

Temperatura e radiação solar na produção de mudas de cedro australiano

Temperature and solar radiation on Australian cedar seedlings production

Felipe Schwerz¹, Elder Eloy², Elvis Felipe Elli³, Bráulio Otomar Caron⁴, Gizelli Moiano de Paula⁴**Resumo**

O objetivo do trabalho foi estimar a temperatura base para emissão de folhas e determinar a eficiência do uso da radiação na produção de mudas de cedro australiano. Foram utilizadas duas densidades de mudas na bandeja, 100 e 50%, denominados densidade alta e média, sendo que a densidade alta apresentava 494 plantas m⁻² e a média, 247 plantas m⁻². Avaliou-se a temperatura base para emissão de folhas, filocrono, índice de área foliar, fitomassa seca total acumulada, coeficiente de extinção luminosa e eficiência do uso da radiação. Os resultados indicaram que a temperatura base para emissão de folhas sob alta e média densidade de mudas foi de 6,6°C e 7,7°C, respectivamente, enquanto que, a eficiência do uso da radiação em fitomassa seca total para alta e média densidade de mudas foi de 1,42 e 1,11 g MJ⁻¹, respectivamente. Logo, para a produção de mudas de cedro australiano, deve ser priorizado o uso de alta densidade de mudas na bandeja, por apresentarem maior emissão de folhas, índice de área foliar e eficiência do uso da radiação solar, otimizando o uso do viveiro.

Palavras-chave: *Toona ciliata*, densidade de mudas, eficiência do uso da radiação, filocrono, temperatura base.

Abstract

The aim of this study was to estimate the base temperature for leaf emission and determine the radiation use efficiency of Australian cedar seedlings. Two plants density were used in the tray, 100 and 50%, denominated high and medium density; the high density presented 494 plants m⁻² and the medium 247 plants m⁻². Base-temperature for leaf emission, phyllochron, leaf area index, total accumulated dry matter, interception of global radiation, extinction coefficient and radiation use efficiency were evaluated. The results indicated that the base temperature for leaf emission under high and medium density of seedlings was 6.6°C and 7.7°C, respectively, while the radiation use efficiency for high and medium seedling density was 1.42 and 1.11 g MJ⁻¹, respectively. For the production of Australian cedar seedlings, the use of high density of seedlings in the tray should be prioritized because they present a higher leaf emission, leaf area index and radiation use efficiency, optimizing the nursery use.

INTRODUÇÃO

O cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) pertence à família Miliaceae, espécie exótica, proveniente de várias regiões da Austrália. No Brasil, encontrou condições favoráveis ao seu crescimento e desenvolvimento, aliada à resistência a *Hypsipyla grandella*, broca que ataca o broto terminal do cedro brasileiro (*Cedrela fissilis*) (LIAO et al., 2007). Apresenta alta qualidade e produtividade da madeira, a qual é destinada principalmente para serraria, por apresentar alto valor no mercado interno e externo (MURAKAMI, 2008). As árvores podem atingir 50 m de altura e 2 m de diâmetro, sendo que em plantios comerciais estima-se um incremento médio anual (IMA) de

1. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras - UFLA. Lavras, MG, Brasil.

2. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Frederico Westphalen, RS, Brasil.

3. Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ, Universidade de São Paulo - USP. Piracicaba, SP, Brasil.

4. Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria UFSM. Frederico Westphalen, RS, Brasil.

* Autor correspondente: felipe_schwerz@hotmail.com

20 a 30 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (KALIL FILHO; WENDLING, 2012). Além disso, a madeira apresenta baixa torção de fibras, alta maleabilidade e coloração avermelhada brilhante, com densidade média de 0,37 g cm⁻³ (TRIANOSKI, 2010).

Com a crescente demanda por madeira serrada e produtos florestais, cresce a necessidade de elevar a produtividade das espécies arbóreas, associado ao fornecimento de madeira de qualidade (ELOY et al., 2018; MARTINS et al., 2007). Uma das primeiras etapas desse processo está relacionado à produção de mudas de boa qualidade, o que tem grande influência no sucesso da implantação e estabelecimento da cultura (GOMES et al., 2002). As mudas utilizadas para compor os povoamentos florestais têm sido produzidas em estufas plásticas. Todavia, o cultivo em ambiente protegido causa alterações nos elementos meteorológicos, dentre eles a radiação solar e temperatura do ar (CARON et al., 2012; OLIVOTO et al., 2017; SCHWERZ et al., 2017a). Este último é o principal elemento meteorológico que afeta o desenvolvimento da maioria das espécies vegetais (MARTINS et al., 2012; STRECK et al., 2005). Por razões científicas e práticas, estudos relacionando temperatura do ar e o desenvolvimento de espécies florestais têm recebido grande destaque (CHENG et al., 2014; DAVIDSON et al., 2015; RANDRIAMANANA et al., 2015; ZHAO et al., 2016).

O desenvolvimento vegetal pode ser estimado através da velocidade de emissão de folhas, sendo que a temperatura do ar tem papel fundamental neste processo, em função dos graus-dia acumulados, cuja unidade é °C dia⁻¹ (PEREIRA et al., 2002). O termo graus-dia consiste no acúmulo térmico diário dentro dos quais a planta se desenvolve, sendo que seu cálculo é dado pela diferença entre a temperatura média do ar diária e a temperatura basal (T_b) da espécie (ARNOLD, 1959; ROSA et al., 2009; SOUZA; MARTINS, 2013).

Um grande número de métodos estatísticos podem ser utilizados para estimar a T_b das espécies vegetais, sendo que um dos mais utilizados, e também considerado o mais preciso, se refere ao método do menor quadrado médio do erro (SINCLAIR et al., 2004; SOLTANI; SINCLAIR, 2012). Porém, para as espécies florestais, são poucos os estudos encontrados que envolvem a estimativa da T_b, para o eucalipto (MARTINS et al., 2007), araucária (ASSUMPTÃO NETO, 2008) e mogno africano (CASAROLI et al., 2018) a temperatura basal já foi determinada. Tal fato evidencia a relevância de novos estudos, que almejem adaptabilidade e exigências térmicas de cultivo fora do seu centro de origem.

