com uso de lixa, imersão em água fria por 24 horas, imersão em água a 50°C por 20 minutos, escarificação química com peróxido de hidrogênio vol. 20 por 20 minutos, tratamento controle) e dois tipos de substrato (areia e condicionador de solo Bioplant<sup>®</sup>). Para as três espécies houve maior índice de velocidade de emergência no substrato areia, enquanto que a escarificação química com peróxido de hidrogênio vol. 20 por 20 minutos foi mais eficiente para o pau viola e o tratamento controle foi mais eficiente para a goiabeira e urucuzeiro. Dessa forma, em todas as épocas de semeadura foi adicionada uma

fina camada de areia sobre o substrato utilizado e aplicado o peróxido de hidrogênio nas sementes de pau viola.

## 2.1. Descrição do protocolo experimental

Foi instalado um experimento a campo na área experimental da Universidade Federal de Itajubá (22°24'46.43" S 45°26'48.94" O, 1.050m de altitude), Itajubá (MG). O clima, segundo a classificação de Köppen é Cwa, subtropical de altitude, caracterizado por invernos secos e verões quentes (ABREU et al., 2015). O experimento foi conduzido sob o delineamento inteiramente casualizado, organizado em esquema fatorial (3 x 12), sendo três espécies arbóreas: goiabeira (*Psidium guajava* L.), pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham) e urucuzeiro (*Bixa orellana* L.), doze épocas de semeadura, instaladas de maio de 2015 a abril de 2016 e cinco unidades experimentais (U.E) por tratamento, totalizando 180 U.E.

As épocas de semeadura foram instaladas em intervalos de aproximadamente trinta dias, para que as plantas ficassem expostas a diferentes condições meteorológicas (MÜLLER et al., 2009; ROSA et al., 2009). A semeadura foi feita pelo método direto, e após as U.E atingirem 50% de emergência (Tabela 1.1), foi realizado o desbaste, de modo que em cada U.E houvesse apenas duas plantas, sendo identificadas com anéis coloridos, seguindo as recomendações de Lisboa et al. (2012), Souza e Martins (2014) e Freitas, Martins e Abreu (2017).

Tabela 1.1 – Datas de semeadura e emergência de cada época para as espécies goiabeira, pau viola e urucuzeiro. Itajubá (MG), 2015/2016.

Épocas de Semeadura	Datas de Semeadura	Datas de emergência*		
		Goiabeira	pau viola	Urucuzeiro
1	12/05/2015	15/06/2015	10/06/2015	12/06/2015
2	12/06/2015	17/07/2015	15/07/2015	10/07/2015
3	10/07/2015	05/08/2015	05/08/2015	28/07/2015
4	11/08/2015	04/09/2015	02/09/2015	26/08/2015
5	10/09/2015	30/09/2015	05/10/2015	30/09/2015
6	09/10/2015	28/10/2015	04/11/2015	19/10/2015
7	13/11/2015	04/12/2015	08/12/2015	27/11/2015
8	11/12/2015	30/12/2015	04/01/2016	28/12/2015
9	12/01/2016	02/02/2016	07/02/2016	27/01/2016
10	11/02/2016	29/02/2016	04/03/2016	19/02/2016
11	11/03/2016	30/03/2016	31/03/2016	24/03/2016
12	12/04/2016	28/04/2016	05/05/2016	03/05/2016

\*Emergência foi considerada o dia em que 50% das plântulas estavam visíveis acima do solo e delimita o início (i) de cada época de semeadura.

Cada U.E foi composta por vaso de polietileno com capacidade para 8 litros (23cm altura, 24 cm diâmetro superior e 20 cm diâmetro inferior), corretamente identificado e com as paredes externas e internas pintadas de branco a fim de evitar o aumento da temperatura do substrato pela absorção da radiação solar. Os vasos foram preenchidos com solo do horizonte A moderado de um Latossolo Vermelho distrófico típico, pertencente à classe textural muito argilosa (EMBRAPA, 2013), coletado em Itajubá (MG).

A partir de análises laboratoriais, verificou-se que o solo possui acidez elevada (pH em água = 4,65) e baixa quantidade de cálcio e magnésio trocável. Os teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram considerados baixos, enquanto os teores de cobre, ferro, manganês e zinco foram considerados altos. As considerações e os cálculos para a devida correção do solo seguiram a recomendação proposta pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999). Para correção da acidez e diminuição do teor de  $Al^{3+}$  foram adicionadas em cada U.E 12,20 gramas de carbonato de cálcio e 6,45 g de carbonato de magnésio. As deficiências nutricionais dos macronutrientes foram corrigidas pela adição de 8,40 g de fosfato supersimples (18%), 0,256 g de cloreto de potássio (60%), 0,35g de sulfato de amônia. Aos 90 e aos 120 dias da data de instalação de cada época foi realizada a adubação de cobertura, com a aplicação em cada U.E de 0,575 g de cloreto de potássio e 0,575 g de sulfato de amônia.

As U.E's foram distribuídas por meio de sorteio e dispostas sobre paletes com espaçamento de 15 cm e sob tela de sombreamento 50%, posicionada a 2 m de altura do solo. Foram realizadas regas regulares no período vespertino deixando cada vaso próximo da saturação, evitando que as plantas sofressem estresse hídrico, o que poderia influenciar na emissão de folhas. As regas não foram realizadas em dias chuvosos.

A fenologia do desenvolvimento vegetativo foi quantificada pela contagem do número de folhas emitidas na haste principal (NF) durante a fase de muda, que iniciou na data da emergência e finalizou quando cada U.E atingiu, em média, 20 NF (ABREU et al., 2015; FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017). A contagem do NF foi realizada semanalmente e iniciada com a presença uma folha visível (comprimento  $\geq 1,0$  cm) e as brotações laterais foram removidas (MARTINS; SILVA; STRECK, 2007, SOUZA; MARTINS, 2014).

Os dados de temperatura do ar, registrados em intervalos de 10 minutos, foram obtidos a partir da estação meteorológica automática pertencente ao Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá, localizada a aproximadamente 200 m da área experimental.

## 2.2. Estimativa da temperatura basal inferior (Tb)

Para a estimativa da Tb foram utilizadas as metodologias tradicionais, propostas por Arnold (1959) e Yang, Logan e Coffey (1995), por meio dos métodos: desvio padrão em graus-dia ( $DP_{gd}$ ), desvio padrão em dias ( $DP_d$ ), coeficiente de variação em dias ( $CV_d$ ), coeficiente de variação em graus-dia ( $CV_{gd}$ ), coeficiente de regressão (CR), e desenvolvimento relativo (DR). Também foram consideradas as modificações dos métodos tradicionais propostas por Yang, Logan e Coffey (1995):  $DP_{gd}$ ,  $DP_d$ ,  $CV_{gd}$ , CR. Em todas as metodologias foram utilizadas as cinco primeiras épocas de semeadura para goiabeira e as quatro primeiras épocas para pau viola e urucuzeiro, as quais apresentaram os menores valores de temperatura do ar (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017; SOUZA; MARTINS, 2014).

Primeiramente calculou-se os graus-dia pela expressão (FAGUNDES et al., 2010; LUCAS et al., 2012):

$$GD_d = T_{med} - T_b \cdot 1 \text{ dia} \quad (1)$$

em que:  $GD_d$  = graus-dia ( $^{\circ}C$  dia),  $T_{med}$  = temperatura média do ar, obtida pela média aritmética dos registros de 10 em 10 minutos ( $^{\circ}C$ ),  $T_b$  = temperatura basal inferior de cada espécie, sendo utilizada uma série de  $T_b$ 's variando de  $0^{\circ}$  a  $20^{\circ}C$ , em intervalos de  $0,5^{\circ}C$  (LUCAS et al., 2012; SINCLAIR et al., 2004).

Os graus-dia acumulados (GD,  $^{\circ}C$  dia) foram obtidos pelo somatório dos  $GD_d$ , a partir da data de emergência de cada época até o término da fase de muda (FARIAS et al., 2015; SOUZA; MARTINS, 2014).

Os métodos tradicionais para a estimativa da Tb são descritos a seguir:

**$DP_{gd}$** : a Tb de cada espécie é aquela que resulta no menor desvio padrão em graus-dia entre as épocas de semeadura (LAGO et al., 2009; SOUZA; MARTINS, 2014):

$$DP_{gd} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (GD_i - MGD)^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

em que:  $DP_{gd}$  = desvio padrão em graus-dia;  $GD_i$  = graus-dia acumulados na  $i$ -ésima época de semeadura utilizando a série de  $T_b$ 's; MGD = média dos graus-dia acumulados para todas as  $i$ -ésimas épocas de semeadura; n = número de épocas de semeadura.

**$DP_d$** : a Tb de cada espécie é aquela que resulta no menor desvio padrão entre as épocas de semeadura (FAGUNDES et al., 2010; MÜLLER et al., 2009):

$$DP_d = \frac{DP_{gd}}{T - T_b} \quad (3)$$

em que:  $DP_d$  = desvio padrão em dias;  $DP_{gd}$  = desvio padrão em graus-dia utilizando a série de  $T_b$ 's;  $T$  = temperatura média do ar de todas as  $i$ -ésimas épocas de semeadura ( $^{\circ}C$ );  $T_b$  = temperatura basal inferior ( $^{\circ}C$ ).

**CV<sub>d</sub>**: A  $T_b$  de cada espécie é aquela que possui um menor coeficiente de variação em dias, o qual é obtido pela relação entre o desvio padrão em dias e o número de dias requerido para atingir a fase de muda (LAGO et al., 2009; SOUZA; MARTINS, 2014).

$$CV_d = \frac{DP_d}{\bar{x}_d} \cdot 100 \quad (4)$$

em que:  $CV_d$  = coeficiente de variação em dias (%);  $\bar{x}_d$  = média do número de dias requerido para atingir a fase de muda.

**CV<sub>gd</sub>**: a  $T_b$  de cada espécie é aquela que apresenta o menor coeficiente de variação com relação aos graus-dia necessários para atingir a fase de muda (SOUZA; MARTINS, 2014):

$$CV_{gd} = \frac{DP_{gd}}{MGD} \cdot 100 \quad (5)$$

em que:  $CV_{gd}$  = coeficiente de variação em graus-dia (%);  $MGD$  = média dos graus-dia acumulados para todas as  $i$ -ésimas épocas de semeadura.

**CR**: A  $T_b$  de cada espécie é indicada pelo valor do coeficiente angular da regressão linear simples entre os  $GD_i$  necessários para atingir a fase de muda e a temperatura média do ar ( $T_{med}$ ,  $^{\circ}C$ ):

$$GD = a \cdot T_{med} + b \quad (6)$$

em que:  $a$  = coeficiente angular da regressão linear,  $b$  = coeficiente linear. O coeficiente angular da regressão linear simples é positivo se a  $T_b$  usada para calcular o  $GD$  for alta, negativo se for baixa e zero (ou o mais próximo a zero) se a  $T_b$  for a correta (FAGUNDES et al., 2010; SOUZA; MARTINS, 2014).

**DR**: a  $T_b$  é aquela que resulta em um desenvolvimento relativo nulo proveniente do prolongamento da regressão linear simples entre o  $DR$  da espécie em função da  $T_{med}$  ( $T_b = -b/a$ ) (FAGUNDES et al., 2010; FARIAS et al., 2015; MÜLLER et al., 2009), utilizando-se a equação:

$$DR = a \cdot T_{med} + b, \quad (7)$$

sendo  $DR = 100/N$

em que:  $a$  = coeficiente angular da regressão linear,  $b$  = coeficiente linear, 100 = valor arbitrário de ponderação;  $N$  = número de dias de duração da fase de muda em cada época de semeadura.

As metodologias modificadas propostas por Yang, Logan e Coffey (1995), também utilizadas por Lago et al. (2009) e Lima e Silva (2008), consideradas neste estudo foram:

**Menor desvio padrão em graus-dia (DP<sub>gd mod</sub>):**

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^n T_{med_i} d_i \sum_{i=1}^n d_i - n \sum_{i=1}^n d_i^2 T_{med_i}}{(\sum_{i=1}^n d_i)^2 - n \sum_{i=1}^n d_i^2} \quad (8)$$

**Menor desvio padrão em dias (DP<sub>d mod</sub>):**

$$T_b = T - \frac{(\sum_{i=1}^n t_i d_i)^2 - n \sum_{i=1}^n t_i^2 d_i^2}{n \sum_{i=1}^n d_i^2 t_i - n \sum_{i=1}^n t_i d_i \sum_{i=1}^n d_i} \quad (9)$$

**Coefficiente de variação em graus-dia (CV<sub>gd mod</sub>):**

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^n T_{med_i} d_i^2 \sum_{i=1}^n T_{med_i} d_i - \sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_{med_i}^2 d_i^2}{\sum_{i=1}^n d_i^2 \sum_{i=1}^n T_{med_i} d_i - \sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_{med_i} d_i^2} \quad (10)$$

**Coefficiente de regressão (CR<sub>mod</sub>):**

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^n T_{med_i} \cdot \sum_{i=1}^n d_i T_{med_i} - n \sum_{i=1}^n d_i T_{med_i}^2}{\sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_{med_i} - n \sum_{i=1}^n d_i T_{med_i}} \quad (11)$$

em que  $d_i$  = duração em dias das  $i$ -ésimas épocas de semeadura;  $T_{med_i}$  = temperatura média das  $i$ -ésimas épocas (°C);  $T$  = temperatura média de todas as  $i$ -ésimas épocas (°C);  $n$  = número de épocas de semeadura;  $t_i = T - T_{med_i}$  (°C).

O valor final da  $T_b$  de cada espécie foi obtido pela média aritmética dos valores de  $T_b$  encontrados entre os dez métodos de estimativa (equações 2 a 11).

### 2.3. Estimativa da temperatura ótima (Tot)

A Tot foi estimada segundo a metodologia proposta por Lisboa et al. (2012), na qual determinou-se o valor do filocrono para cada espécie, época de semeadura (E1 a E12) e U.E. O filocrono foi obtido pelo inverso do coeficiente angular ( $a$ ) da regressão linear entre o NF e GD a partir da data emergência (MARTINS; SILVA; STRECK, 2007; PAULA; STRECK, 2008). Para o cálculo do GD foi considerado o valor de  $T_b$  estimado para cada espécie:

$$NF = a \cdot GD + b \quad (12)$$

Os valores de filocrono foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk ( $\alpha=0,05$ ) e posterior análise de variância (ANOVA), para avaliar o efeito das fontes de variação (espécies e épocas de semeadura) e comparação de médias pelo teste Scott-Knott (1974) ( $\alpha=0,05$ ). A Tot foi obtida pela média aritmética das temperaturas médias do ar para a época com o menor valor de filocrono, a qual indica quando houve o máximo



desenvolvimento (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017). Todos os testes foram realizados no software SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

## 2.4. Estimativa da temperatura basal superior (TB)

A estimativa da TB foi baseada na metodologia proposta por Ometto (1981) e modificada por Lima e Silva (2008), considerando que a  $TB > T_{med} > T_b$ . Nesta metodologia utilizaram-se as duas épocas de semeadura que apresentaram os maiores valores de temperatura do ar (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017).

### Caso 1: $TB > T_{med} > T_b$

$$A = N_2 \cdot TM_1 \cdot TM_2 - N_2 \cdot TM_2 \cdot Tm_1 \quad (13)$$

$$B = -N_1 \cdot TM_1 \cdot TM_2 + N_1 \cdot TM_1 \cdot Tm_2 \quad (14)$$

$$C = (-TM_1 + Tm_1) \cdot (-TM_2 + Tm_2) \quad (15)$$

$$D = N_1 \cdot Tm_2^2 \cdot N_2 - 2 \cdot Tm_2 \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot Tb - Tm_2 \cdot Tm_1 \cdot N_1^2 \quad (16)$$

$$E = -Tm_2 \cdot TM_1 \cdot N_1^2 + N_2^2 \cdot TM_1 \cdot Tm_2 - Tm_1 \cdot N_2^2 \cdot Tm_2 + 2 \cdot Tm_2 \cdot N_2^2 \cdot Tb \quad (17)$$

$$F = Tm_1 \cdot N_1^2 \cdot TM_2 - 2 \cdot N_2^2 \cdot TM_1 \cdot Tb - 2 \cdot N_1^2 \cdot TM_2 \cdot Tb \quad (18)$$

$$G = TM_1 \cdot N_1^2 \cdot TM_2 + Tm_1^2 \cdot N_2 \cdot N_1 - 2 \cdot Tm_1 \cdot N_2 \cdot N_1 \cdot Tb \quad (19)$$

$$H = 2 \cdot Tm_1 \cdot N_2^2 \cdot Tb + 2 \cdot N_1 \cdot TM_2 \cdot N_2 \cdot Tb + 2 \cdot N_2 \cdot TM_1 \cdot N_1 \cdot Tb \quad (20)$$

$$I = -2 \cdot N_2 \cdot TM_1 \cdot N_1 \cdot TM_2 + N_2^2 \cdot TM_1 \cdot TM_2 - Tm_1 \cdot N_2^2 \cdot TM_2 \quad (21)$$

$$J = -N_1 \cdot TM_2 + N_1 \cdot Tm_2 + N_2 \cdot TM_1 - N_2 \cdot Tm_1 \quad (22)$$

$$TB = \frac{A + B \pm \sqrt{C \cdot (D + E + F + G + H + I)}}{J} \quad (23)$$

em que:  $N_1$  e  $N_2$  = número de dias de duração da fase de muda, que considera o período que se estende desde 50% de emergência até a fase final de muda,  $TM_1$  e  $TM_2$  = temperaturas máximas do ar (°C);  $Tm_1$  e  $Tm_2$  = temperaturas mínimas do ar (°C);  $1$  e  $2$  = duas épocas de semeadura com maiores valores de temperatura média do ar.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve variação das condições meteorológicas durante todo o período de condução do experimento (Tabela 1.2). Os valores de temperatura do ar variaram entre 2,3°C, valor mínimo absoluto (observado durante E9, E10, E11 e E12), a 35,7°C, valor máximo absoluto (observado nas épocas E1, E2, E3, E4, E5 e E6). A variação das condições meteorológicas permite maior confiabilidade na estimativa das temperaturas cardinais das espécies

(CALLEJAS et al., 2014; SOUZA; MARTINS, 2014), além de ser um requisito importante em estudos de desenvolvimento e crescimento vegetal (LIMA; SILVA, 2008, ROSA et al., 2009).

Tabela 1.2 – Duração e caracterização da temperatura do ar durante a condução do experimento a campo para goiabeira, pau viola e urucuzeiro. Itajubá (MG), 2015/2016.

Épocas	Goiabeira			pau viola			urucuzeiro					
	Duração*	Temperaturas (°C)**			Duração*	Temperaturas (°C)**			Duração*	Temperaturas (°C)**		
		T <sub>med</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>		T <sub>med</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>		T <sub>med</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>
<b>E1</b>	192	20,4	27,6	15	162	19,8	27,1	14	209	20,5	27,6	15,2
<b>E2</b>	167	21,2	28,3	15,8	148	20,9	28,2	15,2	197	21,2	28,2	16
<b>E3</b>	176	21,9	28,8	16,7	141	21,7	28,9	16,2	184	21,7	28,7	16,4
<b>E4</b>	135	22,6	29,1	17,7	120	22,5	29,3	17,5	170	22,5	29,3	17,5
<b>E5</b>	162	23	29,4	18,3	115	23	29,4	18,3	153	23	29,4	18,3
<b>E6</b>	141	23	29,3	18,2	119	22,9	29,1	18,6	172	22,9	29,4	18,1
<b>E7</b>	126	22,6	29	18	122	22,6	29	17,9	168	22,2	28,9	17,3
<b>E8</b>	135	22	28,7	16,9	130	22	28,7	16,8	144	21,8	28,5	16,8
<b>E9</b>	143	20,1	27,2	14,7	103	21,4	28,3	16,1	198	19,3	27	13,5
<b>E10</b>	144	18,6	26,2	12,8	140	18,6	26,3	12,7	189	18,6	26,5	12,6
<b>E11</b>	149	17,6	25,9	11,3	134	17,7	25,8	11,4	176	18,1	26,4	11,6
<b>E12</b>	154	17,2	25,7	10,6	141	17,3	25,7	10,6	157	17,5	26	10,9

\* período (em dias) que se estende desde a data da emergência, considerada o dia em que 50% das plântulas estavam visíveis acima do solo, e término da fase de muda, considerada o dia em que as plantas de cada época atingiram, em média, 20 folhas emitidas na haste principal. \*\* Valores obtidos pelas médias aritméticas da temperatura média, máxima e mínima do ar.

Observou-se uma relação inversa entre a duração das épocas e a temperatura do ar. Tendência de diminuição (aumento) da duração das épocas com o aumento (diminuição) da temperatura do ar é esperado e também foi observado por Pedro Jr. et al. (2004) para triticale, Luz et al. (2012) para canola, Souza e Martins (2014) para cv. de oliveira Grappolo e MGS Mariense e por Freitas, Martins e Abreu (2017) para duas espécies de eucalipto. De modo geral, as épocas E1, E2, E3 e E4 apresentaram maior duração e menores registros de temperatura do ar, o que justifica a escolha destas épocas (maio, junho, julho e agosto) na estimativa da Tb. No caso da goiabeira, também foi considerada a E5 na estimativa da Tb, devido a grande duração desta época (162 dias). Por outro lado, as épocas E5 e E6 apresentaram maiores temperaturas médias do período de estudo (22,9°C e 23°C) e foram escolhidas para estimativa da TB de pau viola e urucuzeiro. Para determinação da TB da goiabeira foram consideradas as épocas E6 e E7.

Cabe ressaltar que durante a condução do experimento, algumas plantas das E3, E4, E5, E6 e E7 de goiabeira apresentaram sintomas infecção fúngica ocasionada por *Puccinia psidii* G. Winter, comumente denominada ferrugem da goiabeira (MARTINS et al., 2012).

Apesar da aplicação de doses do fungicida Rival 200 EC<sup>®</sup>, diluído em água na concentração 10%, utilizando um pulverizador manual e a realização de poda e desfolha frequente nas mudas infectadas (JUNQUEIRA et al., 2001; MARTINS et al., 2012), a doença ainda afetou o desenvolvimento de algumas mudas. Segundo Junqueira et al. (2001) e Martins et al. (2012), o fungo pode infectar tecidos em formação, folhas, gemas, ramos, botões florais, flores e frutos e, quando ataca as plântulas no viveiro, causa necrose nas extremidades do caulículos e nas folhas novas, reduz a fotossíntese, prejudica a emissão de folhas novas saudáveis, causando a paralisação do desenvolvimento. As épocas E3, E4 e E5 compreenderam o período com temperaturas do ar mais amenas, enquanto as épocas E6 e E7 compreenderam o período chuvoso (média de 7,7 mm) e, conseqüentemente, com alta umidade do ar. Tais condições de temperatura e umidade podem explicar o favorecimento da doença fúngica, o qual pode ter afetado a velocidade de emissão de folhas e a duração da fase de muda, principalmente na E6.

### **3.1. Temperatura basal inferior (T<sub>b</sub>)**

Na estimativa da T<sub>b</sub>, os valores de T<sub>b</sub> obtidos pelas metodologias tradicionais e modificadas foram semelhantes entre si para cada espécie (entre 10,0°C e 12,1°C), sendo não realístico no DP<sub>gd</sub> ( $\geq 20^\circ\text{C}$ ), ligeiramente superior no DP<sub>d mod.</sub> (15,7°C), ambos para a goiabeira e não realístico no CV<sub>gd</sub> ( $\leq 0$ ) para o pau viola (Tabela 1.3 e Figura 1.1). As metodologias que apresentaram valores de T<sub>b</sub> $\geq 20^\circ\text{C}$  e T<sub>b</sub> $\leq 6,5^\circ\text{C}$  foram desconsiderados no valor final da T<sub>b</sub>, obtida pela média aritmética das metodologias, conforme recomendações de Lago et al. (2009), Souza e Martins (2014) e Freitas, Martins e Abreu (2017). O limiar de 6,5°C foi considerado em função das condições meteorológicas do local de estudo e das características das espécies estudadas, que ocorrem espontaneamente em locais de clima tropical (AMARAL; ANTIQUEIRA; HORBACH, 2013; CASTRO et al., 2009) e, no caso da goiabeira, são adaptadas a clima subtropical (PEREIRA; KAVATI, 2011).

