



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LAIS MELLO DE ARAÚJO

**TEMPERATURAS CARDINAIS, MÉTODOS DE SOMA TÉRMICA E INFLUÊNCIA
DO FOTOPERÍODO NO DESENVOLVIMENTO DE QUATRO ESPÉCIES
FLORESTAIS**

Prof. Dr. MARCEL CARVALHO ABREU
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
AGOSTO – 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LAIS MELLO DE ARAÚJO

**TEMPERATURAS CARDINAIS, MÉTODOS DE SOMA TÉRMICA E INFLUÊNCIA
DO FOTOPERÍODO NO DESENVOLVIMENTO DE QUATRO ESPÉCIES
FLORESTAIS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. MARCEL CARVALHO ABREU
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
AGOSTO – 2022

**TEMPERATURAS CARDINAIS, MÉTODOS DE SOMA TÉRMICA E INFLUÊNCIA
DO FOTOPERÍODO NO DESENVOLVIMENTO DE QUATRO ESPÉCIES
FLORESTAIS**

LAIS MELLO DE ARAÚJO

APROVADA EM: 18/08/2022

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. MARCEL CARVALHO ABREU – UFRRJ
Orientador

FABRINA BOLZAN MARTINS – UNIFEI
Membro

RODOLFO CESAR REAL DE ABREU – UFRRJ
Membro

Dedico este trabalho à minha família que me possibilitou passar pela jornada da universidade pela segunda vez.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, à Deus, que me acompanhou durante todos os anos de graduação, me deu capacidade para realizar esta monografia e criou o meu objeto de estudo e trabalho.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao curso de graduação em Engenharia Florestal, pela minha formação e por viabilizar este estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela concessão de bolsa de iniciação científica.

Ao meu orientador Marcel, um professor de excelência, que explica com muita clareza, assim, me guiou durante toda a pesquisa e elaboração desta monografia, preenchendo lacunas do meu aprendizado e aprimorando minha formação.

Ao professor Arthur que possibilitou a realização do experimento no viveiro, além de ser um professor de destaque na minha graduação.

À banca examinadora, professora Fabrina Bolzan Martins e Rodolfo Cesar Real de Abreu pelo interesse e disponibilidade.

Ao Tião e os funcionários do viveiro que me acompanhavam durante as idas ao viveiro na pandemia.

Aos meus pais que me deram o suporte necessário para estudar, além de valores, carinho e uma excelente educação.

Aos meus irmãos Flávio e Suzane que me deram forças e nunca duvidaram do meu potencial.

Aos meus cunhados Eliete e Thiago que também sempre acreditaram em mim e me acolheram como irmãos.

Ao meu amor, Alice, que chegou na pandemia para trazer mais alegria para a minha vida e da minha família, me dando mais força para me formar e virar a tia rica.

Aos meus amigos Reynaldo e Taíze, que mesmo distantes fisicamente sempre foram um ponto de apoio durante a graduação e fora dela.

Ao Jean que me ajudava a coletar os dados durante a pandemia e se tornou parte importante da minha jornada ruralina e também da vida, ouvindo meus desabafos, dividindo momentos de alegria e tristeza, da batalha que é a universidade.

Ao Marcelo, meu melhor amigo ruralino, que também foi comigo algumas vezes ao viveiro medir as plantas, e é uma inspiração de força de vontade, dedicação e garra, além de um exemplo para que eu seja mais opinativa.

Ao Léo, exemplo de inteligência e perfil profissional, que me acompanhou nas longas viagens do 544p.

À Flora Jr. e a todos os colegas que trabalharam comigo, especialmente às meninas que fizeram parte da diretoria executiva junto comigo, Larissa, Mirely e Ana Luzia, e a todos que foram meus assessores, como a Eduarda, Maria e Pedro, pois, essa experiência fez eu me ver enquanto profissional e não duvidar de minhas habilidades e potencial.

Ao PET Floresta que vem me proporcionando mais um desafio, melhora na minha formação e oportunidade de conhecer e trabalhar com novos colegas de profissão.

A todos os professores que me ensinaram sobre Engenharia Florestal ou que foram além disso.

A todos os colegas que fizeram parte da minha jornada na Rural de alguma forma, em especial a Ester e ao Rodrigo.

RESUMO

As temperaturas cardinais são parâmetros essenciais em modelos de desenvolvimento vegetal e para subsidiar maior eficiência e efetividade na produção de mudas florestais. Contudo, essas informações são escassas para espécies arbóreas nativas de biomas brasileiros. O objetivo deste trabalho foi estimar as temperaturas cardinais inferior, ótima e superior para o desenvolvimento foliar, avaliar o efeito de diferentes métodos para o cálculo da soma térmica, e identificar a resposta do filocrono ao fotoperíodo durante a fase de muda de quatro espécies florestais. Um experimento foi conduzido entre dezembro de 2019 e abril de 2021, considerando dez épocas de semeadura espaçadas em aproximadamente 45 dias. Quatro espécies florestais nativas foram utilizadas: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith, *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna e *Schinus terebinthifolia* Raddi. Para cada espécie e época, 15 repetições foram utilizadas, totalizando 600 unidades amostrais (10 épocas x 4 espécies x 15 repetições). O número de folhas das mudas foi medido quinzenalmente, como indicador de desenvolvimento. As variáveis meteorológicas coletadas durante todo o experimento foram a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e precipitação. A análise de variância e o teste de Skott-Knott foram utilizados para comparar o desenvolvimento foliar entre as espécies e épocas de semeadura. Foram usados 7 métodos para a estimativa da temperatura cardinal inferior, o conceito do filocrono para a temperatura ótima e equações para a temperatura cardinal superior. Após a estimativa das temperaturas cardinais, seis métodos de soma térmica foram analisados através do desvio padrão do filocrono, para verificar o que melhor representa esta variável. A resposta fotoperiódica para o desenvolvimento inicial de mudas das 4 espécies, representado pelo filocrono médio de cada época foi realizado pela análise de regressão linear. As temperaturas cardinais inferiores para *H. impetiginosus*, *T. roseoalba*, *C. speciosa* e *S. terebinthifolia* foram, respectivamente, 11,3°C, 10,0°C, 11,5°C e 9,8°C; as temperaturas ótimas foram 25,7 °C, 24,2 °C, 22,7 °C e 24,8 °C; e as superiores foram 50,3°C, 53,2°C, 57,6°C e 52,6°C. Diferenças estatísticas entre as espécies e épocas de semeadura para a determinação do filocrono foram encontradas, em que, de maneira geral, nas épocas com temperaturas mais amenas/quentes, o filocrono foi maior/menor, exceto para a *T. roseoalba* que não apresentou variações no filocrono entre as épocas. Os valores de filocrono médio das espécies variaram entre 46,92 (*H. impetiginosus*) e 246,2 °C dia folha⁻¹ (*C. speciosa*). O método de soma térmica com o menor desvio padrão do filocrono para todas as espécies foi o mesmo, em que penaliza as temperaturas do extremas do dia. As regressões lineares entre o filocrono e o fotoperíodo médio das épocas de semeadura de todas as espécies não foram significativas, indicando que a produção de mudas não é responsiva ao fotoperíodo, o que corrobora com a classificação das espécies para a duração do ciclo de desenvolvimento foliar das mudas como de plantas neutras à duração do dia.

Palavras-chave: temperatura do ar; desenvolvimento vegetal; amplitude térmica; plantas de dias neutros.

ABSTRACT

Cardinal developmental temperatures are essential in plant models and improve the efficiency and effectiveness of forest seedlings production. forest production. However, this information is scarce for tree species native to Brazilian biomes. The objective of this work was to estimate the lower, optimal and upper cardinal temperatures for the leaf development of seedlings, evaluate the effect of the thermal sum calculation methods, and identify the phyllochron response to the photoperiod during the seedling phase of four forest species. An experiment was conducted between December 2019 and April 2021, considering ten sowing dates spaced approximately 45 days apart. Four native forest species were used: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith, *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna and *Schinus terebinthifolia* Raddi. For each species and season, 15 replicates were used, totaling 600 sampling units (10 seasons x 4 species x 15 replicates). The number of leaves of the seedlings was measured fortnightly, as an indicator of development. The meteorological variables collected throughout the experiment were air temperature, relative humidity, and precipitation. Analysis of variance and Skott-Knott test were used as a statistical tool to compare leaf development between species and sowing dates. Seven methods were used to estimate the lower cardinal temperature, the phyllochron concept for the optimal temperature and mathematical models for the upper cardinal temperature. After establishing the cardinal temperatures, six thermal sum methods were analyzed using the standard deviation of the phyllochron, to verify which best represents this variable. The photoperiod response for the initial development of seedlings of the 4 species, represented by the average phyllochron of each season, was performed by linear regression analysis. The lower cardinal temperatures for *H. impetiginosus*, *T. roseoalba*, *C. speciosa* and *S. terebinthifolia*, respectively, were 11.3°C, 10.0°C, 11.5°C and 9.8°C; optimal temperatures were 25.7 °C, 24.2 °C, 22.7 °C and 24.8 °C; and upper were 50.3°C, 53.2°C, 57.6°C and 52.6°C. There were statistical differences between the species and sowing dates for the determination of the phyllochron in which, in general, in the periods with milder/warmer temperatures, the phyllochron was higher/lower, except for *T. roseoalba* which did not show variations in the phyllochron between the sowing dates. The average phyllochron of the species varied between 46.92 (*H. impetiginosus*) and 246.2 °day leaf⁻¹ (*C. speciosa*). The thermal sum method with the smallest standard deviation for all phyllochron species was the method that penalizes the extreme temperatures of the day. The linear regressions between the phyllochron and the average photoperiod of the sowing dates of all species were not significant, indicating that seedling production does not have photoperiod requirements, which corroborates the classification of species for the duration of the leaf development cycle of seedlings as day-neutral plant.

Keywords: air temperature; plant development; thermal amplitude; neutral day plants.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Temperaturas cardinais	2
2.2. Influência da temperatura e fotoperíodo em plantas	3
2.3. Fotoperíodo e Soma Térmica	5
2.4. Produção de Mudanças de espécies nativa	6
2.5. Espécies nativas de interesse	7
2.5.1. <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos - Ipê-roxo	7
2.5.2. <i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith - Ipê-branco	7
2.5.3. <i>Ceiba speciosa</i> (A. St.-Hil.) Ravenna – Paineira	8
2.5.4. <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi – Aroeira	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1. Local do Experimento e levantamento dos dados meteorológicos	9
3.2. Protocolo experimental	10
3.3. Estimativa das temperaturas cardinais	12
3.3.1. Temperatura Cardinal Inferior (Tb)	12
3.3.2. Temperatura Cardinal Superior (TB)	14
3.4. Métodos de soma térmica	15
3.5. Influência do Fotoperíodo	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1. Aspectos meteorológicos do experimento	17
4.2. Temperatura cardinal inferior (Tb)	18
4.4. Temperatura ótima (Tot)	24
4.5. Métodos de Soma Térmica	27
4.6. Influência do fotoperíodo	28

5. CONCLUSÃO	30
6. REPERERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Datas de semeadura, de emergência e do fim de cada época de semeadura do experimento conduzido no viveiro florestal, Seropédica, Rio de Janeiro.	11
Tabela 2. Métodos de estimativa da temperatura cardinal inferior utilizados.	13
Tabela 2. Datas de semeadura, emergência e fim de cada época para cada espécie com suas respectivas durações, temperatura máxima (Tx), temperatura média (Tm) e temperatura mínima (Tn).	20
Tabela 3. Valores de correlação de Spearman entre a temperatura do ar e a duração das épocas para as diferentes espécies.	22
Tabela 4. Temperatura cardinal inferior estimada para as diferentes metodologias e média. .	22
Tabela 5: Coeficientes de regressão e p-valor para o desenvolvimento relativo e temperatura média e graus-dia e temperatura média.	24
Tabela 6. Filocrono ($^{\circ}\text{C dia}\cdot\text{folha}^{-1}$) das quatro espécies para as diferentes épocas.	25
Tabela 7: Valores de Filocrono em $^{\circ}\text{C dia}/\text{folha}$ para as 4 espécies florestais entre os diferentes métodos de soma térmica utilizados.	27
Tabela 8: Filocrono ($^{\circ}\text{C dia}\cdot\text{folha}^{-1}$) das quatro espécies para as diferentes épocas calculo a partir da STa obtida pelo método 4.	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da ocorrência nacional de <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.).....	7
Figura 2: Mapa da ocorrência nacional de <i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith.	8
Figura 3: Mapa da ocorrência nacional de <i>Ceiba Speciosa</i> (A. St.-Hil.) Ravenna.	8
Figura 4: Mapa da ocorrência nacional de <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.	9
Figura 5: Localização do Viveiro Florestal “Luiz Fernando de Oliveira Capellão”.....	10
Figura 6. Temperaturas do ar máximas (Tx, °C), médias (Tm, °C) e mínimas (Tn, °C), umidade relativa do ar (RH, %), chuva (mm) e duração das épocas durante o período do experimento (E1-E10).	19
Figura 7. Gráficos dos métodos de estimativa da Tb para ipê-roxo, ipê-branco, paineira e aroeira. (a) menor desvio padrão em graus-dia; (b) menor desvio padrão em dias; (c) coeficiente de variação em graus-dia; (d) coeficiente de variação em dias; (e) coeficiente de regressão; (f) desenvolvimento relativo. N é o número de dias de duração de cada época.....	23
Figura 8. Número de folhas em função dos graus-dias acumulados: (a) ipê-roxo; (b) ipê-branco; (c) paineira; (d) aroeira.	26
Figura 9. Boxplot do filocrono para aroeira, ipê-branco, ipê-roxo e paineira.	26
Figura 10: Relação entre filocrono (°C dia folha-1) e fotoperíodo médio (horas) durante o período de emissão de folhas para 4 espécies florestais 10 épocas de semeadura, em Seropédica, RJ, de 2019 a 2021.	29

1. INTRODUÇÃO

O aumento da temperatura afeta todas as formas de vida, em especial as plantas que são organismos sésseis, com atividades fisiológicas diretamente relacionadas à temperatura (FAGUNDES; REIS; MARTINS, 2021). Por essa razão, há uma preocupação crescente sobre os impactos dos aumentos projetados de temperatura no desenvolvimento das plantas, principalmente no Brasil onde projeta-se aumentos de temperatura entre 1.5° e 5°C (IPCC, 2013; REIS et al., 2021; TORRES et al., 2021). Estudos recentes demonstram que o aumento de temperatura é suficiente para alterar a taxa de desenvolvimento foliar inicial de espécies florestais e, assim, alterar o tempo de permanência de mudas no viveiro e o próprio manejo da produção, por meio do aumento na frequência de irrigação e no uso de sombreamento (FAGUNDES; REIS; MARTINS, 2021; REIS et al., 2021). Ambas alterações poderão onerar os custos de operação dos viveiros e comprometer a qualidade das mudas que, por sua vez, poderão dificultar programas de recomposição e de recuperação florestal (MARTINS; DA SILVA; STRECK, 2007; MARTINS; STRECK, 2007; COSTA; STRECK, 2018; GROSSNICKLE; MACDONALD, 2018; FERREIRA et al., 2019b; FLORÊNCIO et al., 2019; REIS et al., 2021).

O comportamento de espécies arbóreas em diferentes cenários de temperatura pode ser analisado com suporte de modelos de desenvolvimento (FAGUNDES; REIS; MARTINS, 2021), que são úteis para avaliação dos impactos das mudanças climáticas na fase inicial do desenvolvimento de plantas (REIS et al., 2021) e auxiliam no planejamento de atividades em viveiros florestais (MARTINS; FERREIRA; FLORÊNCIO, 2022). Contudo, para gerar estas projeções é necessário que sejam conhecidas previamente as temperaturas cardinais das espécies de interesse, pois os modelos dependem dessas informações de entrada (FERREIRA et al., 2019a; FLORÊNCIO et al., 2019; REIS et al., 2021; MARTINS; FERREIRA; FLORÊNCIO, 2022).