Para quantificar o desenvolvimento vegetal, geralmente utiliza-se a variável número de folhas acumuladas (NF), por estar associada com o aumento da área foliar, interceptação da radiação solar e fotossíntese (ROSA et al., 2009; XUE et al., 2004). O intervalo de tempo entre o aparecimento de duas folhas sucessivas na haste principal (NF) é conhecido como filocrono (MC MASTER; WILHELM, 1997), tendo como unidade °C dia folha⁻¹.

Além da temperatura do ar, a radiação solar também exerce grande influência sobre o crescimento das plantas. A produção de fitomassa de uma planta depende da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFAa) pelas folhas, e a eficiência (ε_b) com a qual pode converter a energia radiante em assimilados, através do processo de fotossíntese (MONTEITH, 1977). Um dos fatores que influenciam a ε_b é o índice de área foliar (IAF), característica que pode ser modificada através da densidade de mudas. Desse modo, pesquisas acerca da densidade de plantas devem ser conduzidas com o intuito de encurtar o período para que a cultura intercepte o máximo da radiação solar incidente por unidade de área e tempo, resultando em maior produtividade. Tais estudos devem ser conduzidos em razão de que a eficiência fotossintética é, principalmente, uma função direta da densidade de plantas, posto que a quantidade e a qualidade da energia disponível e interceptada pelo dossel determinam a eficiência das plantas (ALBAUGH et al., 2014; SCHWERZ et al., 2017b,c).

Visando contribuir para o melhor entendimento dos fatores envolvidos na interação planta-ambiente, e tendo em vista a importância do cedro australiano como alternativa de produção, bem como a escassez de estudos envolvendo a exigência térmica e energética da espécie, realizou-se este trabalho com o objetivo de estimar a temperatura base para emissão de folhas e determinar a eficiência do uso da radiação de mudas de cedro australiano submetido a duas densidades de mudas em condições de estufa. A hipótese deste estudo é que a densidade de mudas modifica os valores de temperatura base e eficiência de conversão da radiação em virtude da competição intraespecífica existente entre as mudas na bandeja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação em Frederico Westphalen - RS, sob coordenadas geográficas de 27° 23' 26" S; 53° 25' 43" W, a 461 m de altitude. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é Cfa, ou seja, subtropical úmido com temperatura média anual de 19,1 °C,

variando com máximas de 38°C e mínimas de 0°C e com ocorrência de precipitação pluviométrica em todos os meses do ano (ALVARES et al., 2013).

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, sendo avaliada a espécie florestal cedro australiano, em dois níveis de densidade de mudas na bandeja, 100 e 50%, denominados densidades alta e média, sendo que a densidade alta apresentava 494 mudas m⁻² e a média, 247 mudas m⁻². Utilizou-se apenas estas duas densidades pelo fato de serem as mais utilizadas pelos produtores de mudas, e ainda, por representarem as condições do uso total da bandeja (alta densidade) e uso da metade do espaço disponível na bandeja (média densidade). Para estimativa da Tb e determinação do filocrono, as unidades experimentais contemplaram cinco mudas por repetição, com quatro repetições, totalizando 20 mudas para cada densidade, utilizando-se bordadura dupla.

Para análise de crescimento das mudas foram realizadas quinze coletas após a emergência, com seis repetições. As unidades experimentais contemplaram uma muda em cada período de avaliação, utilizando-se bordadura dupla, sendo avaliadas seis mudas por período, em cada densidade, e um total de 90 mudas em todos os períodos avaliados.

As sementes foram adquiridas da Empresa Arbocenter Comércio de Sementes, Birigui – SP. A semeadura foi realizada no dia 20/04/2015, em tubetes cônicos de polipropileno de fundo aberto, com volume de 90 cm³, acondicionados em bandejas plásticas que alojavam 96 tubetes, dispostos a 1,0 m do nível do solo. Os tubetes foram preenchidos com substrato comercial Tecnomax®, composto por: casca de pinus compostada, fibra de coco, casca de arroz carbonizada, vermiculita expandida e carvão vegetal. A fertilização foi realizada com o fertilizante de liberação lenta Basacote®, formulação 13-06-16 homogeneizado na quantidade de dez gramas por litro de substrato. Após as plântulas completarem 20 dias, foi efetuado o raleio, visando eliminar as excedentes em cada recipiente, deixando apenas a mais central e, ou a que apresentava maior qualidade. Durante a condução do experimento, o regime hídrico na casa de vegetação foi sistematizado em três irrigações diárias, com aspersores, de modo que a quantidade de água nos substratos fosse mantida próxima à capacidade de campo.

A contagem do número de folhas emitidas na haste principal (NF) das mudas marcadas foi realizada duas vezes por semana, as quais iniciaram no dia 12/05/2015 quando havia duas folhas visíveis e terminaram no dia 01/12/2015 quando se considerou a muda apta para o transplante a campo, de acordo com os parâmetros recomendados por Gomes et al. (2002). As folhas foram consideradas visíveis quando apresentavam comprimento do limbo foliar de no mínimo 1,0 cm (MARTINS et al., 2007).

Os dados diários de temperatura do ar foram obtidos por meio de uma estação meteorológica automática, pertencente ao Laboratório de Agroclimatologia (LAGRO), instalada no interior da estufa. A coleta dos dados meteorológicos utilizados ocorreu nas quatro estações do ano (outono, inverno, primavera e verão), caracterizando todo o período de crescimento e desenvolvimento da espécie. Para o cálculo da STa, foram utilizados os dados de temperatura média diária do ar, através da seguinte equação: $STd = (Tmed - Tb)$. 1 dia, em que Tmed é a temperatura média do ar, calculada pela média aritmética das vinte e quatro observações horárias diárias obtidas dentro da estufa e Tb é a temperatura base para emissão de folhas. A soma térmica acumulada (STa, °C dia), a partir da data do primeiro dado coletado, foi calculada acumulando-se os valores de STd.