Tabela 1.3 – Valores de temperatura basal inferior (Tb, °C) estimados pelas dez metodologias analisadas, para a goiabeira, pau viola e urucuzeiro. Itajubá (MG), 2015.

Metodologias	Goiabeira	pau viola	urucuzeiro
<b>DP<sub>gd</sub></b>	20* °C	12 °C	12 °C
<b>DP<sub>d</sub></b>	10 °C	11 °C	12 °C
<b>CV<sub>d</sub></b>	10 °C	11 °C	12 °C
<b>CV<sub>gd</sub></b>	10 °C	0* °C	12 °C
<b>CR</b>	10,5 °C	11 °C	12 °C
<b>DR</b>	10,9 °C	11,5 °C	12 °C
<b>DP<sub>gd Mod</sub></b>	15,7 °C	11,9 °C	12,1 °C
<b>DP<sub>d Mod</sub></b>	4* °C	5,1* °C	6,3* °C
<b>CV<sub>gd Mod</sub></b>	10 °C	10,9 °C	12 °C
<b>CR<sub>Mod</sub></b>	10,4 °C	11,2 °C	12 °C
<b>Média</b>	10,9 °C	11,4 °C	12 °C

DP<sub>gd</sub> = menor desvio padrão em graus-dia; DP<sub>d</sub> = menor desvio padrão em dias; CV<sub>d</sub> = menor coeficiente de variação em dias; CV<sub>gd</sub> = menor coeficiente de variação em graus-dia; CR = coeficiente de regressão, DR = desenvolvimento relativo; DP<sub>gd Mod</sub> = menor desvio padrão em graus-dia; DP<sub>d Mod</sub> = menor desvio padrão em dias; CV<sub>gd Mod</sub> = menor coeficiente de variação em graus-dia; CR<sub>Mod</sub> = coeficiente de regressão. \* Valor não utilizado para calcular a média da Tb.

No caso do DP<sub>gd</sub>, os resultados foram semelhantes ao encontrado por Barbano et al. (2002), considerando os subperíodos emergência-floração e floração-colheita de três cultivares de ervilha, Souza e Martins (2014) para a emissão de folhas da cv. de oliveira grappolo e Lago et al. (2009) para o subperíodo emergência e diferenciação da panícula em genótipos de arroz cultivado. Além disso, Lago et al. (2009), também relataram a inconsistência do DP<sub>gd mod</sub> em estimar a Tb de genótipos de arroz cultivado e biótipos de arroz vermelho. No entanto, apesar do valor elevado do DP<sub>gd</sub> e do DP<sub>gd mod</sub>, estas metodologia foram consideradas eficientes para estimar a Tb para a goiabeira, pau viola e urucuzeiro.

Já o DP<sub>d Mod</sub> não foi coerente em estimar a Tb, pois difere consideravelmente dos valores obtidos pelos outros métodos para cada espécie, além de não ser realístico biologicamente, semelhante ao observado por Lago et al. (2009) em todos os genótipos de arroz estudados, e não utilizado para a obtenção da média da Tb.

Todos os demais métodos foram coerentes em estimar a Tb, com destaque para o CR e o DR. O DR obteve uma boa relação linear entre a taxa de desenvolvimento e a temperatura média do ar com coeficientes significativos e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) elevado, exceto para a goiabeira (Figura 1.1 h,i,j), sendo considerado um excelente método para estimar a Tb para a goiabeira, pau viola e urucuzeiro, semelhante aos genótipos de azevém (MÜLLER et al., 2009), cultivares de oliveira (SOUZA; MARTINS, 2014) e Zínnia cv. ‘Profusion Cherry’ (GONÇALVES et al., 2015).

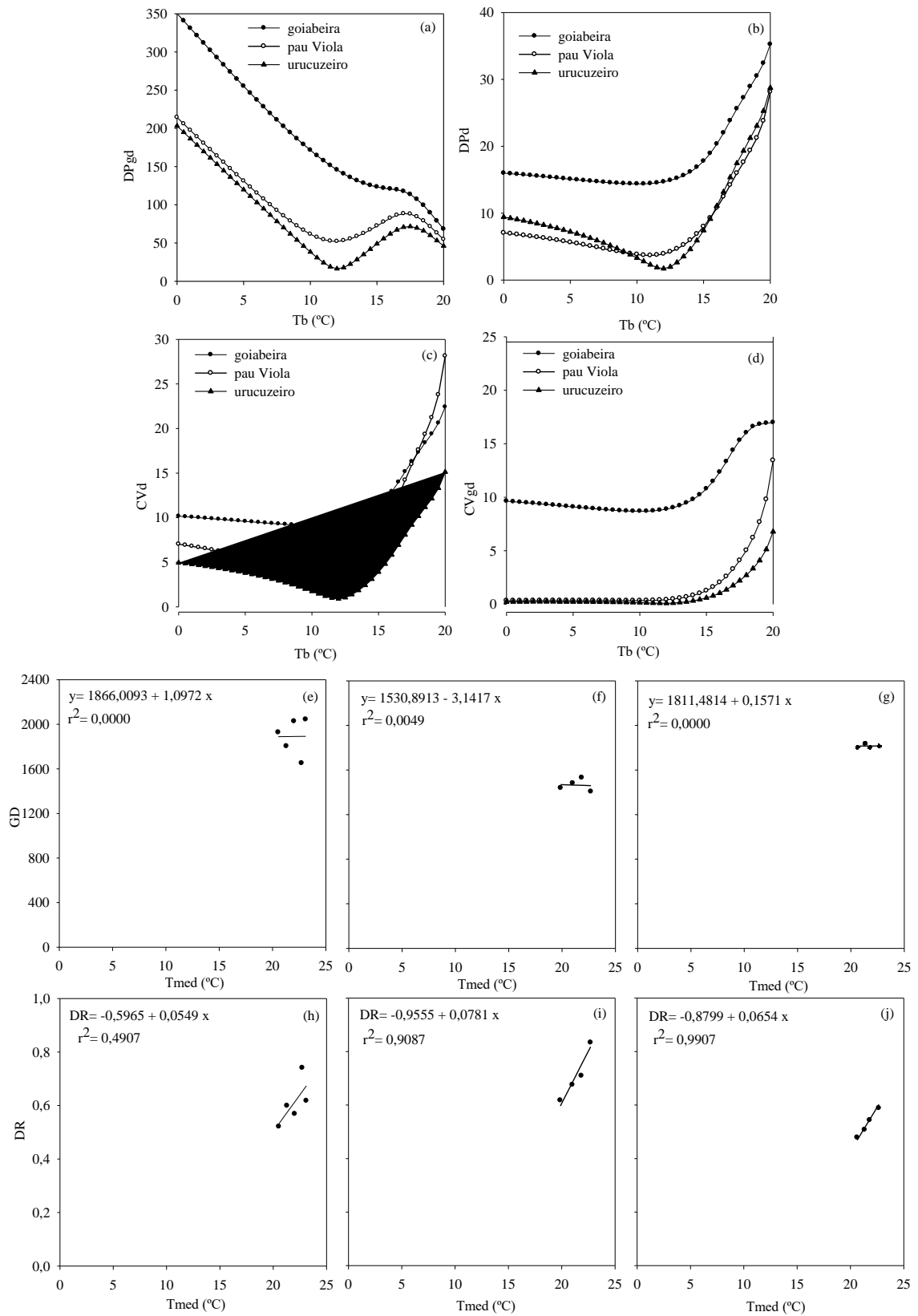


Figura 1.1 - Representação gráfica dos métodos tradicionais de estimativa da  $T_b$  para as espécies goiabeira, pau viola e urucuzeiro. Pannel (a) menor desvio padrão em graus-dia; (b) menor desvio padrão em dias; (c) coeficiente de variação em dias; (d) coeficiente de variação em graus-dia; (e), (f) e (g) coeficiente de regressão para a goiabeira, pau viola e urucuzeiro, respectivamente, (h), (i) e (j) desenvolvimento relativo para a goiabeira, pau viola e urucuzeiro, respectivamente. Itajubá (MG), 2015.

A Tb pode variar entre espécies, cultivares e variedades, e subperíodos de desenvolvimento que a planta se encontra (MÜLLER et al., 2009; LAGO et al., 2009; LUZ et al., 2012; SOUZA; MARTINS, 2014). Os valores de Tb encontrados neste estudo para a fase de muda de goiabeira (10,9°C), pau viola (11,4°C) e urucuzeiro (12°C) diferiram dos resultados de Monteiro et al. (2014) para o desenvolvimento vegetativo de mudas de olho de pavão (*Adenanthera pavonina* - 15°C), canafístula (*Cassia fistula*- 16,4°C), angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* -14,5°) e angelim saia (*Parkia pendula*- 14,6°C). Também diferiram dos valores estimados para espécies perenes de clima temperado como pessegueiro cv. ‘Tropic Beauty’ (2,2°C), ameixeira cv. ‘Gulf Blaze’ (2,2°C), videira c.v ‘Chardonnay’ (2,1°C), pereira cv. ‘Smith’ (4,4°C), quivizeiro cv. ‘Golden King’ (4,3°C) (ANZANELLO; BIASI, 2016), e oliveira cv. ‘Maria da Fé’ (6,9°C) (SOUZA; MARTINS, 2014).

No entanto, os resultados deste estudo se assemelham aos valores de Tb estimados para o desenvolvimento vegetativo de culturas perenes de clima tropical como bananeira (10°C) (ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010), *Eucalyptus grandis* (10,0°C) (MARTINS; STRECK, 2007), *Eucalyptus urophylla* (11,5°C) (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017), cultivares de cafeeiro Acaia Cerrado MG-1474 e Rubi MG-1192 (12,9°C) (LIMA; SILVA, 2008) e para a fase de maturação dos frutos de mangueira variedades ‘Alfa’ (10°C) e ‘Roxa’ (10,6°C) (BARROS et al., 2010; CALLEJAS et al., 2014), aceroleira cv. ‘Dominga’, ‘Lígia’ e ‘Natália’ (10°C) (CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2008) e para clone de cajueiro-anão Faga-11 (10°C) (MATOS et al., 2014) e plantas de clima temperado adaptadas a clima subtropical como a oliveira cv. MGSASC 315 (11,0°C) (MARTINS; REIS; PINHEIRO, 2012).

Os valores de Tb deste estudo também são próximos aos encontrados para o desenvolvimento vegetativo de algumas culturas anuais como cultivares milho, melão, berinjela e feijão (10°C) (ASSIS et al., 2006; BAKER; REDDY, 2001; MALDANER et al., 2009; MIRANDA; CAMPELO JÚNIOR, 2010), os quais utilizaram para a estimativa da Tb, as mesmas metodologias deste estudo e outras como o menor quadrado médio do erro.

### **3.2. Temperatura ótima (Tot)**

Para a estimativa da Tot foi determinado o filocrono, através de regressões lineares entre NF e GD, considerando as Tb’s estimadas anteriormente para as três espécies. Todas as regressões lineares apresentaram coeficientes angulares significativos ( $p < 0,05$ ) e coeficiente de determinação ajustado elevado ( $R^2 \text{ adj} \geq 0,8597$  para goiabeira;  $\geq 0,9861$  para pau viola;  $\geq 0,9416$  para urucuzeiro), demonstrando linearidade entre a emissão foliar (NF) e a temperatura do ar, representada pelo GD (Figura 1.2). Este resultado demonstra que a

temperatura do ar influencia fortemente a emissão de folhas nas três espécies arbóreas e a estimativa da Tot pode ser realizada através da metodologia proposta por Lisboa et al. (2012).

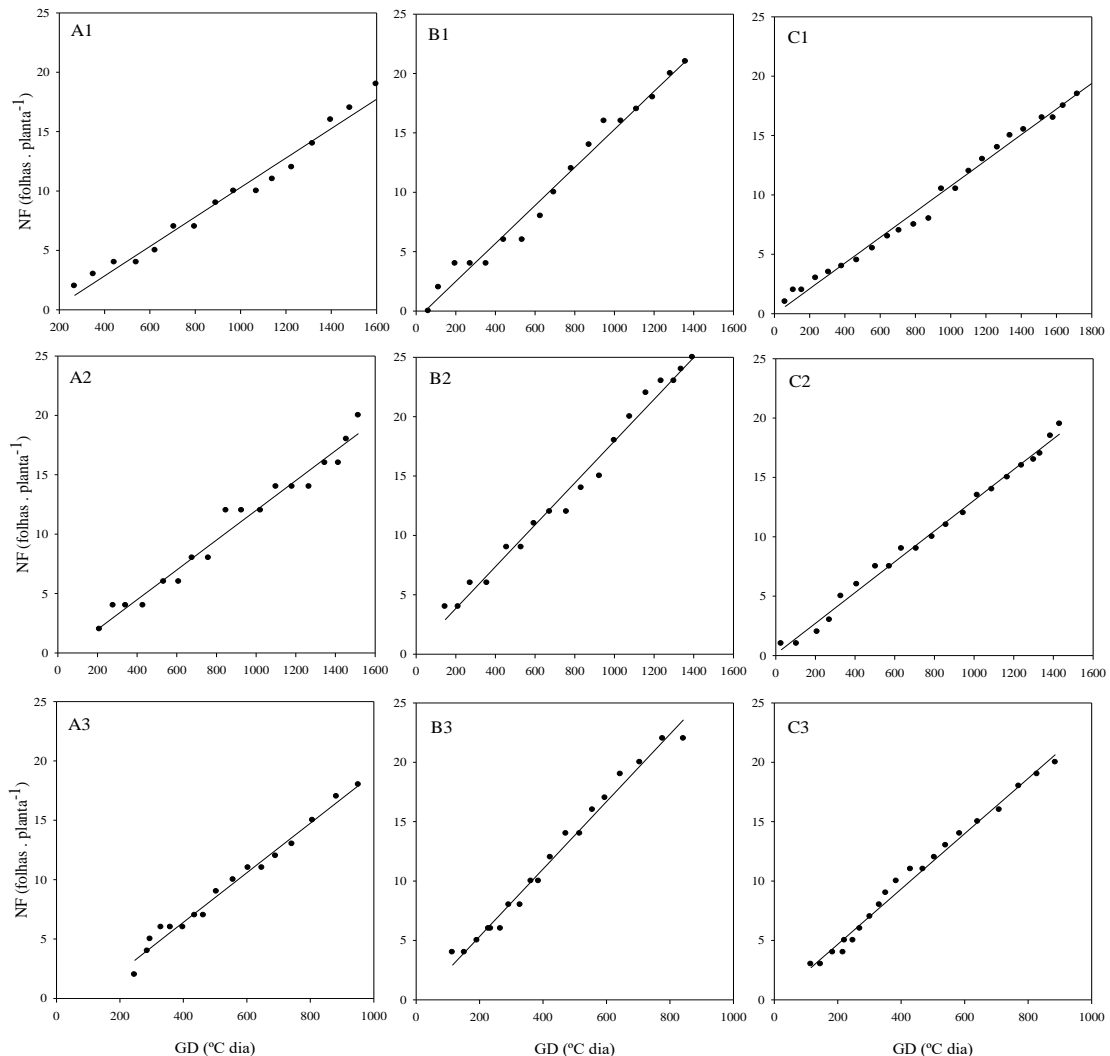


Figura 1.2 – Representação da relação entre o número de folhas emitidas na haste principal (NF) e graus-dia acumulado (GD) a partir da emergência até o término da fase de muda, utilizado na estimativa do filocrono para goiabeira (A), pau viola (B) e uruczeiro (C), em três épocas de semeadura (1 = E4; 2 = E8; 3 = E12). Os dados de cada painel correspondem a uma unidade experimental. Itajubá (MG), 2015/2016.

Os valores do filocrono foram normais, pelo teste Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ) e os resultados da ANOVA indicaram interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as fontes de variação espécie e época de semeadura, sendo aplicado o teste de comparação de médias Skott-Knott a 5% de significância (Tabela 1.4). Os valores médios de filocrono encontrados para as três espécies arbóreas foram de  $76,06 (\pm 7,2) \text{ } ^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ ,  $66,69 (\pm 7,2) \text{ } ^\circ\text{C dia folha}^{-1}$  e  $82,49 (\pm 6,4) \text{ } ^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ , para a goiabeira, pau viola e uruczeiro respectivamente, mostrando que é necessário maior acúmulo energético no uruczeiro em relação à goiabeira e pau viola para emissão de uma folha na haste principal. Os resultados corroboram com as observações feitas

a campo, em que a goiabeira e o pau viola emitiram folhas mais rapidamente que o urucuzeiro, apesar deste ter maior velocidade de emergência e melhor uniformidade inicial das mudas.

Tabela 1.4 – Médias do filocrono ( $^{\circ}\text{C}$  dia folha $^{-1}$ ) para a goiabeira, pau viola e urucuzeiro para as 12 épocas de semeadura. Itajubá (MG), 2015/2016.

Época de semeadura	goiabeira	pau viola	urucuzeiro
1	93,57 Eb	74,18 Ca	99,01 Db
2	82,14 Da	74,83 Ca	100,76 Db
3	106,60 Fb	70,25 Ca	99,60 Db
4	88,59 Eb	66,30 Ca	85,84 Cb
5	115,53 Fb	79,10 Da	102,90 Db
6	93,98 Ea	85,13 Da	98,06 Da
7	76,06 Da	82,12 Da	97,62 Db
8	76,86 Da	87,95 Da	76,93 Ca
9	62,20 Ca	57,78 Ba	76,61 Cb
10	44,49 Ba	48,95 Ba	68,45 Bb
11	49,60 Ba	36,46 Aa	46,26 Aa
12	23,24 Aa	37,29 Ab	41,50 Ab
<b>Média geral</b>	76,07 b	66,69 a	82,49 c

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha, para a variável espécie, e maiúsculas na coluna, para a variável época de semeadura, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $\alpha=0,05$ ).

O filocrono da goiabeira foi menor, e conseqüentemente o desenvolvimento foi maior na E12 (23,24 $^{\circ}\text{C}$  dia.folha $^{-1}$ ), do pau viola nas E11 (36,46 $^{\circ}\text{C}$  dia.folha $^{-1}$ ) e E12 (37,29 $^{\circ}\text{C}$  dia.folha $^{-1}$ ) e do urucuzeiro nas E11 (46,26 $^{\circ}\text{C}$  dia.folha $^{-1}$ ) e E12 (41,5 $^{\circ}\text{C}$  dia.folha $^{-1}$ ). Dessa forma, a Tot resultou na média aritmética das temperaturas médias do ar nas épocas que apresentaram menor valor de filocrono, sendo 17,3 $^{\circ}\text{C}$  para goiabeira, 18,1 $^{\circ}\text{C}$  para pau viola e 18,4 $^{\circ}\text{C}$  para urucuzeiro.

Os resultados também indicam que, para goiabeira, as épocas com maior valor de filocrono e, conseqüentemente, menor desenvolvimento foram E5, seguida de E1, E4, E2 e E6, as quais são caracterizadas por apresentarem temperaturas amenas e, ao mesmo tempo, foram as épocas afetadas pela ferrugem. A Tot obtida para goiabeira é semelhante à estimada para *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* (17,1 $^{\circ}\text{C}$ ) (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017), todas pertencentes a família Myrtaceae.

Por outro lado, os valores de Tot da goiabeira, pau viola e urucuzeiro foram inferiores aos encontrados por Monteiro et al. (2014) para desenvolvimento vegetativo de mudas de olho de pavão (*Adenantha pavonina*- 24,4 $^{\circ}\text{C}$ ), canafístula (*Cassia fistula* -24,9 $^{\circ}\text{C}$ ), Angelim pedra (*Hymenolobium petraeum* - 24,9,5 $^{\circ}\text{C}$ ) e Angelim saia (*Parkia pendula* -25,1 $^{\circ}\text{C}$ ) e por Pereira, Campelo Junior e Ferronato (2010) para algodoeiro (30 $^{\circ}\text{C}$ ). Pelo fato da goiabeira e



urucuzeiro serem exploradas comercialmente e cultivadas em diversos países, existem registros sobre a faixa de temperatura ideal para seu cultivo, mas não há especificações sobre as diferentes fases de desenvolvimento. Segundo Barbosa e Lima (2010) e Castro et al. (2009), a faixa ideal para a exploração comercial da goiabeira e urucuzeiro situa-se entre 25 °C e 28 °C e entre 20 °C e 26 °C respectivamente.

Já para pau viola, a qual é considerada uma importante espécie do bioma Mata Atlântica, não são encontrados registros sobre as condições favoráveis para o seu cultivo. Das três espécies arbóreas estudadas, a goiabeira é a que apresentou maior amplitude de temperaturas cardinais ( $T_b = 10,9$ ;  $T_{ot} = 17,3$ ;  $T_B = 51,2^\circ\text{C}$ ) podendo desenvolver-se em condições de maior amplitude térmica que o pau viola ( $T_b = 11,4$ ;  $T_{ot} = 18,1$ ;  $T_B = 36,6^\circ\text{C}$ ) e o urucuzeiro ( $T_b = 12,0$   $T_{ot} = 18,4$ ;  $T_B = 46,4^\circ\text{C}$ ). Por esse motivo, a goiabeira ocorre espontaneamente em ampla área de distribuição, abrangendo locais de clima subtropical e tropical (PEREIRA; KAVATI, 2011), diferentemente do pau viola e do urucuzeiro, que ocorrem espontaneamente em menor área de distribuição, abrangendo locais de clima tropical (AMARAL; ANTIQUEIRA; HORBACH, 2013; CASTRO et al., 2009).

Cabe ressaltar que os valores de  $T_{ot}$  obtidos para as três espécies podem ser considerados baixos ( $17,3^\circ\text{C}$ ,  $18,1^\circ\text{C}$   $18,4^\circ\text{C}$ ). A ocorrência atípica de temperaturas do ar no período de maior desenvolvimento das plantas, correspondente às E11 e E12 (março à setembro de 2016), com valores de  $T_{med}$  ( $17,2$  a  $18,1^\circ\text{C}$ ) inferiores às normais climatológicas da região de estudo, consideradas entre  $20,1$  e  $21^\circ\text{C}$  (REBOITA et al., 2015) e a doença fúngica observada na espécie goiabeira, podem ter influenciado na estimativa dos valores das temperaturas cardinais, especialmente a  $T_{ot}$ . Salienta-se ainda a impossibilidade de comparação e verificação da realística dos valores estimados, em função da inexistência deste tipo de estudo nestas três espécies.

### **3.3. Temperatura basal superior (TB)**

Uma vez conhecidos os valores de  $T_b$  para as três espécies, foram obtidos os valores de TB sendo iguais a  $51,2^\circ\text{C}$  para goiabeira,  $36,6^\circ\text{C}$  para pau viola e  $46,4^\circ\text{C}$  para urucuzeiro, valores considerados elevados e maiores que a temperatura máxima do ar absoluta observada durante o período de condução do experimento ( $35,7^\circ\text{C}$ ). No entanto, valores elevados de TB são esperados, em função de ser o limite máximo de temperatura no qual a planta tem seus processos metabólicos prejudicados (CALLEJAS et al., 2014; FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017). Os valores de TB estimados demonstram que a goiabeira é mais tolerante a temperaturas mais altas durante a fase de muda, assim como temperaturas mais baixas, devido

ao seu menor valor de Tb (10,9°C) quando comparado com o pau viola (11,4°C) e urucuzeiro (12°C). Entretanto, questiona-se se a goiabeira suporta realmente temperaturas tão elevadas (51,2°C). Barbosa e Lima (2010) e Sentelhas et al. (1996) apontam que a goiabeira pode tolerar até 46°C durante o desenvolvimento vegetativo, sendo resistente à seca e altas temperaturas, porém sensível ao frio e intolerante a geadas, características comuns em plantas adaptadas a clima subtropical como a goiabeira (PEREIRA; KAVATI, 2011).