As temperaturas cardinais representam os limites térmicos dentro dos quais as plantas se desenvolvem adequadamente. As temperaturas cardinais inferior (T_b) e máxima (T_B) representam as temperaturas abaixo e acima das quais o desenvolvimento da planta é nulo ou desprezível, respectivamente. Já a temperatura ótima (T_{ot}) representa a temperatura na qual o desenvolvimento da planta é máximo (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017). Apesar de sua importância, ainda são escassos estudos que determinam as temperaturas cardinais para espécies florestais, principalmente de espécies nativas brasileiras. Fagundes, Reis e Martins (2021) e Martins, Ferreira e Florêncio (2022) relatam a dificuldade e a escassez de estudos com o uso de modelos de desenvolvimento em espécies nativas, apesar de sua importância, sendo a falta de informações de parâmetros de entrada como as temperaturas cardinais, um dos principais motivos.

Para cada ciclo da cultura ou mesmo para uma etapa de produção de mudas, os limites de temperatura para o desenvolvimento foliar são definidos pelas temperaturas cardinais, associados ao acúmulo térmico necessário que normalmente é constante para este período em questão (e particular para cada espécie), e é um parâmetro de importância para avaliar o efeito da temperatura do ar sobre o crescimento e desenvolvimento dos vegetais (FERREIRA et al., 2019b). Esse requisito térmico é denominado soma térmica (PAULA et al., 2005; ROSA et al., 2009). Através da soma térmica, pode-se relacionar o requisito energético, em °C dia, para a emissão sucessivas de folhas na haste principal (CHAVES et al., 2017), subsidiando a modelagem do desenvolvimento foliar da muda.

Outro fator que influencia no desenvolvimento vegetal é a duração do dia ou fotoperíodo, uma vez que regula funções fisiológicas (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017), incluindo a taxa fotossintética da planta, e, conseqüentemente, a emissão de folhas (SOLTANI; SINCLAIR, 2012; FREITAS e MARTINS, 2019). As plantas podem ter diferentes respostas ao fotoperíodo, dependendo do estágio fenológico da mesma (TAIZ et al., 2017), sendo possível estudar seu efeito a partir de experimentos ao ar livre com diferentes épocas de semeadura ao longo do ano (ROSA et al., 2009; SOLTANI; SINCLAIR, 2012; FREITAS e MARTINS, 2019). No caso de mudas florestais, a resposta da taxa do desenvolvimento foliar acelerado em dias com menor/maior fotoperíodo, indicam plantas de dia curtos/longos. A influência do fotoperíodo no desenvolvimento de mudas é útil no planejamento das atividades em viveiros florestais.

Portanto, conhecer as temperaturas cardinais e as respostas fotoperiódicas de espécies com diversos usos como *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (ipê-roxo), *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (ipê-branco), *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (paineira) e *Schinus terebinthifolia* Raddi (aroeira-vermelha) é importante para verificar a adaptação, recomendação e manejo adequado dessas culturas, além de propiciar o uso de modelos de desenvolvimento capazes de projetar o potencial ecológico e econômico dessas espécies em climas atuais e futuros (FAGUNDES; REIS; MARTINS, 2021).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estimar as temperaturas cardinais inferiores, ótimas e superiores para o desenvolvimento foliar de mudas e avaliar o efeito dos métodos do cálculo da soma térmica e influência do fotoperíodo no desenvolvimento foliar através do filocrono, para a formação de mudas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith, *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna, e *Schinus terebinthifolia* Raddi.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Temperaturas cardinais

Cada espécie necessita de um protocolo distinto para a produção de suas mudas, que leva em conta diversos fatores como o substrato, o recipiente (JOSÉ; DAVIDE; OLIVEIRA, 2005; MACEDO et al., 2011; LIMA FILHO et al., 2019), lâmina e frequência de irrigação, além dos aspectos meteorológicos como a temperatura do ar (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017) e o fotoperíodo (FREITAS; MARTINS, 2019). Os elementos meteorológicos estão diretamente relacionados ao desenvolvimento vegetal, sendo considerada a temperatura como o principal deles (MARTINS; REIS; PINHEIRO, 2012; CHAVES et al., 2017; CAVALCANTE et al., 2020). A temperatura influencia na regulação de enzimas que atuam direta ou indiretamente nos processos metabólicos e fisiológicos das plantas, além da influência na fotossíntese, trocas gasosas e tensão hídrica (TAIZ et al., 2017). Em termos de desenvolvimento foliar, a temperatura afeta a velocidade em que as folhas são emitidas, influenciando o tempo de duração de uma fase fenológica (PILAU et al., 2011; RODRIGUES; SOUZA; LIMA, 2013) ou o tempo em que as mudas ficam nos viveiros (POSSE et al., 2018; FERREIRA et al., 2019a; SILVA et al., 2020).

Fisiologicamente, considera-se temperatura cardinal ou temperatura basal, aquela em que acima/abaixo da mesma o crescimento ou o desenvolvimento é nulo ou considerado desprezível. Ainda, existe a temperatura em que o crescimento ou desenvolvimento é ótimo ou

apresenta taxa ótima. Essas três temperaturas cardinais são denominadas temperatura cardinal superior (TB), temperatura cardinal inferior (Tb) e a temperatura cardinal ótima (Tot). Portanto, a temperatura cardinal inferior e superior são as temperaturas limites para que ocorra o crescimento e desenvolvimento do vegetal, sendo que abaixo da Tb os processos metabólicos são reduzidos e acima da TB, os processos de transpiração e respiração são maiores que a taxa fotossintética. Já a temperatura ótima é aquela onde o desenvolvimento e crescimento vegetal é máximo (YANG; LOGAN; COFFEY, 1995; FERREIRA et al., 2019b).

Apesar da descrição fisiológica clara, a determinação das temperaturas cardinais não é fácil e exigem protocolos experimentais específicos, além de métodos estatísticos. A variável de estudo, sendo um parâmetro de crescimento ou de desenvolvimento, deve ser exposta a diferentes condições meteorológicas, através do uso de diferentes épocas de semeadura ou plantio, ou locais com temperaturas distintas (LUZ et al., 2012; FERREIRA, 2017). Dessa forma, poder-se-ia contabilizar as respostas da planta em diferentes condições de temperatura, para a aplicação de metodologias para a estimativa de Tb, TB e Tot. Os métodos tradicionais para estimativa da Tb, envolvem situações em que a planta foi submetida a situações de temperaturas mais amenas, para relacionar ao seu desenvolvimento em termos de taxa de crescimento ou menor variação. Dentre esses métodos pode se mencionar o método do desvio padrão em graus dias, do desvio padrão em dias, do coeficiente de variação em graus dias, do coeficiente de variação em dias, e métodos baseados em análise de regressão linear entre o acúmulo térmico ou desenvolvimento em relação à temperatura do ar, utilizando o coeficiente angular da reta de regressão ou o quadrado médio do erro para determinar a Tb (SHARRATT; SHEAFFER; BAKER, 1989; YANG; LOGAN; COFFEY, 1995; SILVA et al., 2020).

O método mais tradicional utilizado para determinação da Tot é utilizando o conceito do filocrono, definido como o intervalo de tempo entre o aparecimento de duas folhas sucessivas, que pode ser representado pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear entre o desenvolvimento e a soma térmica acumulada (PAULA; STRECK, 2008; FERREIRA et al., 2019a), utilizando experimentos ou épocas de plantios que abrangem distintas condições de temperatura. Já a temperatura cardinal superior pode ser obtida utilizando épocas de semeadura ou plantio, ou situações com temperaturas elevadas. O método de estimativa de TB envolve estimativa de diversos parâmetros relacionados às temperaturas máximas, mínimas do ar, a Tb e a duração do experimento, que corresponde à duração do ciclo analisado.

Conhecer as temperaturas cardinais se mostra importante devido às diversas aplicações que as exigem como dados de entrada e no processo de escolha de espécies em projetos de reflorestamento, já que com elas é possível determinar espécies melhor adaptadas para a área a ser restaurada. Além disso, beneficia a produção de mudas de melhor qualidade ao indicar as melhores condições e épocas de plantio das espécies (SILVA et al., 2020). Ademais, com as mudanças climáticas e projeções de aquecimento para os próximos anos é possível utilizar estas temperaturas para a simulação dos impactos deste fenômeno (LUCAS et al., 2012).

2.2. Influência da temperatura e fotoperíodo em plantas

René A. F. de Réaumur, na França, em 1735, realizou os primeiros estudos relacionando a duração de ciclos e o desenvolvimento vegetal com a temperatura. Réaumur percebeu que o somatório da temperatura do ar durante o ciclo de várias espécies vegetais, era praticamente constante (MARTINS; DA SILVA; STRECK, 2007; GONÇALVES et al., 2016). A partir desses experimentos, foram estabelecidos conceitos de graus dia e soma térmica, baseados em intervalos de temperatura em que o crescimento e/ou o desenvolvimento vegetal ocorrem. Essa abordagem traz uma série de possibilidades e aplicações como a previsão de ciclos de culturas,

planejamento e estabelecimento do calendário agrícola, planejamento da colheita e no zoneamento agrícola.

O fotoperíodo é outro fator que influencia no desenvolvimento vegetal. Os eventos fisiológicos e bioquímicos respondem a um tempo circadiano, que corresponde a capacidade de uma planta perceber a duração do dia, ou o fotoperíodo. Dessa forma, alguns eventos podem ser recorrentes em determinado período do ano (TINCKER, 1924; TAIZ et al., 2017). Controlando a duração do dia de maneira artificial, Garner e Allard (1920), verificaram que o tabaco, a soja e um grande número de outras plantas que a duração relativa do dia era um fator importante no crescimento e desenvolvimento dessas plantas, particularmente no que diz respeito à reprodução sexuada. Ainda, para que a planta atingisse certos estágios de floração e frutificação, era necessário que a duração do dia atendesse a alguns limites.

Desde os primeiros estudos agrometeorológicos, o foco principal têm sido as culturas agrícolas, como alfafa (SHARRATT; SHEAFFER; BAKER, 1989), inhame (MARCOS et al., 2009), alface (TEZZA; MINUZZI, 2019), cártamo (TORABI et al., 2020), guar (BAATH et al., 2020), soja (KELLY et al., 2021) e café (LIMA; SILVA, 2008). As espécies florestais, por sua vez, possuem ciclo de vida longos e mais recentemente na história brasileira os plantios comerciais passaram a ter maior interesse econômico (HORA, 2015). Por esta razão os estudos que relacionam temperatura e desenvolvimento e crescimento vegetal começaram a surgir mais tardiamente para este setor.

No Brasil, os primeiros estudos sobre temperaturas cardinais e fotoperíodo, tiveram foco em gêneros de grande importância comercial como o *Eucalyptus* sp, por ser o gênero mais cultivado no Brasil, com. O Brasil possui 9,55 milhões de hectares de áreas plantadas com espécies florestais para fins industriais, sendo 78% de cultivo do gênero *Eucalyptus* e 45,7% desses plantios estão concentrado nos estados de Minas Gerais e São Paulo (IBÁ, 2021). Neste contexto, os primeiros estudos agrometeorológicos foram realizados por Martins et al. (2007), que estimaram a temperatura cardinal inferior para emissão de folhas e o filocrono de plântulas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* (Smith). Como resultados, os autores encontraram a T_b de 8,0°C para *Eucalyptus saligna* e 10° C para *Eucalyptus grandis*. O desenvolvimento foliar também pode ser estimado por modelos de desenvolvimento que consideram a temperatura cardinal inferior dessas espécies (MARTINS; STRECK, 2007), com a simulação da duração da fase de muda em cenários de mudanças climáticas (COSTA; STRECK, 2018). Freitas, Martins e Abreu (2017) estimaram as temperaturas cardinais para a *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*, espécies comerciais para exploração de madeira e extração de óleo essencial. Foi possível estimar neste trabalho as temperaturas cardinais inferior, ótima e máxima para a emissão foliar, sendo 8,7, 17,1, e 41,3°C, para *C. citriodora*, e 11,5, 17,1, e 40,5°C para *E. urophylla*, respectivamente. Freitas e Martins (2019) determinaram os requisitos térmicos e a influência do fotoperíodo para as mesmas espécies, verificando o comportamento típico de plantas de dia curto, em que o desenvolvimento é acelerado em dias considerados curtos.

Na região sul de Minas Gerais. Martins, Reis e Pinheiro (2012), estabeleceram a temperatura cardinal inferior para *Olea europaea* L., a oliveira, espécie que é explorada para utilização de seus frutos, sendo bastante cultivada na região de Maria da Fé. Nesse trabalho foi estimada a temperatura cardinal inferior para emissão foliar de 10,5°C e 11°C para diferentes cultivares de oliveira. A modelagem do desenvolvimento, utilizando as informações das temperaturas basais também foi realizada (MARTINS et al., 2014). Em região de transição entre o bioma Amazônia e Cerrado, no Mato Grosso, foram estimadas as temperaturas basais e os requerimentos térmicos para espécies perenes da família Fabaceae (MONTEIRO et al., 2014). Frutíferas como a nectarina e pêsego também tiveram as temperaturas basais estimadas

para fases fenológicas distintas, no interior do estado de São Paulo (SOUZA; LEONEL; SILVA, 2011).

Somente em 2019, Ferreira et al. (2019b) trabalharam com duas espécies nativas brasileiras, *Citharexylum myrianthum* e *Bixa orellana*, espécies importantes para programas de reflorestamento e, no caso da *Bixa orellana*, para produção de condimentos e corante. Neste estudo puderam estimar as temperaturas cardinais inferior, ótima e máxima, sendo 11,4, 18,1, e 36,6°C para *C. myrianthum* e para *B. orellana*, 12,0, 18,4, e 46,4°C, respectivamente. Em 2020, Silva et al. (2020) trabalharam com outras duas espécies nativas brasileiras, também utilizadas em programas de reflorestamento, *Caesalpinia ferrea* Mart. ex. Tul. Var. *leiostachya* Benth e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan. Foi possível estimar as temperaturas cardinais inferior, ótima e máxima para a emissão foliar, sendo respectivamente 12,8°C, 20,7°C e 46,3°C para *C. ferrea* e 10,3°C, 23°C e 45,5°C para *A. macrocarpa*.

2.3. Fotoperíodo e Soma Térmica

O fotoperíodo consiste na duração do dia e tem relação direta com o tempo de radiação solar que as plantas recebem em um dia, sendo um grande regulador no desenvolvimento vegetal. O fotoperíodo influencia a taxa de emissão foliar, que irá afetar diretamente na interceptação da radiação solar, consequentemente na fotossíntese, biomassa e produção (RAWAL et al., 2015; FREITAS; MARTINS, 2019). Também há evidências dos efeitos do fotoperíodo no desenvolvimento foliar de espécies florestais do gênero *Eucalyptus* e *Corymbia*, o que pode auxiliar no planejamento de implantação de povoamentos florestais (FREITAS; MARTINS, 2019).

O impacto do fotoperíodo nas espécies vegetais se dá devido a variação de intensidade, qualidade, duração e direção da radiação solar que leva a diferentes respostas metabólicas em plantas e diferenças em seu desenvolvimento. Isto ocorre, pois a radiação solar afeta diversos processos vegetais sendo eles morfogênicos, fototropismo e a própria fotossíntese, sendo ainda mais importante nesta última por ser sua fonte primária de energia (MONTEIRO et al., 2014).