Para determinação da temperatura base de emissão de folhas, foi utilizado o método do menor quadrado médio do erro (QME) da regressão linear entre o NF e a STa (LUCAS et al., 2012; MARTINS et al., 2007; SINCLAIR et al., 2004). Para o cálculo da STd, foram utilizados os valores de Tb de 0°C, 0,5°C, 1,0°C até 21°C, variando 0,5°C. Para cada muda, foram estimadas equações de regressão linear simples para os valores de NF em função da STa calculada com as diferentes Tbs. O valor de Tb foi considerado como aquele com o menor QME (MARTINS et al., 2007; SINCLAIR et al., 2004).

Uma vez determinada a Tb, procedeu-se a determinação do filocrono, utilizando-se a regressão linear simples entre o número de folhas acumuladas na haste principal (NF) e a soma térmica acumulada (STa) a partir da emergência, utilizando-se a Tb estimada neste estudo. O filocrono em cada unidade experimental foi estimado pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear entre NF e STa (STRECK et al., 2005; XUE et al., 2004). O filocrono médio de cada densidade de mudas foi calculado pela média das 20 unidades experimentais de cada densidade.

Para determinação do acúmulo de fitomassa seca total das mudas, as avaliações foram realizadas quinzenalmente, sendo a primeira (considerada dia zero) aos 30 dias após a emergência (DAE) e a última aos 210 DAE, totalizando 15 períodos de avaliação. A fitomassa seca total (FST) das mudas

foi determinada a partir da soma dos compartimentos de folha, caule e raiz. Cada compartimento foi alocado em sacos de papel devidamente identificados, sendo estes levados à estufa de circulação forçada na temperatura de 60°C até atingir massa constante. Posteriormente, pesou-se o material em balança de precisão, para obtenção da fitomassa seca de cada compartimento, que, somados resultou na FST.

A produção de fitomassa seca foi estudada com base no modelo proposto por Monteith (1977), sendo esta uma variável dependente da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada e multiplicada pela eficiência de conversão dessa radiação em fitomassa seca produzida. Dessa forma, a eficiência do uso da radiação pode ser calculada por meio da relação entre a produção de fitomassa seca acumulada e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada envolvida na produção de fitomassa, conforme a seguinte expressão:

$$PFS = \varepsilon_b * RFAi \quad (1)$$

Em que: PFS = produção de fitomassa seca ($g\ m^{-2}$); ε_b = eficiência de conversão da radiação RFAi em fitomassa seca produzida ($g\ MJ^{-1}$); RFAi = radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada ($MJ\ m^{-2}$).

O valor de eficiência do uso da radiação solar, dado pelo coeficiente angular, representa a quantidade de fitomassa acumulada para cada unidade de energia interceptada.

A radiação fotossinteticamente ativa interceptada foi determinada com base no modelo proposto por Varlet-Grancher et al. (1989):

$$RFAi = 0,95 * (RFAinc) * \left(1 - e^{(-k * IAF)}\right) \quad (2)$$

Em que: RFAi = radiação fotossinteticamente ativa interceptada ($MJ\ m^{-2}$); RFAinc = radiação fotossinteticamente ativa incidente ($MJ\ m^{-2}$); k = coeficiente de extinção, foi utilizado o valor médio de k obtido no presente estudo que foi de 0,18 e 0,13 para as densidades alta e média, respectivamente; IAF = índice de área foliar.

A área foliar foi obtida através da utilização do integrador de área foliar modelo LI-3000C. Já o índice de área foliar foi determinado a partir da área foliar total de cada muda e da área de bandeja explorada por esta, calculado através da equação:

$$IAF = AF / AES \quad (3)$$

Em que: IAF = índice de área foliar; AF = área foliar total da muda, em m^2 ; AES = área de bandeja explorada pela muda, em m^2 .

O coeficiente de extinção (k) foi obtido a partir das propriedades óticas das folhas e da geometria do dossel vegetal, sendo que foi calculado para cada densidade de mudas, usando a seguinte equação:

$$k = \frac{\ln\left(\frac{Rinf}{Rsup}\right)}{LAI} \quad (4)$$

Em que: k = coeficiente de extinção; ln = logaritmo neperiano; Rinf = radiação solar medida abaixo do dossel de mudas ($MJ\ m^{-2}$); Rsup = radiação solar medida sobre o dossel das mudas ($MJ\ m^{-2}$); IAF = índice de área foliar. As medidas de radiação foram realizadas com o uso de um piranômetro (LI200X, LICOR).

A radiação solar global dentro da estufa foi estimada considerando a transmissividade da cobertura plástica de 63% da radiação solar global incidente sobre a cobertura da estufa, que foi medida no início da condução do experimento utilizando-se um piranômetro (LI200X, LICOR). Os valores de radiação solar global incidente foram obtidos na Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situada a cerca de 100 m do experimento. Desta maneira, a radiação solar global dentro da estufa foi calculada com base na seguinte expressão:

$$RGE = 0,63 \times RG \quad (5)$$

Em que: RGE = radiação solar global dentro da estufa ($MJ\ m^{-2}$); RG = radiação solar global incidente sobre a cobertura da estufa ($MJ\ m^{-2}$).

A radiação fotossinteticamente ativa incidente foi estimada considerando-se como sendo 45% da radiação solar global incidente. Essa fração representa o valor médio daqueles encontrados para

o Rio Grande do Sul por Assis e Mendez (1989). A estimativa da radiação fotossinteticamente ativa acumulada foi realizada com base em Monteith (1977) e Varlet-Grancher et al. (1989).