O efeito da temperatura do ar acima da TB pode induzir anomalias significativas no desenvolvimento e crescimento das plantas, dentre elas estão o abortamento floral, redução na emissão de folhas, excesso de ramificações laterais, perda da dominância apical e redução na taxa de sobrevivência (PATON, 1980; SOLTANI; SINCLAIR, 2012), inclusive de goiabeira, pau viola e urucuzeiro.

Os valores de TB encontrados neste estudo são considerados realísticos sob o ponto de vista biológico. No caso do pau viola, a TB se assemelha aos valores encontrados para o período compreendido entre a poda e o início da colheita da figueira (*Ficus carica* -36°C) (SOUZA et al., 2009), para o desenvolvimento vegetativo de mudas de canafístula (*Cassia fistula* - 37,1°C) (MONTEIRO et al., 2014) e da oliveira (37,8°C) (DENNEY et al., 1985; MARTINS et al., 2014) e para o subperíodo de semeadura-maturação do feijão cv. 'Carioca' (35°C) (MIRANDA; CAMPELO JR, 2010).

As TB's obtidas para goiabeira (51,2°C) e urucuzeiro (46,4 °C) corroboram com as características das plantas e da sua região de origem, as quais são típicas de locais tropicais e possuem boa adaptabilidade a condições de temperatura do ar elevada (FERREIRA; NOVENBRE, 2015). Barbosa e Lima (2010) e Castro et al. (2009) citam que no território brasileiro, o semiárido nordestino é um importante polo de cultivo da goiabeira e as regiões Norte e Nordeste são as mais propícias ao crescimento e boa produtividade do urucuzeiro, regiões estas caracterizadas por clima quente e seco. Além disso, as TB's foram semelhantes as encontradas para espécies perenes como: *Eucalyptus globulus*, *Pinus ponderosa* e o híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* (40,0°C) (LANDSBERG; WARING; COOPS, 2003; SANDS; LANDSBERG, 2002; STAPE; RYAN; BINKLEY, 2004), *Parkia pendula* (40,6°C) (MONTEIRO et al., 2014), *Corymbia citriodora* (41,3°C) *Eucalyptus urophylla* (40,5°C) (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017) e da maturação de frutos de mangueira variedade 'roxa' (54,8°C) (CALLEJAS et al., 2014).

Informações sobre as três temperaturas cardinais são escassas para espécies arbóreas, principalmente nativas, quando essas não tem interesse comercial, e são úteis para conhecer as

necessidades das espécies em condições meteorológicas distintas e suas adaptações às condições climáticas de cultivo (CALLEJAS et al., 2014; MARTINS et al., 2012; SOUZA e MARTINS, 2014), assim como para o planejamento, manejo e tratos culturais em condições de campo. A estimativa das temperaturas cardinais permite estabelecer a amplitude térmica em que as plantas devem ser cultivadas, principalmente próxima a Tot, o que garante a melhoria da qualidade das mudas, conseqüentemente, o estabelecimento das mudas no campo e o sucesso dos programas de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas (MARTINS; SILVA; STRECK, 2007).

#### 4. CONCLUSÕES

As temperaturas cardinais estimadas para o desenvolvimento vegetativo, representado pela fase de muda, para goiabeira (*Psidium guajava* L) são de 10,9°C, 17,3°C e 51,2°C, para pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham) são de 11,4°C, 18,1°C, e 36,6°C e para urucuzeiro (*Bixa orellana* L) são de 12°C, 18,4°C e 46,4°C, mostrando que a goiabeira possui maior amplitude de temperaturas cardinais e é mais tolerante a temperaturas extremas.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. C.; MARTINS, F. B.; FREITAS, C. H.; PEREIRA, R. A. A.; MELLONI, E. G. Valores limítrofes para transpiração, desenvolvimento e crescimento de *Corymbia citriodora* em resposta à deficiência hídrica no solo, **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n. 5, p. 841-852, 2015.
- AMARAL, W. A. N.; ANTIQUEIRA, L. M. O. R.; HORBACH, M. A. Frutificação e ecologia da germinação de *Citharexylum myrianthum* Cham (Verbenaceae). **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 4, n. 3, p. 207-215, 2013.
- ANZANELLO, R.; BIASI, L. A. Base temperature as a function of genotype: a foundation for modeling phenology of temperate fruit species. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 4, p. 1811-1826, 2016.
- ARNOLD, C. Y. The Determination and Significance of the Base Temperature in a Linear Heat Unit System. **American Society for Horticulture Science**, Geneva, v. 74, p. 430-445, 1959.
- ASSIS, J. P.; DOURADO NETO, D.; NASS, L. L.; MANFRON, P. A.; BONNECARRERE, R. A. G.; MARTIN, T. N. Simulação estocástica de atributos do clima e da produtividade potencial de milho utilizando-se distribuição triangular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 539-543, 2006.
- BAKER, J. T.; REDDY, V. R. Temperature effects on phenological development and yield of muskmelon. **Annals of Botany**, Oxford, v.87, p.605-613, 2001.
- BARBANO, M. T.; WUTKE, E. B.; BRUNINI, O.; AMBROSANO, E. J.; CASTRO, J.; GALLO, P. B.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; MARTINS, A. L. M. Temperatura-base e soma

térmica para cultivares de ervilha (*Pisum sativum* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. , p. 75-82, 2002.

BARBOSA, F. R.; LIMA, M. F. **A Cultura da goiaba. 2º edição revista e ampliada**, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2010. 180 p. (Coleção Plantar, 66).

BARROS, M. P.; ZANETTI, V. B; FRAGA, C. I. M.; NINCE, P. C. C.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; LOBO, F. A. Unidades fototérmicas e temperatura-base inferior de frutos de mangueira alfa, na Baixada Cuiabana. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n.2, p. 479-485, 2010.

CALLEJAS, I. J. A.; NEVES, G. A. R.; TAVARES, A. S.; MOURA, I. B.; LIMA, E. A. Determinação das temperaturas cardinais da manga cultivar Roxa através de simulação computacional utilizando um modelo não linear. **Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 10, n. 1, p. 97-110, 2014.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; NEVES; C. S. V. J.; BRUEL, D. C.; SOUZA, S. G. H.; GARBÚGLIO; D. D. Frutificação e desenvolvimento de frutos de aceroleira no Norte do Paraná. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1871-1876, 2008.

CASTRO, C. B.; MARTINS, C. S.; FALESI, I. C.; NAZARÉ, R. F. R. KATO, O. R. BENCHIMOL, R. L.; MAUÉS, M. M. **A cultura do urucum**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 61 p. (Coleção Plantar, 64)

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.

DENNEY, J. O.; McEACHERN, G. R.; GRIFFITHS, J. F. Modeling the thermal adaptability of the olive (*Olea europaea* L.) in Texas. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.35, n.1-4, p.309-327, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Armazenamento de sementes de espécies florestais nativas**. 1 ed., Brasília. Embrapa Florestas, 2001. 24 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed., Brasília: Embrapa Produção e Informação, 2013. 353p.

ERPEN, L.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; LANGNER, J. A.; WINCK, J. E. M.; GABRIEL, L. F. Estimativa das temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento vegetativo em batata-doce. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 11, p. 1230-1238, 2013.

FAGUNDES, J. D.; STRECK, N. A.; STORCK, L.; REINIGER, L. R. Temperatura base e soma térmica de subperíodos de desenvolvimento de *Aspilia montevidensis*. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 9, p. 499-507, 2010.

FARIAS, V. D. S.; COSTA, D. L. P.; SOUZA, P. J. O. P.; TAKAKI, A. Y.; DE LIMA, M. J. A. Temperaturas basais e necessidade térmica para o ciclo de desenvolvimento do feijão-caupi. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11, n.21; p.1781-1792, 2015.

- FERREIRA, R. L.; NOVEMBRE, A. D. L. C. Teste de germinação de sementes de urucum (*Bixa Orellana* L.). **Multi-Science Journal**, Urutaí, v. 1, n. 3, p. 46-52, 2015.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FREITAS, C. H.; MARTINS, F. B.; ABREU, M. C. Temperaturas cardinais no desenvolvimento foliar de duas espécies de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.XX, n. XX, p. xxx – xxx, 2017. (no prelo)
- GÓMEZ, E. J. B.; CASTAÑEDA, C. L. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. **Agrociencia**, Texcoco, v. 43, n. 1, p. 29-35, 2009.
- GONÇALVES, C.; CASTRO, C. E. F.; PEDRO JUNIOR, M. J.; TUCCI, M. L. S. Temperature-base and soma thermal for *Zinnia* ‘Profusion Cherry’ potted grown in protected environment. **Ornamental Horticulture**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 376-381, 2015.
- JUNQUEIRA, N. T. V.; ANDRADE, L. R. M; PEREIRA, M.; LIMA, M. M.; CHAVES, R. C. **Doenças da goiabeira no cerrado**. Planaltina: Embrapa SPI, 2001. 25 p. (Circular Técnica, 15)
- KISSMANN, C; SCALON, S. P. Q.; TEODÓSIO, T. K. C. Condicionamento das sementes e sombreamento na emergência e no crescimento de plântulas de *Bixa orellana* L. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v.36, n.1, p. 48-56, 2013.
- LAGO, I.; STRECK, N. A.; CARVALHO, M. P.; FAGUNDES, L. K.; DE PAULA, G. M.; LOPES, S. J. Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência-diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho. **Revista Ceres**, Viçosa, v.56, n.3, p.288-295, 2009.
- LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H.; COOPS, N. C. Performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forests types. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 172, n.2-3, p. 199-214, 2003.
- LIMA, E. P.; SILVA, E. L. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 266–273, 2008.
- LISBOA, P. M. M.; MARTINS, F. B.; ALVARENGA, M. I. N.; NETO, J. V.; REIS, D. F. Desenvolvimento vegetativo de duas cultivares de oliveira na fase de muda. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1556-1562, 2012.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 6. ed. v. 1. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014. 384 p.
- LUCAS, D. D. P.; STRECK, N. A.; BORTOLUZZI, M. P.; TRENTIN, R.; MALDANER, I. Temperatura base para emissão de nós e plastocrono de plantas de melancia. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 288-292, 2012.
- LUZ, G. L. da; MEDEIROS, S. L. P.; TOMM, G. O.; BIALOZOR, A.; AMARAL, A. D. do; PIVOTO, D. Temperatura base inferior e ciclo de híbridos de canola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1549-1555, 2012.
- MALDANER, I. C.; GUSE, F. I.; STRECK, N. A.; HELDWEIN, A. B.; LUCAS, D. D. P.; LOOSE, L. H. Filocrono, área foliar e produtividade de frutos de berinjela conduzidas com uma e duas hastes por planta em estufa plástica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n. 3, p.671-677, 2009.

- MARTINS, F. B.; REIS, D. F.; PINHEIRO, M. V. M. Temperatura base e filocrono em duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1975-1981, 2012.
- MARTINS, F. B.; SILVA, J. C.; STRECK, N. A. Estimativa da temperatura-base para emissão de folhas e do filocrono em duas espécies de eucalipto na fase de muda. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31 n. 3, p. 373-381, 2007.
- MARTINS, F. B.; STRECK, N. A. Aparecimento de folhas em mudas de eucalipto estimado por dois modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1091-1100, 2007.
- MARTINS, M. V. V.; SERRANO, L. A. L.; LIMA, I. M.; OLIVEIRA, E. B. Incidência e controle químico da ferrugem da goiabeira em diferentes épocas de poda na região norte do Espírito Santo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.2, p. 178-184, 2012.
- MATOS, V. A. T.; PIVETTA, F.; PAIVA SOBRINHO, S.; TISSIANI, A. S. O.; PEREIRA, A. P. M. S.; RAMOS, F. T.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Temperaturas basais e exigência térmica para a maturação de caju. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 4, p. 969-977, 2014.
- MIRANDA, M. N.; CAMPELO JUNIOR, J. H. Soma térmica para o subperíodo semeadura-maturação de feijão cv. carioca em Colorado do Oeste, Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 180-185, 2010.
- MONTEIRO, E. B.; DA SILVA, C. C.; DA SILVA, A. C.; SOUZA, A. P. de. Estimating emission of leaves seedings Forest in different shading levels, at conditions of transition Amazon-Cerrado, Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, [s.l.], v. 5, n.15, p. 2330-2341, 2014.
- MÜLLER, L.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; STRECK, N. A.; MITTELMAN, A.; NETO, D. D.; BANDEIRA, A. H.; MORAIS, K. P. Temperatura base inferior e estacionalidade de produção de genótipos diploides e tetraploides de azevém. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p.1343-1348, 2009.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: ed. Agronômica Ceres, 440 p., 1981.
- PATON, D. M. *Eucalyptus* Physiology. II Temperature responses. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.28, p.555-566, 1980.
- PAULA, G. M. de; STRECK, N. A. Temperatura base para emissão de folhas e nós, filocrono e plastocrono das plantas daninhas papuã e corriola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2457-2463, 2008.
- PEDRO JR., M. J.; CAMARGO, M. B. P. de; MORAES, A. V. C. de.; FELÍCIO, J. C.; CASTRO, J. L. de. Temperatura-base, graus-dia e duração do ciclo para culturas de triticale. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 447-453, 2004.
- PEREIRA, F. M. KAVATI, R. contribuição da pesquisa científica brasileira no desenvolvimento de algumas frutíferas de clima subtropical. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33. n. 1, p. 92-108, 2011.
- PEREIRA, L. C. CAMPELO JUNIOR, J. H.; FERRONATO, A. Comparação de métodos para estimativa do plastocrono em algodoeiro em condições tropicais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 213-220, 2010.
- PILAU, F. G; BATTISTI, R.; SOMAVILLA, L.; SCHWERZ L. Temperatura basal, duração do ciclo e constante térmica para a cultura do crambe. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p.958-964, 2011.

- REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos climáticos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 17, p. 206-226, 2015.
- RIBEIRO, A. E. L.; CASTELLANI M. A.; MOREIRA A. A.; MALUF R. P.; SILVA C. G. V.; SANTOS A. S. Diversidade e sazonalidade de crisopídeos (Neuroptera: Chrysopidae) em plantas de urucum. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 31, n. 4, p. 636-641, 2013.
- ROBINSON, J. C.; GALÁN SAÚCO, V. **Bananas and plantains**. 2 ed. Oxford: CAB International. 2010. 311p. (Crop production science in horticulturae series, 19)
- ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1374-1382, 2009.
- ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ANDRIOLO, J. L.; SILVA, M. R.; LANGR, J. A. Base temperature for leaf appearance and phyllochron of selected strawberry cultivars in a subtropical environment. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 939-945, 2011.
- SANDS. P. J.; LANDSBERG, J. J. Parameterization of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globules*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.163, p.273-292, 2002.
- SCHONS, A.; STRECK, N. A.; KRAULICH, B.; PINHEIRO, D. G.; ZANON, A. J. Emissão de folhas e início de acumulação de amido em raízes de uma variedade de mandioca em função da época de plantio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37 n.6, p. 1586-1592, 2007.
- SENTELHAS, P. C.; PIZA JUNIOR, C. T.; SIGRISTI, J. M. M.; PARODI, M. T. Temperatura letal de diferentes plantas frutíferas tropicais. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 2, p. 231-235, 1996.
- SINCLAIR, T. R.; GILBERT, R. A.; PERDOMO, R. E.; SHINE, J. M.; POWELL, G.; MONTES, G. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 88, n. 1, p. 171-178, 2004.
- SOLTANI, A.; SINCLAIR, T. R. **Modeling Physiology of crop development, growth and yield**. Oxfordshire: CAB Internacional, 2012. 322 p.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v.30, n.3, p.507-512, 1974.
- SOUZA, A. P.; SILVA, A. C. DA; LEONEL, S.; ESCOBEDO, J. F. Temperaturas basais e soma térmica para a figueira podada em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p.314-322, 2009.
- SOUZA, A. P.; LEONEL, S.; SILVA, A. C. Basal temperature and thermal time in phonological phases of nectarine and peach cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1588-1596, 2011.
- SOUZA, P. M. B.; MARTINS, F. B. Estimativa da temperatura basal inferior para as cultivares de oliveira Grappolo e Maria da Fé. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 307-313, 2014.
- STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* x *urophylla* with natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.193, p.219-234, 2004.



STRECK, N. A.; LAGO, I.; SAMBORANHA, F. K. GABRIEL, L. F.; SCHWANTES, A. P.; SCHONS, A. Temperatura base para aparecimento de folhas e filocrono da variedade de milho BRS Missões. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, 2009.

VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R. Sobrevivência em viveiro de mudas de espécies nativas retiradas da regeneração natural de remanescente florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1067-1075, 2007.

YANG S.; LOGAN, J.; COFFEY D. L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 75, p. 61-74, 1995.



## CAPÍTULO II

# ACÚMULO DE GRAUS-DIA E INFLUÊNCIA DO FOTOPERÍODO NO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS

## 1. INTRODUÇÃO

As espécies vegetais caracterizam-se por sua sensibilidade aos fatores ambientais, os quais podem inibir ou favorecer o seu desenvolvimento, alterando o comportamento fenológico e o potencial produtivo (CALLEJAS et al., 2014; TOMAZETTI et al., 2015). A temperatura do ar e o fotoperíodo são os principais fatores ambientais que influenciam nesses processos (LANGNER et al., 2016; MANTAI et al., 2017; MARTINS; REIS; PINHEIRO, 2012), com destaque para o desenvolvimento foliar através da emissão de folhas (MARTINS; SILVA; STRECK, 2007; PAULA; STRECK, 2008; SOLTANI; SINCLAIR, 2012). A importância da temperatura do ar ocorre devido sua influência nos processos fisiológicos e metabólicos, pois atua como moderadora da taxa fotossintética e respiratória, velocidade de transporte e translocação de solutos, influencia no transporte de água na forma de vapor para a atmosfera e assimilação de CO<sub>2</sub> (TAIZ; ZEIGER, 2009; CALLEJAS et al., 2014). Já o fotoperíodo exerce influência na taxa de emissão de folhas, a qual influencia diretamente a interceptação da radiação solar e consequentemente a fotossíntese, a produção de fitomassa e a produtividade (SOLTANI; SINCLAIR, 2012).

O efeito da temperatura do ar nas espécies vegetais pode ser expresso pela medida de tempo fisiológico denominada graus-dia (°C dia) (GILMORE JR; ROGERS, 1958; COCCO et al., 2016), desenvolvido para superar a inadequação do calendário diário na previsão de eventos fenológicos, identificação de melhores épocas de semeadura e no escalonamento da produção (MIRANDA; CAMPELO JR, 2010; PALARETTI et al., 2012). O conceito de graus-dia representa o acúmulo térmico diário, baseado na relação entre temperatura do ar e as temperaturas cardinais (basal inferior, ótima e superior), necessários para completar uma determinada fase do ciclo de vida da planta (FARIAS et al., 2015; MOURA et al., 2012; SOLTANI; SINCLAIR, 2012).

Matematicamente, existem vários métodos de cálculo dos graus-dia e, dependendo do método, podem apresentar valores distintos considerando uma mesma fase de

desenvolvimento (ROSA et al., 2009; SOUZA et al., 2016). No método mais simples, acumula-se diariamente a temperatura do ar acima da temperatura basal inferior (Tb), abaixo da qual não ocorre desenvolvimento ou o desenvolvimento é tão lento que é desprezado (SOUZA; MARTINS, 2014; ROSA et al., 2009). Nos outros métodos considera-se a temperatura ótima (Tot) e temperatura basal superior (TB), através do acúmulo térmico diário máximo na Tot, ou através do acúmulo térmico diário máximo na Tot com um decréscimo linear, atingindo o mínimo (valor zero) na TB (ROSA et al., 2009; STRECK et al., 2007b). Os diferentes métodos podem resultar em valores distintos de graus-dia, principalmente em épocas do ano em que há ocorrência de temperaturas abaixo ou acima das temperaturas cardinais de desenvolvimento da cultura (McMASTER; WILHELM, 1997; SOLTANI; SINCLAIR, 2012).

Uma das maneiras amplamente utilizadas para relacionar os graus-dia com o desenvolvimento foliar é por meio do filocrono ( $^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$ ), definido como o intervalo de tempo necessário para a emissão de folhas consecutivas (TAZZO et al., 2015). O filocrono varia principalmente em função da espécie, do método de cálculo dos graus-dia, épocas de semeadura e fotoperíodo (FERNEDA et al., 2016; ROSA et al., 2009). Para não gerar insegurança na análise da variação do filocrono entre as espécies e entre épocas de semeadura, além dos diferentes métodos de graus-dia, deve-se considerar também o fotoperíodo (ROSA et al., 2009; STRECK et al., 2007b).

O efeito do fotoperíodo nas plantas pode ser expresso por meio do número de horas de luz disponível às plantas. Uma das maneiras de identificar a influência do fotoperíodo é através da relação linear entre o número de folhas acumuladas (NF) e o fotoperíodo acumulado (STRECK et al., 2006; ROSA et al., 2009) e para isso, deve-se instalar experimentos a campo com várias épocas de semeadura ao longo do ano (KAWAKATA; YAJIMA, 1995; YIN; KROPFF, 1996).. Através dessa relação, é possível identificar o comportamento das espécies vegetais, caracterizadas como plantas de dia curto, dia longo e plantas fotoneutras, as quais devem receber um período de luz menor, maior ou uma ampla faixa de variação considerando como referência o fotoperíodo crítico, respectivamente (RAVEN et al., 2011).

Garner e Allard (1920) realizaram os primeiros estudos demonstrando o efeito do fotoperíodo no ciclo de desenvolvimento vegetal. Além deles, outros autores detectaram que o fotoperíodo desempenha papel importante no controle de processos associados ao acúmulo de matéria seca, desenvolvimento do caule, altura e área foliar (ALVARENGA et al., 2003), na

reprodução, como indução floral e desenvolvimento das flores (ARKENDU et al., 2016; RONCANCIO et al., 1996; SERÇE; HANCOCK, 2005), na brotação de espécies arbóreas (BASLER; KÖRNER, 2014; CAFFARRA et al., 2011; OLIVEIRA; INNECCO, 2012), na germinação de sementes (ARAÚJO NETO; AGUIAR; FERREIRA, 2003; GUOLLO; POSSENTI; FELIPPI, 2015) e germinação de esporos de pteridófitas (MARCON et al., 2015).

Existe uma gama de trabalhos avaliando a temperatura do ar e o fotoperíodo no desenvolvimento foliar, como para o arroz (STRECK et al., 2006), morangueiro (TAZZO et al., 2015), girassol (SOUZA et al., 2016), soja (FERNEDA et al., 2016), crambe (PILAU et al., 2011), trigo (ROSA et al., 2009) feijão-caupi (FARIAS et al., 2015), entre outras culturas agrícolas. Contudo, são escassas as informações relacionadas à influência da temperatura do ar e do fotoperíodo no desenvolvimento foliar de espécies arbóreas, como na fase de muda, considerada a fase mais crítica da cultura (ABREU et al., 2015). Informações dos efeitos termofotoperiódicos são importantes no entendimento da fenologia das plantas e podem auxiliar no planejamento e manejo otimizado para melhorar a qualidade da muda, e assim aumentar a probabilidade de sucesso na implantação da floresta (MARTINS; SILVA; STRECK, 2007).

Nesse sentido, o objetivo deste segundo capítulo da dissertação foi avaliar os métodos de cálculo de graus-dia, e identificar a resposta do filocrono e do fotoperíodo na emissão de folhas do desenvolvimento vegetativo, representado na fase de muda, de goiabeira (*Psidium guajava* L.), pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham.) e urucuzeiro (*Bixa orellana* L.), de forma a auxiliar na compreensão das condições termofotoperiódicas ideais para o cultivo destas espécies.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Protocolo experimental**

O experimento foi conduzido a campo na área experimental da Universidade Federal de Itajubá (22°24'46.43" S 45°26'48.94" O, 1.050m de altitude), Itajubá (MG), conforme protocolo experimental descrito no Capítulo I desta dissertação.