As respostas ao fotoperíodo estão relacionadas ao ciclo circadiano das plantas que são capazes de perceberem o comprimento do dia, estimulado por sinais externos como a luz. Este ciclo controla a expressão gênica dos vegetais e diversos estudos demonstram o papel do ciclo circadiano e dos fotorreceptores como componentes iniciais no controle fotoperiódico do crescimento das árvores (SINGH et al., 2017).

A resposta do florescimento das plantas ao fotoperíodo é a mais estudada, porém, a partir desta constatação, a influência do fotoperíodo pode estar envolvida com outros aspectos do desenvolvimento (TAIZ et al., 2017), como a aceleração ou retardamento na taxa de emissão de folhas em período de formação de mudas (FREITAS; MARTINS, 2019). As plantas podem ser colocadas em 5 diferentes categorias em resposta ao fotoperíodo: plantas de dias longos, que respondem aos dias longos; plantas de dias curtos, que respondem a dias curtos; plantas de dias longos-curtos, que respondem a uma sequência de dias longos seguida por dias curtos; plantas de dias curtos-longos, que respondem a dias longos antecedidos por uma sequência de dias curtos; e, por fim, as plantas de dias neutros que são insensíveis ao fotoperíodo, respondendo em qualquer duração do dia (RAWAL et al., 2015; TAIZ et al., 2017). A resposta dessas plantas pode corresponder a um ciclo ou período fenológico, bem como um período de interesse como o de produção de mudas florestais, em que o desenvolvimento foliar é a resposta de interesse (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017; FREITAS; MARTINS, 2019; ABREU et al., 2022).

A influência do fotoperíodo na duração da fase de mudas, vinculando a temperatura do ar, pode ser verificada através de relação do filocrono, considerando diferentes métodos de soma térmica. Neste sentido, a soma térmica, cuja unidade é °C dia, é uma constante, que expressa a quantidade de energia necessária para que uma espécie vegetal atinja determinado grau de desenvolvimento, sendo calculada a partir do acúmulo térmico acima de uma temperatura cardinal inferior de uma espécie vegetal (FREITAS; MARTINS, 2019). É uma medida de tempo biológico mais representativa que os dias corridos do calendário civil, pois leva em conta o efeito da temperatura nos processos fisiológicos da planta (MARTINS; SILVA; STRECK, 2007). Existem diferentes métodos de soma térmica, e o uso de métodos distintos deve ser incentivado, uma vez que os mesmos influenciam no filocrono. A diferença básica entre os métodos de soma térmica se relaciona com o a penalização da soma térmica acumulada, devido à ocorrência de temperaturas muito baixas (abaixo da T_b), muito elevadas (acima da T_{ot} ou da T_B), ou temperaturas muito baixas e muito altas (SOUZA; LEONEL; SILVA, 2011; FREITAS; MARTINS, 2019).

Assim como estudos relacionados às temperaturas basais, no Brasil, estudos de soma térmica (PAULA et al., 2005; ROSA et al., 2009; BISOGNIN et al., 2017) e que relacionam o fotoperíodo ao desenvolvimento ou à um ciclo fenológico de plantas (ROSA et al., 2009; CHAVES et al., 2017) tem como foco principal culturas agrícolas. Em contraste com as plantas anuais, as plantas perenes passam por repetidos ciclos de crescimento/desenvolvimento vegetativo. Consequentemente, plantas perenes são expostas à grandes flutuações sazonais de temperatura, fotoperíodo e outros fatores ambientais durante o crescimento e desenvolvimento (SINGH et al., 2017). Logo, pesquisas que relacionam esses fatores são importantes e ainda incipientes no Brasil. Souza et al. (2011) determinaram os requisitos térmicos de plantas de nectarina e pêsego. Milani et al. (2021) monitoraram o crescimento em diâmetro de árvores de *Schinus terebinthifolia* e o relacionaram ao fotoperíodo e temperatura do ar em região de Mata Atlântica. Freitas e Martins (2019) trabalharam com plantas na fase de mudas, visando a resposta do desenvolvimento foliar em espécies perenes e verificaram a influência do fotoperíodo na formação de mudas de *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora*. Porém, estudos sobre a influência do fotoperíodo no desenvolvimento foliar em mudas de espécies nativas ainda são incipientes.

2.4. Produção de Mudas de espécies nativa

Com a atenção mundial voltada aos aspectos ambientais e sustentabilidade, houve um aumento na demanda pela produção de mudas de espécies florestais nativas para a recuperação de áreas degradadas, indicando a necessidade de desenvolvimento de pesquisas para aumento de conhecimento técnico sobre essas espécies e aperfeiçoamento da produção de mudas de qualidade com custos reduzidos (JOSÉ et al., 2005; MACEDO et al., 2011).

A qualidade das mudas está ligada à capacidade de resistirem às condições adversas encontradas no campo para que sejam capazes de crescer e se desenvolver e isto é determinado por características morfológicas e fisiológicas (LIMA FILHO et al., 2019; ABREU et al., 2022). A formação de mudas é afetada por diversos fatores, dentre eles a qualidade das sementes, tipo de recipiente, substrato empregado, adubação, práticas culturais como irrigação, sombreamento, aclimação, dentre outros aspectos, portanto o manejo adequado no viveiro é necessário para se atingir padrões esperados no campo (JOSÉ et al., 2005; LIMA FILHO et al., 2019).

Um indicador de desenvolvimento vegetal bastante usado em estudos que envolvem datas de semeadura e qualidade de mudas é o número de folhas acumuladas (NF) na haste

principal. O NF está relacionado com a evolução da área foliar que influencia na fotossíntese, pois está diretamente na interceptação da radiação solar (MARTINS; SILVA; STRECK, 2007; ROSA et al., 2009; FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017; COSTA; STRECK, 2018). O NF, pode ser contabilizado utilizando o conceito do filocrono, que é o intervalo de tempo térmico, em graus-dia, entre a emissão de folhas sucessivas, com unidade °C dia folha⁻¹ (MALDANER et al., 2009). O filocrono tem sido uma variável do desenvolvimento vegetativo bastante usada em estudos ecofisiológicos (CHAVES et al., 2017) e modelos de desenvolvimento (MARTINS; FERREIRA; FLORÊNCIO, 2022). Além disso, é afetado por temperaturas extremas, estresses hídrico e nutricional, fotoperíodo, data de semeadura e pelo próprio método de soma térmica, o que exige investigações específicas sobre o tema, especialmente em espécies pouco estudadas como espécies nativas do Brasil.

2.5. Espécies nativas de interesse

2.5.1. *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos - Ipê-roxo

Handroanthus impetiginosus (Mart. ex DC.) pertence à família Bignoniaceae, é conhecida popularmente como ipê-roxo, pau-d'arco-roxo e ipê-roxo-da-mata, podendo atingir de 20 a 35m de altura. A espécie ocorre em grande parte do Brasil, nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (Figura 1) (LOHMANN, s.d.; FELIX; MEDEIROS; PACHECO, 2018).

É usada para recomposição florestal e apresenta usos como planta medicinal. Sua floração exuberante faz com que seja frequentemente utilizada em projetos de arborização urbana e projetos paisagísticos como uma planta ornamental (LIMA et al., 2014; ZHANG et al., 2020).



Figura 1: Distribuição da ocorrência nacional de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.).

Fonte: (LOHMANN, s.d. a)

2.5.2. *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith - Ipê-branco

Tabebuia roseoalba (Ridl.) Sandwith também pertence à família Bignoniaceae, porém tem ocorrência mais restrita que o ipê-roxo, pois ocorre naturalmente apenas nos biomas

Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (Figura 2) (LOHMANN, s.d. b). É conhecida como ipê-branco, pau-d'arco e ipê-do-cerrado, pode atingir até 16m de altura com um diâmetro de 40 a 50cm (MELO, 2014). Sua madeira possui fins madeireiros e é frequentemente usada em projetos de reflorestamento, ornamentação e arborização urbana (SANTOS et al., 2005).



Figura 2: Distribuição de ocorrência nacional de *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith.
Fonte: (LOHMANN, s.d. b)

2.5.3. *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna – Paineira

Ceiba speciosa (A. St.-Hil.) Ravenna pertencente à família Malvaceae ocorre nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal (Figura 3) (CARVALHO-SOBRINHO, s.d.). Seu fruto apresenta a paina, que dá origem aos seus nomes populares, paineira, paineira-rosa, paineira-branca, árvore-de-paina, dentre outros (PACHECO et al., 2013). Esse material é utilizado na indústria têxtil, pois se assemelha ao algodão.

Apesar de seus espinhos é encontrada em ambiente urbanos como uma espécie ornamental, além disso é muito usada em projetos de reflorestamento, pois possui rápido crescimento e é classificada como pioneira (LIMA FILHO et al., 2019).



Figura 3: Distribuição de ocorrência nacional de *Ceiba Speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna.
Fonte: (CARVALHO-SOBRINHO, s.d.)

2.5.4. *Schinus terebinthifolia* Raddi – Aroeira

Schinus terebinthifolia Raddi pertencente à família Anacardiaceae ocorre naturalmente na Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pampa, ou seja, grande parte do território brasileiro (Figura 4: Distribuição de ocorrência nacional de *Schinus terebinthifolia* Raddi. 4) (SILVA-LUZ et al., s.d.). É popularmente conhecida como aroeira, aroeira-da-praia, aroeira-vermelha, aroeira-mansa, aroeira-precoce, aroeira-pimenteira, aroeira-do-brejo, aroeira-negra, aroeira-branca, aroeira-do-campo, aroeira- do-sertão, aroeira-do-paraná, entre outros (SILVA, 2007).

Possui potencial ornamental, medicinal, é utilizada em projetos de reflorestamento e como diferencial, seus frutos são conhecidos como pimenta-rosa e usados na culinária, onde está se popularizando (SILVA, 2007).



Figura 4: Distribuição de ocorrência nacional de *Schinus terebinthifolia* Raddi.

Fonte: (SILVA-LUZ et al., s.d.)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do Experimento e levantamento dos dados meteorológicos

O experimento foi conduzido no Viveiro Florestal “Luiz Fernando de Oliveira Capellão” (22°46'27" S, 43°41'10" W, altitude de 26 m.a.n.m) do Instituto de Florestas, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil (Figura 5: Localização do Viveiro Florestal “Luiz Fernando de Oliveira Capellão” e detalhes do experimento.). O local possui clima tropical com estação seca no inverno/outono (Aw – tropical de monção) pela classificação climática de Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013).

Os dados meteorológicos usados no estudo são provenientes de uma estação meteorológica automática (A601 - Ecologia Agrícola) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a aproximadamente 1 km do viveiro florestal, na cidade de Seropédica. Os dados meteorológicos utilizados pelo INMET estão em escala horária e contempla os seguintes elementos meteorológicos: temperatura máxima do ar (Tmax - °C), temperatura instantânea (Tmed - °C), temperatura mínima (Tmin - °C), umidade relativa do ar (RU - %) e precipitação (prec – mm).

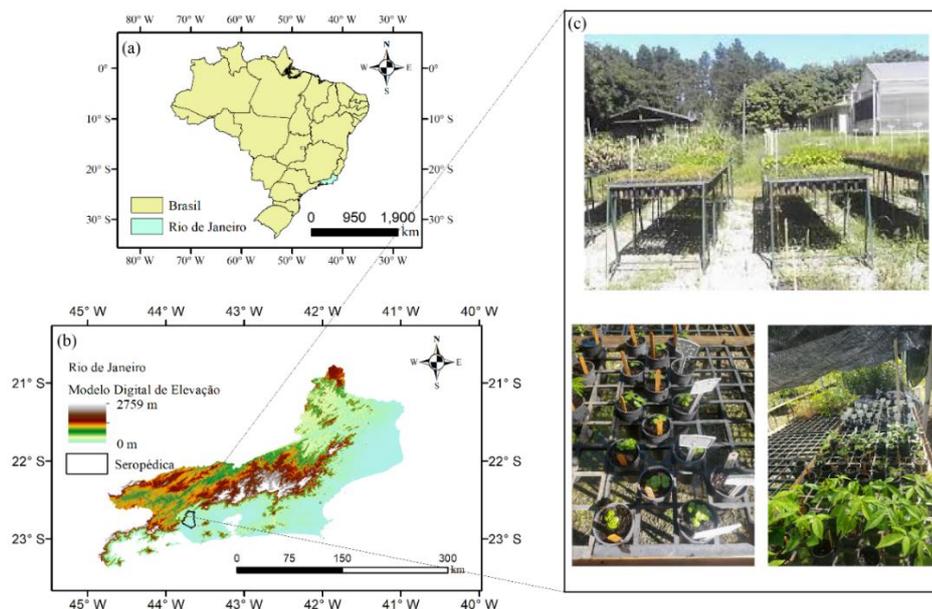


Figura 5: Localização do Viveiro Florestal “Luiz Fernando de Oliveira Capellão” e detalhes do experimento. (a) Localização do Estado do Rio de Janeiro no Brasil. (b) Localização de da cidade de Seropédica no Estado do Rio de Janeiro. (c) Detalhe do experimento no viveiro florestal.

3.2. Protocolo experimental

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado com quatro espécies florestais (*Handroanthus impetiginosus*, *Tabebuia roseoalba*, *Ceiba speciosa* e *Schinus terebinthifolia*) cultivadas em tubetes de 280 cm³ de volume, em dez épocas de semeadura, (Tabela 1) e 15 repetições por época (repetição = cada unidade experimental representada pelo tubete), totalizando 600 unidades experimentais. As épocas de semeadura foram instaladas em intervalos de aproximadamente 45 dias para que as mudas se desenvolvessem em uma ampla gama de condições de temperatura, conforme procedimento adotado por Freitas et al. (2017), Ferreira et al. (2019a, b) e Martins et al. (2022).

As sementes foram semeadas em tubetes preenchidos com substrato composto por casca de pinus compostada e vermiculita. A fertilização de base seguiu o procedimento proposto por Gonçalves et al. (2000). Para cada m³ do substrato foram adicionados 150 g de N, 300 g P₂O₅, 100 g de K₂O, por meio dos produtos comerciais sulfato de amônio, superfosfato simples, cloreto de potássio, respectivamente. Além disso, a cada m³, foram adicionados 150 g do produto FTE Br12 para fornecimento de micronutrientes (1,8% de B, 0,8% de Cu, 3,0% de Fe, 2,0% de Mn e 0,1% de Mo). Foi feita a homogeneização da mistura entre substrato e fertilizantes antes do preenchimento dos tubetes. Foram realizadas fertilização de cobertura em intervalos de 30 dias, a partir da data de semeadura em cada época, aplicando-se aproximadamente 10 ml de solução nutritiva composta por 200 g de N e 180 g de K₂O em 100 litros de água, também fornecidos por meio do sulfato de amônio e cloreto de potássio (GONÇALVES et al., 2000). Esse procedimento é comumente utilizado em viveiros de produção de mudas de espécies florestais nativas do Brasil (CALZAVARA et al., 2015). Foram realizadas irrigações diárias por sistema de aspersão, de maneira em que as plantas se desenvolvessem sem deficiência hídrica.

Tabela 1. Datas de semeadura, emergência e fim de cada época de semeadura do experimento conduzido no viveiro florestal, Seropédica, Rio de Janeiro.