Os dados obtidos foram analisados utilizando-se o Software "Statistical Analysis System" (SAS, 2003), para determinação da análise de variância e análise de regressão em função dos dias após a emergência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura do ar variou durante o período de produção das mudas de 1,16°C a 35,8°C, com temperatura média do ar de 18,2°C. O fluxo de radiação solar global foi, em média, de 8,90 MJ m⁻² dia⁻¹, com variação de 0,86 a 21,36 MJ m⁻² dia⁻¹ no interior do ambiente protegido. A variação da temperatura do ar foi motivada pela menor disponibilidade de radiação solar global incidente no interior do ambiente estufa. Isso se deve à atenuação da mesma pelo plástico, no entanto, tal redução pode ser compensada em parte pelo acréscimo da fração da radiação difusa.

As equações de regressão entre NF e STa apresentaram valores de coeficiente de determinação (R²) acima de 0,96. Esta significância elevada indica a relação de proporcionalidade entre as variáveis analisadas.

Nas Figuras 1A e 1B, são apresentadas as variações do QME das várias equações de regressão linear para os diferentes valores de temperatura base assumidos no cálculo da soma térmica. Em condições de alta densidade de mudas, a Tb foi de 7°C (Figura 1A), e sob condições de média densidade, a Tb foi de 7,5°C (Figura 1B). Para as demais mudas sob alta densidade, houve variação na Tb estimada de 4,5 a 11,5°C, com predomínio de valores estimados entre 5 e 9°C. Nas mudas sob média densidade houve variação de Tb de 5 a 12,5°C, com predomínio de valores estimados entre 6,5 e 9,5°C. Assim, optou-se por determinar a média das mudas, resultando numa Tb de 6,6°C (± 1,5) para alta densidade e de 7,7°C (± 1,2) para média densidade, valores que foram usados no cálculo da soma térmica para estimativa do filocrono.

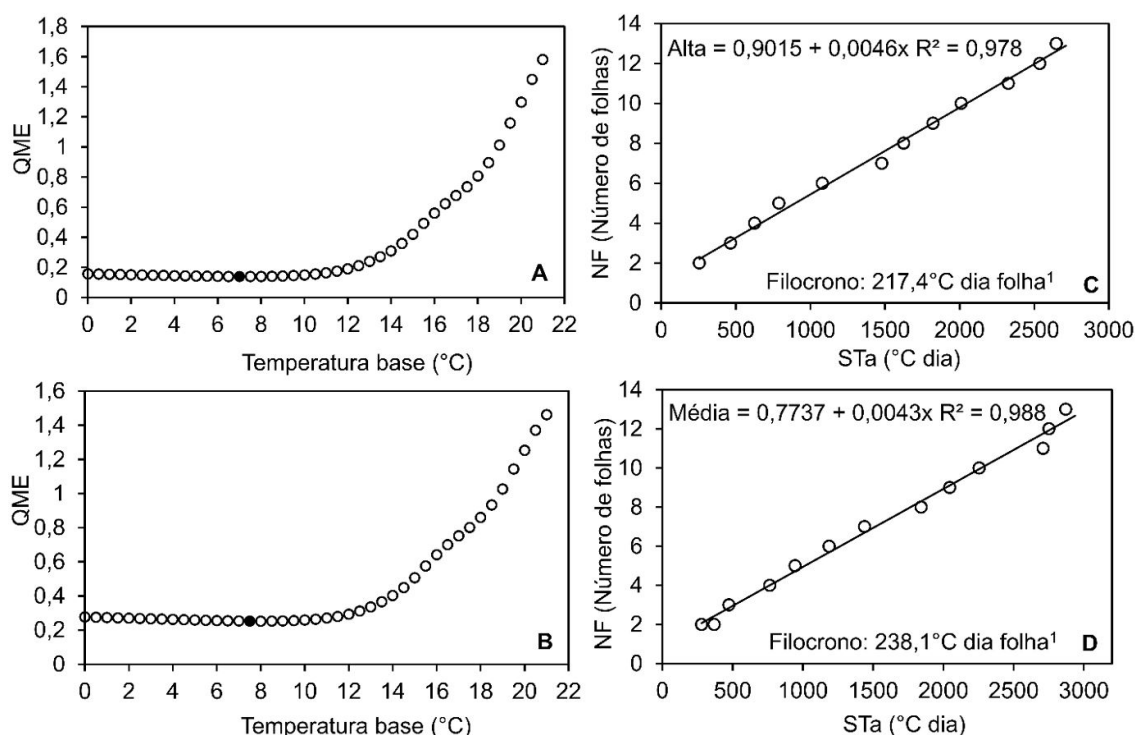


Figura 1. Quadrado médio do erro (QME) da regressão entre o número de folhas acumuladas na haste principal e a soma térmica acumulada utilizando-se várias temperaturas-base; e relação entre o número de folhas acumuladas na haste principal (NF) e a soma térmica acumulada a partir da emergência (STa) utilizada para a estimativa do filocrono para o cedro australiano em duas densidades de mudas: alta (A e C) e média (B e D). Os dados são de uma unidade experimental.

Figure 1. Mean square error (MSE) of the regression between the accumulated number of leaves on the main stem and the thermal sum accumulated using various base-temperatures; and relation between the accumulated number of leaves on the main stem (NL) and the thermal sum accumulated as from the emergence (TSa) utilized to estimate the phyllochron for the Australian cedar seedlings in two densities: High (A and C) and medium (B and D). The data represent an experimental unit.

A partir da análise da equação de regressão em que se observou a alta relação de proporcionalidade entre as variáveis analisadas, observa-se que a temperatura do ar foi a principal variável meteorológica analisada que condicionou a emissão de folhas. Esse resultado está de acordo com estudos realizados com outras espécies vegetais, como eucalipto (MARTINS et al., 2007); oliveira (MARTINS et al., 2012); melancia (LUCAS et al., 2012) e morangueiro (ROSA et al., 2011).