## 2.2. Métodos de cálculo de graus-dia e estimativa do Filocrono

Para este estudo foram considerados três métodos de cálculo de graus-dia (1.1, 2.1 e 3.1) e suas respectivas variações (1.2, 2.2 e 3.2) (ROSA et al., 2009; STRECK et al., 2007a; TOMAZETTI et al., 2015):

**Método 1.1:** considera a diferença entre a média aritmética da temperatura média diária do ar e a  $T_b$ :

$$GD_d = T_{med} - T_b \cdot 1 \text{ dia} \quad (1)$$

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

Quando:  $T_{med} < T_b$ , considera-se:  $T_{med} = T_b$ ,  $GD_d = 0$

**Método 1.2:** variação do método 1.1, em que há a penalização da temperatura mínima do ar:

$$GD_d = T_{med} - T_b \cdot 1 \text{ dia} \quad (2)$$

Quando:  $T_{min} \leq T_b$ , considera-se:  $T_{min} = T_b$

**Método 2.1:** Semelhante ao método 1.1, porém considera-se uma penalização na temperatura média do ar com relação a temperatura ótima de cada espécie.

$$GD_d = T_{med} - T_b \cdot 1 \text{ dia} \quad (3)$$

Quando:  $T_{med} < T_b$ , considera-se:  $T_{med} = T_b$ , e se  $T_{med} > Tot$  considera-se:  $T_{med} = Tot$ .

**Método 2.2:** variação do método 2.1, em que há a penalização das temperaturas mínima e máxima do ar:

$$GD_d = T_{med} - T_b \cdot 1 \text{ dia} \quad (4)$$

Quando:  $T_{min} < T_b$ , considera-se  $T_{min} = T_b$ , e se  $T_{max} > Tot$ , então  $T_{max} = Tot$ .

**Método 3.1:** considera as três temperaturas cardinais da espécie.

$$\text{Quando: } T_b \leq T_{med} \leq Tot: GD_d = T_{med} - T_b \cdot 1 \text{ dia} \quad (5)$$

$$\text{Quando: } Tot < T_{med} \leq TB: GD_d = (Tot - T_b) \cdot \frac{(TB - T_{med})}{(TB - Tot)} \cdot 1 \text{ dia}$$

Se  $T_{med} < T_b$  então:  $T_{med} = T_b$ ; se  $T_{med} > TB$  então:  $T_{med} = TB$

**Método 3.2:** variação do método 3.1, em que há a penalização das temperaturas mínima e máxima do ar:

$$\text{Quando } T_b < T_{med} \leq Tot: GD_d = T_{med} - T_b \cdot 1 \text{ dia} , \quad (6)$$

$$\text{Quando } Tot < T_{med} \leq TB: GD_d = (Tot - T_b) \cdot \frac{(TB - T_{med})}{(TB - Tot)} \cdot 1 \text{ dia}$$

Se  $T_{min} < T_b$ , então  $T_{min} = T_b$ ; se  $T_{max} > TB$ , então  $T_{max} = TB$

em que:  $GD_d$  = graus-dia ( $^{\circ}C$  dia),  $T_{med}$  = temperatura média do ar, obtida pela média aritmética das temperaturas máximas ( $T_{max}$ ) e mínimas ( $T_{min}$ ) do ar da estação meteorológica automática ( $^{\circ}C$ ),  $T_b$  = temperatura basal inferior ( $^{\circ}C$ ),  $T_{ot}$  = temperatura ótima ( $^{\circ}C$ ) e  $T_B$  = temperatura basal superior ( $^{\circ}C$ ) de desenvolvimento foliar de cada espécie. Para os cálculos, foram considerados os valores de  $T_b$ ,  $T_{ot}$  e  $T_B$  estimados no Capítulo I para goiabeira ( $10,9^{\circ}C$ ;  $17,3^{\circ}C$ ;  $51,2^{\circ}C$ ), pau viola ( $11,4^{\circ}C$ ;  $18,1^{\circ}C$ ;  $36,6^{\circ}C$ ) e urucuzeiro ( $12^{\circ}C$ ;  $18,4^{\circ}C$ ;  $46,4^{\circ}C$ ), respectivamente.

A Figura 2.1 mostra a comportamento dos três métodos de cálculo de  $GD_d$  (Métodos 1.1, 2.1 e 3.1), sem considerar as suas variações para pau viola.

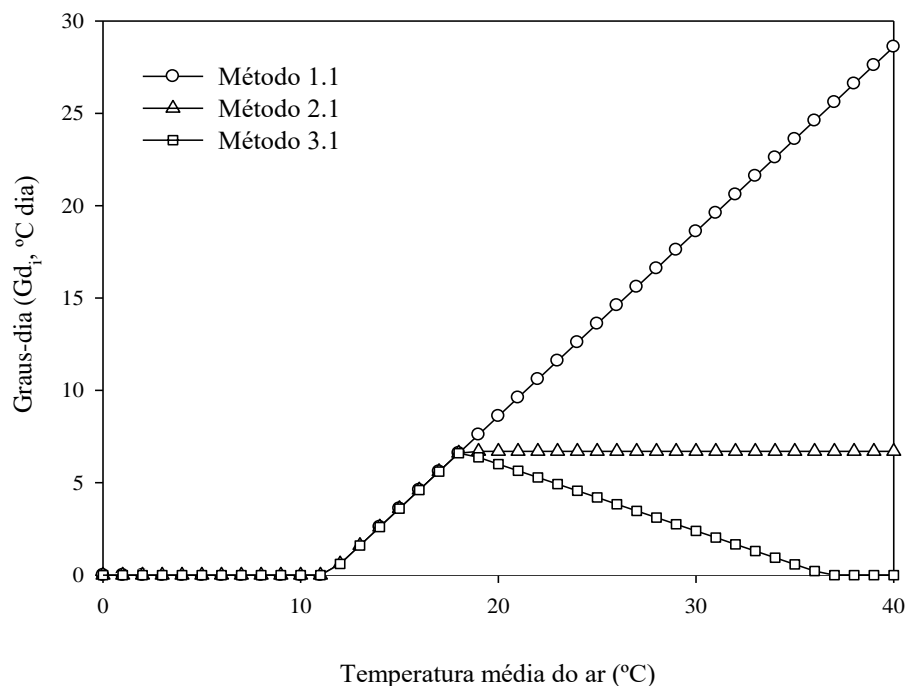


Figura 2.1 - Representação gráfica dos três métodos de cálculo dos graus-dia (Método 1.1, Método 2.1, Método 3.1) usados no estudo para pau viola, Itajubá (MG), 2015/2016.

A escolha do melhor método de graus-dia (método 1.1 a 3.2) foi baseada no menor valor de desvio padrão (DP) para a variável filocrono, conforme recomendações de ROSA et al. (2009). Para cada método de  $GD_d$ , espécie e U.E foi estimado o filocrono, pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear (LISBOA et al., 2012; MARTINS; SILVA; STRECK, 2007; XUE; WEISS; BAENZIGER, 2004):

$$NF = a \cdot GD + b \quad (7)$$

em que: NF = número de folhas emitidas, GD = graus-dia acumulados a partir da data de emergência até o término da fase de muda de cada U.E. ( $^{\circ}C$  dia);  $a$  = coeficiente angular e  $b$  = coeficiente linear.

Após selecionar o melhor método de graus-dia, as médias de filocrono foram submetidas ao teste de normalidade Shapiro-Wilk ( $\alpha=0,05$ ), e, não atendendo os pressupostos de normalidade, os dados foram transformados por  $\text{Ln}(x)$ , conforme Freitas, Martins e Abreu (2017). Posteriormente realizou-se a análise de variância (ANOVA), para verificar o efeito das fontes de variação (espécies e épocas de semeadura), seguida da comparação de médias pelo teste Scott-knott ( $\alpha=0,05$ ) através do software SISVAR (FERREIRA, 2011).

### 2.3. Influência do Fotoperíodo

A fim de verificar a influência do fotoperíodo no desenvolvimento foliar das três espécies arbóreas, seguiu-se a metodologia proposta por Rosa et al. (2009) em que ajustou-se, para cada espécie e época de semeadura, regressões lineares entre o filocrono médio (média aritmética das 5 U.E.) e o fotoperíodo médio ( $F_{\text{med}}$ ). Para o  $F_{\text{med}}$  obteve-se a média aritmética do fotoperíodo diário (F), desde a emergência (*i*) até o término da fase de muda (*n*), por meio do algoritmo de Kiesling (1982):

$$F = \frac{2}{15} \cdot \arccos[\cos\alpha \cdot \sec\varphi \cdot \sec\delta - \tan\varphi \cdot \tan\delta] \quad (8)$$

$$\alpha = 90 + B \quad (9)$$

$$\delta = \arcsen(0,39779) \cdot \sen\lambda \quad (10)$$

$$\lambda = M + 1,916 - \sen M + 0,020 \cdot \sen 2M + 282,565 \quad (11)$$

$$M = 0,985600 \cdot \text{NDA} - 3,251 \quad (12)$$

em que F = Fotoperíodo diário (horas),  $\alpha$  = ângulo zenital (graus),  $\Phi$  = latitude (graus),  $\delta$  = declinação solar (graus e décimos), 0,39779 = seno de 23°27'; M = anomalia média solar (graus), NDA = número do dia do ano (dia juliano), B = ângulo abaixo do plano do horizonte (6°).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cultivo no campo em diferentes épocas de semeadura proporcionou as plantas desenvolverem-se em condições ambientais distintas durante seu ciclo de desenvolvimento vegetativo, as quais foram importantes para a avaliação das exigências térmicas e fotoperiódicas da goiabeira, pau viola e urucuzeiro (Tabela 2.1). No período do estudo, a temperatura do ar variou de 2,3°C, valor mínimo absoluto, a 35,7°C, valor máximo absoluto e o fotoperíodo variou entre 11,6 h e 14,3 h. Essas diferentes condições afetaram a velocidade de emissão de folhas na haste principal e conseqüentemente a taxa de desenvolvimento foliar. Durante as épocas de semeadura com temperaturas do ar baixas, a velocidade da emissão de

folhas também foi baixa. O contrário ocorreu com as temperaturas mais elevadas, em que a velocidade de emissão de folhas foi maior, tendência semelhante ao observado para o eucalipto (FREITAS; MARTINS; ABREU 2017) e oliveira (LISBOA et al., 2012; SOUZA; MARTINS, 2014) e também para culturas anuais como canola (LUZ et al., 2012) e triticale (PEDRO JR et al., 2004).

Tabela 2.1 – Duração das doze épocas de semeadura correspondentes à fase de muda, caracterização da temperatura do ar e fotoperíodo médio durante a condução do experimento a campo para goiabeira, pau viola e urucuzeiro. Itajubá (MG), 2015/2016.

Épocas	goiabeira					pau viola					urucuzeiro				
	Duração*	Temperaturas (°C)**			F <sub>med</sub> <sup>***</sup> (h)	Duração*	Temperaturas (°C)**			F <sub>med</sub> <sup>***</sup> (h)	Duração*	Temperaturas (°C)**			F <sub>med</sub> <sup>***</sup> (h)
		T <sub>med</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>			T <sub>med</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>			T <sub>med</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	
E1	192	20,4	27,6	15	12,8	162	19,8	27,1	14	12,7	209	20,5	27,6	15,2	12,9
E2	167	21,2	28,3	15,8	13,1	148	20,9	28,2	15,2	13,0	197	21,2	28,2	16	13,2
E3	176	21,9	28,8	16,7	13,5	141	21,7	28,9	16,2	13,3	184	21,7	28,7	16,4	13,4
E4	135	22,6	29,1	17,7	13,7	120	22,5	29,3	17,5	13,6	170	22,5	29,3	17,5	13,7
E5	162	23	29,4	18,3	13,8	115	23	29,4	18,3	14,0	153	23	29,4	18,3	13,9
E6	141	23	29,3	18,2	13,9	119	22,9	29,1	18,6	14,0	172	22,9	29,4	18,1	13,7
E7	126	22,6	29	18	13,7	122	22,6	29	17,9	13,7	168	22,2	28,9	17,3	13,4
E8	135	22	28,7	16,9	13,2	130	22	28,7	16,8	13,1	144	21,8	28,5	16,8	13,1
E9	143	20,1	27,2	14,7	12,5	103	21,4	28,3	16,1	12,7	198	19,3	27	13,5	12,3
E10	144	18,6	26,2	12,8	12,1	140	18,6	26,3	12,7	12,1	189	18,6	26,5	12,6	12,2
E11	149	17,6	25,9	11,3	11,9	134	17,7	25,8	11,4	11,9	176	18,1	26,4	11,6	12,1
E12	154	17,2	25,7	10,6	11,9	141	17,3	25,7	10,6	11,9	157	17,5	26	10,9	12,1

\* período que se estende desde a data da emergência, considerada o dia em que 50% das plântulas estavam visíveis acima do solo, e término da fase de muda, considerada o dia em que as plantas de cada época atingiram, em média, 20 folhas acumuladas na haste principal. \*\* Valores obtidos pelas médias aritméticas da temperatura média, máxima e mínima do ar. \*\*\*Valores obtidos pela média aritmética do fotoperíodo diário.

Valores diários de temperatura do ar próximos a Tb foram observados nas E1 e E2, as quais apresentaram a maior duração entre as épocas. Além disso, em nenhuma época de semeadura foram registradas temperaturas iguais ou superiores as TBs das três espécies, enquanto que valores diários de temperatura do ar próximo a Tot foram registrados, principalmente na E7 para a goiabeira, E8 para o urucuzeiro e E9 para o pau viola, as quais tiveram duração menor que as demais épocas de semeadura, o que demonstra que a temperatura do ar é a principal variável que governa o desenvolvimento foliar (ERPEN et al., 2013; MARTINS et al., 2014). A maior e menor variação da duração da fase de muda verificadas foi de 95 dias entre pau viola e urucuzeiro (E9) e 3 dias entre goiabeira e pau viola (E12), respectivamente. A diferença máxima da duração entre as épocas de semeadura foi de 66 dias para goiabeira (E1 e E7), 59 dias para pau viola (E1 e E9) e 65 dias para urucuzeiro (E1 e E8).

Na condução do experimento, algumas mudas de goiabeira apresentaram sintomas de ferrugem, doença fúngica que compromete o desenvolvimento da planta, principalmente a emissão de folhas (JUNQUEIRA et al., 2001; MARTINS et al., 2012). As épocas de semeadura que tiveram plantas afetadas foram E3, E4, E5, E6 e E7, ocorrendo com maior severidade nas E6 e E7. Como consequência, houve perda de algumas U.E. e pequeno atraso no desenvolvimento das mudas afetadas pela doença.

### **3.1. Métodos de graus-dia e filocrono**

As regressões ajustadas entre NF e GD para as três espécies, épocas de semeadura (E1 à E12) e métodos de graus-dia (1.1 à 3.2), apresentaram forte tendência linear, com valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,9613 e os valores de erro padrão de estimativa (Syx) abaixo de 0,9790. Os resultados sugerem que a temperatura do ar é, realmente, a variável ambiental que mais influencia o desenvolvimento vegetativo das espécies estudadas, corroborando com os estudos de Lisboa et al. (2012) e Martins, Reis e Pinheiro (2012) para cultivares de oliveira; de Martins et al. (2007) em espécies de eucalipto; Maldaner et al. (2009) para beringela; Rosa et al. (2009) para cultivares de trigo; Erpen et al. (2013) para a batata-doce cv. Princesa; Tazzo et al. (2015) para cultivares de morangueiro e Souza et al. (2016) para cultivares de girassol.

Os valores de filocrono variaram entre os seis métodos de GD e entre as três espécies, com valores médios entre 79,82 e 39,93 °C dia folha<sup>-1</sup> para a goiabeira, 68,19 e 33,95 °C dia folha<sup>-1</sup> para o pau viola e 87,38 e 47,03 °C dia folha<sup>-1</sup> para o urucuzeiro (Tabela 2.2), todos para os métodos 1.2 e 3.1, respectivamente. Houve um decréscimo de graus-dia do método 1.1 para o método 3.1, mesmo padrão observado por Streck et al. (2007a) para arroz e Rosa et al. (2009) para trigo.



Tabela 2.2 – Média  $\pm$  desvio padrão do filocrono ( $^{\circ}\text{C dia} \cdot \text{folha}^{-1}$ ) para a goiabeira, pau viola e urucuzeiro nas doze épocas de semeadura, calculados pelos seis métodos de graus-dia. Itajubá (MG), 2015/2016.

Espécies	Métodos de graus-dia					
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
<b>goiabeira</b>	77,69 $\pm$ 7,25	79,82 $\pm$ 7,43	45,89 $\pm$ 4,28	48,39 $\pm$ 4,70	39,96 $\pm$ 3,73	40,37 $\pm$ 3,78
<b>pau viola</b>	65,69 $\pm$ 7,20	68,19 $\pm$ 7,87	42,27 $\pm$ 4,61	43,18 $\pm$ 4,66	33,95 $\pm$ 3,70	34,49 $\pm$ 3,78
<b>urucuzeiro</b>	82,61 $\pm$ 6,45	87,38 $\pm$ 6,95	53,56 $\pm$ 4,30	55,81 $\pm$ 4,57	47,03 $\pm$ 3,82	48,04 $\pm$ 3,92
<b>Média</b>	75,33 $\pm$ 6,97	78,46 $\pm$ 7,42	47,24 $\pm$ 4,40	49,13 $\pm$ 4,64	40,31 $\pm$ 3,75	40,97 $\pm$ 3,83

A redução dos valores de filocrono dos métodos de graus-dia 1.1 e 1.2 aos métodos 3.1 e 3.2 ocorreu devido a diminuição de  $\text{GD}_d$  pela inclusão da Tot (métodos 2.1. e 2.2) e Tot e TB, (métodos 3.1 e 3.2) nos cálculos, recorrendo em menores valores de GD, principalmente nas épocas de semeadura que compreenderam períodos mais quentes do ano, quando a temperatura média do ar encontra-se acima da Tot (entre  $17,3^{\circ}\text{C}$  e  $18,4^{\circ}\text{C}$ ) em muitos dias. Os métodos 3.1 e 3.2 apresentaram valores de filocrono similares entre si, que pode ter ocorrido em virtude de não haver muitos casos em que a  $T_{\text{med}}$  e a  $T_{\text{min}}$  foram inferiores a  $T_b$ , assim como a  $T_{\text{med}}$  e a  $T_{\text{max}}$  serem superiores a TB das três espécies. Houveram 114 casos para goiabeira, 145 casos para pau viola e 162 casos para urucuzeiro em que a  $T_{\text{min}} \leq T_b$ ; nenhum caso para goiabeira, 4 casos para pau viola e 6 casos para urucuzeiro em que  $T_{\text{med}} \leq T_b$  e nenhum caso em que a  $T_{\text{max}} \geq TB$  e que a  $T_{\text{med}} \geq TB$ , constatados no período entre abril de 2015 e outubro de 2016.

Para as três espécies, o método 3.1 resultou em valores menores de DP (Tabela 2.2), sendo indicado o método mais eficiente no cômputo da energia necessária para que uma folha seja emitida pela planta. Resultado semelhante foi obtido por Tomazetti et al. (2015) para cultivares de videira. Rosa et al. (2009), Streck et al. (2009) também obtiveram bons resultados considerando os métodos 3.1 e 3.2 em cultivares de trigo e soja, respectivamente.

O fato de que a comparação da  $T_{\text{med}}$  com as temperaturas cardinais ( $T_b$ , Tot e TB) apresentou melhor desempenho entre os métodos, indica que a emissão de folhas para as três espécies pode ser descrita por modelos matemáticos em resposta à temperatura média do ar, e não em relação as temperaturas mínimas e máximas do ar (ERPEN et al., 2013). Entretanto, apesar desta vantagem, deve-se avaliar com cautela os métodos de graus-dia, inclusive o método 3.1, devido a pressuposição de uma relação linear entre desenvolvimento e temperatura. Segundo Streck et al. (2011), Martins et al. (2014) e Souza et al. (2016), próximo a Tot, a resposta do desenvolvimento vegetal à temperatura é não linear. Streck et al. (2005) citam ainda que, quando o ciclo da cultura ocorre na época recomendada para o seu cultivo, geralmente as temperaturas se enquadram de forma linear. No entanto, quando o cultivo é

realizado fora da época recomendada, a soma de graus-dia nem sempre funciona adequadamente.

De posse do melhor método de graus-dia, procedeu-se a estimativa do filocrono para as três espécies nas doze épocas de semeadura e todas as U.E. Valores representativos do ajuste do método 3.1 para as E3, E4, E7 e E12 são apresentados na Figura 2.2.

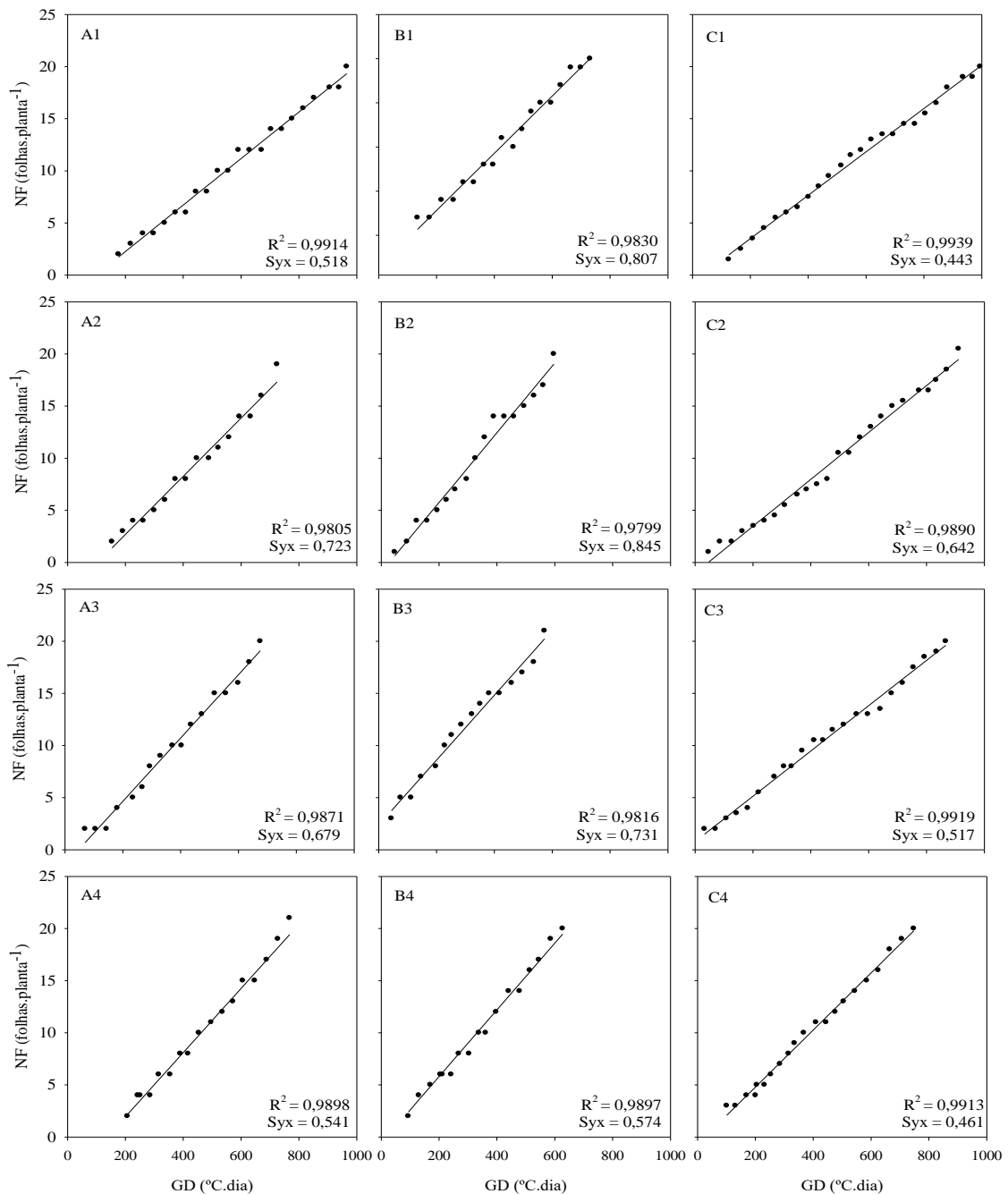


Figura 2.2 – Representação da relação entre o número de folhas emitidas na haste principal (NF) e graus-dia acumulado (GD), pelo método 3.1, utilizado na estimativa do filocrono para goiabeira (A), pau viola (B) e urucuzeiro (C), em quatro épocas de semeadura (1 = E3; 2 = E4; 3 = E7; 4 = E12). Os dados de cada painel correspondem a uma unidade experimental. Itajubá (MG), 2015/2016.