Espécie	Época	Semeadura	Emergência	Fim	Espécie	Época	Semeadura	Emergência	Fim
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	E1	16/12/2019	23/12/2019	07/04/2020	<i>Ceiba speciosa</i>	E1	16/12/2019	30/12/2019	06/05/2020
	E2	15/01/2020	22/01/2020	22/07/2020		E2	15/01/2020	29/01/2020	12/08/2020
	E3	17/02/2020	28/02/2020	12/08/2020		E3	17/02/2020	04/03/2020	09/09/2020
	E4	07/04/2020	20/04/2020	29/09/2020		E4	07/04/2020	20/04/2020	09/09/2020
	E5	06/05/2020	19/05/2020	29/09/2020		E5	06/05/2020	10/06/2020	29/09/2020
	E6	10/06/2020	24/06/2020	29/10/2020		E6	10/06/2020	24/06/2020	29/10/2020
	E7	21/07/2020	12/08/2020	17/12/2020		E7	21/07/2020	12/08/2020	03/12/2020
	E8	09/09/2020	15/09/2020	01/03/2021		E8	09/09/2020	29/09/2020	08/01/2021
	E9	29/10/2020	03/12/2020	11/02/2021		E9	29/10/2020	15/11/2020	20/02/2021
	E10	03/12/2020	17/12/2020	01/03/2021		E10	03/12/2020	17/12/2020	26/03/2021
<i>Tabebuia roseoalba</i>	E1	16/12/2019	23/12/2019	19/05/2020	<i>Schinus terebinthifolia</i>	E1	16/12/2019	30/12/2019	06/05/2020
	E2	15/01/2020	22/01/2020	24/06/2020		E2	15/01/2020	29/01/2020	22/07/2020
	E3	17/02/2020	28/02/2020	20/09/2020		E3	17/02/2020	04/03/2020	09/09/2020
	E4	07/04/2020	20/04/2020	29/09/2020		E4	07/04/2020	20/04/2020	15/11/2020
	E5	06/05/2020	19/05/2020	21/10/2020		E5	06/05/2020	29/05/2020	17/12/2020
	E6	10/06/2020	24/06/2020	17/12/2020		E6	10/06/2020	24/06/2020	20/02/2021
	E7	21/07/2020	04/08/2020	08/01/2021		E7	21/07/2020	12/08/2020	21/01/2021
	E8	09/09/2020	15/09/2020	21/01/2021		E8	09/09/2020	29/09/2020	11/02/2021
	E9	29/10/2020	15/11/2020	26/03/2021		E9	29/10/2020	22/11/2020	26/03/2021
	E10	03/12/2020	17/12/2020	06/04/2021		E10	03/12/2020	17/12/2020	14/04/2021

Como as espécies possuem diferentes taxas de emissão das folhas e padrões de desenvolvimento, foram adotados limiares distintos para o término da fase de muda. Para *Handroanthus impetiginosus* e *Tabebuia roseoalba* foram considerados o limiar de 15 folhas acumuladas nas haste principal (ENDRES et al., 2010), para a *Ceiba speciosa* foi considerado o limiar de 10 folhas acumuladas nas haste principal (CALZAVARA et al., 2015; CONTIN et al., 2020) e, para a *Schinus terebinthifolia* foi considerado o limiar de 20 folhas acumuladas nas haste principal (ABREU et al., 2022, 2015; FREITAS et al., 2017).

A duração de cada época foi contabilizada desde 50% de emergência das plântulas até a fase final de muda. Durante esse período, foi realizada a contagem quinzenal do NF de todas as folhas com comprimento acima de 1 cm (MARTINS et al., 2007; FERREIRA et al., 2019a, b).

3.3. Estimativa das temperaturas cardinais

As temperaturas cardinais (Tb, Tot e TB) foram estimadas considerando dados de NF medidos para cada espécie, época de semeadura e repetição e dados de temperaturas mínima média e máxima (Tmin, Tmed e Tmax) do ar. Tb, Tot e TB foram estimadas utilizando metodologias amplamente utilizadas na literatura (BARTZ et al., 2017; SOUZA, MARTINS, 2014; MONTEIRO et al., 2014; SILVA et al., 2020). Para a estimativa da Tb foram considerados os dados de NF das quatro épocas de semeadura que apresentaram menores valores de Tmin e Tmed, conforme recomendações de Souza e Martins (2014), Ferreira et al (2019a) e Silva et al., (2020). Para Tot foram utilizados dados de NF de todas as épocas de semeadura, e para TB foram utilizados os dados de NF das duas épocas com maior Tmed, para cada espécie.

3.3.1 Temperatura Cardinal Inferior (Tb)

Os métodos utilizados para estimativa da Tb foram: desvio padrão em graus-dia (DPgd), desvio padrão em dias (DPd), coeficiente de variação em dias (CVd), coeficiente de variação em graus-dia (CVgd), coeficiente de regressão (CR), desenvolvimento relativo (DR) (ARNOLD, 1959; YANG; LOGAN; COFFEY, 1995) e quadrado médio do erro (QME) (SINCLAIR et al., 2004). Para os métodos do DPgd, DPd, CVgd, CVd, CR e QME, atribuiu-se a priori, temperaturas basais inferiores variando de 0 °C a 20 °C, a cada 0,5°C, como possibilidades. Os métodos de estimativa de Tb estão descritos na Tabela 2 e requerem valores de graus-dias e (GDd) (equação 1) graus-dias acumulados (GDD) (equação 2) , obtidos por (SHARRATT; SHEAFFER; BAKER, 1989; FARIAS et al., 2015):

$$GD_d = Tm - Tb. dia \quad (1)$$

$$GDD = \sum_{i=1}^n (Tm - Tb. dia) \quad (2)$$

em que: GD_d = graus-dia (°C dia), Tmed = temperatura média do ar (°C), obtida pela média das temperaturas horárias registradas pela estação automática do INMET, Tb = temperatura cardinal inferior (°C) a ser estimada, que contempla uma série de valores de temperaturas entre 0° e 20°C, variando 0,5°C entre elas (FREITAS, MARTINS, 2019).

Tabela 2. Descrição dos métodos utilizados na estimativa da temperatura cardinal inferior

Método	Equação	Descrição do método
Desvio padrão em graus dias (DP_{gd})	$DP_{gd} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (GDD_i - MGD)^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$	A T_b é aquela que resulta no menor desvio padrão em graus-dia, entre as T_b testadas (ARNOLD, 1959; SHARRATT; SHEAFFER; BAKER, 1989; SOUZA; MARTINS, 2014).
Desvio padrão em dias (DP_d)	$DP_d = \frac{DP_{gd}}{T_{med} - T_b} \quad (4)$	A T_b é considerada aquela que resulta no menor desvio padrão, em dias, entre as T_b testadas (SHARRATT; SHEAFFER; BAKER, 1989; SOUZA; MARTINS, 2014).
Coefficiente de variação em graus dias (CV_{gd})	$CV_{gd} = \frac{DP_{gd}}{MGD} \cdot 100 \quad (5)$	A T_b é aquela que resulta no menor coeficiente de variação, em graus-dia, entre as T_b testadas (SHARRATT; SHEAFFER; BAKER, 1989; YANG; LOGAN; COFFEY, 1995).
Coefficiente de variação em dias (CV_d)	$CV_d = \frac{DP_d}{\bar{X}_d} \cdot 100 \quad (6)$	A T_b é a que resulta no menor desvio padrão, em dias, entre as T_b testadas. (SHARRATT; SHEAFFER; BAKER, 1989; YANG; LOGAN; COFFEY, 1995).
Coefficiente de regressão linear (CR)	$GDD_i = a + b \cdot T_{medi} \quad (7)$	A T_b é aquela que resulta em coeficiente angular mais próximo de zero, entre as T_b testadas. (SHARRATT; SHEAFFER; BAKER, 1989; YANG; LOGAN; COFFEY, 1995).
Desenvolvimento relativo (DR)	$DR = a + b \cdot T_{med} \quad (8)$	A temperatura basal é encontrada pelo prolongamento da equação da reta até o eixo X, em que o desenvolvimento relativo é nulo.
Quadrado médio do erro (QME)	$NF = a + b \cdot GDD \quad (9)$	O valor de T_b foi o que apresentou o menor valor de MSE das regressões lineares entre NF e GDD, entre as T_b testadas (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017).

DP_{gd} é o desvio padrão em graus-dia; GDD_i são os graus-dia acumulados na i -ésima época de semeadura utilizando a série de temperaturas cardinais entre 0° e 20°C ; MGD é a média dos

graus-dia acumulados para as i -ésimas épocas; n é o número de épocas de semeadura; DP_d é o desvio padrão em dias; T é a temperatura média do ar das épocas; CV_{gd} é o coeficiente de variação em graus-dia; CV_d é o coeficiente de variação em dias; a é o coeficiente angular da regressão linear e b é o coeficiente linear; \bar{X}_d é o número médio de dias necessários para atingir a fase de muda; $DR = 100/n$; n é o número de dias de duração de cada época; NF = número de folhas; GDD = graus-dia acumulados ($^{\circ}C$ dia).

3.3.2. Temperatura Cardinal Superior (TB)

A TB das quatro espécies foi estimada para a situação em que $TB > T_{med} > T_b$, de acordo com Ferreira et al., 2019a, usando as equações de Lima e Silva (2008):

$$A = N_2 \cdot TM_1 \cdot TM_2 - N_2 \cdot TM_2 \cdot Tm_1 \quad (10)$$

$$B = -N_1 \cdot TM_1 \cdot TM_2 + N_1 \cdot TM_1 \cdot Tm_2 \quad (11)$$

$$C = (-TM_1 + Tm_1) \cdot (-TM_2 + Tm_2) \quad (12)$$

$$D = N_1 \cdot Tm_2^2 \cdot N_2 - 2 \cdot Tm_2 \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot Tb - Tm_2 \cdot Tm_1 \cdot N_1^2 \quad (13)$$

$$E = -Tm_2 \cdot TM_1 \cdot N_1^2 + N_2^2 \cdot TM_1 \cdot Tm_2 - Tm_1 \cdot N_2^2 \cdot Tm_2 + 2 \cdot Tm_2 \cdot N_2^2 \cdot Tb \quad (14)$$

$$F = Tm_1 \cdot N_1^2 \cdot TM_2 - 2 \cdot N_2^2 \cdot TM_1 \cdot Tb - 2 \cdot N_1^2 \cdot TM_2 \cdot Tb \quad (15)$$

$$G = TM_1 \cdot N_1^2 \cdot TM_2 + Tm_1^2 \cdot N_2 \cdot N_1 - 2 \cdot Tm_1 \cdot N_2 \cdot N_1 \cdot Tb \quad (16)$$

$$H = 2 \cdot Tm_1 \cdot N_2^2 \cdot Tb + 2 \cdot N_1 \cdot TM_2 \cdot N_2 \cdot Tb + 2 \cdot N_2 \cdot TM_1 \cdot N_1 \cdot Tb \quad (17)$$

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

$$J = -N_1 \cdot TM_2 + N_1 \cdot Tm_2 + N_2 \cdot TM_1 - N_2 \cdot Tm_1 \quad (19)$$

$$TB = \frac{A + B \pm \sqrt{C \cdot (D + E + F + G + H + I)}}{J} \quad (20)$$

em que: N_1 e N_2 é a duração (em dias) da fase de muda para as duas épocas (1 e 2, respectivamente), TM_1 e TM_2 são as temperaturas máximas do ar ($^{\circ}C$); Tm_1 e Tm_2 são temperaturas mínimas do ar ($^{\circ}C$); 1 e 2 são as duas épocas com maiores valores de T_{med} .

3.3.3. Temperatura Ótima (Tot)

A Tot foi estimada pela média dos valores de T_{med} das épocas em que ocorreu o maior desenvolvimento foliar, dado pelo menor valor de filocrono ($^{\circ}C$ folha $^{-1}$), que representa uma medida de tempo biológico (FREITAS et al., 2017a; FERREIRA et al., 2019a; SILVA et al., 2020). Por isso, primeiramente foi obtido o filocrono (para cada espécie, época e repetição) através do inverso do coeficiente angular da regressão linear entre o NF e GDD (equação 21) (SHARRATT; SHEAFFER; BAKER, 1989). Os valores de filocrono foram submetidos a

análise de variância, seguido pela comparação de médias pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), de acordo com Freitas e Martins (2019) e Martins et al. (2007).

$$NF = a \cdot GDD + b \quad (21)$$

em que: NF é o número de folhas; GDD são os graus-dia acumulados desde a emergência até a fase de muda.

3.4. Métodos de graus-dia

Foram utilizados seis métodos de graus-dia, os quais consideram a temperatura média do ar (T_{med}), calculada através da média das temperaturas extremas do dia (Equação 22) e a T_b , sem ou com penalizações devido a ocorrência de temperaturas máximas e mínimas do ar (ROSA et al., 2009; FREITAS; MARTINS, 2019) conforme equações:

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}; \quad (22)$$

Em que: T_{med} = temperatura média do ar ($^{\circ}C$); T_{max} = temperatura máxima do ar ($^{\circ}C$); T_{min} = temperatura mínima do ar ($^{\circ}C$).

Método 1:

O método 1 (Eq. 1) considera a temperatura média diária subtraída da T_b .

Método 2:

É uma variação do método 1, com penalização da temperatura mínima do ar:

$$GDD = T_{med} - T_b \cdot 1dia$$

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

Método 3:

O método também penaliza a T_{min} e T_{med} acima da T_{ot} :

$$GDD = T_{med} - T_b \cdot 1dia$$

Quando $T_{med} < T_b$, considera-se $T_{med} = T_b$.

Quando $T_{med} > T_{ot}$, considera-se $T_{med} = T_{ot}$.

Método 4:

É uma variação do método 3, com penalização na temperatura mínima e máxima do ar:

$$GDD = T_{med} - T_b \cdot 1dia$$

Quando $T_{min} < T_b$, considera-se $T_{min} = T_b$.

Quando $T_{max} > T_{ot}$, considera-se $T_{max} = T_{ot}$.

Método 5:

O método penaliza temperaturas abaixo e acima da Tot e, ainda, abaixo da Tb e acima da TB:

Se $T_b < T_{med} \leq T_{ot}$: $GDD = T_{med} - T_b \cdot 1 \text{ dia}$

Se $T_{ot} < T_{med} \leq TB$: $GDD = (T_{ot} - T_b) \cdot \frac{(TB - T_{med})}{(TB - T_{ot})}$; (23)

Quando $T_{med} < T_b$, considera-se $T_{med} = T_b$; quando $T_{med} > TB$, considera-se $T_{med} = TB$.

Método 6:

Variação do método 5, com penalização na temperatura mínima e máxima do ar:

Se $T_b < T_{med} \leq T_{ot}$: $GDD = T_{med} - T_b \cdot 1 \text{ dia}$

Se $T_{ot} < T_{med} \leq TB$: $GDD = (T_{ot} - T_b) \cdot \frac{(TB - T_{med})}{(TB - T_{ot})}$;

Quando $T_{med} < T_b$, considera-se $T_{min} = T_b$; quando $T_{max} > TB$, considera-se $T_{med} = TB$.

em que:

GDD = graus-dia diários ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{dia}$), T_{med} = temperatura média diária do ar, obtida pela média aritmética da temperatura máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}) do ar; T_b = temperatura cardinal inferior ($^{\circ}\text{C}$); T_{ot} = temperatura ótima ($^{\circ}\text{C}$); TB = temperatura cardinal superior ($^{\circ}\text{C}$) de desenvolvimento foliar. Os valores de T_b e TB para as espécies florestais foram obtidos no capítulo I, cujos valores foram: $T_b = 11,3^{\circ}\text{C}$, $TB = 50,3^{\circ}\text{C}$ e $T_{ot} = 25,7^{\circ}\text{C}$ para o *H. impetiginosus*, $T_b = 10,0^{\circ}\text{C}$, $TB = 53,2^{\circ}\text{C}$ e $T_{ot} = 24,2^{\circ}\text{C}$ para *T. roseoalba*, $T_b = 11,5^{\circ}\text{C}$, $TB = 57,6^{\circ}\text{C}$ e $T_{ot} = 24,8^{\circ}\text{C}$ para *Ceiba speciosa* e $T_b = 9,8^{\circ}\text{C}$, $TB = 52,6^{\circ}\text{C}$ e $T_{ot} = 22,7^{\circ}\text{C}$ para *S. terebinthifolia*.