Os valores de T_b de 6,6°C e 7,7°C obtidos para os tratamentos de alta e média densidade de mudas, respectivamente, de cedro australiano (*Toona ciliata*), são semelhantes aos valores de T_b de outras espécies, como do ficus (*Ficus carica*) de 8°C (SOUZA et al., 2009); e para a oliveira (*Olea europaea*) de 8,5°C (MELO-ABREU et al., 2004). Entretanto, foram inferiores aos valores de T_b de outras espécies florestais, como *Adenanthera pavonina*, *Cassia fistula*, *Hymenolobium petraeum* e *Parkia pendula* que se situaram em 15,0°C, 16,4°C, 14,5°C e 14,6°C, respectivamente (MONTEIRO et al., 2014); *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, que se situaram em 10°C e 8°C, respectivamente (MARTINS et al., 2007); e para o *Coffea arabica* de 12,9°C (LIMA; SILVA 2008).

A T_b dos vegetais apresenta diferença entre espécies e entre cultivares dentro da mesma espécie e pode variar em função do estágio de desenvolvimento que a cultura se encontra (LAGO et al., 2009). No caso deste estudo, pode-se inferir que além da diferença entre espécies e do estágio de desenvolvimento das culturas, o manejo realizado na condução das mudas influenciou a T_b , principalmente no que se refere à densidade de mudas na bandeja.

Com os valores de T_b estimados para as mudas de cedro australiano obtiveram-se os valores de filocrono. O filocrono médio das 20 unidades experimentais, quando conduzidas sob alta densidade foi de 223,9°C dia folha⁻¹ ($\pm 21,4$) e sob média densidade de mudas de 231,2°C dia folha⁻¹ ($\pm 28,1$). Nas Figuras 1C e 1D são apresentadas as relações entre NF e STa para uma unidade experimental quando conduzidas sob alta densidade de mudas (Figura 1C) e média (Figura 1D) usadas na estimativa do filocrono. Adicionalmente, observou-se um elevado R^2 , acima de 0,97 para ambos tratamentos. Valores elevados de R^2 acima de 0,94 da regressão entre NF e STa foram obtidos em todas as unidades experimentais para as duas densidades estudadas.

A linearidade observada entre NF e STa reforça a precisão dos resultados e confirma que a estimativa do filocrono pelo método da regressão linear é uma metodologia apropriada, como tem sido verificado para culturas agrícolas anuais (SINCLAIR et al., 2004; STRECK et al., 2005), plantas daninhas (PAULA et al., 2008) e espécies florestais (MARTINS 2007; 2012).

Esses resultados indicam que as mudas de cedro australiano, quando submetidas a diferentes densidades, necessitam de diferentes quantidades de energia térmica (°C dia⁻¹) para emitir uma folha. Considerando mesma temperatura do ar, mudas conduzidas sob alta densidade apresentaram maior desenvolvimento que as sob média densidade, na fase de muda; pois, a T_b de 6,6°C é menor que a T_b do tratamento sob média densidade de mudas que foi de 7,7°C, ocorrendo maior acúmulo de energia térmica para as mudas conduzidas sob alta densidade.

Este resultado pode ser explicado pela maior competição intraespecífica entre as mudas na bandeja. Mudas conduzidas sob alta densidade apresentaram um desenvolvimento mais acelerado, ou seja, uma maior emissão de folhas, quando comparado ao tratamento sob média densidade. Essa resposta foi mais pronunciada quando as mudas apresentavam de seis a oito folhas, uma vez que a busca por radiação solar e nutrientes aumentou, fazendo com que as mudas competissem por tais elementos, o que proporcionou uma maior emissão de folhas para compensar o efeito do sombreamento. Com isso, evidencia-se que o arranjo de plantas é uma importante prática de manejo, tendo em vista que a interação entre a temperatura do ar e a emissão de folhas é importante para o processo de produção de mudas em ambiente estufa.

As mudas conduzidas sob alta densidade atingiram a fase final de muda no viveiro aos 2711,61°C dia⁻¹ de STa , enquanto que no tratamento com média densidade alcançaram essa fase aos 2937,73°C dia⁻¹. Isso representa uma diferença de STa de 226,12°C dia⁻¹ entre as mudas submetidas aos tratamentos com alta e média densidade. A diferença de STa entre as plantas de 226,12°C dia⁻¹, ao atingir a fase final de muda no viveiro, submetidas aos tratamentos com alta e média densidade, pode representar vários dias do calendário civil, especialmente quando a temperatura do ar é baixa. Isto comumente ocorre no final do outono, inverno e primavera no Rio Grande do Sul, onde os três meses mais frios do ano possuem temperaturas compreendidas entre -3 a 18°C (ALVARES et al., 2013), sendo comum a ocorrência de baixas temperaturas do ar.

O crescimento em FST apresentou relação linear positiva com a RFAiac, com altos coeficientes de correlação e com resposta dependente da densidade de mudas (Figura 2A). O mesmo foi observado com o IAF (Figura 2B). Ao observar os coeficientes angulares obtidos, constatou-se que ao elevar a densidade de mudas, ocorreu aumento no IAF, e conseqüentemente, as plantas foram mais eficientes em converter a radiação solar em fitomassa. A eficiência do uso da radiação em FST das mudas em relação à quantidade de RFAiac foi de 1,11 g MJ⁻¹ no tratamento de média densidade e 1,42 g MJ⁻¹ para a densidade alta, ou seja, 21,8% superior (Figura 2A).

De acordo com os resultados obtidos, é possível afirmar que o maior acúmulo de matéria seca obtida em função da radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada está estreitamente ligada ao maior índice de área foliar, pois, à medida que esse se eleva, maior será a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada e, conseqüentemente, o acúmulo em fitomassa, o que também foi observado por Stewart et al. (2003).