O teste de normalidade Shapiro-Wilk ( $\alpha=0,05$ ) realizado para a variável filocrono, mostrou que os dados não seguiram o pressuposto de normalidade, sendo transformados pelo logaritmo neperiano ( $\ln(x)$ ). A análise de variância apresentou efeito significativo para a interação dos fatores principais (espécie e época de semeadura), sendo realizada a comparação de médias para o desdobramento de cada fator (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Médias do filocrono ( $^{\circ}\text{C dia} \cdot \text{folha}^{-1}$ ), calculado pelo método de graus-dia 3.1, para a goiabeira, pau viola e urucuzeiro nas doze épocas de semeadura. Itajubá (MG), 2015/2016.

<b>Época de Semeadura</b>	<b>goiabeira</b>	<b>pau viola</b>	<b>urucuzeiro</b>
E1	50,70 Ca	46,19 Ca	57,57 Bb
E2	36,36 Aa	37,98 Ba	52,45 Bb
E3	47,10 Cb	29,58 Aa	48,92 Bb
E4	37,78 Ab	27,04 Aa	41,19 Ab
E5	50,55 Cb	32,48 Aa	49,94 Bb
E6	41,49 Ba	35,94 Ba	47,67 Bb
E7	34,16 Aa	36,52 Ba	51,56 Bb
E8	36,33 Aa	41,00 Ba	41,12 Aa
E9	36,09 Ab	29,64 Aa	49,48 Bc
E10	31,20 Aa	31,72 Aa	48,29 Bb
E11	43,24 Ba	37,50 Ba	40,84 Aa
E12	34,45 Aa	32,54 Aa	35,27 Aa
<b>Média geral</b>	39,95 b	34,84 a	47,02 c

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha, para a variável espécie, e maiúsculas na coluna, para a variável época de semeadura, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $\alpha=0,05$ ).

As espécies desenvolveram-se diferentemente em cada época de semeadura. Com relação a goiabeira, as épocas que apresentaram menor valor do filocrono e consequente maior desenvolvimento foram: E2, E4, E7 à E10 e E12, no caso do pau viola foram: E3 à E5, E9, E10 e E12 e no caso do urucuzeiro foram: E4, E8, E11 e E12, demonstrando que o maior desenvolvimento das mudas ocorre entre os meses de maio a setembro, período em que as temperaturas estão mais amenas, padrão diferente ao encontrado por Rosa et al. (2009) para a cultura do trigo, mas semelhante ao observado por Schons et al. (2007) para mandioca, Koefender et al. (2008) para calêndula e Lisboa et al. (2012) para oliveira cv. MSG ASC315. É normal ocorrer o oposto ao observado neste estudo, ou seja, ter menor valor de filocrono nas épocas mais quentes e maior valor nas épocas com temperaturas mais amenas (ROSA et al., 2009; LISBOA et al., 2012; MARTINS et al., 2014). Isso sugere que, além da temperatura do ar, as plantas também sejam sensíveis ao fotoperíodo quanto à emissão de folhas (LISBOA et al., 2012; PAULA; STRECK, 2008; SCHONS et al., 2007).

Nas três espécies as E4 e E12 apresentaram menor valor de filocrono. No entanto, o menor valor de filocrono não refletiu em menor duração destas épocas no campo (Tabelas 2.1 e 2.3), demonstrando que o filocrono representa melhor o desenvolvimento que os dias do calendário civil (ROSA et al., 2009; MARTINS; REIS; PINHEIRO, 2012).

Os resultados também sugerem que a necessidade de acúmulo de energia para a emissão de folhas em pau viola ( $34,84 \text{ }^\circ\text{C dia} \cdot \text{folha}^{-1}$ ) é menor quando comparada a goiabeira ( $39,95 \text{ }^\circ\text{C dia} \cdot \text{folha}^{-1}$ ) e urucuzeiro ( $47,02 \text{ }^\circ\text{C dia} \cdot \text{folha}^{-1}$ ), sendo realístico com as observações realizadas no campo. O urucuzeiro apresentou os maiores valores de filocrono e desenvolvimento mais lento do que as demais espécies, pois emite, em média, uma folha por semana, enquanto goiabeira e pau viola emitem pares de folhas semanalmente. Essa diferença entre o desenvolvimento do pau viola e da goiabeira em relação ao urucuzeiro também é verificada quando se considera o número de dias para completar a fase de muda (Tabela 2.1). Porém o número de dias pode gerar maior incerteza em representar o desenvolvimento e prever o término da fase de muda que o filocrono (MARTINS et al., 2014), corroborando com o observado nas E4 e E12.

Os valores de filocrono encontrados para goiabeira, pau viola e urucuzeiro são superiores aos de plantas perenes como oliveira cv. Arbequina ( $21,7 \text{ }^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ ) e cv. MGS ASC315 ( $41,6 \text{ }^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ ) (MARTINS; REIS; PINHEIRO, 2012), *Eucalyptus saligna* ( $30,7 \text{ }^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ ), *Eucalyptus grandis* ( $32,0 \text{ }^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ ) (MARTINS; STRECK, 2007), de culturas anuais como meloeiro HY-MARK ( $18,6 \text{ }^\circ\text{C dia nó}^{-1}$ ) (STRECK et al., 2005), melancia ( $23,4 \text{ }^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ ) (LUCAS et al., 2012) e inferiores aos de cultivares de morangueiro ( $69,96 \text{ }^\circ\text{C a } 135,61^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ ) (TAZZO et al., 2015) e girassol ( $125,46 \text{ a } 1834,42^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ ) (SOUZA et al., 2016).

Analisando o sentido prático dos graus-dia, verifica-se que a goiabeira necessita em média, acumular  $809,6^\circ\text{C dia}$ , o pau viola necessita acumular  $664,3 \text{ }^\circ\text{C dia}$ , enquanto urucuzeiro necessita de  $914,1^\circ\text{C dia}$  para atingirem a fase de muda e o ponto de transplante. Estes valores são maiores aos encontrados para completar a fase de muda das espécies tropicais de *Eucalyptus grandis* ( $640^\circ\text{C dia}$ ) e *Eucalyptus saligna* ( $614 \text{ }^\circ\text{C dia}$ ) (MARTINS; SILVA; STRECK., 2007), e menores que as exigências de espécies temperadas e subtropicais como a oliveira cv. MGS ASC 315 (entre  $949,6 \text{ a } 1052,6 \text{ }^\circ\text{C dia}$ ) (MARTINS; REIS; PINHEIRO, 2012) e videira 'cv. Tannat' ( $1.823,1 \text{ }^\circ\text{C dia}$ ) e cv. 'Merlot' ( $1.780,8 \text{ }^\circ\text{C dia}$ ), necessárias para o ciclo entre o início da brotação e a colheita (TOMAZETTI et al., 2015). Segundo Renato et al. (2013), essa diferença é ocasionada pelo método utilizado para o

cálculo dos graus-dia, além da diferença de desenvolvimento entre as espécies. (RENATO et al., 2013).

### 3.2. Influência do fotoperíodo

As três espécies apresentaram duração, em dias, assim como os valores de filocrono diferentes ao longo das épocas de semeadura (Tabelas 2.1 e 2.3), que indica influência do fotoperíodo (ROSA et al., 2009; STRECK et al., 2006; LISBOA et al., 2012). A análise do ajuste do filocrono médio em função do fotoperíodo médio para a goiabeira e urucuzeiro (Figura 2.3 A,C) demonstraram que as duas espécies apresentam comportamento típico de plantas de dia curto, uma vez que os coeficientes angulares são positivos (inclinação positiva) e significativos.

Isso explica melhor o menor valor do filocrono e, conseqüentemente, a maior velocidade de emissão de folhas e desenvolvimento nas E2 (12/06), E3 (10/07), E4 (11/08), E11 (11/03) e E12 (12/04), pois nestas épocas, além de ocorrerem condições de temperatura do ar amenas ocorreram os menores comprimentos do dia ( $\leq 12$  horas de luz).

Já o ajuste para o pau viola não apresentou tendência bem definida, pois apesar do coeficiente linear ser negativo, indicando resposta fotoperiódica típica de dia longo, o coeficiente foi não significativo (Figura 2.3 B). Mesmo menos sensível ao fotoperíodo, ao pau viola apresentou tendência de aumento da velocidade de emissão de folhas com o aumento da duração do fotoperíodo.

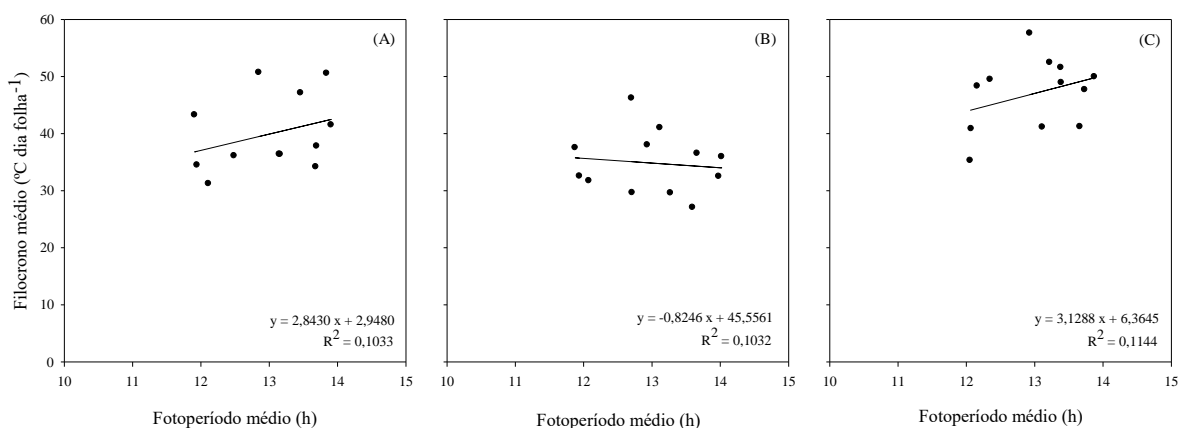


Figura 2.3 - Relação entre o filocrono médio e fotoperíodo médio em mudas de goiabeira (A), pau viola (B) e urucuzeiro (C) nas doze épocas de semeadura. Itajubá (MG), 2015/2016.

Os efeitos do fotoperíodo no desenvolvimento de plantas perenes ainda são incipientes, controversos e inconclusivos (BASLER; KÖRNER, 2014; CAFFARRA et al., 2011; OLIVEIRA; INNECCO, 2012; PRIMACK et al., 2015), inclusive em espécies

florestais como o eucalipto (RAWAL et al., 2014; SCURFIELD, 1961; PATON, 1980) que apresentam maior número de estudos devido ao grande interesse econômico. Obviamente, o número de estudos em espécies arbóreas e nativas é ainda mais escasso. Os poucos existentes, como os de Basler e Körner, (2014) e de Caffarra et al. (2011), testaram a influência do fotoperíodo e da temperatura do ar na liberação da dormência de gemas em estacas de espécies arbóreas de floresta temperada; e o de Oliveira e Innecco (2012), que avaliaram a influência do fotoperíodo e da temperatura do ar no comportamento de sementes de jambu, não tratam especificamente da influência do fotoperíodo no filocrono.

No entanto, os resultados deste estudo indicaram que o desenvolvimento vegetativo da goiabeira e urucuzeiro cultivados na região de Itajubá ou em locais de latitudes próximas, é maior durante os meses de maio a setembro, os quais tem um comprimento do dia inferior a 12 horas e temperaturas do ar amenas, enquanto pau viola mostrou uma dependência menor do fotoperíodo que as duas espécies, se desenvolvendo melhor na faixa entre 11,9 e 13,6 horas de luz diárias e nas condições de temperaturas amenas, como as E3 (10/07/2015) e E4 (10/08/2015) e ligeiramente elevadas, como as E5(10/09/2015), E9 (12/01/2016) e E10 (11/02/2016).

Estas informações contribuem para a otimização das técnicas de cultivo e manejo das mudas, indicando a época do ano adequada e as condições termofotoperiódicas ideais para o cultivo destas espécies, garantindo o máximo desenvolvimento das plantas no campo.

O filocrono tem sido uma variável de desenvolvimento vegetativo bastante utilizada em estudos ecofisiológicos e em modelos de simulação do desenvolvimento de culturas anuais como o arroz (STRECK et al., 2006; STRECK et al., 2011), berinjela (MALDANER et al., 2009), trigo (ROSA et al., 2009), batata-doce (ERPEN et al., 2013) e também em culturas perenes como eucalipto (MARTINS; STRECK, 2007) e oliveira (LISBOA et al., 2012; MARTINS et al., 2014). No entanto, os resultados encontrados neste estudo são importantes por demonstrar o efeito do fotoperíodo no desenvolvimento vegetativo das três espécies arbóreas, variável que até então, raramente é considerada nas culturas perenes.

## 4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento vegetativo, quantificado através do filocrono, das espécies goiabeira (*Psidium guajava* L.), pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham.) e urucuzeiro (*Bixa orellana* L.), é influenciado pelo método de cálculo dos graus-dia, sendo o melhor

método aquele que considera as três temperaturas cardinais e as compara com a temperatura média do ar (método 3.1).

O filocrono médio da goiabeira ( $39,95\text{ }^{\circ}\text{Cdia.folha}^{-1}$ ) diferiu do filocrono médio de pau viola ( $34,84\text{ }^{\circ}\text{C dia.folha}^{-1}$ ) e de urucuzeiro ( $47,02\text{ }^{\circ}\text{C dia.folha}^{-1}$ ), demonstrando que o urucuzeiro necessita de maior acúmulo energético para emitir folhas na haste principal.

As três espécies desenvolveram-se diferentemente em função das épocas de semeadura, indicando influência da temperatura do ar e do fotoperíodo no desenvolvimento vegetativo. Épocas com temperaturas do ar amenas e menores comprimentos do dia (E4 e E12) apresentam menor valor de filocrono.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. C.; MARTINS, F. B.; FREITAS, C. H.; PEREIRA, R. A. A.; MELLONI, E. G. P. Valores limítrofes para transpiração, desenvolvimento e crescimento de *Corymbia citriodora* em resposta à deficiência hídrica no solo. **RevistaÁrvore**, Viçosa, v.39 n.5, p. 841-852, 2015.
- ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; LIMA JÚNIOR, E. C.; MAGALHÃES, M. M. Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. in southeastern Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.1, p.53-57, 2003.
- ARAÚJO NETO, J. C.; AGUIAR, I. B.; FERREIRA, V. M. Effect of temperature and light on *Acacia polyphylla* DC. seed germination. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 249-256, 2003.
- ARKENDU, G.; KOYEL, D.; SUDDHASUSHI, D.; PIYALI, D. Effect of Light on Flowering of Fruit Crops. **Advances in Life Sciences**, Nova Deli, v. 5, n. 7, p. 2597-2603, 2016.
- BASLER, D.; KÖRNER, C. Photoperiod and temperature responses of bud swelling and bud burst in four temperate forest tree species. **Tree Physiology**, Oxford, v. 34, n. 4, p.377-388, 2014.
- CAFFARRA, A.; DONNELLY, A.; CHUINE, I.; JONES M. B. Modelling the timing of *Betula pubescens* budburst. I. Temperature and photoperiod: a conceptual model. **Climate Research**, Oldendorf, v. 46, n. 2, p. 147-157, 2011.
- CALLEJAS, I. J. A.; NEVES, G. A. R.; TAVARES, A. S.; MOURA, I. B.; LIMA, E. A. Determinação das temperaturas cardinais da manga cultivar Roxa através de simulação computacional utilizando um modelo não linear. **Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v.10, n.1, p.97-110, 2014.
- COCCO, SCHMIDT D.; CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; FONTANA, D. C.; PAULA, G. M. Estimated phyllochron in low tunnel cultivated strawberry cultivars. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.9, p.1546-1552, 2016.
- FARIAS, V. D. S.; COSTA, D. L. P.; SOUZA, P. J. O. P.; TAKAKI, A. Y.; DE LIMA, M. J. A. Temperaturas basais e necessidade térmica para o ciclo de desenvolvimento do feijão-caupi. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11, n.21; p.1781-1792, 2015.

- FERNEDA, B. G.; BOEING, E.; SILVA, A. C.; SOUZA, A. P.; SILVA, S. G.; MARTIM, C. C.; PALADINO, F. G.; TANAKA, A. A. Graus-dias na estimativa das taxas de crescimento de quatro cultivares de soja em diferentes épocas de plantio. **Nativa**, Sinop, v. 4, n. 3, p. 121-127, 2016.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FREITAS, C. H.; MARTINS, F. B.; ABREU, M. C. Temperaturas cardinais no desenvolvimento foliar de duas espécies de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.XX, n. XX, p. xxx – xxx, 2017. (no prelo)
- GARNER, W. W., ALLARD, H. A. Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.18, n.11, p.553-606, 1920.
- GILMORE JUNIOR., E. C.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, p. 611-615, 1958.
- GUOLLO, K.; POSSENTI, J. C; FELIPPI, M. Germinação de sementes de guatambu sob dois regimes de luz. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 353-357, 2015.
- HORIE, T. Crop ontogeny and development. In: **Physiology and determination of crop yield**, Madison, ASA, SSSA, p.153-180, 1994.
- JUNQUEIRA, N. T. V.; ANDRADE, L. R. M; PEREIRA, M.; LIMA, M. M.; CHAVES, R. C. **Doenças da goiabeira no cerrado**. Planaltina: Embrapa SPI, 2001. 25 p. (Circular Técnica, 15)
- KAWAKATA, T.; YAJIMA, M. Modeling flowering time in rice under natural photoperiod and constant air temperature. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, n.3, p.393–396, 1995.
- KIESLING, T. C. Calculation of the length of the day. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.758-759, 1982.
- KOEFENDER, J.; STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; TRENTIN, R. Estimativa do filocrono em calêndula. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 5, p. 1246-1250, 2008.
- LANGNER, J. A.; STRECK, N. A.; DALMAGO, G. A.; REINIGER, R. L. S.; DURIGON, A.; DA SILVA, S. D.; LAGO, I.; SCHEFFEL, L. G.; POERSCH, A. H. Estimating the development of landrace and improved maize cultivars as a function of air temperature. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.10, p.1737-1742, 2016.
- LISBOA, P. M. M.; MARTINS, F. B.; ALVARENGA, M. I. N.; NETO, J. V.; REIS, D. F. Desenvolvimento vegetativo de duas cultivares de oliveira na fase de muda. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.9, p.1556-1562, 2012.
- LUCAS, D. D. P.; STRECK, N. A.; BORTOLUZZI, M. P.; TRENTIN, R.; MALDANER, I. Temperatura base para emissão de nós e plastocrono de plantas de melancia. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 288-292, 2012.
- LUZ, G. L. da; MEDEIROS, S. L. P.; TOMM, G. O.; BIALOZOR, A.; AMARAL, A. D. do; PIVOTO, D. Temperatura base inferior e ciclo de híbridos de canola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.9, p. 1549-1555, 2012.
- McMASTER, G. S.; WILHELM, W. W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam v.87, n.4, p.291-300, 1997.



- MALDANER, I. C.; GUSE, F. I.; STRECK, N. A.; HELDWEIN, A. B.; LUCAS, D. D. P.; LOOSE, H. Filocrono, área foliar e produtividade de frutos de berinjela conduzidas com uma e duas hastes por planta em estufa plástica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p.671-677, 2009.
- MANTAI, R. D.; DA SILVA, J. A. G.; MAROLLI, A.; MAMANN, A. T. W.; SAWICKI, S.; KRÜGER, C. A. M. B. Simulation of oat development cycle by photoperiod and temperature. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n.1, p.3-8, 2017.
- MARCON, C.; SILVEIRA, T. BENDER, D.; DROSTE, A. Germinação de esporos e desenvolvimento gametofítico de *Cyathea atrovirens* (Langsd. & Fisch.) Domin (Cyatheaceae) em diferentes temperaturas e fotoperíodos. **Ambiência**, Guarapuava, v.11, n.2, p. 409-422, 2015.
- MARTINS, F. B.; PEREIRA, R. A. A.; PINHEIRO, M. V.; ABREU, M. C. Desenvolvimento foliar em duas cultivares de oliveira estimado por duas categorias de modelos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.29, n.4, p. 505 - 514, 2014.
- MARTINS, F. B.; REIS, D. F.; PINHEIRO, M. V. M. Temperatura base e filocrono em duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1975-1981, 2012.
- MARTINS, F. B.; SILVA, J. C.; STRECK, N. A. Estimativa da temperatura-base para emissão de folhas e do filocrono em duas espécies de eucalipto na fase de muda. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31 n. 3, p. 373-381, 2007.
- MARTINS, F. B.; STRECK, N. A. Aparecimento de folhas em mudas de eucalipto estimado por dois modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1091-1100, 2007.
- MARTINS, M. V. V.; SERRANO, L. A. L.; LIMA, I. M.; OLIVEIRA, E. B. Incidência e controle químico da ferrugem da goiabeira em diferentes épocas de poda na região norte do Espírito Santo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.2, p. 178-184, 2012.
- MIRANDA, M. N.; CAMPELO JUNIOR, J. H. Soma térmica para o subperíodo semeadura-maturação de feijão cv. carioca em Colorado do Oeste, Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 180-185, 2010.
- MOURA, J. Z.; PÁDUA L. E. M., MOURA S. G., TORRES J. S., SILVA P. R. R. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 66-71, 2012.
- OLIVEIRA, M. A.; INNECCO, R. Germinação de sementes de jambu (*Acmella oleracea* – Asteraceae) sob influência de fotoperíodo e temperatura. **Revista Eletrônica de Biologia**, Sorocaba, v. 5, n.3, p. 105-118, 2012.
- PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; DA SILVA, D. J. H.; CECON, P. R. Soma térmica para o desenvolvimento dos estádios do tomateiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.6, nº 3, p. 240 - 246, 2012.
- PATON, D.M. *Eucalyptus* Physiology. II Temperature responses. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.28, n.6, p.555-566, 1980.
- PAULA, G. M.; STRECK, N. A. Temperatura base para emissão de folhas e nós, filocrono e plastocrono das plantas daninhas papuã e corriola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.9, p.2457-2463, 2008.

- PEDRO JUNIOR, M. J.; CAMARGO, M. B. P.; MORAES, A. V. C.; FELÍCIO, J. C.; CASTRO, J. L. Temperatura-base, graus-dia e duração do ciclo para cultivares de triticales. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 447-453, 2004.
- PILAU, F. G; BATTISTI, R.; SOMAVILLA, L.; SCHWERZ L. Temperatura basal, duração do ciclo e constante térmica para a cultura do crambe. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p.958-964, 2011.
- PRIMACK, R. B.; LAUBE, J.; GALLINAT, A. S.; MENZEL, A. From observations to experiments in phenology research: investigating climate change impacts on trees and shrubs using dormant twigs. **Annals of Botany**, [Oxford], v. 116, n. 6, p. 889-897, 2015.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E.; **Biologia Vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. 830 p.
- RAWAL, D. S.; KASEL, S.; KEATLEY, M. R.; APONTE, C.; NITSCHKE, C. R. Environmental effects on growth phenology of co-occurring Eucalyptus species. **International Journal of Biometeorology**, [s.l.], v. 58, n. 4, p. 427-442, 2014.
- RENATO, N. S.; SILVA, J. B. L.; SEDIYAMA, G. C.; PEREIRA, E. G. Influência dos métodos para o cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas de milho e feijão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.28, n.4, p. 382-388, 2013.
- RONCANCIO, V. J. F.; PERES, L. E. P.; ZAIDAN, B. P.; PEREIRA, M. F. A. Influência do fotoperíodo em interação com a temperatura no desenvolvimento de plantas de *Solidasterluteus*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.8, n.2, p.131-138, 1996.
- ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.11, p.1374-1382, 2009.
- SCHONS, A. STRECK, N. A. KRAULICH B. PINHEIRO, D. G.; ZANON, A. J. Emissão de folhas e início de acumulação de amido em raízes de uma variedade de mandioca em função da época de plantio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.6, p.1586-1592, 2007.
- SCURFIELD, G. The effects of temperature and day length on species of *Eucalyptus*. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.9, n.1, p.37-56, 1961.
- SERÇE, S.; HANCOCK, J. F. The temperature and photoperiod regulation of flowering and runnering in the strawberries, *Fragaria chiloensis*, *F. virginiana*, and *F. x ananassa*. **Scientia horticulturae**, [s.l.] v. 103, n. 2, p. 167-177, 2005.
- SOLTANI, A.; SINCLAIR, T. R. **Modeling Physiology of crop development, growth and yield**. Oxfordshire: CAB Internacional, 2012, 322 p.
- SOUZA, L. C.; COSTA, A. V. A.; MOREIRA, W. K. O. SILVA, E. G.; SOUZA, A. C. SILVA, R. T. L. Métodos de soma térmica na determinação de plastocrono de *Helianthus annuus* L. cultivado em ambiente protegido em Capitão Poço-PA. **Nucleus**, Ituverava, v.13, n. 2, p. 143-152, 2016.
- SOUZA, P. M. B.; MARTINS, F. B. Estimativa da temperatura basal inferior para as cultivares de oliveira Grappolo e Maria da Fé. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 307-313, 2014.