O GDD acumulado ($^{\circ}\text{C} \text{ dia}$) foi obtido pelo somatório do GDD diário desde a data de emergência (i) até o fim da fase de muda (n).

O melhor método de soma térmica para cada espécie foi aquele que resultou no menor desvio padrão para a variável filocrono, entre as épocas de semeadura (FREITAS; MARTINS, 2019). A partir do melhor método de soma térmica, as médias de filocrono foram submetidas ao teste de Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$), para avaliar a normalidade dos dados e para os que não atenderam ao critério de normalidade foi utilizada a transformação $\text{Ln}(x)$. Posteriormente, os valores de filocrono passaram pela análise de variância e teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$) para avaliar o efeito das fontes de variação.

3.5. Influência do Fotoperíodo

A influência do fotoperíodo (F) no desenvolvimento foliar das 4 espécies florestais na fase de muda foi avaliada a partir das regressões lineares entre o filocrono das épocas calculado pelo método de soma térmica mais adequado (menor desvio padrão do filocrono) das 10 épocas de semeadura e o fotoperíodo médio (F_{med}) (FREITAS, MARTINS, 2019):

$$\text{filocrono} = a + b \cdot F_{med} \quad (24)$$

O fotoperíodo médio foi calculado pela média aritmética do fotoperíodo diário desde a data de emergência (i) até o fim da fase de muda (n), conforme o método de Keisling (1982) :

$$F = \frac{2}{15} \cdot \arccos \cos \alpha \cdot \sec \phi \cdot \sec \delta - \tan \phi \cdot \tan \delta \quad (25)$$

$$\alpha = 90 + B \quad (26)$$

$$\delta = \arcsin(0,39779) \cdot \sin \lambda \quad (27)$$

$$\lambda = M + 1,916 - \sin M + 0,020 * \sin 2M + 282,565 \quad (28)$$

$$M = 0,9856000 \cdot NDA - 3,251 \quad (29)$$

Em que: F = Fotoperíodo diário (em horas), α = ângulo zenital em graus, Φ = latitude em graus, δ = declinação solar em graus e décimos, 0,39779 = seno de 23,45° (23°27'); M = anomalia média solar em graus, NDA = Número do dia do ano (dia juliano), B = é o ângulo abaixo do plano do horizonte (6°).

A resposta fotoperiódica analisada foi a partir da taxa de emissão de folhas, sendo que em condições de fotoperíodos longos ($F > 12$ horas), as plantas que aceleram a taxa de aparecimento de folhas, são consideradas plantas de desenvolvimento em dias longos. Neste caso, o coeficiente angular (b) da regressão é significativo ($b \neq 0$; $\alpha = 0,05$) e negativo. Em condições de fotoperíodos curtos ($F < 12$ horas), plantas que aceleram a taxa de aparecimento de folhas, são consideradas plantas de desenvolvimento em dias curtos. Neste caso, o coeficiente angular (b) da regressão é significativo ($b \neq 0$; $\alpha = 0,05$) e positivo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Condições meteorológicas durante a condução do experimento

As condições meteorológicas variaram durante o experimento e de uma época de semeadura para outra (Figura 6), o que é desejável para a estimativa das temperaturas cardinais, pois reduz a incerteza das estimativas (FERREIRA et al., 2019a; SILVA et al., 2020). Épocas com temperaturas do ar constantes podem dificultar a análise e comparação de diferentes cenários, assim como a estimativa das temperaturas cardinais.

A menor Tmed diária observada durante todo o período de experimento (entre 12/2019 e 04/2021) foi de 16,1°C e a maior temperatura média diária foi de 32,2°C, que ocorreram, respectivamente, no inverno e no verão. A temperatura do ar máxima absoluta foi de 40,3°C (verão) e a mínima absoluta foi de 11,3°C (inverno). Os valores acumulados de precipitação foram maiores nos meses de dezembro (2019 e 2020), janeiro, e fevereiro, sendo superior a 150 mm em cada mês. Os meses de junho e de julho de 2020 foram os meses com menores valores, com totais inferiores a 46 mm. A umidade relativa do ar (UR) média mensal variou entre 65,6 e 77,4%, com maiores valores nos meses de fevereiro e março de 2020 (UR média superior a 76,0%) e menores valores nos meses de julho de 2020 e janeiro de 2021 (UR média inferior a 66,5%).

As épocas com menor Tmed, utilizadas para estimativa da Tb, foram as E3, E4, E5 e E6 para todas as espécies, exceto *Schinus terebinthifolia* que foram as épocas E2, E3, E4 e E5 (Tabela 3). Em sua maioria, as épocas mais frias foram as que proporcionaram durações mais longas da fase de muda, ou seja, menor desenvolvimento foliar, e por essa razão foram escolhidas para a estimativa da Tb (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017; FERREIRA et al.,

2019b). As duas épocas com maiores temperaturas foram as E9 e E10 para todas as espécies e também, em sua maioria, as épocas mais curtas (desenvolvimento mais rápido), portanto foram utilizadas para o cálculo da TB.

Apesar da variação observada entre as épocas, houve menor amplitude na variação da Tmed quando comparada a outros experimentos que estimaram a Tb (MONTEIRO et al., 2014; FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017; FERREIRA et al., 2019b), além de elevados valores de Tmed. Como exemplo, os valores da Tmed deste estudo foram superiores a outros experimentos como para a goiabeira - *Psidium guajava* L. (FERREIRA et al., 2019a), o pau-tucano - *Citharexylum myrianthum* Cham., o urucum - *Bixa orellana* L. (FERREIRA et al., 2019b), o pau-ferro - *Caesalpinia ferrea* Mart. ex. Tul. Var. *leiostachya* Benth e o angico-vermelho - *Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan (SILVA et al., 2020), espécies do gênero *Eucalyptus* e *Corymbia* (MARTINS; STRECK, 2007; FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017) e de oliveira (SOUZA; MARTINS, 2014). As temperaturas absolutas, também apresentaram maiores variações e amplitude em outros experimentos com valores oscilando -3,7 e 35,7 (FERREIRA et al., 2019a; FERREIRA et al., 2019b; SILVA et al., 2020). Souza, Leonel e Silva (2011) verificaram pouca variação da Tmed em experimentos conduzidos em Botucatu, São Paulo, Brasil para a Tb da nectarina e pêssego. Além disso, o experimento conduzido em Sinop, Mato Grosso, Brasil com as espécies *Hymenolobium petraeum*, *Parkia pendula*, *Anadenanthera pavonina* e *Cassia fistula* (MONTEIRO et al., 2014) apresentou variações de Tmed similares a este trabalho, comprovando aplicabilidade da maioria dos métodos utilizados para o estabelecimento da Tb e do método do filocrono para obtenção da Tot.

A Tmed média e a duração das épocas apresentaram relação inversa, indicada pelo coeficiente de correlação de Spearman para todas as espécies (Tabela 4), sendo que para *T. roseoalba* e *S. terebinthifolia* a correlação negativa foi elevada ($r_s > 0,81$). Para *Handroanthus impetiginosus* e *Ceiba speciosa* a correlação negativa foi moderada ($r_s > 0,50$). Essa correlação negativa indicou que, conforme a temperatura média do ar aumenta, reduz-se o tempo da muda no viveiro, ou seja, o seu desenvolvimento é acelerado. O inverso também ocorre, logo, temperaturas mais amenas levam a um retardo no desenvolvimento das mudas e aumento na permanência delas no viveiro florestal. A correlação entre a temperatura máxima e duração da fase de muda não foram significativas. Já a correlação entre a duração da fase de muda e as temperaturas mínimas foram negativas e significativas, exceto para *H. impetiginosus* e a *C. speciosa*.

4.2. Temperatura cardinal inferior (Tb)

Independentemente do método de estimativa, os valores de Tb foram próximos entre si (Tabela 5), exceto para o CR e DR. Ambos métodos apresentaram valores fora da faixa esperada para espécies tropicais - 6,5 °C e 20,0 °C (FERREIRA et al., 2019a). Ambas estimativas espúrias foram descartadas da média para a obtenção da Tb para a espécie *Tabebuia roseoalba*. O desvio padrão em relação aos métodos de obtenção de Tb variou entre 0,5 e 3,3 °C. Neste sentido, os valores de Tb estimados para *H. impetiginosus* foi 11,3°C ($\pm 3,3$), *Tabebuia roseoalba* foi 10,0°C $\pm 0,5$, *Ceiba speciosa* foi 11,5°C $\pm 2,6$ e *Schinus terebinthifolia* foi 9,8°C $\pm 1,8$, respectivamente (Tabela 5).

Os desvios padrões e coeficientes de variação em dias e em graus-dias em função da Tb evidenciaram que os diferentes métodos estimaram a Tb próximas entre si e, entre 9,0 °C e 10.5 °C, sendo eficiente para estima-las, pois, ficaram dentro da faixa de temperatura adequada (FERREIRA et al., 2019a). Souza, Leonel e Silva (2011) também verificaram similaridade na estimativa dos métodos DP_{gd}, DP_d, CV_{gd} e CV_d devido à pouca variação da temperatura do ar,

o que ocorreu neste experimento. De maneira geral, as estimativas do CR e DR foram de Tb maiores em relação aos demais métodos. Além disso, o coeficiente angular da regressão dos graus dias acumulados e do DR em função da temperatura média do ar não foram significativos (p -valor $< 0,05$) (Tabela 6), o que indicou que não houve aumento/redução do DR com o aumento da temperatura do ar média (graus dias acumulados e DR constantes em função das temperaturas médias) (Figura 7 e Tabela 5).

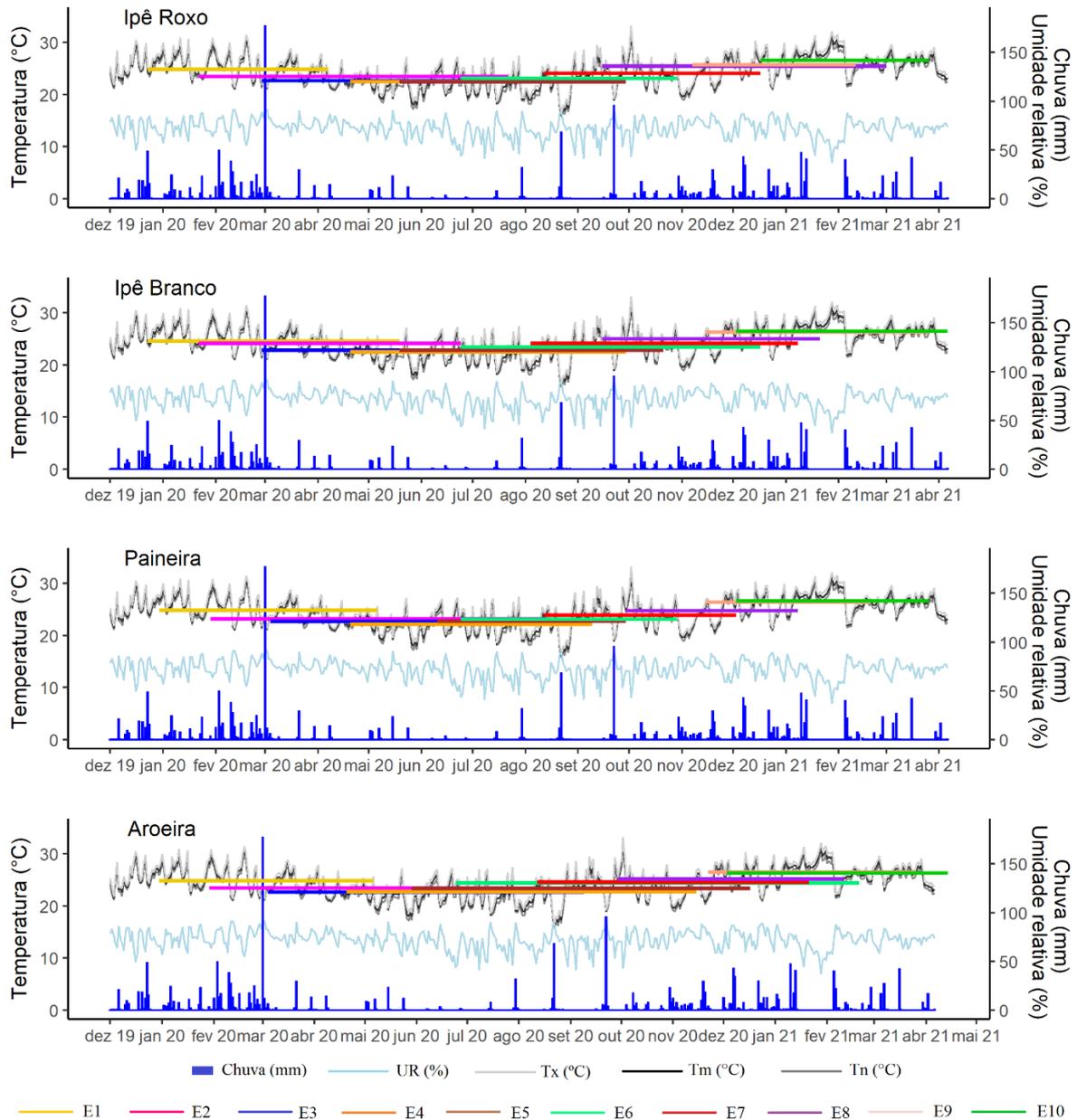


Figura 6. Temperaturas do ar máximas (Tx, °C), médias (Tm, °C) e mínimas (Tn, °C), umidade relativa do ar (RH, %), chuva (mm) e duração das épocas durante o período do experimento (E1-E10).

Tabela 3. Datas de semeadura, emergência e fim de cada época para cada espécie com suas respectivas durações, temperatura máxima (Tmax), temperatura média (Tmed) e temperatura mínima (Tmin).