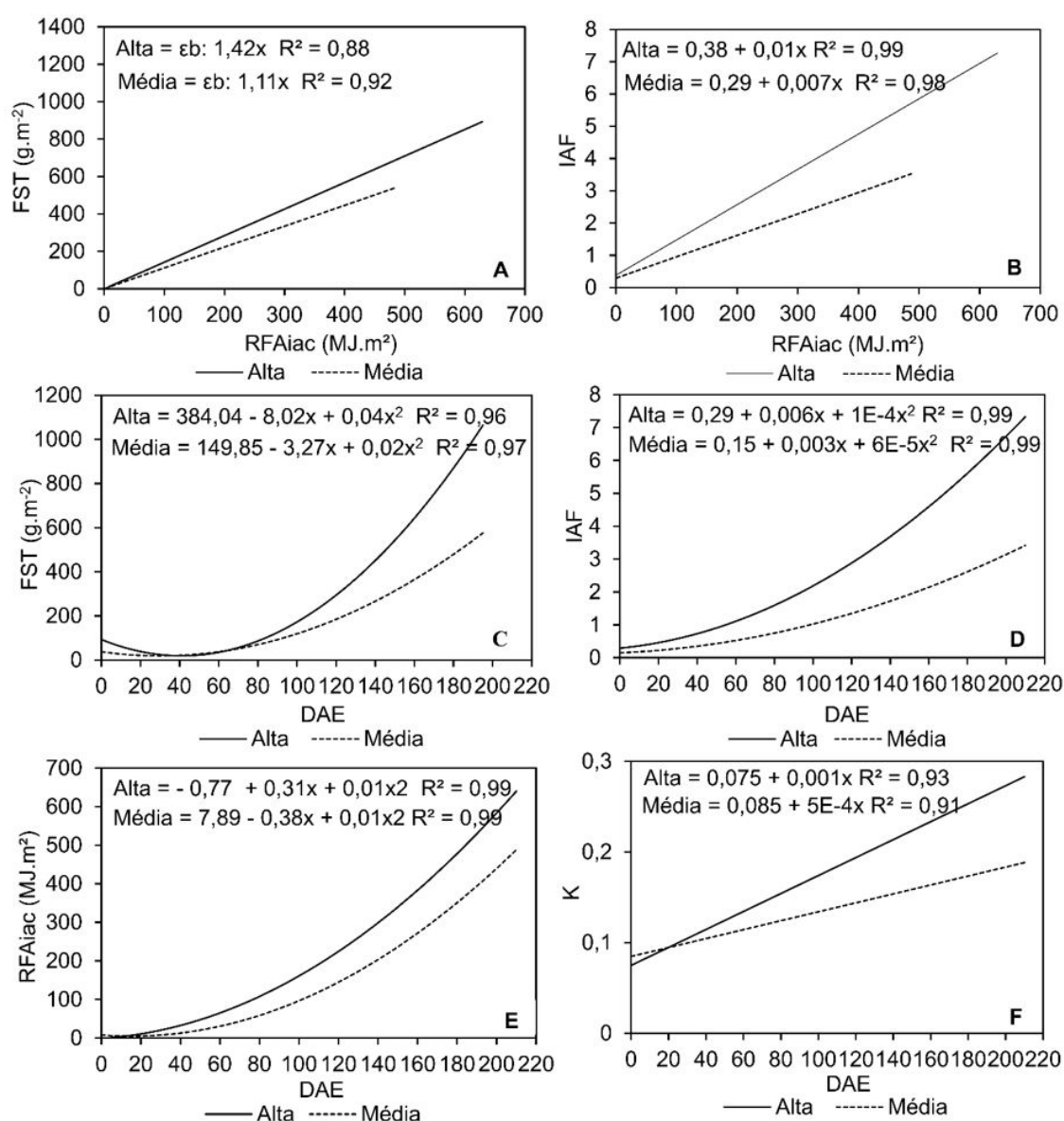


Figura 2. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFAiac) com a produção de fitomassa seca total (FST) (A) e índice de área foliar (IAF) (B); equações de regressão para dias após a emergência (DAE) em relação a fitomassa seca total (FST) (C), índice de área foliar (IAF) (D), radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFAiac) (E) e coeficiente de extinção (K) (F) em duas densidades de mudas de cedro australiano.

Figure 2. Relation between photosynthetically active radiation intercepted accumulated (PARiac) with the production of total dry matter (TDM) (A) and leaf area index (LAI) (B); regression equations for the days after emergence (DAE) in relation to the total dry matter (FST) (C), leaf area index (LAI) (D), photosynthetically active radiation intercepted accumulated (PARiac) (E) and extinction coefficient (K) (F) in two densities of Australian cedar seedlings.

Com o rápido fechamento do dossel vegetativo das mudas na bandeja, têm-se um aumento e melhor aproveitamento da radiação, e isso promove maior uniformidade da radiação no interior do dossel, fazendo com que as folhas inferiores aumentem a interceptação e uso da radiação. Estes resultados estão de acordo aos obtidos por Sanquetta et al. (2014), trabalhando com mudas de *Eucalyptus dunni*, os quais constataram maior eficiência do uso da radiação em mudas que estavam mais adensadas na bandeja, evidenciado pelo aumento da contribuição relativa das folhas sombreadas para o acúmulo de fitomassa. No mesmo sentido, Caron et al. (2012) observaram que o aumento da densidade de mudas de *Eucalyptus grandis* aumentou em 44% a eficiência do uso da radiação.