- STRECK, N. A.; BOSCO, L. C.; MICHELON, S.; ROSA, H. T.; WALTER, L. C. DE PAULA, G. M.; CAMERA, C.; LAGO, I.; MARCOLIN, E. Avaliação da resposta ao fotoperíodo em genótipos de arroz irrigado. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.533-541, 2006.
- STRECK, N. A.; LAGO, I.; OLIVEIRA, F. B.; HELDWEIN, A. B.; DE AVILA, L. A.; BOSCO, L. C. Modeling the Development of Cultivated Rice and Weedy Red Rice. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St. Joseph, Michigan, v. 54, n. 1, p.371-384, 2011.
- STRECK, N. A.; LAGO, I.; SAMBORANHA, F. K. GABRIEL, L. F.; SCHWANTES, A. P.; SCHONS, A. Temperatura base para aparecimento de folhas e filocrono da variedade de milho BRS Missões. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, 2009.
- STRECK, N. A.; MICHELON, S.; BOSCO, L. C.; LAGO, I.; WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; de PAULA, G. M. Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da escala de counce para cultivares sul-brasileiras de arroz irrigado. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n.6, p. 357-364, 2007a.
- STRECK, N. A.; MICHELON, S.; ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; BOSCO, L. C.; PAULA, G. M. de; CAMERA, C.; SAMBORANHA, F. K.; MARCOLIN, E.; LOPES, S. J. Filocrono de genótipos de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p.323-329, 2007b.
- STRECK, N. A.; TIBOLA, T.; LAGO, I.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; SCHNEIDER, F. M.; ZAGO, V. Estimativa do plastocrono em meloeiro (*Cucumis melo* L.) cultivado em estufa plástica em diferentes épocas do ano. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p. 1275-1280, 2005.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.
- TAZZO, I. F.; FAGHERAZZI, A. F., LERIN, S.; KRETZSCHMAR, A. A.; RUFATO, L. Heat requirement of two selections and four strawberry cultivars grown in the catarinense plateau. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 3, p. 550-558, 2015.
- TOMAZETTI, T. C.; ROSSAROLLA, M. D.; ZEIST, A. R.; GIACOBBO, C. L.; WELTER, L. J.; ALBERTO, C. M. Fenologia e acúmulo térmico em videiras viníferas na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.11, p.1033-1041, 2015.
- XUE, Q.; WEISS, A.; BAENZIGER, P. S. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.175, n.3, p.261-270, 2004.
- YIN, X.; KROPFF, M. Use of the beta function to quantify effects on flowering and leaf number in rice. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.81, n.2, p.217 -228, 1996.

## CAPÍTULO III

# MODELAGEM DO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO, REPRESENTADO PELA FASE DE MUDA DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS

## 1. INTRODUÇÃO

Estudos referentes a quantificação e modelagem do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo são importantes por razões científicas e práticas, pois permitem descrever as interações entre planta e ambiente (ERPEN et al., 2013). Dentre as utilizações desses estudos, pode citar a seleção de espécies, cultivares ou variedades mais adaptadas as condições climáticas de um local, determinação da época mais apropriada para a aplicação de práticas de manejos agrícolas e florestais e avaliação da resposta das plantas em cenários de mudanças climáticas (COCCO et al., 2016, RAWAL et al., 2014, STRECK et al., 2008b, STRECK et al., 2011). Comumente, o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo é representado pela variável taxa de aparecimento de folhas (TAF) e a integração da TAF no tempo fornece o número de folhas acumuladas na haste principal (NF) (ROSA et al., 2009; ERPEN et al., 2013). O NF constituem o aparato fotossintético e são responsáveis pela interceptação da radiação solar e formação de carboidratos que são alocados para os órgãos vegetativos e reprodutivos da planta, os quais são responsáveis pelo acúmulo de biomassa (ROSA et al., 2009; STRECK et al., 2005b; XUE; WEISS; BAENZIGER, 2004).

A temperatura do ar é o principal fator ambiental que governa a TAF e o NF das espécies vegetais (LISBOA et al., 2012; PEREIRA; CAMPELO JR; FERRONATO, 2010; SAMBORANHA et al., 2013). Uma forma tradicional de relacionar a temperatura do ar com a TAF e NF é através dos modelos de simulação, os quais são amplamente usados em culturas anuais (ROSA et al., 2009, STRECK et al., 2011, ERPEN et al., 2013) e perenes (MARTINS; STRECK, 2007; MARTINS et al., 2014). Estes modelos simulam a TAF utilizando funções de temperatura. Existem duas categorias de modelos de simulação: linear ou aditiva e não linear ou multiplicativa. Na categoria linear o modelo do Filocrono é o exemplo mais recorrente, enquanto o modelo de Wang e Engel (WE) é bastante utilizado na categoria não linear (MARTINS et al., 2014; STRECK et al., 2008b; XUE; WEISS; BAENZIGER, 2004; WANG; ENGEL, 1998).

O modelo do filocrono pressupõe uma relação linear entre a TAF e a função de temperatura do ar, a qual é expressa por meio dos graus-dia, cuja unidade é °C dia (MARTINS; STRECK, 2007; STRECK et al., 2011; TAZZO et al., 2015). É um modelo considerado simples de ser implementado, sendo amplamente utilizado para estimar o desenvolvimento da maioria das culturas anuais como morango (COCCO et al., 2016; ROSA et al., 2011; TAZZO et al., 2015), batata doce (ERPEN et al., 2013), berinjela (MALDANER et al., 2009) canola (DALMAGO et al., 2013) mandioca (FAGUNDES et al., 2009), milho (MARTINS, et al., 2012), entre outras.

No entanto, o modelo do filocrono pode falhar em situações que não são usuais ou em situações em que a temperatura do ar esteja próxima as temperaturas cardinais da planta (temperatura basal inferior –  $T_b$ ; ótima –  $T_{ot}$ ; e basal superior –  $T_B$ ), como em períodos com temperaturas frias ou elevadas frequentes (ERPEN et al., 2013; STRECK et al., 2009). Em situações como estas, a resposta dos processos biológicos das plantas à temperatura, incluindo seu desenvolvimento, assume uma tendência não linear (STRECK et al., 2005a; XUE; WEISS; BAENZIGER, 2004), sendo mais realístico a representação através da categoria não linear (LANGNER et al., 2016; MARTINS et al., 2014; MONTEIRO et al., 2014).

O modelo Wang e Engel (WE) associa de forma multiplicativa a TAF com funções de resposta a temperatura [ $f(T)$ ], descrita por uma função beta (LANGNER et al., 2016; MARTINS et al., 2014; WANG; ENGEL, 1998). O modelo de WE é considerado mais eficiente que o filocrono, principalmente quando são frequentes os casos em que a temperatura do ar é próxima a  $T_b$  ou acima da  $T_{ot}$  (ERPEN et al., 2013; STRECK et al., 2011). Porém, cabe salientar que não há comprovação de superioridade de um modelo sobre o outro (MARTINS; STRECK, 2007; ERPEN et al., 2013; MARTINS et al., 2014). Nesse sentido, diversos estudos comprovam o bom desempenho do modelo WE na simulação do desenvolvimento em culturas agrícolas como aveia (MANTAI et al., 2017), milho (LANGNER et al. 2016), mandioca (SAMBORANHA et al., 2013), batata (STRECK et al., 2007), arroz (STRECK et al., 2011), algodoeiro (PEREIRA; CAMPELO JUNIOR; FERRONATO, 2010) e soja (SETIYONO et al., 2007). Enquanto outros demonstram que o modelo do filocrono apresenta bom desempenho, como no caso de diferentes genótipos de arroz (STRECK et al., 2008a) e para batata-doce (ERPEN et al., 2013).

Apesar da gama de estudos realizados com o objetivo de avaliar e comparar as diferentes categorias de modelos, assim como selecionar a melhor categoria de modelo para uma determinada espécie, é notório que a maioria é realizada em espécies agrícolas (STRECK

et al., 2009; STRECK et al., 2011; ERPEN et al., 2013; MANTAI et al., 2017) e poucos em espécies perenes, sendo estes limitados a culturas de interesse comercial, como eucalipto (MARTINS; STRECK, 2007) e oliveira (MARTINS et al., 2014).

Porém, informações relativas ao desempenho de modelos de simulação do desenvolvimento em espécies arbóreas ainda são inexistentes. Isso ocorre devido à grande diversidade da flora arbórea brasileira aliado ao menor interesse econômico destas espécies, revelando a importância desse tipo de estudo para essas espécies. Espécies como goiabeira (*Psidium guajava* L.), pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham.) e urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) são recorrentes na flora arbórea brasileira e ao mesmo tempo são importantes contribuintes nos programas de recomposição de áreas degradadas e de preservação por apresentarem intensa regeneração espontânea, boa capacidade de dispersão, rápido crescimento no campo (AMARAL; ANTIQUEIRA; HORBACH, 2013; LORENZI, 2014) e possuem finalidades paisagísticas em arborização urbana (FERREIRA; NOVEMBRE, 2015; PEREIRA; KAVATI, 2011), tornando-as potencialmente promissoras em estudos de simulação do desenvolvimento.

Dessa forma, o objetivo deste terceiro capítulo de dissertação foi avaliar e comparar os modelos de simulação filocrono e WE para estimar o desenvolvimento vegetativo, representado pela fase de muda, de goiabeira (*Psidium guajava* L.), pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham.) e urucuzeiro (*Bixa orellana* L.), tendo em vista a grande importância ecológica e comercial das espécies.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Protocolo experimental**

O experimento foi conduzido a campo na área experimental da Universidade Federal de Itajubá (22°24'46.43" S 45°26'48.94" O, 1.050m de altitude), Itajubá (MG), conforme protocolo experimental descrito no Capítulo I desta dissertação.

A simulação do desenvolvimento vegetativo de cada espécie foi realizada em duas etapas: a primeira foi relacionada ao ajuste dos coeficientes e a segunda a avaliação do desempenho dos dois modelos seguindo as recomendações de Erpen et al. (2013), Martins e Streck (2007), Martins et al. (2014), Monteiro et al. (2014) e Streck, Bosco e Lago (2008a). As épocas E1 a E5 foram utilizadas para estimar os coeficientes do modelo de Filocrono (a) e WE (TAF<sub>max</sub>), enquanto as épocas E6 a E12 foram utilizadas para simular e avaliar o desempenho dos dois modelos.

## 2.2. Descrição dos modelos de simulação do desenvolvimento (Filocrono e WE)

Para simular o desenvolvimento vegetativo, através das variáveis TAF e NF, foram utilizados os modelos Filocrono (Figura 3.1, A) (STRECK et al., 2008b; XUE; WEISS; BAENZIGER, 2004) e WE (Figura 3.1, B) (WANG; ENGEL, 1998).

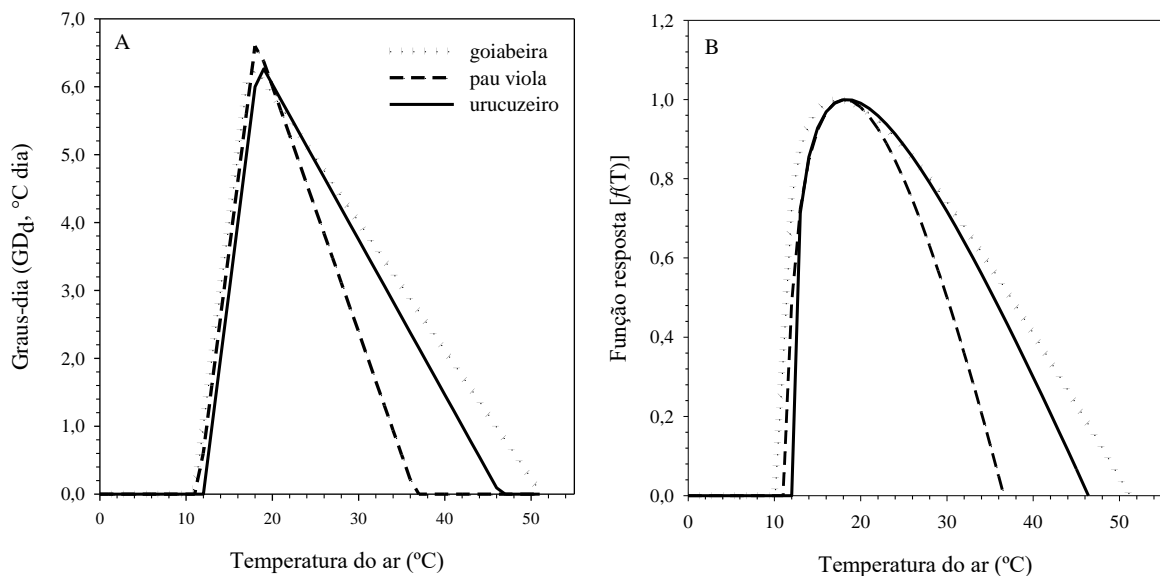


Figura 3.1. Representação gráfica do método de cálculo dos graus-dia usado no modelo do Filocrono (A) e curva da função resposta usada no modelo de Wang e Engel (B) para as três espécies arbóreas Itajubá (MG) 2016.

O filocrono foi determinado pelo inverso do coeficiente angular ( $a$ ) da regressão linear entre o NF e graus-dia acumulado (GD) a partir da data de emergência até o término da fase de muda (°C dia) (LISBOA et al., 2012; TAZZO et al., 2015; XUE; WEISS; BAENZIGER, 2004):

$$NF = a \cdot GD + b \quad (1)$$

O GD foi obtido pelo somatório dos graus-dia (GD<sub>d</sub>) considerado o melhor método descrito no Capítulo II, dado por (MARTINS et al., 2014):

$$\text{Quando } : T_b \leq T_{med} \leq Tot : GD_d = T_{med} - T_b \cdot 1 \text{ dia} \quad (2)$$

$$\text{Quando: } Tot < T_{med} \leq TB : GD_d = (Tot - T_b) \cdot \frac{(TB - T_{med})}{(TB - Tot)} \cdot 1 \text{ dia}$$

Se  $T_{med} < T_b$  então:  $T_{med} = T_b$ ; se  $T_{med} > TB$  então:  $T_{med} = TB$

em que:  $T_{med}$  = temperatura média diária do ar (°C), dada pela média aritmética das temperaturas máxima e mínima diárias do ar (°C);  $T_b$ ,  $Tot$  e  $TB$  são as temperaturas cardinais

de desenvolvimento para cada espécie (mínima, ótima e máxima, respectivamente). Os valores de  $T_b$ ,  $T_{ot}$  e  $T_B$  consideradas foram, respectivamente: 10,9°C; 17,3°C e 51,2°C para a goiabeira, 11,4°C; 18,1°C e 36,6°C para o pau viola e 12°C; 18,4°C e 46,4°C para o urucuzeiro.

Pelo modelo do filocrono, obteve-se o NF estimado através da relação (SAMBORANHA et al., 2013; STRECK et al., 2008a):

$$NF = \frac{GD}{\text{filocrono}} \quad (3)$$

O modelo de WE utiliza a função de resposta à temperatura [ $f(T)$ ] combinada com um fator multiplicativo ( $TAF_{max}$ ), dada por (WANG; ENGEL, 1998; STRECK et al., 2011; MARTINS et al., 2014):

$$TAF = TAF_{max} \cdot f(T) \quad (4)$$

em que  $TAF$  = taxa diária de aparecimento de folhas (folhas. dia<sup>-1</sup>),  $TAF_{max}$  = taxa diária máxima de aparecimento de folhas (folhas dia<sup>-1</sup>).

A  $f(T)$  é uma função beta que varia de 0 a 1, definida como (PEREIRA; CAMPELO JUNIOR; FERRONATO, 2010; WANG; ENGEL, 1998):

$$f(T) = \frac{2(T_{med} - T_b)^\alpha (T_{ot} - T_b)^\alpha - (T_{med} - T_b)^{2\alpha}}{(T_{ot} - T_b)^{2\alpha}}, \text{ quando } T_b \leq T_{med} \leq T_B \quad (5)$$

$$f(T) = 0, \text{ quando } T_{med} < T_b \text{ ou } T_{med} > T_B \quad (6)$$

em que  $\alpha$  = parâmetro da equação calculada em função das temperaturas cardinais, obtido por meio da equação:

$$\alpha = \frac{\ln 2}{\ln[(T_B - T_b)/(T_{ot} - T_b)]} \quad (7)$$

Os valores de  $T_b$ ,  $T_{ot}$  e  $T_B$  são os mesmos do modelo do Filocrono. Pelo modelo de WE obteve-se o NF estimado através do somatório dos valores de TAF diários, a partir da data de emergência (PEREIRA; CAMPELO JUNIOR; FERRONATO, 2010).

### 2.3. Estimativa dos coeficientes dos modelos Filocrono e WE

Os coeficientes ‘a’ do modelo do filocrono (equação 1) e  $TAF_{max}$  do modelo de WE (equação 4) são dependentes de cada espécie (STRECK et al., 2011).

O ‘a’ foi estimado pela média aritmética dos coeficientes angulares das regressões lineares entre NF (neste caso, adotou-se o número de folhas médio emitido na haste principal das cinco U.E de cada época de semeadura) e GD para cada época de semeadura (E1 a E5).



O  $TAF_{max}$  foi obtido por meio do procedimento *Nonlinear estimation* do software Statistica® (STATSOFT, 2008), que utiliza uma variante do método Gauss-Newton pelo método dos mínimos quadrados ordinários para estimar os parâmetros da regressão não linear entre NF acumulado em função dos valores acumulados de  $f(T)$  para cada época de semeadura (E1 a E5). O valor de  $TAF_{max}$  foi considerado aquele da regressão que apresentou o menor valor do quadrado médio do erro (QME) (MARTINS et al., 2014; MARTINS; STRECK, 2007).

#### 2.4. Avaliação do desempenho dos modelos filocrono e WE

Para avaliar o desempenho dos modelos foram testadas: normalidade e a homogeneidade da variância entre o NF observado e estimado pelos dois modelos, através do teste de Bartlett; comparação de médias entre o NF observado e estimado, pelo teste t (MARTINS; STRECK, 2007; MARTINS et al., 2014); os desvios da estimativa do NF, no qual a relação entre o quadrado médio do erro (QME) dos dois modelos, dado por:

$$\sum_{i=1}^n (NF_{est} - NF_{obs})^2 / n \quad (8)$$

( $NF_{est}$  = NF estimados e  $NF_{obs}$  = NF observados), segue a distribuição de F, ou seja,  $(QME_{Filocrono} / QME_{WE}) \cap F$ .

Outras estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho dos modelos foram: raiz do quadrado médio do erro (RQME) (MARTINS et al., 2014; STRECK et al., 2008a), BIAS (LEITE; ANDRADE, 2002; MARTINS et al., 2014), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice 'c' (ERPEN et al., 2013; MARTINS et al., 2014; WILLMOTT, 1981).

**RQME:** indica o erro médio do modelo e quanto menor o seu valor, melhor é o modelo (MARTINS et al., 2014; STRECK et al., 2008a):

$$RQME = \left[ \sum_{i=1}^n (NF_{est} - NF_{obs})^2 / n \right]^{0,5} \quad (9)$$

**BIAS:** indica a tendência dos modelos, valores positivos (negativos) indicam superestimativa (subestimativa) do NF. Quanto mais próximo de zero, menor é a tendência e melhor é o modelo (LEITE; ANDRADE, 2002; MARTINS et al., 2014):

$$BIAS = \left( \frac{\sum_{i=1}^n NF_{est} - \sum_{i=1}^n NF_{obs}}{\sum_{i=1}^n NF_{obs}} \right) \quad (10)$$

**r:** quantifica o grau de associação entre duas ou mais variáveis. Quanto mais próximo de 1 (positivo ou negativo) maior é a relação entre o NF simulados e NF observados e melhor o modelo (MARTINS et al., 2014).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (NF_{obs} - \overline{NF_{obs}})(NF_{est} - \overline{NF_{est}})}{\left\{ \left[ \sum_{i=1}^n (NF_{obs} - \overline{NF_{obs}})^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n (NF_{est} - \overline{NF_{est}})^2 \right] \right\}^{0,5}} \quad (11)$$

**d:** indica a exatidão do modelo, ou seja, o quanto os valores simulados estão livres de erro, variando de 0 (sem nenhuma concordância) a 1 (maior a concordância entre NF observados e NF simulados) (MARTINS et al., 2014; WILLMOTT, 1981):

$$d = 1 - \left\{ \left[ \sum_{i=1}^n (NF_{est} - NF_{obs})^2 \right] / \left[ \sum_{i=1}^n \left( (NF_{est} - \overline{NF_{obs}}) (NF_{obs} - \overline{NF_{obs}}) \right)^2 \right] \right\} \quad (12)$$

**Índice c:** indica o desempenho do modelo, conforme parâmetros propostos por Camargo e Sentelhas (1997):  $c > 0,85$  = ótimo;  $0,76 \leq c \leq 0,85$  = muito bom;  $0,66 \leq c \leq 0,75$  = bom;  $0,61 \leq c \leq 0,65$  = moderado;  $0,51 \leq c \leq 0,60$  = fraco;  $0,41 \leq c \leq 0,50$  = muito fraco;  $c \leq 0,40$  = péssimo.

$$c = r \cdot d \quad (13)$$

em que  $NF_{est}$  = número de folhas simulado pelos modelos (Filocrono e WE),  $NF_{obs}$  = número de folhas observado,  $n$  = números de observações,  $\overline{NF_{obs}}$  = média do NF observados e  $\overline{NF_{est}}$  = média do NF simulados pelos modelos (Filocrono e WE).

## 2.5. Comparação do desempenho dos modelos filocrono e WE

A comparação e a escolha do melhor modelo se baseou no valor ponderado (Vp) de seus escores estatísticos (MARTINS et al., 2014; MARTINS; STRECK, 2007). Pelo Vp são atribuídos pesos para cada indicador estatístico (1 ou 2), onde o melhor e pior modelo recebem o peso 1 e 2, respectivamente. O somatório dos pesos atribuídos constitui o Vp e, quanto menor o seu valor, melhor é o modelo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as doze épocas de semeadura ocorreram grandes variações de temperatura do ar (Tabela 3.1). O mês mais frio foi julho de 2016 (2,3°C) que englobou as E10, E11 e E12 e o mês mais quente foi outubro de 2015 (35,7°C) que englobou as E1, E2, E3, E4 e E5. Essas variações influenciaram na velocidade de emissão de folhas das plantas, na duração das épocas de semeadura e são importantes na estimativa dos coeficientes e na avaliação do

desempenho dos modelos na simulação da TAF e NF (ERPEN et al., 2013; MARTINS et al., 2014).