Espécie	Época	Semeadura	Emergência	Fim	N (dias)	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Tmin (°C)
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	E1	16/12/2019	23/12/2019	07/04/2020	106	30,75	25,48	21,22
	E2	15/01/2020	22/01/2020	22/07/2020	182	30,75	23,46	18,08
	E3	17/02/2020	28/02/2020	12/08/2020	166	28,22	22,70	18,08
	E4	07/04/2020	20/04/2020	29/09/2020	162	28,62	22,49	16,14
	E5	06/05/2020	19/05/2020	29/09/2020	133	28,62	22,45	16,14
	E6	10/06/2020	24/06/2020	29/10/2020	127	32,23	23,14	16,14
	E7	21/07/2020	12/08/2020	17/12/2020	149	32,23	24,05	16,14
	E8	09/09/2020	15/09/2020	01/03/2021	167	32,23	25,44	19,06
	E9	29/10/2020	03/12/2020	11/02/2021	70	31,21	25,70	19,61
	E10	03/12/2020	17/12/2020	01/03/2021	74	31,21	26,56	21,24
<i>Tabebuia roseoalba</i>	E1	16/12/2019	23/12/2019	19/05/2020	148	30,75	24,56	19,15
	E2	15/01/2020	22/01/2020	24/06/2020	154	30,75	24,11	19,15
	E3	17/02/2020	28/02/2020	20/09/2020	205	28,62	22,83	16,14
	E4	07/04/2020	20/04/2020	29/09/2020	162	28,62	22,49	16,14
	E5	06/05/2020	19/05/2020	21/10/2020	155	32,23	22,87	16,14
	E6	10/06/2020	24/06/2020	17/12/2020	176	32,23	23,45	16,14
	E7	21/07/2020	04/08/2020	08/01/2021	157	32,23	24,16	16,14
	E8	09/09/2020	15/09/2020	21/01/2021	128	32,23	25,00	19,06
	E9	29/10/2020	15/11/2020	26/03/2021	131	31,21	26,34	20,75
	E10	03/12/2020	17/12/2020	06/04/2021	110	31,21	26,48	21,24
<i>Ceiba speciosa</i>	E1	16/12/2019	30/12/2019	06/05/2020	128	30,75	24,84	20,73
	E2	15/01/2020	29/01/2020	12/08/2020	196	30,75	23,23	18,08
	E3	17/02/2020	04/03/2020	09/09/2020	189	28,22	22,68	16,14
	E4	07/04/2020	20/04/2020	09/09/2020	142	27,52	22,18	16,14
	E5	06/05/2020	10/06/2020	29/09/2020	111	28,62	22,72	16,14
	E6	10/06/2020	24/06/2020	29/10/2020	127	32,23	23,11	16,14

	E7	21/07/2020	12/08/2020	03/12/2020	113	32,23	23,84	16,14
	E8	09/09/2020	29/09/2020	08/01/2021	101	32,23	25,14	19,61
	E9	29/10/2020	15/11/2020	20/02/2021	97	31,21	26,35	20,75
	E10	03/12/2020	17/12/2020	26/03/2021	113	31,21	26,65	21,24
<i>Schinus terebinthifolia</i>	E1	16/12/2019	30/12/2019	06/05/2020	128	30,75	24,83	20,73
	E2	15/01/2020	29/01/2020	22/07/2020	175	30,75	23,41	18,08
	E3	17/02/2020	04/03/2020	09/09/2020	189	28,22	22,68	16,14
	E4	07/04/2020	20/04/2020	15/11/2020	209	32,23	22,79	16,14
	E5	06/05/2020	29/05/2020	17/12/2020	202	32,23	23,34	16,14
	E6	10/06/2020	24/06/2020	20/02/2021	241	32,23	24,36	16,14
	E7	21/07/2020	12/08/2020	21/01/2021	162	32,23	24,61	16,14
	E8	09/09/2020	29/09/2020	11/02/2021	135	32,23	25,14	19,61
	E9	29/10/2020	22/11/2020	26/03/2021	124	31,21	26,50	21,24
	E10	03/12/2020	17/12/2020	14/04/2021	118	31,21	26,31	21,24

N = duração do experimento em dias; Tmax, Tmed e Tmin são as temperaturas máximas mínimas e médias (°C) em cada época.

Valores de Tb entre 10,0 °C e 12,9 °C e Tot entre 17,3 °C 25,1 °C foram encontrados para espécies perenes de Eucalipto (MARTINS; SILVA; STRECK, 2007), *Hymenolobium petraeum*, *Parkia pendula*, *Adenantha pavonina*, *Cassia fistula* (MONTEIRO et al., 2014), *Psidium guajava* (FERREIRA et al., 2019a), faixa próxima à encontrada neste estudo. Em geral os métodos para o estabelecimento da Tb foram efetivos, porém o método do CR e do DR apresentaram Tb fora da faixa adequada (Tb >20°C), ambos para *Tabebuia roseoalba*. Para as outras espécies, apesar de uma Tb dentro da faixa esperada, o coeficiente angular não foi significativo entre o DR e a Tmed (Tabela 6). O método do desenvolvimento relativo utiliza-se da relação entre a temperatura média e o DR ($DR = 100 N^{-1}$) para estabelecer a Tb, sendo esperado um menor DR em épocas com temperaturas médias mais elevadas. Contudo, as temperaturas médias das épocas utilizadas para determinar a Tb variaram muito pouco (em torno de 2°C). De acordo com Yang et al. (1995), a extrapolação da reta de regressão não é aceitável, sendo, portanto, não recomendado o uso do método do desenvolvimento relativo em experimentos com pouca variação de temperatura, devido a definição do DR ($100 N^{-1}$) para zero.

Como o método do CR relaciona os graus-dias necessários para o desenvolvimento foliar e a Tmed, em cada época, espera-se que com o aumento da Tmed reflita em redução no período da fase de muda, enquanto que a redução da Tmed reflete em aumento no período de duração da fase de muda. Dessa forma, o acúmulo de graus-dias para a formar a muda não se altera, provocando um coeficiente angular próximo à zero entre o GDD e a Tmed das épocas. Apesar do coeficiente angular não ter sido significativo ($H_0: b = 0$; p-valor > 0,05) para *Tabebuia roseoalba*, os coeficientes angulares não se aproximaram de 0 em faixa de Tb aceitável.

Tabela 4. Valores de correlação de Spearman entre a temperatura do ar e a duração das épocas para as diferentes espécies.

Correlação entre temperatura e duração das épocas	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Tmin (°C)
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	-0,27 ^{ns}	-0,50 [*]	-0,38 ^{ns}
<i>Tabebuia roseoalba</i>	-0,23 ^{ns}	-0,88 ^{***}	-0,86 ^{***}
<i>Ceiba speciosa</i>	-0,53 ^{ns}	-0,52 [*]	-0,35 ^{ns}
<i>Schinus terebinthifolia</i>	0,37 ^{ns}	-0,81 ^{**}	-0,89 ^{***}

Códigos de significância: 0.01 ‘***’; 0.05 ‘**’; 0.1 ‘*’; ns ‘não significante’

Tabela 5. Temperatura cardinal inferior estimada para as diferentes metodologias e média.

Espécie	DPgd	DPd	CVgd	CVd	CR	DR	QME	Média ± DP
<i>H. impetiginosus</i>	9,5	9,0	9,5	9,0	14,5	17,9	9,5	11,3 ± 3,3
<i>T. roseoalba</i>	10,5	9,5	10,5	9,5	20,0*	39,3*	9,8	10,0 ± 0,5
<i>C. speciosa</i>	10,0	9,5	10,0	9,5	15,5	15,7	10,0	11,5 ± 2,6
<i>S. terebinthifolia</i>	10,5	9,5	10,5	9,5	9,0	13,3	7,0	9,8 ± 1,8

*Valores fora da faixa de temperatura adequada para a Tb (<6,5°C e >20°C), de acordo com Ferreira et al. (2019a). DP = Desvio Padrão.

4.3. Temperatura cardinal superior (TB)

A TB estimada para o *H. impetiginosus* foi de 50,3°C, para *T. roseoalba* foi de 53,2°C, para *C. speciosa* foi de 57,6°C e para *Schinus terebinthifolia* foi 52,6 °C. Esses valores foram ligeiramente maiores que os encontrados para espécies perenes como *Parkia pendula* (MONTEIRO et al., 2014) (TB= 40,1°C) *Eucalyptus urophylla* (TB=40,5°C), *Corymbia citriodora* (TB=41,3°C) (Freitas et al., 2017), *Caesalpinia férrea* (TB=46,3 °C), *Anadenanthera macrocarpa* (45,5 °C) (Silva et al., 2020). Além disso, os valores deste estudo foram similares a TB da *Psidium guajava* (51,2 °C) (FERREIRA et al., 2019a).

Os resultados obtidos neste estudo indicam boa adaptabilidade das espécies as temperaturas do ar elevadas, que de fato, a ocorrência dessas espécies no Brasil (CARVALHO-SOBRINHO, s.d.; LOHMANN, s.d. a, s.d. b; SILVA-LUZ et al., s.d.) abrange regiões com elevadas temperaturas do ar médias diárias (ALVARES et al., 2013). Estudos que modelaram o desenvolvimento de espécies nativas tropicais em cenários climáticos futuros, em que se espera previsão de aumento de temperatura, mostraram perspectivas de redução e aumento da duração da fase de mudas, dependendo da época do ano (FAGUNDES; REIS; MARTINS, 2021; REIS et al., 2021), em espécies com temperaturas cardinais superiores menores em magnitude. Ressalta-se que há falta de estudos em espécies de menor interesse comercial como *H. impetiginosus*, *T. roseoalba*, *C. speciosa* e *S. terebinthifolia*, em relação à tolerância a temperaturas extremas.

O método utilizado para a estimativa da Tb apresentou limitações quanto ao funcionamento de modelos matemáticos devido às condições de temperatura do ar média, máxima e mínima do ar muito próximas entre as duas épocas utilizadas para determinação da Tb, assim como a duração dessas épocas, muito próximas entre si.

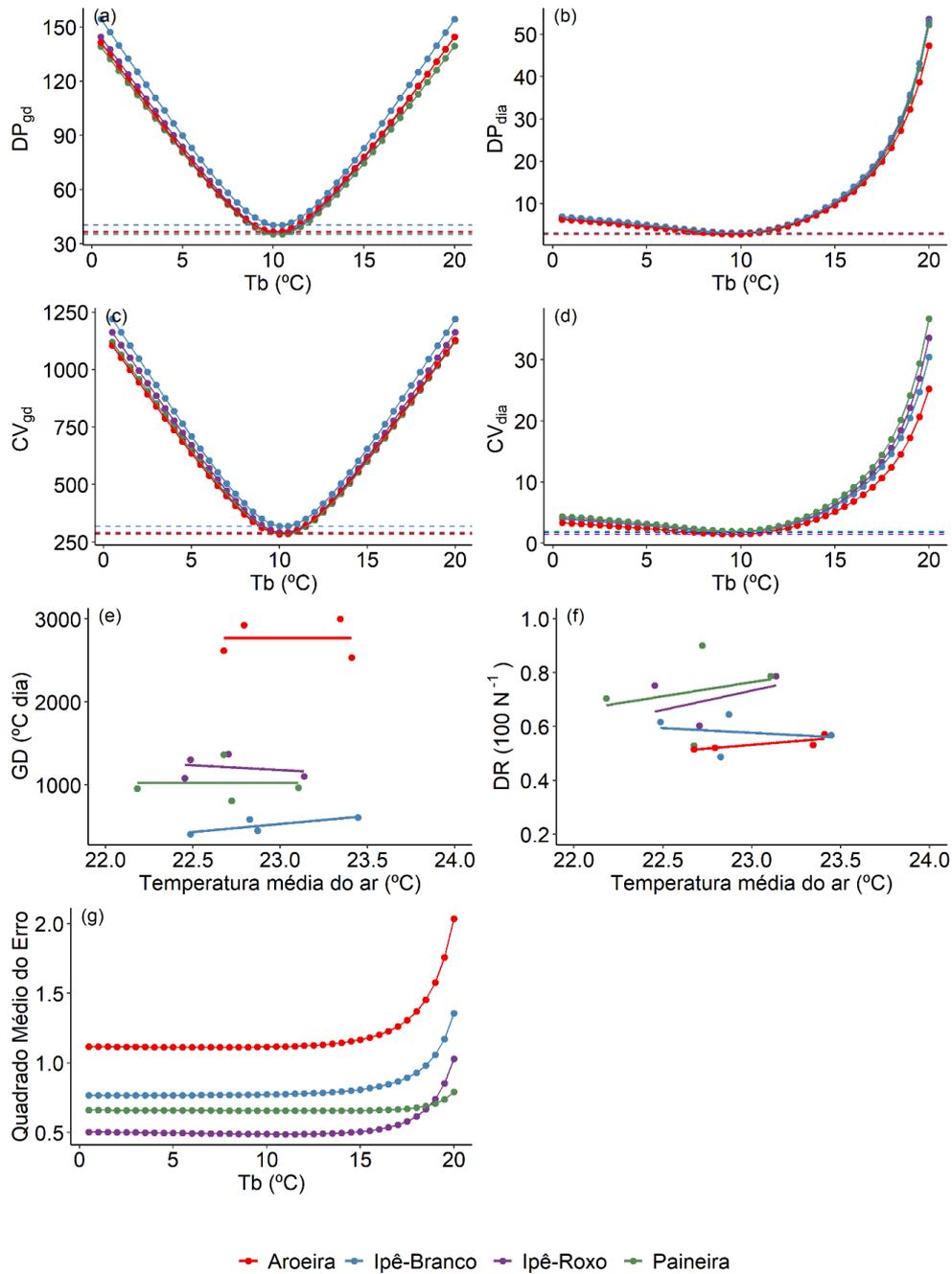


Figura 7. Métodos de estimativa da Tb para *H. impetiginosus*, *T. rosealba*, *C. speciosa* e *S. terebinthifolia*. (a) menor desvio padrão em graus-dia; (b) menor desvio padrão em dias; (c) coeficiente de variação em graus-dia; (d) coeficiente de variação em dias; (e) coeficiente de regressão; (f) desenvolvimento relativo. N é o número de dias de duração de cada época.

Tabela 6: Coeficientes de regressão e p-valor para os métodos do desenvolvimento relativo (DR) e coeficiente de regressão CR.

Espécies	DR = a + bTmed				
	a	p-valor (H ₀ : a = 0)	b	p-valor (H ₀ : b = 0)	r ²
<i>H. impetiginosus</i>	-2,55	0,60	0,14	0,52	0,23
<i>T. roseoalba</i>	1,39	0,66	0,04	0,80	0,04
<i>S. terebinthifolia</i>	-0,73	0,37	-0,05	0,19	0,66
<i>C. speciosa</i>	-1,65	0,82	0,11	0,75	0,06
Espécies	GDa = a + bTmed				
	a	p-valor (H ₀ : a = 0)	b	p-valor (H ₀ : b = 0)	r ²
<i>H. impetiginosus</i>	3839,12	0,65	-115,69	0,75	0,06
<i>T. roseoalba</i>	-3940,29	0,26	194,29	0,22	0,61
<i>S. terebinthifolia</i>	2736,97	0,81	1,46	0,99	0,00
<i>C. speciosa</i>	1077,96	0,92	-2,41	0,10	0,00

DR = desenvolvimento relativo; GDa = graus dias acumulado (°C.dia); a e b = coeficientes linear e angular da regressão linear, respectivamente; H₀ = hipótese nula para o teste t, onde foi testada a hipótese de que o coeficiente da regressão é igual a zero; r² é o coeficiente de determinação.

4.4. Temperatura ótima (Tot)

Pela análise de variância ($p < 0,05$) houve interação entre as espécies e as épocas para a variável filocrono. A diferença nos valores de filocrono foi observada entre as épocas para *H. impetiginosus* e para *S. terebinthifolia*, enquanto que não houve diferença estatística entre as épocas para *T. roseoalba* e *C. speciosa* pelo teste de Scott-Knott. Os menores valores de filocrono para o *H. impetiginosus* foram na E3, E7, E9 e E10, enquanto que para *S. terebinthifolia* foram observados nas épocas E2, E5, E6, E7 e E10 (Tabela 7). Assim a temperatura ótima do *H. impetiginosus*, *T. roseoalba*, *S. terebinthifolia* e *C. speciosa* foram as temperaturas médias das épocas com menor filocrono, portanto, 23,8°C, 24,2°C, 25,8°C e 23,1°C, respectivamente. As Tot para as espécies estudadas (entre 22,5 e 26,0°C) ficaram em uma faixa de valores similar a obtida para o *Anadenanthera macrocarpa*, em que Tot = 23°C (SILVA et al., 2020), *Hymenolobium petraeum*, *Parkia pendula*, *Adenanthera pavonina* and *Cassia fistula*, cuja as Tot foram de 24,9 °C, 25,1 °C, 24,4 °C e 24,9 °C (Monteiro et al., 2014) e mais elevadas em relação a outras espécies florestais como o *Citharexylum myrianthum*, *Bixa orellana* (FERREIRA et al., 2019b), *Caesalpinia ferrea* (SILVA et al., 2020), *Psidium guajava* (FERREIRA et al., 2019a), *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* (FREITAS et al., 2017), em que a Tot variou entre 17,1 °C e 20,7 °C. As regressões lineares entre o NF e o GDD apresentou coeficientes angulares significativos ($\beta_1 \neq 0$) com valores de R² entre 0,80 e 0,99.