Os valores de eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em fitomassa de mudas de *Toona ciliata* foram inferiores aos observados na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* por Caron et al. (2012) de $6,88 \text{ g MJ}^{-1}$ e, na produção de mudas de *Eucalyptus dunni* por Sanquetta et al. (2014) de $7,75 \text{ g MJ}^{-1}$. Os maiores valores de eficiência de conversão observada nas maiores densidades estão relacionados à ocupação mais rápida da área foliar do espaço entre as mudas, que pode ser constatado através do elevado índice de área foliar durante o desenvolvimento das mudas (Figura 2D).

A partir da análise de variância constatou-se diferença significativa para todas as variáveis analisadas em função da densidade de mudas na bandeja e dos dias após a emergência das mudas. As equações de regressões apresentaram elevados coeficientes de determinação, para a fitomassa seca total, índice de área foliar, radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada e coeficiente de extinção luminosa quando relacionado aos dias após a emergência (Figuras 2C, 2D, 2E e 2F). Observou-se resposta quadrática crescente para as variáveis fitomassa seca total, índice de área foliar e radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada. Para a variável coeficiente de extinção luminosa verificou-se resposta linear crescente em função dos dias após a emergência.

As mudas conduzidas sob alta densidade apresentaram maior acúmulo de fitomassa seca, índice de área foliar, radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada e coeficiente de extinção quando comparado à média densidade de mudas durante o período de avaliação (Figura 1). Essa resposta foi mais pronunciada a partir dos 90 DAE.

No cultivo de mudas em estufas, o suprimento de água e nutrientes não se apresentam como fatores limitantes, devido à possibilidade de controle efetivo. Assim, a produção de fitomassa é controlada pela radiação solar, o que foi também observado e proposto por Caron et al. (2012) e Sanquetta et al. (2014). Dessa maneira, o crescimento das mudas de cedro australiano é influenciado pela quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada, da eficiência de utilização dessa energia no processo fotossintético e da densidade de mudas na bandeja.

As informações geradas neste estudo através da estimativa da temperatura base, filocrono e da eficiência do uso da radiação, tem grande importância na produção de mudas. Desta forma pode-se inferir que haverá adaptação das mudas em campo, mesmo em condições meteorológicas distintas ao seu centro de origem.

Esse trabalho apresenta um novo campo de pesquisa na área florestal, evidenciando que para futuros estudos, a eficiência do uso da radiação, a estimativa da temperatura base e o filocrono devem ser priorizados, pois apresentam um modelo com boa confiabilidade na estimativa do potencial de produção de mudas de cedro australiano. Adicionalmente, com os resultados obtidos torna-se possível realizar o planejamento para a produção das mudas, a fim de obter plantas de qualidade, e que estejam aptas para o transplante no momento em que as condições de campo forem as mais adequadas, para garantir o sucesso no estabelecimento e uniformidade das mudas a campo (CALDEIRA et al., 2016; SILVA et al., 2012; GOMES et al., 2002) o que pode otimizar a produtividade dos futuros povoamentos florestais.

CONCLUSÃO

A densidade de mudas na bandeja modificou a temperatura base e a eficiência do uso da radiação em fitomassa seca total de mudas de cedro australiano.

A temperatura base para emissão de folhas sob alta e média densidade de mudas foi de $6,6^{\circ}\text{C}$ e $7,7^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

A eficiência de uso da radiação em fitomassa seca total para alta e média densidade de mudas foi de $1,42$ e $1,11 \text{ g MJ}^{-1}$, respectivamente.

Alta densidade de mudas na bandeja, garantiram maior emissão de folhas, índice de área foliar e eficiência do uso da radiação solar, otimizando o uso do viveiro.

REFERÊNCIAS

- ALBAUGH, J. M.; ALBAUGH, T. J.; HEIDERMAN, R. R.; LEGGETT, Z.; STAPE, J. L.; KING, J. S. Evaluating changes in switchgrass physiology, biomass, and light-use efficiency under artificial shade to estimate yields if intercropped with *Pinus taeda* L. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 88, n. 3, p. 489-503, 2014.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARNOLD, C. Y. Maximum-minimum temperature as a basis for computing heat units. **American Society for Horticulture Science**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 682-692, 1960.
- ASSIS, F. N.; MENDEZ, M. E. G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 2, n. 7, p. 797-800, 1989.
- ASSUMPTÃO NETO, A. **Plastocrono e filocrono aparentes anual em *Araucaria angustifolia* no município de Colombo – PR**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, p. 55, 2008.
- CALDEIRA, M. V. W.; DE OLIVEIRA, G. E.; WENDLING, I.; MARTINS, R. D. C. C. Produção de Mud. Silvicultura do Eucalipto no Brasil, 2016, 305 p.
- CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; BAMBERG, R. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 833-842, 2012.
- CASAROLI, D.; DE OLIVEIRA, F.; ALVES JÚNIOR, J.; EVANGELISTA, A. W.; BRITO, B. V.; SILVA PENA, D. Aptidão edafoclimática para o mogno-africano no Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 357-368, 2018.
- CHENG, Y.; WANG, J.; WANG, S.; CAI, Z.; WANG, L. Effects of temperature change and tree species composition on N₂O and NO emissions in acidic forest soils of subtropical China. **Journal of Environmental Sciences**, Beijing, v. 26, n. 3, p. 617-625, 2014.
- SILVA, R. B.; SIMÕES, D.; DA SILVA, M. R. Qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em função do substrato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 297-302, 2012.
- DAVIDSON, A.; DA SILVA, D.; QUINTANA, B.; DEJONG, T. M. The phyllochron of *Prunus persica* shoots is relatively constant under controlled growth conditions but seasonally increases in the field in ways unrelated to patterns of temperature or radiation. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 184, n. 2, p. 106-113, 2015.
- ELOY, E.; ELLI, E. F.; SCHWERZ, F. Conversion efficiency of photosynthetically active radiation into *Acacia mearnsii* biomass. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 25, n. 2, 2018.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfofisiológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.
- KALIL FILHO, A. N.; WENDLING, I. Produção de mudas de cedro australiano. Colombo: Embrapa Florestas, 2012.
- LIAO, S. G.; YANG, S. P.; YUAN, T.; ZHANG, C. R.; CHEN, H. D.; WU, Y. Limonoids from the leaves and stems of *Toona ciliata*. **Journal of Natural Products**, Washington, v. 70, n. 8, p. 1268-1273, 2007.
- LIMA, E. P.; SILVA, E. L. Base temperature, crop coefficients and degrees-day for arabic coffee plants in the implantation phase. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 266-273, 2008.
- LAGO, I.; STRECK, N. A.; CARVALHO, M. P.; FAGUNDES, L. K.; PAULA, G. M.; LOPES, S. J. Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência-diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho. **Revista Ceres**, Lavras, v. 56, n. 3, p. 288-295, 2009.
- LUCAS, D. D. P.; STRECK, N. A.; BORTOLUZZI, M. P.; TRENTIN, R.; MALDANER, I. C. Temperatura base para emissão de nós e plastocrono de plantas de melancia. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 288-292, 2012.