Dentre as doze épocas de instalação do experimento, a goiabeira teve maior velocidade de emissão de folhas e menor duração da fase de muda durante E7, o pau viola durante a E9 e o urucuzeiro durante a E8. Nas três espécies, isso ocorreu devido ao maior número de dias (61, 35 e 52 dias) com temperaturas próximas da temperatura ótima das espécies ( $T_b=17,3^{\circ}\text{C}$  para a goiabeira,  $18,1^{\circ}\text{C}$  para o pau viola e  $18,4^{\circ}\text{C}$  para o urucuzeiro). A menor velocidade de emissão de folhas das três espécies ocorreu durante a E1, quando as temperaturas do ar estavam mais amenas. Mesmo assim, o urucuzeiro emitiu folhas mais lentamente que a goiabeira e o pau viola em todas as épocas.

Tabela 3.1 – Duração e caracterização da temperatura do ar durante a condução do experimento a campo para goiabeira, pau viola e urucuzeiro. Itajubá (MG), 2015/2016.

Épocas	goiabeira			pau viola			urucuzeiro					
	Duração*	Temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ )**			Duração*	Temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ )**			Duração*	Temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ )**		
		$T_{\text{med}}$	$T_{\text{max}}$	$T_{\text{min}}$		$T_{\text{med}}$	$T_{\text{max}}$	$T_{\text{min}}$		$T_{\text{med}}$	$T_{\text{max}}$	$T_{\text{min}}$
<b>E1</b>	192	20,4	27,6	15	162	19,8	27,1	14	209	20,5	27,6	15,2
<b>E2</b>	167	21,2	28,3	15,8	148	20,9	28,2	15,2	197	21,2	28,2	16
<b>E3</b>	176	21,9	28,8	16,7	141	21,7	28,9	16,2	184	21,7	28,7	16,4
<b>E4</b>	135	22,6	29,1	17,7	120	22,5	29,3	17,5	170	22,5	29,3	17,5
<b>E5</b>	162	23	29,4	18,3	115	23	29,4	18,3	153	23	29,4	18,3
<b>E6</b>	141	23	29,3	18,2	119	22,9	29,1	18,6	172	22,9	29,4	18,1
<b>E7</b>	126	22,6	29	18	122	22,6	29	17,9	168	22,2	28,9	17,3
<b>E8</b>	135	22	28,7	16,9	130	22	28,7	16,8	144	21,8	28,5	16,8
<b>E9</b>	143	20,1	27,2	14,7	103	21,4	28,3	16,1	198	19,3	27	13,5
<b>E10</b>	144	18,6	26,2	12,8	140	18,6	26,3	12,7	189	18,6	26,5	12,6
<b>E11</b>	149	17,6	25,9	11,3	134	17,7	25,8	11,4	176	18,1	26,4	11,6
<b>E12</b>	154	17,2	25,7	10,6	141	17,3	25,7	10,6	157	17,5	26	10,9

\* período que se estende desde a data da emergência, considerada o dia em que 50% das plântulas estavam visíveis acima do solo, e término da fase de muda, considerada o dia em que as plantas de cada época atingiram, em média, 20 folhas emitidas na haste principal. \*\* Valores obtidos pelas médias aritméticas da temperatura média, máxima e mínima do ar.

O valor do coeficiente ‘a’ do modelo de Filocrono foi de  $0,0232$  (Filocrono =  $43,10^{\circ}\text{C}$  dia por folha) para a goiabeira,  $0,030$  (Filocrono =  $33,33^{\circ}\text{C}$  dia por folha) para o pau viola e  $0,0203$  para o urucuzeiro (Filocrono =  $49,26^{\circ}\text{C}$  dia por folha). O coeficiente “ $\text{TAF}_{\text{max}}$ ” do modelo de WE foi de  $0,1086$  folhas  $\text{dia}^{-1}$  para a goiabeira,  $0,1867$  folhas  $\text{dia}^{-1}$  para a goiabeira e  $0,1125$  folhas  $\text{dia}^{-1}$  para o urucuzeiro, sendo os coeficientes estimados através das cinco primeiras épocas de semeadura (E1 a E5).

Pelo teste t, aplicado para comparar a média entre o NF observado com as médias do NF simulados pelos dois modelos, observa-se de maneira geral que para as três espécies os

valores de NF observados foram distintos ao NF simulados pelos dois modelos (Tabela 3.2). A média do NF observado foi semelhante ao simulado em algumas épocas de goiabeira nos modelos filocrono (E6, E11 e E12) e WE (E12), de pau viola no modelo WE (E6, E8 e E11) e de urucuzeiro no modelo filocrono (E8 e E11). Para a goiabeira a média do NF simulado pelos dois modelos foi sempre menor quando comparado ao NF observado. Para o pau viola e urucuzeiro a média do NF simulado pelo modelo do filocrono foi sempre superior a média do NF observado, exceto para a E11 e E12 (urucuzeiro). Além disso, a média do NF simulado pelo modelo do filocrono foi superior, na maioria dos casos, à média do NF simulado pelo modelo de WE. No entanto, a diferença média entre NF observado e simulado por ambos modelos foi pequena. Considerando o modelo do filocrono foi de 6,6% para a goiabeira, 17,5% para o pau viola e de 5,4% para o urucuzeiro, enquanto pelo modelo de WE foi de 22,1% para a goiabeira, 0,2% para o pau viola e de 12% para o urucuzeiro, o que não inviabiliza a simulação da TAF e do NF pelos modelos do filocrono e WE.

Tabela 3.2 – Média, desvio padrão e quadrado médio do erro (QME) referente ao número de folhas observado, consideradas na avaliação do desempenho dos modelos filocrono (FIL) e Wang e Engel (WE) para a simulação da emissão de folhas em goiabeira, pau viola e urucuzeiro. Itajubá (MG), 2015/2016.

Época de semeadura	OBS	Média		Desvio Padrão			QME		F
		FIL	WE	OBS	FIL	WE	FIL	WE	
<b>Goiabeira</b>									
<b>E6</b>	9,94	10,09 <sup>ns</sup>	8,2 *	4,92	4,62 <sup>ns</sup>	3,74 <sup>ns</sup>	0,36	4,57	<sup>ns</sup>
<b>E7</b>	9,68	8,62 *	7,17 *	5,59	4,4 <sup>ns</sup>	3,66 <sup>ns</sup>	2,63	9,98	<sup>ns</sup>
<b>E8</b>	10,68	9,39 *	7,79 *	5,62	4,7 <sup>ns</sup>	3,89 <sup>ns</sup>	2,61	11,36	<sup>ns</sup>
<b>E9</b>	11,55	9,97 *	8,25 *	6,07	5,02 <sup>ns</sup>	4,14 <sup>ns</sup>	3,78	14,62	<sup>ns</sup>
<b>E10</b>	12,32	10,53 *	8,75 *	5,92	4,44 <sup>ns</sup>	3,8 <sup>ns</sup>	5,64	17,41	<sup>ns</sup>
<b>E11</b>	10,25	10,02 <sup>ns</sup>	8,47 *	4,94	4,79 <sup>ns</sup>	4,19 <sup>ns</sup>	0,76	4,38	<sup>ns</sup>
<b>E12</b>	10,02	10,89 <sup>ns</sup>	9,36 <sup>ns</sup>	5,34	4,18 <sup>ns</sup>	3,62 <sup>ns</sup>	2,25	3,55	<sup>ns</sup>
<b>pau viola</b>									
<b>E6</b>	10,16	12,88 *	9,94 <sup>ns</sup>	5,25	8,02 <sup>ns</sup>	6,16 <sup>ns</sup>	16,04	1,86	*
<b>E7</b>	11,54	14,12 *	10,83 *	5,02	7,68 <sup>ns</sup>	5,88 <sup>ns</sup>	14,10	1,78	*
<b>E8</b>	11,18	15,25 *	11,71 <sup>ns</sup>	5,33	8,16 <sup>ns</sup>	6,31 <sup>ns</sup>	25,08	1,92	*
<b>E9</b>	10,85	11,69 *	9,03 *	5,92	6,98 <sup>ns</sup>	5,46 <sup>ns</sup>	2,35	3,99	<sup>ns</sup>
<b>E10</b>	13,37	14,7 *	12,53 *	6,10	7,39 <sup>ns</sup>	7,06 <sup>ns</sup>	3,82	3,23	<sup>ns</sup>
<b>E11</b>	11,86	12,86 *	12,13 <sup>ns</sup>	5,17	5,98 <sup>ns</sup>	6,64 <sup>ns</sup>	2,32	3,78	<sup>ns</sup>
<b>E12</b>	10,68	12,12 *	13,3 *	5,96	5,82 <sup>ns</sup>	6,7 <sup>ns</sup>	2,64	8,40	<sup>ns</sup>
<b>Urucuzeiro</b>									
<b>E6</b>	10,48	12,4 *	9,54 *	5,64	6,81 <sup>ns</sup>	5,22 <sup>ns</sup>	5,25	1,22	*
<b>E7</b>	10,5	11,94 *	9,32 *	5,47	6,84 <sup>ns</sup>	5,34 <sup>ns</sup>	4,32	1,76	*
<b>E8</b>	10,15	10,16 <sup>ns</sup>	7,91 *	5,92	5,98 <sup>ns</sup>	4,68 <sup>ns</sup>	0,16	6,59	<sup>ns</sup>
<b>E9</b>	12,08	12,99 *	10,72 *	5,76	6,59 <sup>ns</sup>	5,78 <sup>ns</sup>	1,77	2,53	<sup>ns</sup>
<b>E10</b>	11,37	12,8 *	10,78 *	4,96	5,33 <sup>ns</sup>	4,98 <sup>ns</sup>	2,31	0,46	*
<b>E11</b>	10,81	10,68 <sup>ns</sup>	9,54 *	5,47	4,78 <sup>ns</sup>	4,67 <sup>ns</sup>	0,64	2,3	<sup>ns</sup>
<b>E12</b>	10,07	8,57 *	8,63 *	5,63	4,36 <sup>ns</sup>	4,3 <sup>ns</sup>	3,87	3,87	<sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> = não significativo; \* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste t, que compara a média observada com cada média estimada; pelo teste de Bartlett, que compara a variância observada com a estimada; e pelo teste F, que compara o QME dos dois modelos testados.

O teste de Bartlett mostrou que a variância (representada pelo desvio padrão na Tabela 3.2) entre NF observado e NF simulado pelos dois modelos não foi significativa para as três espécies (Tabela 3.2), indicando que os valores seguiram os pressupostos da normalidade e homogeneidade, o que é desejável do ponto de vista biológico e estatístico, pois os dados simulados pelos modelos possui variância constante (MARTINS; STRECK, 2007; MARTINS et al., 2014).

Os desvios da estimativa do NF pelos dois modelos foram testados assumindo-se que o QME segue a distribuição de F. Os resultados indicam que na maioria das épocas para o pau viola, houve um melhor resultado do modelo de WE em relação ao modelo filocrono, enquanto que para o urucuzeiro o desempenho dos modelos foi dependente da época de semeadura, sendo que o modelo do filocrono foi ligeiramente superior ao WE, com valores de QME menores. Além disso, não houve diferença estatística entre os desvios dos dois modelos para a goiabeira (Tabela 3.2).

As estatísticas aplicadas aos modelos (Tabela 3.3) confirmam que para a goiabeira houve um melhor desempenho do modelo filocrono ( $V_p$  médio de 6,28) em relação ao WE ( $V_p$  médio de 8,43) em todas as épocas de semeadura utilizadas na avaliação dos modelos (E6 a E12). Pela análise visual entre o NF observado versus NF simulado para a goiabeira (Figura 3.2, A1) verifica-se que o modelo do filocrono estimou melhor o NF, porém com pequena subestimativa do NF na região  $>15$ , principalmente na E10. Analisando isoladamente a estatística  $c$ , verifica-se que o modelo do filocrono apresentou ótimo desempenho ( $c \geq 0,946$ ), segundo os critérios de Camargo e Sentelhas (1997), na simulação do desenvolvimento da goiabeira.

Para o pau viola houve melhor desempenho do modelo WE para a maioria das épocas E6 ( $V_p=6$ ), E7 ( $V_p=5$ ), E8 ( $V_p=6$ ), E10 ( $V_p=6$ ) e desempenho semelhante ao modelo do filocrono na E9. Exceto nas E11 e E12, o modelo de WE apresentou menores valores de RQME e BIAS, e maiores valores de  $r$ ,  $d$ ,  $c$  quando comparado ao modelo do filocrono (Tabela 3.3). De maneira geral, o modelo de WE foi ótimo em simular o NF para o pau viola, com valores de  $c \geq 0,934$ . Já para o urucuzeiro, ambos os modelos foram semelhantes em simular o NF e dependentes da época de semeadura. O modelo do filocrono foi ligeiramente superior nas E8, E9 enquanto o modelo de WE foi superior nas E6, E7 e E10. Os valores de RQME, BIAS,  $r$ ,  $d$ ,  $c$  das E11 e E12 para o urucuzeiro, foram semelhantes entre os modelos. No entanto, de maneira geral, apesar da boa simulação do modelo de WE, nota-se que ele

subestima o NF, com valores de BIAS negativos, em todas as épocas de semeadura (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Valores das estatísticas utilizadas para avaliação dos modelos do filocrono (FIL) e de Wang e Engel (WE) para a estimativa do aparecimento de folhas das espécies goiabeira, pau viola e urucuzeiro nas épocas de E6 a E12. Itajubá (MG) 2015/2016.

<b>Época/Modelo</b>														
<b>Estatística</b>	<b>E6</b>		<b>E7</b>		<b>E8</b>		<b>E9</b>		<b>E10</b>		<b>E11</b>		<b>E12</b>	
	<b>FIL</b>	<b>WE</b>	<b>FIL</b>	<b>WE</b>	<b>FIL</b>	<b>WE</b>	<b>FIL</b>	<b>WE</b>	<b>FIL</b>	<b>WE</b>	<b>FIL</b>	<b>WE</b>	<b>FIL</b>	<b>WE</b>
<b>Goiabeira</b>														
<b>RQME</b>	0,5995	2,1374	1,6223	3,1595	1,6163	3,3703	1,9433	3,8241	2,3739	4,1729	0,8735	2,0926	1,5002	1,8837
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<b>BIAS</b>	0,0145	-0,1757	-0,1101	-0,2595	-0,1207	-0,271	-0,1362	-0,2857	-0,1455	-0,2901	-0,0222	-0,1739	0,0867	-0,066
	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
<b>r</b>	0,9941	0,9941	0,9963	0,9962	0,9971	0,9971	0,9956	0,9959	0,9927	0,991	0,9846	0,9994	0,9947	0,9916
	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2
<b>d</b>	0,9958	0,9382	0,9723	0,8863	0,9746	0,8819	0,9684	0,8707	0,9461	0,8361	0,9915	0,9464	0,9738	0,9531
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<b>c</b>	0,99	0,9327	0,9687	0,8829	0,9716	0,8793	0,9640	0,8671	0,9391	0,8285	0,9761	0,9458	0,9686	0,9450
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<b>Vp</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>9</b>
<b>pau viola</b>														
<b>RQME</b>	4,0055	1,3644	3,7553	1,3355	5,0084	1,3865	1,5333	1,9963	1,9554	1,7974	1,5247	1,9443	1,6251	2,8986
	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2
<b>BIAS</b>	0,2685	-0,0212	0,2239	-0,0616	0,3643	0,0479	0,0769	-0,1681	0,0993	-0,0626	0,0847	0,0232	0,1345	0,2448
	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2
<b>r</b>	0,9831	0,9832	0,9895	0,9895	0,9888	0,9887	0,9922	0,9924	0,9946	0,9799	0,9881	0,9746	0,9915	0,9862
	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
<b>d</b>	0,9074	0,9847	0,9107	0,9841	0,868	0,9849	0,9849	0,9678	0,9781	0,9812	0,9803	0,9711	0,9801	0,9472
	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2
<b>c</b>	0,892	0,9681	0,9012	0,9737	0,8583	0,9738	0,9772	0,9605	0,9728	0,9615	0,9686	0,9464	0,9718	0,9341
	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2
<b>Vp</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>10</b>

Continuação

Estatística	Época/Modelo													
	E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12	
	FIL	WE	FIL	WE	FIL	WE	FIL	WE	FIL	WE	FIL	WE	FIL	WE
<b>Urucuzeiro</b>														
<b>RQME</b>	2,2907	1,1067	2,0792	1,3276	0,3991	2,5662	1,3294	1,5898	1,5213	0,6754	0,7969	1,5169	1,9663	1,9675
	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	1	2
<b>BIAS</b>	0,1838	-0,0895	0,137	-0,1131	0,0008	-0,2211	0,0755	-0,113	0,1259	-0,0517	-0,0116	-0,1178	-0,1489	-0,1428
	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2
<b>r</b>	0,9968	0,9968	0,9936	0,994	0,9977	0,9981	0,9963	0,9897	0,9973	0,9977	0,9968	0,9987	0,9983	0,9975
	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2
<b>d</b>	0,9656	0,9892	0,9706	0,9844	0,9988	0,9413	0,988	0,9806	0,9777	0,9952	0,993682	0,977	0,9603	0,9597
	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	1	2
<b>c</b>	0,9625	0,9861	0,9644	0,9785	0,9965	0,9395	0,9843	0,9704	0,975	0,9929	0,9905	0,9757	0,9587	0,9572
	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	1	2
<b>Vp</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>10</b>

Os valores 1 ou 2 atribuídos abaixo de cada estatística referem-se aos valores dos escores estatísticos ponderados (Vp). Vp= 1 é atribuído ao melhor modelo em cada indicador estatístico e Vp=2 é atribuído para o pior modelo; RQME: raiz quadrada do quadrado médio do erro; BIAS: índice de tendência; r: coeficiente de correlação; d: índice de concordância; c: índice de desempenho.



A análise visual do NF simulado pelos modelos versus observado (Figura 3.2) corrobora com os resultados apresentados na Tabela 3.3. Nota-se que o modelo filocrono simulou melhor o NF para a goiabeira (Figura 3.2, A1), enquanto o modelo WE simulou melhor o NF para pau viola (Figura 3.2, D2). Para a goiabeira, o valor de RQME global do modelo do filocrono foi de 1,5 folhas, com pequena subestimativa na região de  $NF > 15$  na E10, e de 2,95 folhas para o modelo de WE, com a maioria dos dados de NF sendo subestimados (Figura 3.2, B1). Isso indica que o modelo filocrono erra globalmente menos que o modelo WE e, portanto, deve ser dada preferência ao modelo do filocrono em simular o NF para a goiabeira. Na E10, instalada em fevereiro de 2016, ocorreu uma combinação de condições de temperatura do ar elevada e precipitação acima da média, as quais podem ter aumentado a velocidade de emissão de folhas não sendo captadas pelos modelos de simulação, gerando subestimativa do NF. Esse tipo de comportamento também foi verificado por Erpen et al. (2013) para a simulação do desenvolvimento de batata-doce, e pode ser explicado em função da maior disponibilidade de água no solo associada a condições de temperatura elevada, as quais aumentam a condutância estomática e transpiração. Ou seja, há maior fluxo de saída de água e de entrada de  $CO_2$ , que é substrato primário para a realização da fotossíntese, e produção de carboidratos que são utilizados para do desenvolvimento da planta (SOLTANI; SINCLAIR, 2012) e emissão de folhas. Já para o pau viola o valor de RQME global para o WE foi de 1,82, com NF simulado próximo a reta 1:1 em todas as épocas, e de 2,77 folhas para o modelo do filocrono, com a maioria dos dados de NF sendo superestimados (Figura 3.2, C1).

Por outro lado no caso do urucuzeiro, houve dúvida na escolha do melhor modelo devido ao desempenho dos modelos serem semelhantes entre si e dependentes da época de semeadura (Tabela 3.3). Os valores de RQME global também foram próximos, sendo de 1,48 folhas para o modelo do filocrono e de 1,54 folhas para o modelo de WE (Figura 3.2, E3 e F3). Observa-se que, apesar do modelo do filocrono apresentar pequena superestimativa do NF na E6 e subestimativa na E11 e E12, ele se aproxima mais da linha 1:1 (Figura 3.2, E3) e erra globalmente menos que o modelo de WE (diferença em torno de 5,4% para o modelo do filocrono e 12% para o modelo de WE). Além disso, o modelo de WE subestima o NF em todas as épocas de semeadura. No caso das E11 e E12, instaladas respectivamente em abril e maio de 2016, houve uma alternância entre dias com temperatura do ar amenas e próximas a  $12^\circ C$  (Tb do urucuzeiro), principalmente entre o período de junho a agosto de 2016, e dias com temperatura do ar próximas a Tot do urucuzeiro ( $18,4^\circ C$ ), que ocorreram principalmente

entre julho e setembro de 2016. Isso pode ter influenciado a sensibilidade do modelo em estimar o NF, gerando uma subestimativa do NF para ambas as épocas e modelos (Figura 3.2, E3 e F3). Essa situação foi semelhante a encontrada para oliveira c.v ‘Arbequina’(MARTINS et al., 2014) e demonstra que a subestimativa ocorrida nas E11 e E12 em ambos os modelos foi maior para a goiabeira e urucuzeiro e praticamente inexistente para o pau viola. Isso deve ter ocorrido devido a maior duração da fase de muda para a goiabeira (em torno de 152 dias) e urucuzeiro (em torno de 167 dias) e conseqüentemente maior número de dias em que as plantas ficaram submetidas a oscilações de temperatura do ar.

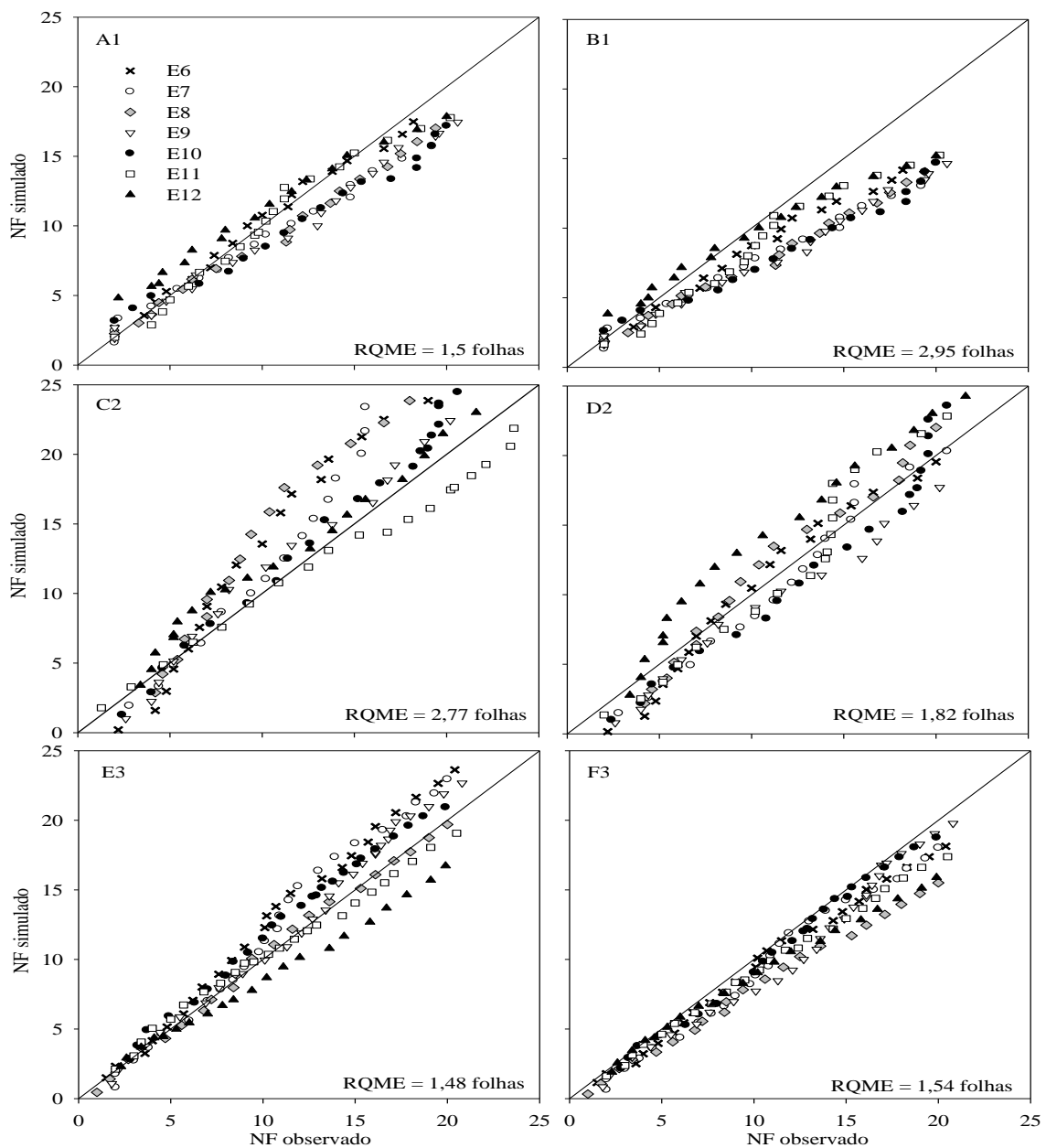


Figura 3.2 – Número de folhas simulado versus observado pelos modelos do filocrono (A1, C2 e E3) e Wang e Engel (B1, D2 e F3) para goiabeira (A1 E B1), pau viola (C2 E D2) e urucuzeiro (E3 E F3). Itajubá (MG), 2015/2016.