Tabela 7. Comparação de média para a variável filocrono ($^{\circ}\text{C dia}\cdot\text{folha}^{-1}$) obtida para as quatro espécies nas dez épocas de semadura.

Época	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	<i>Tabebuia roseoalba</i>	<i>Ceiba speciosa</i>	<i>Schinus terebinthifolia</i>	Média
E1	96,86bB	126,1aA	139,6cA	98,19cB	115,9c
E2	130,0aB	110,4aB	175,1bA	139,2bB	139,7b
E3	77,66bC	128,5aB	168,4bA	103,0cC	120,0c
E4	99,92bB	114,9aB	150,7bA	112,2cB	117,4c
E5	131,4aA	105,3aA	100,5cA	132,1bA	119,6c
E6	105,3bC	130,0aC	246,2aA	185,5aB	168,1a
E7	134,6aA	117,7aA	159,9bA	123,1cA	129,8c
E8	140,7aA	110,2aA	142,2cA	160,6aA	138,3b
E9	46,91cB	125,3aA	134,7cA	85,07cB	102,3c
E10	86,10bC	125,2aB	175,3bA	137,2aB	131,2c
Média	106,0C	120,1B	159,1A	126,6B	

Letras minúsculas comparam as épocas e maiúsculas comparam as espécies ($\alpha = 0,05$).

De maneira geral, os menores valores de filocrono foram observados em épocas com temperaturas do ar mais elevadas (E1, E8, E9 e E10). O menor filocrono médio foi o de *H. impetiginosus* de $106,0\text{ }^{\circ}\text{C dia}\cdot\text{folha}^{-1}$ (Tabela 7), ou seja, ela precisa de menor acúmulo de graus-dias para emitir uma folha, em relação às outras espécies estudadas. Em contrapartida, a *Ceiba speciosa* teve o maior filocrono médio de $159,1\text{ }^{\circ}\text{C dia}\cdot\text{folha}^{-1}$ e seu desenvolvimento foi mais lento que das demais espécies. A variabilidade dos filocronos confirmou menores valores de filocrono para *H. impetiginosus* e maiores para a *Ceiba speciosa* (Figura 8). *Schinus terebinthifolia* e a *Ceiba speciosa* apresentaram outliers para filocrono com valores elevados em épocas de temperaturas mais amenas (E2, E3, E4 e E5) ou que apresentaram mudanças de temperatura durante o ciclo de produção das mudas (E6 e E7). Apesar da diferença estatística do filocrono das épocas, em algumas épocas eles foram similares, o que pode ter sido devido às temperaturas médias com pouca variação e próximas a Tot. *Handroanthus impetiginosus* possui menor valor de filocrono, e conseqüentemente precisa de menor quantidade de energia para a emissão de folhas na haste principal. Por outro lado, *Schinus terebinthifolia* apresenta um desenvolvimento mais rápido, com menor dependência da temperatura para o desenvolvimento. Esse resultado pode ter relação com a menor Tb de *Schinus terebinthifolia* em relação às outras espécies, o que resulta em um maior acúmulo térmico para a para as mesmas condições ambientais (FREITAS et al., 2017).

As regressões lineares ajustadas entre o NF e GDD, calculados a partir das temperaturas cardinais previamente estimadas, apresentaram coeficiente de determinação ajustado (R^2 adj) elevado e acima de 0,75 na segunda época da *Ceiba speciosa*, enquanto os demais foram superiores a 0,89, o que demonstrou relação linear entre o número de folhas emitidas e os GDD (Figura 8). Além disso, os coeficientes angulares das regressões foram significativos (p -valor $< 0,05$).

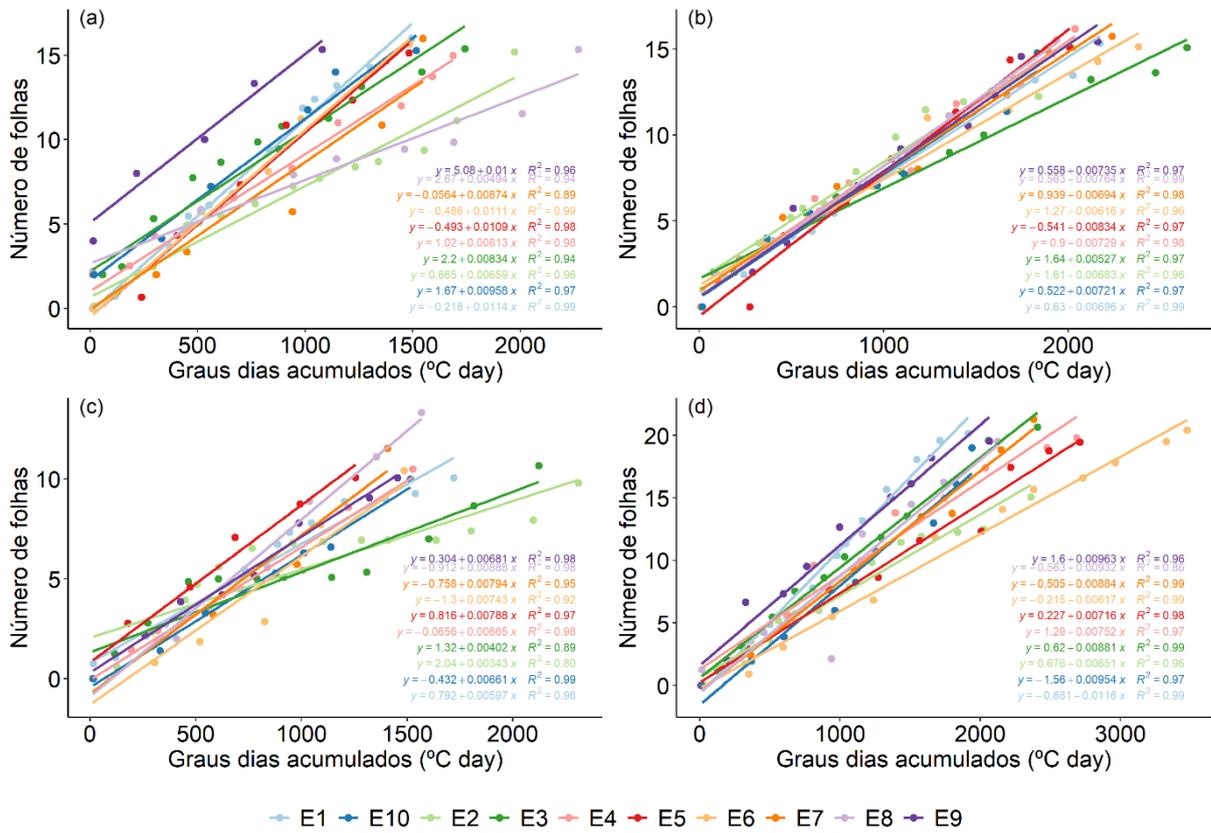


Figura 8. Regressões lineares ajustadas entre número de folhas e graus-dias acumulados: (a) *Handroanthus impetiginosus*; (b) *Tabebuia roseoalba*; (c) *Ceiba speciosa*; (d) *Schinus terebinthifolia*. Cada reta colorida representa uma época.

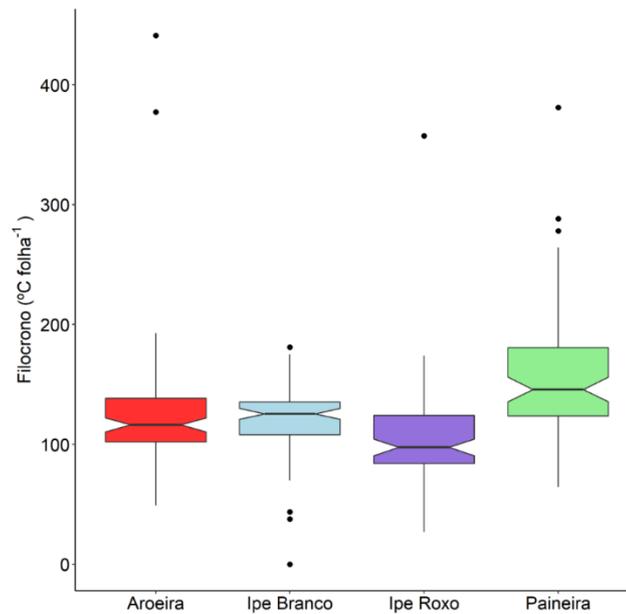


Figura 9. Boxplot do filocrono para *Schinus terebinthifolia*, *Tabebuia roseoalba*, *Handroanthus impetiginosus* e *Ceiba speciosa*.

4.5. Influência dos métodos de Graus-dia

As regressões lineares ajustadas entre o NF e a GDD, calculados pelos 6 métodos de GDd, apresentaram coeficiente de determinação ajustado (R^2 adj) elevado e superiores a 0,75, o que demonstrou relação linear entre o número de folhas emitidas e os GDD, indicando que a estimativa do filocrono dessa maneira é apropriada (ROSA et al., 2009; FREITAS e MARTINS, 2019). Além disso, os coeficientes angulares das regressões foram significativos (p -valor < 0,05). O filocrono variou entre os 6 métodos de GDd, porém foram iguais os valores entre o 1 e 2 e entre o 5 e 6. Nas quatro espécies, o filocrono foi maior com os métodos 1 e 2, seguido do método 3. Os valores intermediários foram em sua maioria com os métodos 5 e 6, exceto para *Schinus terebinthifolia* que foi no método 4 (Tabela 8).

Tabela 8: Valores de Filocrono em °C dia/folha para as 4 espécies florestais entre os diferentes métodos de soma térmica utilizados.

Espécie	Método 1	Método 2	Método 3	Método 4	Método 5	Método 6																		
<i>H. impetiginosus</i>	127,74 ± 34,67	127,74 ±	119,37 ± 33,69	106,83 ± 30,38	114,51 ± 33,65	114,51 ± 33,65																		
		34,67					<i>T. roseoalba</i>	146,92 ± 26,11	146,92 ±	131,54 ± 28,38	118,81 ± 22,86	124,03 ± 30,11	124,03 ± 30,11	26,11	<i>Ceiba speciosa</i>	175,08 ± 62,59	175,08 ±	161,32 ± 64,28	142,34 ± 54,24	155,76 ± 65,29	155,76 ± 65,29	62,59	<i>S. terebinthifolia</i>	128,80 ± 24,54
<i>T. roseoalba</i>	146,92 ± 26,11	146,92 ±	131,54 ± 28,38	118,81 ± 22,86	124,03 ± 30,11	124,03 ± 30,11																		
		26,11					<i>Ceiba speciosa</i>	175,08 ± 62,59	175,08 ±	161,32 ± 64,28	142,34 ± 54,24	155,76 ± 65,29	155,76 ± 65,29	62,59	<i>S. terebinthifolia</i>	128,80 ± 24,54	128,80 ±	106,25 ± 24,78	98,30 ± 20,04	96,60 ± 25,49	96,60 ± 25,49	24,54		
<i>Ceiba speciosa</i>	175,08 ± 62,59	175,08 ±	161,32 ± 64,28	142,34 ± 54,24	155,76 ± 65,29	155,76 ± 65,29																		
		62,59					<i>S. terebinthifolia</i>	128,80 ± 24,54	128,80 ±	106,25 ± 24,78	98,30 ± 20,04	96,60 ± 25,49	96,60 ± 25,49	24,54										
<i>S. terebinthifolia</i>	128,80 ± 24,54	128,80 ±	106,25 ± 24,78	98,30 ± 20,04	96,60 ± 25,49	96,60 ± 25,49																		
		24,54																						

A redução dos valores do filocrono nos métodos 3 e 4, quando foram inseridos as Tot de cada espécie, assim como nos métodos 5 e 6, quando foram inseridos a Tot e a TB, ocorreu devido à redução nos valores de GDd e conseqüentemente GDD (FREITAS e MARTINS, 2019). Isso foi observado em praticamente todas as épocas e, principalmente, nas épocas mais quentes do ano. Nas épocas mais quentes (E1, E7, E8 e E9), a temperatura do ar chegou a valores superiores a Tot. Não houve mudança nos valores de filocrono para as quatro espécies entre os métodos 1 e 2. Uma justificativa é que não houve dia em que a Tmed foi inferior à Tb, assim como a Tmin foi inferior à Tb.

O desvio-padrão (DP) do filocrono obtido pela GDd calculada pelos seis métodos variou de 20,4°C dia folha⁻¹, para *Schinus terebinthifolia* no método 4, a 65,29°C dia folha⁻¹ para *Ceiba speciosa* nos métodos 5 e 6 (Tabela 8). Os menores valores de DP encontrados foram no método 4 que considera a Tb e a Tot e houveram muitos dias durante o experimento em que a Tmax foi maior que a Tot das quatro espécies. Contudo, não houveram temperaturas do ar maiores ou iguais as TBs, logo, as penalizações dos métodos 5 e 6 não ocorreram, levando a essa diferença no DP em relação ao método 4. As características climáticas locais, portanto, influenciam nos valores de soma térmica, o que ressalta a importância de se testar métodos mais adequados para cada situação. Freitas e Martins (2019) encontraram o menor desvio padrão no método 4 para a *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. Apesar da coincidência, o método mais apropriado devido a penalização de temperaturas elevadas pode não ser adequado em regiões de clima temperatura, por exemplo. Outra questão importante é que os DP encontrados neste estudo foram maiores em relação aos encontrados para a *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*, provavelmente devido às questões fisiológicas intrínsecas de cada espécie e do clima do local.

Devido ao menor valor de DP considerou-se como melhor método a ser utilizado o 4 para a estimativa do filocrono. Esse é uma variação do método 3 e considera a penalização das temperaturas extremas do ar que ocorrem durante o dia, ou seja, as máximas e as mínimas, além

de considerar as temperaturas cardinais inferior e ótima. Isso vai de acordo com o encontrado por Freitas e Martins (2019). Neste sentido, as emissões de folhas das quatro espécies florestais utilizadas nesse estudo devem ser descritas nos modelos matemáticos que se baseiam nas respostas às extremas do dia e não pela temperatura média do ar, pois a comparação das temperaturas cardinais com as T_{min} e T_{max} apresentaram melhores desempenhos nos métodos do que os que levavam em consideração somente a T_{med}. A temperatura é um dos fatores que mais afetam o filocrono, que diminui com temperaturas maiores. Porém após um limiar, os aumentos de temperatura podem não ser levados em consideração pela planta e não acelerariam o desenvolvimento das folhas, podendo até mesmo interrompê-lo (DELATORRE et al., 2022).

A partir do estabelecimento do melhor método de soma térmica, foi estimado o filocrono das quatro espécies nas 10 épocas de semeadura (Tabela 9) que será utilizado na próxima análise. Os valores obtidos diferiram dos calculados para o estabelecimento da Tot indicando que estimativa do filocrono é afetada pelo método de cálculo da soma térmica.

O filocrono diferiu entre as épocas de semeadura apenas para *Handroanthus impetiginosus* (Tabela 8), sendo que a E9 apresentou o menor valor de filocrono (24,87 °C dia-folha⁻¹). Além disso, apenas E9 apresentou diferença entre as espécies, sendo *Handroanthus impetiginosus* com menor filocrono, *Ceiba speciosa* e *Tabebuia roseoalba* com os maiores, enquanto *Schinus terebinthifolia* ficou com o filocrono intermediário. A E9 compreendeu 2 meses no verão, ou seja, havia mais horas de luz solar o que pode indicar uma resposta ao fotoperíodo.