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. D.; 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.

MC MASTER, 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.

MELO-ABREU, J. P.; BARRANCO, D.; CORDEIRO, A. M.; TOUS, J.; ROGADO, B. M.; VILLALOBOS, F. J. Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 125, n. 2, p. 117-127, 2004.

MONTEIRO, E. B.; SILVA, C. C.; SILVA, A. C.; SOUZA, A. P. Estimating emission of leaves seedlings forest in different shading levels, at conditions of Transition Amazon-Cerrado, Brazil. *American Journal of Plant Sciences*, California, v. 5, n. 15, p. 23-30, 2014.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Proceedings of the Royal Society of London**, London, v. 281, n. 980, p. 277-294, 1977.

MURAKAMI, C. H. G. **Cedro Australiano**: Valorização de Espécies Nobres. Boletim Informativo Florestal, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 1-6, 2008.

OLIVOTO, T.; ELLI, E. F.; SCHMIDT, D.; CARON, B. O.; SOUZA, V. Q. Photosynthetic photon flux density levels affect morphology and bromatology in *Cichorium endivia* L. var. *latifolia* grown in a hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 230, p. 178-185, 2018.

PAULA, G. M.; STRECK, N. A. Temperatura base para emissão de folhas e nós, filocrono e plastocrono das plantas daninhas papua e coriola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2457-2463, 2008.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

RANDRIAMANANA, T. R.; LAVOLA, A.; JULKUNEN-TIITTO, R. Interactive effects of supplemental UV-B and temperature in European aspen seedlings: Implications for growth, leaf traits, phenolic defense and associated organisms. *Plant Physiology and Biochemistry*, Paris, v. 93, n. 2, p. 84-93, 2015.

ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ANDRIOLO, J. L.; SILVA, M. R. D.; LANGNER, J. A. Temperatura-base de emissão de folhas e filocrono de algumas cultivares de morangueiro em ambiente subtropical. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 939-945, 2011.

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.

SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; CORTE, A. P.; CADORI, G. C.; JUNIOR, S. C.; MACEDO, J. H. P. Eficiência de conversão da radiação fotossintética interceptada em Fitomassa de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden em função da densidade de plantas e do ambiente de cultivo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 573-580, 2014.

SCHWERZ, F.; SGARBOSSA, J.; OLIVOTO, T.; ELLI, E. F.; AGUIAR, A. C.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D. Solar radiation levels modify the growth traits and bromatological composition of *Cichorium intybus*. *Advances in Horticultural Science*, Florence, v. 31, n. 4, p. 257, 2017a.

SCHWERZ, F.; CARON, B. O.; ELLI, E. F.; ELOY, E.; SCHMIDT, D.; STOLZLE, J. R.; TREVISAN, R. The high density of plants increases the radiation use efficiency of photosynthetically active seedlings of Japanese grape (*Hovenia dulcis*). *Australian Journal of Crop Science*, Lismore, v. 11, n. 1, p. 53-61, 2017b.

SCHWERZ, F.; ELLI, E. F.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; CARON, B. O.; SGARBOSSA, J. Yield and qualitative traits of sugarcane cultivated in agroforestry systems: Toward sustainable production systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, England, p. 1-13, 2017c.

SAS. Getting started with the SAS learning edition. Cary; 2003.

- 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. 3, p. 171-178, 2004.
- SOLTANI, A.; SINCLAIR, T. R. Modeling Physiology of crop development, growth and yield. Oxfordshire: CAB Internacional, 2012. 322 p.
- 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**, Santa Maria, v. 29, n. 2, 2013.
- SOUZA, A. P. D.; SILVA, A. C. D.; LEONEL, S.; ESCOBEDO, J. F. Basic temperatures and thermal sum for the fig trees pruned in different months. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 314-322, 2009.
- STEWART, D. W.; COSTA, C.; DWYER, L. M.; SMITH, D. L.; HAMILTON, R. I.; MA, B. L. Canopy structure, light interception and photosynthesis in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, n. 3, p. 1465-1474, 2003.
- STRECK, N. A.; BELLÉ, R. A.; ROCHA, E. K. D.; SCHUH, M. Estimating leaf appearance and phyllochron in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1448-1450, 2005.
- TRIANOSKI, R. Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada. 2010. 260 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- 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.
- ZHAO, Y. H.; JIA, X.; WANG, W. K.; LIU, T.; HUANG, S. P.; YANG, M. Y. Growth under elevated air temperature alters secondary metabolites in *Robinia pseudoacacia* L. seedlings in Cd-and Pb-contaminated soils. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 565, n. 3, p. 586-594, 2016.
- VARLET-GRANCHER, C.; GOSSE, G.; SINOQUET, H.; BONHOMME, R.; ALLIRAND, J. M. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 9, n. 5, p. 419-439, 1989.

Recebido em: 22/05/2019
 Aceito em: 11/10/2019