Salienta-se que a maioria dos modelos de desenvolvimento apresentam erros, principalmente quando há um pequeno NF (MARTINS; STRECK, 2007; STRECK et al., 2007), já que não há tendência de comportamento bem definida no início do desenvolvimento vegetal (SOLTANI; SINCLAIR, 2012). Essa tendência foi levemente observada no modelo de WE para o pau viola (NF<5) (Figura 3.2, D2) e urucuzeiro (NF<5) (Figura 3.2, F3). No entanto, houve maior dificuldade em simular o NF na fase final de muda (NF>15) para as três espécies arbóreas. Mesmo com essa dificuldade em captar o comportamento no final do desenvolvimento vegetativo, a RQME global foi inferior a 3,0 folhas para as três espécies e para os dois modelos. No sentido prático, um erro de três a cinco folhas pode ser considerado baixo e aceitável (STRECK et al., 2007; MARTINS et al., 2014), principalmente em mudas de espécies arbóreas, as quais costumam ter suas folhas emitidas aos pares, semanalmente). No caso do urucuzeiro, as observações de campo indicaram que cada folha é emitida uma vez por semana. Nesse sentido, os melhores modelos de simulação do NF para goiabeira (RQME=1,5 folha), pau viola (RQME=1,82 folhas) e urucuzeiro (RQME=1,48 folhas) erram menos que 7 dias considerando o calendário civil. Esse erro não causa nenhum impacto na simulação ou predição de outros processos baseados no número de folhas, inclusive na determinação do término da fase de muda e da época de plantio da muda no campo (MARTINS et al., 2014).

Diante dos resultados, sugere-se a escolha do modelo filocrono para a simulação do desenvolvimento vegetativo, representado pelas variáveis TAF e NF, em goiabeira e urucuzeiro, e do modelo WE em pau viola. Vários fatores contribuem para a escolha de um modelo, entre eles estão a simplicidade, a facilidade de obtenção dos dados de entrada e a definição operacional e o significado biológico dos coeficientes (STRECK et al., 2011). Ambos os modelos possuem essas vantagens e são considerados fáceis de serem implementados (ERPEN et al., 2013).

Mesmo que os modelos de desenvolvimento não lineares, como o WE, sejam preferidos por descreverem de forma mais realística o desenvolvimento das plantas (ERPEN et al., 2014; SAMBORANHA et al., 2013), além de serem aplicados em condições de grande variação de temperatura (XUE; WEISS; BAENZIGER, 2004), o modelo filocrono mostrou desempenho satisfatório na estimativa da emissão de folhas da goiabeira e do urucuzeiro. Resultados semelhantes foram encontrados por Martins et al. (2014) na simulação do desenvolvimento foliar para cultivar de oliveira ‘MGS ASC315’, Monteiro et al. (2014) em mudas de olho de pavão (*Adenantha pavonina* L.), canafístula (*Cassia fistula* L.), angelim

pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke) e angelim saia (*Parkia pendula* Willd.) em condições de sombra e pleno sol, Erpen et al. (2013) para o desenvolvimento vegetativo de batata-doce e Streck et al. (2008a) para o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo de cultivares de arroz. As principais vantagens do modelo do filocrono se devem ao pequeno número de coeficientes, simplicidade e facilidade de aplicação (XUE; WEISS; BAENZIGER, 2004; MARTINS et al., 2014; ROSA et al., 2009).

No entanto, a principal desvantagem do modelo do filocrono é a não linearidade do desenvolvimento nas regiões próximas as temperaturas cardinais, principalmente próximo a Tot (MARTINS; STRECK, 2007; ERPEN et al., 2013). A não linearidade só é captada por funções não lineares de temperatura, como a função beta usada no modelo de WE, constituindo na principal vantagem deste modelo em relação ao filocrono (MARTINS et al., 2014). Além disso, somente no modelo de WE é possível combinar os efeitos do ambiente, como o fotoperíodo, de forma multiplicativa (STRECK, 2003). Assim, o modelo de WE pode ser uma alternativa ao modelo do filocrono em situações em que este não funcione (ERPEN et al., 2013) ou em espécies que não é o modelo mais indicado, como o ocorrido em pau viola. Estudos realizados em arroz (STRECK et al., 2011), espécies de eucalipto (MARTINS; STRECK, 2007), milho (STRECK et al., 2008b), mandioca (SAMBORANHA et al., 2013) e algodoeiro (PEREIRA; CAMPELO JUNIOR; FERRONATO, 2010) demonstraram melhor desempenho do modelo WE comparado ao filocrono.

Cabe ressaltar que as espécies deste estudo são responsivas ao fotoperíodo na fase de muda (Capítulo II). Dessa forma, sugere-se que em estudos futuros seja incluída no modelo de WE a função de fotoperíodo  $[f(P)]$  para melhor avaliação de seu desempenho na simulação da TAF e do NF no desenvolvimento vegetativo de goiabeira, pau viola e urucuzeiro.

## 4. CONCLUSÕES

Houve diferença entre o desempenho dos modelos do filocrono e Wang e Engel em simular o desenvolvimento vegetativo referente a fase de muda para as três espécies arbóreas. O modelo do filocrono proporcionou simulação coerente do desenvolvimento vegetativo para a goiabeira e o urucuzeiro, e o modelo de Wang e Engel para o pau viola.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, W. A. N.; ANTIQUEIRA, L. M. O. R.; HORBACH, M. A. Frutificação e ecologia da germinação de *Citharexylum myrianthum* Cham (Verbenaceae). **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 4, n. 3, p. 207-215, 2013.

- CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- COCCO, SCHMIDT D.; CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; FONTANA, D. C.; PAULA, G. M. Estimated phyllochron in low tunnel cultivated strawberry cultivars. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.9, p.1546-1552, 2016.
- DALMAGO, G. A.; FOCHESSATTO, E.; KOVALESKI, S.; TAZZO, I. F.; BOLIS, L. M.; CUNHA, G. R. da.; NIED, A. H.; BERGAMASCHI, H.; SANTI, A. Filocrono e número de folhas da canola em diferentes condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.6, p.573-581, 2013.
- ERPEN, L.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; LANGNER, J. A.; WINCK, J. E. M.; GABRIEL, L. F. Estimativa das temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento vegetativo em batata-doce. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 11, p. 1230-1238, 2013.
- FAGUNDES, L. K., STRECK, N. A., LOPES, S. J., ROSA, H. T., WALTER, L. C.; ZANON, A. J. Vegetative development on different stems of cassava as a function of planting date. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 657-663, 2009.
- FERREIRA, R. L.; NOVENBRE, A. D. L. C. Teste de germinação de sementes de urucum (*Bixa Orellana* L.). **Multi-Science Journal**, Urutaí, v. 1, n. 3, p. 46-52, 2015..
- LANGNER, J. A.; STRECK, N. A.; DALMAGO, G. A.; REINIGER, R. L. S.; DURIGON, A.; DA SILVA, S. D.; LAGO, I.; SCHEFFEL, L. G.; POERSCH, A. H. Estimating the development of landrace and improved maize cultivars as a function of air temperature. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.10, p.1737-1742, 2016.
- LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. de. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.3, p.321-328, 2002.
- LISBOA, P. M. M.; MARTINS, F. B.; ALVARENGA, M. I. N.; NETO, J. V.; REIS, D. F. Desenvolvimento vegetativo de duas cultivares de oliveira na fase de muda. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.9, p.1556-1562, 2012.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 6. ed. v. 1. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014. 384 p.
- MALDANER, I. C; GUSE, F. I; STRECK, N. A; HELDWEIN, A. B; LUCAS, D. D. P; LOOSE, H. Filocrono, área foliar e produtividade de frutos de berinjela conduzidas com uma e duas hastes por planta em estufa plástica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p.671-677, 2009.
- MANTAI, R. D.; SILVA, J. A. G. da; MAROLLI, A.; MAMANN, A. T. W. de; SAWICKI, S. KRÜGER, C. A. M. B. Simulation of oat development cycle by photoperiod and temperature. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n.1, p.3-8, 2017.
- MARTINS, F. B.; PEREIRA, R. A. A.; PINHEIRO, M. V. M.; ABREU, M. C. Desenvolvimento foliar em duas cultivares de oliveira estimado por duas categorias de modelos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 505 - 514, 2014.
- MARTINS, J. D.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; KNIES, A. E.; OLIVEIRA, Z. B.; BROETTO, T. Estimativa do filocrono em milho para híbridos com diferentes ciclos de

desenvolvimento vegetativo. milho para híbridos com diferentes ciclos de desenvolvimento vegetativo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.5, p.777-783, 2012.

MARTINS, F. B.; STRECK, N. A. Aparecimento de folhas em mudas de eucalipto estimado por dois modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1091-1100, 2007.

MONTEIRO, E. B.; DA SILVA, C. C.; DA SILVA, A. C.; SOUZA, A. P. de. Estimating emission of leaves seedings Forest in different shading levels, at conditions of transition Amazon-Cerrado, Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n.15, p. 2330-2341, 2014.

PEREIRA, F. M. KAVATI, R. contribuição da pesquisa científica brasileira no desenvolvimento de algumas frutíferas de clima subtropical. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33. n. 1, p. 92-108, 2011.

PEREIRA, L. C. CAMPELO JUNIOR, J. H.; FERRONATO, A. Comparação de métodos para estimativa do plastocrono em algodoeiro em condições tropicais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 213-220, 2010.

RAWAL, D. S.; KASEL, S.; KEATLEY, M. R.; APONTE, C.; NITSCHKE, C. R. Environmental effects on growth phenology of co-occurring Eucalyptus species. **International Journal of Biometeorology [s.l.]**, v. 58, n. 4, p. 427-442, 2014.

ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.11, p.1374-1382, 2009.

ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ANDRIOLO, J. L.; SILVA, M. R.; LANGR, J. A. Base temperature for leaf appearance and phyllochron of selected strawberry cultivars in a subtropical environment. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 939-945, 2011.

SAMBORANHA, F. K.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; GABRIEL, L. F. Modelagem matemática do desenvolvimento foliar em mandioca. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 815-824, 2013.

SETIYONO, T.D; WEISS, A. SPECHT, A.; BASTIDAS, A. M.; CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, A. Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions. **Field crops research**, [s.l.], v.100, p.257-271, 2007.

SOLTANI, A.; SINCLAIR, T. R. **Modeling Physiology of crop development, growth and yield**. Oxfordshire: CAB Internacional, 2012, 322 p.

STATSOFT, INC. **Statistica for windows (data analysis softwares system)** version 8.0. 2008.

STRECK, N. A. A generalized nonlinear temperature response function for some growth and developmental parameters in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* (A. Chev.) C. F. Liang & A. R. Ferguson). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p. 255-262, 2003.

STRECK, N. A.; LAGO, I.; PAULA, F. L. M. de; BISOGNIN, D. A.; HELDWEIN, A. B. Improving predictions of leaf appearance in field grown potato. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.64, n.1, p.12-18, 2007.

STRECK, N. A.; BELLÉ, R. A.; ROCHA, E. K. da; SCHUH, M. Estimating leaf appearance and phyllochron in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p.1448-1450, 2005a.

- STRECK, N. A.; TIBOLA, T.; LAGO, I.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; SCHNEIDER, F. M.; ZAGO, V. Estimativa do plastocrono em meloeiro (*Cucumis melo*L.) cultivado em estufa plástica em diferentes épocas do ano. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n.2, p.1275-1280, 2005b.
- STRECK, N. A.; BOSCO, L. C.; LAGO, I. Simulating leaf appearance in rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 03, p. 490-501, 2008a.
- STRECK, N. A.; GABRIEL, L. F.; SAMBORANHA, F. K.; LAGO, I.; SCHWANTES, A. P.; SCHONS, A. Comparing two versions of a non-linear model for simulating leaf number and developmental stages in maize based on air temperature. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 642-648, 2009.
- STRECK, N. A.; LAGO, I.; GABRIEL, L. F.; SAMBORANHA, F. K. Simulating maize phenology as a function of air temperature with a linear and a nonlinear model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 449-455, 2008b.
- STRECK, N. A.; LAGO, I.; OLIVEIRA, F. B.; HELDWEIN, A. B.; DE AVILA, L. A.; BOSCO, L. C. Modeling the Development of Cultivated Rice and Weedy Red Rice. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St. Joseph, Michigan, v. 54, n.1, p.371-384, 2011.
- TAZZO, I. F.; FAGHERAZZI, A. F., LERIN, S.; KRETZSCHMAR, A. A.; RUFATO, L. Heat requirement of two selections and four strawberry cultivars grown in the catarinense plateau. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 3, p. 550-558, 2015.
- WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v.58, n.1, p.1-24, 1998.
- WILLMOTT, C.J. On the validation models. **Physical Geography**, [s.l.], v.2, n.1, p.184-194, 1981.
- XUE, Q.; WEISS, A.; BAENZIGER, P. S. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.175, n.3, p.261-270, 2004.

## 2. DISCUSSÃO GERAL

Os resultados inéditos deste estudo forneceram conhecimentos básicos e aplicados referente à fenologia da fase de muda de goiabeira (*Psidium guajava* L.), pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham.) e urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) para as condições climáticas de Itajubá (MG) e são importantes para a otimização de estratégias de manejo e na escolha do local de cultivo (FAGUNDES et al., 2010; MARTINS et al., 2012; MÜLLER et al., 2009). A relevância destes resultados tem âmbito nacional, estadual e regional, uma vez que não existe conhecimento sobre os aspectos que governam o desenvolvimento destas espécies arbóreas que compõem a flora brasileira.

A estimativa das temperaturas cardinais permitiu estabelecer os limiares em que goiabeira, pau viola e urucuzeiro desenvolvem-se melhor e a amplitude térmica em que devem ser cultivadas, para garantir a qualidade das mudas e seu efetivo estabelecimento no campo (MARTINS; SILVA; STRECK, 2007). A goiabeira apresentou maior amplitude de temperaturas cardinais ( $T_b = 10,9$ ;  $T_{ot} = 17,3$ ;  $T_B = 51,2^\circ\text{C}$ ), o que é condizente com sua ocorrência espontânea em ampla área de distribuição, abrangendo locais de clima subtropical e tropical (PEREIRA; KAVATI, 2011). Diferentemente, o pau viola ( $T_b = 11,4$ ;  $T_{ot} = 18,1$ ;  $T_B = 36,6^\circ\text{C}$ ) e o urucuzeiro ( $T_b = 12,0$ ;  $T_{ot} = 18,4$ ;  $T_B = 46,4^\circ\text{C}$ ), apresentam menor amplitude de temperaturas cardinais, e ocorrem espontaneamente em menor área de distribuição, abrangendo locais de clima tropical (AMARAL; ANTIQUEIRA; HORBACH, 2013; CASTRO et al., 2009).

A exigência térmica de cada espécie é melhor descrita pelo método de cálculo de graus-dia que considera as três temperaturas cardinais e as compara com a temperatura média do ar (método 3.1). Concomitantemente, os resultados demonstraram que o urucuzeiro necessita de maior acúmulo energético para emitir folhas na haste principal comparada a goiabeira e o pau viola.

O desenvolvimento vegetativo da goiabeira e urucuzeiro foi maior durante os meses de maio a setembro, os quais apresentam um comprimento do dia inferior a 12 horas e temperaturas do ar amenas, enquanto pau viola mostrou uma dependência menor do fotoperíodo que as demais espécies, se desenvolvendo melhor na faixa entre 11,9 e 13,6 horas de luz diárias. Assim, é possível determinar as épocas mais adequadas ao plantio destas espécies no campo, conhecimento útil para viveiristas interessados na produção de mudas destas espécies.



A simulação do desenvolvimento vegetal também consiste em uma maneira tradicional de relacionar a temperatura do ar e o fotoperíodo com variáveis de desenvolvimento, a qual é utilizada para diferentes finalidades, como na avaliação da resposta e a adaptação das espécies às alterações do clima (ERPEN et al., 2013; MARTINS et al., 2014; STRECK et al., 2011; WALTER et al., 2010). Os modelos de simulação utilizados neste estudo foram o Filocrono (linear), que mostrou desempenho satisfatório na estimativa da emissão de folhas da goiabeira e do urucuzeiro, e o modelo Wang e Engel (não linear), que proporcionou simulação coerente do da emissão de folhas do pau viola.

Em suma, esse estudo permitiu conhecer as respostas da goiabeira, pau viola e urucuzeiro às diferentes condições de temperatura e fotoperíodo da região de Itajubá (MG) durante a fase de muda. Informações desta natureza contribuem efetivamente na produção de mudas, como na redução de tempo e custos para o produtor, além de contribuir para a escolha de espécies e no melhor planejamento dos programas de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas.

### **3. CONCLUSÃO GERAL**

Os valores estimados de  $T_b$ ,  $T_{ot}$  e  $T_B$  para o desenvolvimento vegetativo da goiabeira são de 10,9°C, 17,3°C e 51,2°C, do pau viola são de 11,4°C, 18,1°C e 36,6°C e do urucuzeiro são de 12°C, 18,4°C e 46,4°C, respectivamente, indicando que a goiabeira é mais tolerante a temperaturas extremas.

O desenvolvimento vegetativo, quantificado através do filocrono é influenciado pelo método de cálculo dos graus-dia, sendo o melhor método aquele que considera as três temperaturas cardinais e as compara com a temperatura média do ar (método 3.1).

Verificou-se que as três espécies são responsivas à temperatura do ar e fotoperíodo, e os modelos do filocrono e Wang e Engel apresentaram desempenhos diferentes na simulação do desenvolvimento vegetativo para as três espécies arbóreas. O modelo do filocrono proporcionou simulação coerente do desenvolvimento vegetativo para a goiabeira e o urucuzeiro, e o modelo de Wang e Engel para o pau viola.

### **4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS**

ABREU, M. C.; MARTINS, F. B.; FREITAS, C. H.; PEREIRA, R. A. A.; MELLONI, E. G. Valores limítrofes para transpiração, desenvolvimento e crescimento de *Corymbia citriodora*

em resposta à deficiência hídrica no solo, **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n. 5, p. 841-852, 2015.

AMARAL, W. A. N.; ANTIQUEIRA, L. M. O. R.; HORBACH, M. A. Frutificação e ecologia da germinação de *Citharexylum myrianthum* Cham (Verbenaceae). **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 4, n. 3, p. 207-215, 2013.

ARAÚJO, R. R. de; SANTOS, E. D.; LEMOS, E. E. P. de. Fenologia do muricizeiro *Byrsonima verbascifolia* (L.) Rich em zona de tabuleiro costeiro do nordeste brasileiro. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 12, n. 1, p. 1-8, 2014.

BARBOSA, F. R.; LIMA, M. F. **A Cultura da goiaba. 2º edição revista e ampliada**, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2010. 180 p. (Coleção Plantar, 66).

BRUNINI, M. A.; OLIVEIRA, A. L.; VARANDA, D. B. Avaliação da qualidade de polpa de goiaba ‘paluma’ armazenada a -20°C. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 394-396, 2003.

CASTRO, C. B.; MARTINS, C. S.; FALESI, I. C.; NAZARÉ, R. F. R. KATO, O. R. BENCHIMOL, R. L.; MAUÉS, M. M. **A cultura do urucum**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 61 p. (Coleção Plantar, 64).

ERPEN, L.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; LANGNER, J. A.; WINCK, J. E. M.; GABRIEL, L. F. Estimativa das temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento vegetativo em batata-doce. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 11, p. 1230-1238, 2013.

FABRI, E.G.; TERAMOTO, J. R. S. Urucum: fonte de corantes naturais. **Horticultura Brasileira**, Vitória da conquista, v. 33, n. 1, 2015.

FAGUNDES, J. D.; STRECK N. A.; STORCK, L.; REINIGER, L. R. S. Temperatura-base e soma térmica de subperíodos do desenvolvimento de *Aspilia montevidensis*. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.2, p.499-507, 2010.

FERREIRA, R. L.; NOVENBRE, A. D. L. C. Teste de germinação de sementes de urucum (*Bixa Orellana* L.). **Multi-Science Journal**, Urutaí, v. 1, n. 3, p. 46-52, 2015.

FORTUNATO, M. E. M.; QUIRINO, Z. G. M. Efeitos da fragmentação na fenologia reprodutiva de espécies arbóreas presentes em borda e interior de Mata Atlântica Paraibana. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 67 n.3, p. 603-614, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Produção Agrícola Municipal. Culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro, v. 42, p.1-57, 2015.

KISSMANN, C.; SCALON, S. P. Q.; TEODÉSIO, T. K. C. Condicionamento das sementes e sombreamento na emergência e no crescimento de plantas de *Bixa orellana* L. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 48-56, 2013.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 6. ed. v. 1. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014. 384 p.

MARTINS, F. B.; PEREIRA, R. A. A.; PINHEIRO, M. V. M.; ABREU, M. C. Desenvolvimento foliar em duas cultivares de oliveira estimado por duas categorias de modelos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 505 - 514, 2014.

MARTINS, F. B.; REIS, D. F.; PINHEIRO, M. V. M. Temperatura base e filocrono em duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.11, p.1975-1981, 2012.

MARTINS, F. B.; SILVA, J. C.; STRECK, N. A. Estimativa da temperatura-base para emissão de folhas e do filocrono em duas espécies de eucalipto na fase de muda. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31 n. 3, p. 373-381, 2007.

MONTEIRO, E. B.; DA SILVA, C. C.; DA SILVA, A. C.; SOUZA, A. P. de. Estimating emission of leaves seedlings Forest in different shading levels, at conditions of transition Amazon-Cerrado, Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n.15, p. 2330-2341, 2014.

MÜLLER, L.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; STRECK, N. A.; MITTELMAN, A.; NETO, D. D.; BANDEIRA, A. H.; MORAIS, K. P. Temperatura base inferior e estacionalidade de produção de genótipos diploides e tetraploides de azevém. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1343-1348, 2009.

NASCIMENTO, D. F. do; LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; MOREIRA, R. T. S.; ALONSO, J. M. Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 159-165, 2012.

PEREIRA, F. M. KAVATI, R. contribuição da pesquisa científica brasileira no desenvolvimento de algumas frutíferas de clima subtropical. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33. n. 1, p. 92-108, 2011.

SEGANTINI, D.M.; TORRES, L.M.; BOLIANI, A.C.; LEONEL, S. Fenologia da figueira-da-índia em Selvíria – MS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 630-636, 2010.

SOLTANI, A.; SINCLAIR, T. R. **Modeling Physiology of crop development, growth and yield**. Oxfordshire: CAB Internacional, 2012, 322 p.

STRECK, N. A.; LAGO, I.; OLIVEIRA, F. B.; HELDWEIN, L. A.; AVILA, L. A.; BOSCO, L. C. Modeling the development of cultivated rice and weedy red rice. **Transaction of the ASAE** (Cessouem 2005. Cont. Transactions of the ASABE), v. 54, p. 371-384, 2011.

WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A. Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, p.1237-1245, 2010.