Ceiba speciosa apresentou o maior valor médio de filocrono, o que foi visível em campo, a taxa de emissão de folhas dela era inferior as demais, inclusive o NF para determinar o fim da época para essa espécie foi menor que as demais.

Tabela 9: Filocrono (°C dia-folha⁻¹) das quatro espécies para as diferentes épocas calculado a partir da STa obtida pelo método 4.

Época	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	<i>Tabebuia roseoalba</i>	<i>Ceiba speciosa</i>	<i>Schinus terebinthifolia</i>	Média
E1	87,83cA	89,90aA	95,12aA	77,42aA	87,57a
E2	118,04cA	89,91aA	110,906aA	72,53aA	97,84a
E3	60,15bA	87,95aA	111,88aA	71,57aA	82,89a
E4	80,67cA	82,76aA	137,08aA	73,43aA	93,48a
E5	92,81cA	113,47aA	65,84aA	98,71aA	92,71a
E6	89,71cA	83,67aA	167,77aA	142,39aA	120,88a
E7	57,21cA	76,04aA	128,57aA	98,62aA	90,11a
E8	95,19cA	94,54aA	115,12aA	93,24aA	99,52a
E9	24,87aA	99,530aC	103,51aC	53,11aB	70,26a
E10	49,61bA	86,15aA	93,61aA	99,55aA	82,23a
Média	75,61a	90,39a	112,94b	89,24a	

Letras minúsculas comparam as épocas e maiúsculas comparam as espécies ($\alpha = 0,05$).

4.6. Influência do fotoperíodo

As quatro espécies florestais apresentaram duração da fase de mudas diferentes ao longo das épocas de semeadura. As regressões lineares entre o filocrono e o fotoperíodo médio apresentou baixo valor de R²aj, variando de -0,1124 a 0,1870, além de coeficientes angulares não significativos ($\alpha > 0,05$). Ambos resultados não permitem identificar se existe resposta

fotoperiódica das quatro espécies florestais (Figura 10). Contudo, estudos indicam que *Schinus terebinthifolia* e *Ceiba speciosa* apresentam reposta ao fotoperíodo para florescimento e *Schinus terebinthifolia* também responde com crescimento radial do caule (LUCA, 2002; MILANI et al., 2021), o que traz implicações para outras fases ou ciclos dessas plantas.

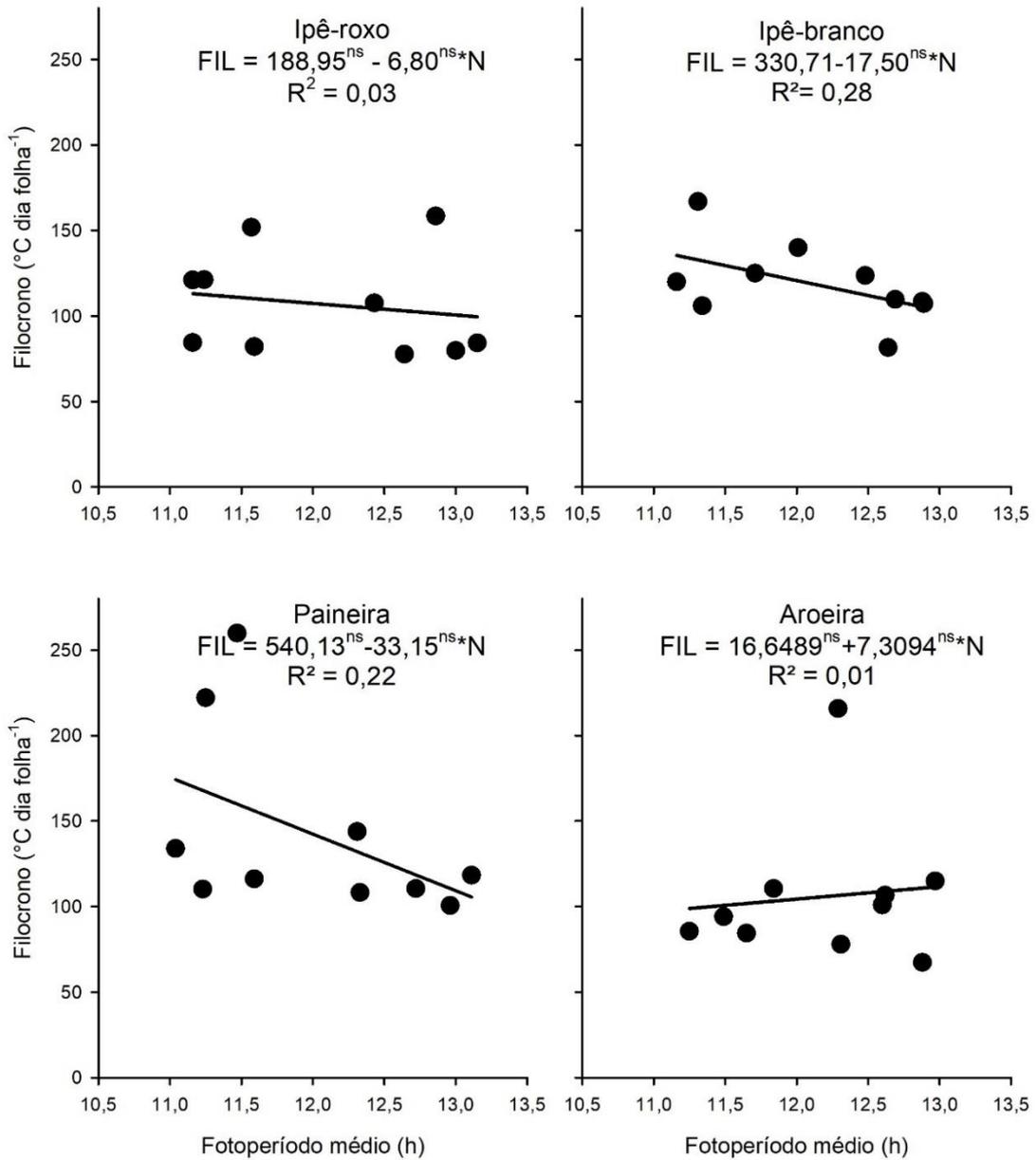


Figura 10: Relação entre filocrono (°C dia folha⁻¹) e fotoperíodo médio (horas) durante o período de emissão de folhas para 4 espécies florestais 10 épocas de semeadura, em Seropédica, RJ, de 2019 a 2021. Cada ponto representa uma época.

5. CONCLUSÃO

As temperaturas cardinais inferiores (T_b) para *H. impetiginosus*, *T. roseoalba*, *C. speciosa* e *S. terebinthifolia* foram, respectivamente, de 11,3°C, 10°C, 11,5°C e 9,8°C, as temperaturas ótimas foram 25,7 °C, 24,2 °C, 22,7 °C e 24,8 °C e as temperaturas cardinais superiores foram 50,3°C, 53,2°C, 57,6°C e 52,6°C, respectivamente.

Os filocronos de *H. impetiginosus*, *T. roseoalba*, *C. speciosa*, e *S. terebinthifolia* são influenciados pelo método de cálculo de soma térmica, sendo o método que o método 4 o melhor descreve, pois, considera a temperatura cardinal inferior e ótima e as compara com os extremos diários de temperatura. O filocrono variou entre as duas espécies e épocas de semeadura.

As quatro espécies utilizadas não apresentaram resposta fotoperiódica, indicando perfil de plantas de dia neutro.

6. REPERERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. C. et al. Valores limitrofes para transpiração, desenvolvimento e crescimento de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson em resposta à deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 841–852, 2015.

ABREU, M. C. et al. Transpiration and growth responses by Eucalyptus species to progressive soil drying. **Journal of Forestry Research**, n. 0123456789, 2022.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ARNOLD, C. Y. The Determination and Significance of the Base Temperature in a Linear Heat Unit System. **American Society for Horticulture Science**, v. 74, p. 430–445, 1959.

BAATH, G. S. et al. Guar responses to temperature: Estimation of cardinal temperatures and photosynthetic parameters. **Industrial Crops and Products**, v. 145, p. 111940, 1 mar. 2020.

BISOGNIN, D. A. et al. Thermal sum of potato plants and tuber sprouting. **Ciência Rural**, v. 47, n. 10, 28 ago. 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/cr/a/dvwNnWffdZ54KBGrnRMSLnD/?lang=en>>. Acesso em: 12 ago. 2022.

CALZAVARA, A. K. et al. Morphoanatomy and ecophysiology of tree seedlings in semideciduous forest during high-light acclimation in nursery. **Photosynthetica**, v. 53, n. 4, p. 597–608, 1 dez. 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11099-015-0151-0>>. Acesso em: 1 jul. 2021.

CARVALHO-SOBRINHO, J. G. **Ceiba in Flora do Brasil**, s.d. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB9037>>. Acesso em: 5 dez. 2021.

CAVALCANTE, A. G. et al. Thermal sum and phenological descriptions of growth stages of

the common bean according to the BBCH scale. **Annals of Applied Biology**, v. 176, n. 3, p. 342–349, 2020.

CHAVES, G. G. et al. Phyllochron and leaf appearance rate in oat. **Bragantia**, v. 76, n. 1, p. 73–81, 2017.

CONTIN, D. R. et al. Effect of different irradiance levels on anatomy and growth of two Malvaceae species during two seasons. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 43, n. 2, p. 257–269, 1 jun. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40415-020-00609-4>>. Acesso em: 1 jul. 2021.

COSTA, D. B. da; STRECK, N. A. Duração da fase de mudas em Eucalipto simulada em cenários de aumento de temperatura. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1263–1270, 1 out. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/33378>>. Acesso em: 16 mar. 2022.

DELATORRE, C. A. et al. Oat development in response to temperature. **Ciência Rural**, v. 52, n. 1, p. 1–8, 2022.

ENDRES, L. et al. Morphological and photosynthetic alterations in the Yellow-ipe, *Tabebuia chrysostricha* (Mart. Ex DC.) Standl., under nursery shading and gas exchange after being transferred to full sunlight. **Agroforestry Systems**, v. 78, n. 3, p. 287–298, fev. 2010. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-009-9235-9>>. Acesso em: 1 jul. 2021.

FAGUNDES, F. F. A.; REIS, F. Y. da S.; MARTINS, F. B. A model for predicting the initial development of two native forest species under current and future climates. **Environmental and Experimental Botany**, v. 192, p. 104662, 1 dez. 2021.

FARIAS, V. D. et al. Temperaturas basais e necessidade térmica para o ciclo de desenvolvimento do feijão-caupi. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, 1 jun. 2015. Disponível em: <<https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1906>>. Acesso em: 22 jul. 2021.

FELIX, F. C.; MEDEIROS, J. A. D. de; PACHECO, M. V. Morfologia de sementes e plântulas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 1028–1035, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.19084/RCA18126>>.

FERREIRA, M. de C. **Desenvolvimento vegetativo de três espécies arbóreas**. 2017. Universidade Federal de Itajubá, 2017.

FERREIRA, M. de C. et al. Cardinal temperatures and modeling of vegetative development in guava. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 11, p. 819–825, 2019a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n11p819-825>>. Acesso em: 5 dez. 2021.

FERREIRA, M. de C. et al. Cardinal temperatures and thermal requirements for the initial development of two Brazilian native species. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 23 set. 2019b. Disponível em: <www.scielo.br/pabAgrometeorology/originalArticle>. Acesso em: 3

jun. 2021.

FLORENÇIO, G. W. L. et al. Impacts of climatic changes on the vegetative development of olive cultivars. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 9, p. 641–647, 2019.

FREITAS, C. H.; MARTINS, F. B.; ABREU, M. C. Cardinal temperatures for the leaf development of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus urophylla* seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 5, p. 283–292, 2017.

FREITAS, C. H. de; MARTINS, F. B. Thermal requirements and photoperiod influence in the leaf development of two forest species. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, p. 1–9, 2019.

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**, v. 18, n. 11, p. 553–606, 1920.

GILMORE, E. C.; ROGERS, J. S. Heat Units as a Method of Measuring Maturity in Corn. **Agronomy Journal**, v. 50, n. 10, p. 611–615, 1 out. 1958. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj1958.00021962005000100014x>>. Acesso em: 16 jul. 2022.

GONÇALVES, C. et al. Temperatura-base e soma térmica para a Zínia ‘Profusion Cherry’ envasada cultivada em ambiente protegido. **Ornamental Horticulture**, v. 21, n. 3, p. 376, 14 fev. 2016. Disponível em: <<http://ornamentalthorticulture.emnuvens.com.br/rbho/article/view/570>>. Acesso em: 3 jun. 2021.

GONÇALVES, J. L. M. et al. **Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização**. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. [s.l: s.n.]p. 309–350, 2000.

GROSSNICKLE, S. C.; MACDONALD, J. E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. **New Forests**, v. 49, n. 1, p. 1–34, 2018.

HORA, A. B. da. Análise da formação da base florestal plantada para fins industriais no Brasil sob uma perspectiva histórica. **BNDES Setorial**, 42, p. 383–426, 2015.

IBÁ. **Relatório Anual Ibá 2021**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>>.

IPCC. **The physical science basis (AR5). Contribution of working group I to the fifth assessment report**. [s.l: s.n.].

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 187–196, 2005.

KEISLING, T. C. Calculation of the Length of Day 1. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 4, p. 758–

759, 1982.

KELLY, S. J. et al. Extended photoperiods after flowering increase the rate of dry matter production and nitrogen assimilation in mid maturing soybean cultivars. **Field Crops Research**, v. 265, p. 108104, 15 maio 2021.

LIMA, E. P.; SILVA, E. L. da. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 266–273, 2008.

LIMA FILHO, P. et al. Seedling production of *Ceiba Speciosa* in different volume of tubes using biosolids as substrate. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 27–39, 2019.

LIMA, P. R. et al. Avaliação Morfofisiológica em Mudanças de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos Durante a Rustificação. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 316–326, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.058813>>. Acesso em: 2 jul. 2021.

LOHMANN, L. G. **Handroanthus in Flora do Brasil**. s.d. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB114086>>. Acesso em: 5 dez. 2021a.

LOHMANN, L. G. **Tabebuia in Flora do Brasil**. s.d. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB114338>>. Acesso em: 5 dez. 2021b.

LUCA, A. Q. D. E. **Fenologia, potencial germinativo e taxa de cruzamento de uma população de paineira (*Chorisia speciosa* St. Hil BOMBACACEAE) em área ciliar implantada**. 2002. USP, 2002.

LUCAS, D. D. P. et al. Base temperature for node appearance and plastochron of watermelon plant. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 43, n. 2, p. 288–292, 2012.

LUZ, G. L. da et al. Temperatura base inferior e ciclo de híbridos de canola. **Ciência Rural**, v. 42, n. 9, p. 1549–1555, set. 2012.

MACEDO, M. C. de et al. Growth of white Tabebuia seedlings in different substrates. **Cerne**, v. 17, n. 1, p. 95–102, 2011.

MALDANER, I. C. et al. Phyllochron, leaf area, and fruit yield in eggplants grown with one and two stems per plant in plastic greenhouse. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 671–677, 2009.

MARCOS, J. et al. Water yam (*Dioscorea alata* L.) development as affected by photoperiod and temperature: Experiment and modeling. **Field Crops Research**, v. 111, n. 3, p. 262–268, 3 abr. 2009.

MARTINS, F. B. et al. Desenvolvimento foliar em duas cultivares de oliveira estimado por duas categorias de modelos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 505–514, 2014.

MARTINS, F. B.; FERREIRA, M. de C.; FLORÊNCIO, G. W. L. Agrometeorological models for predicting seedlings development of two native forest species. **Scientia Agrícola**, v. 79, n. 4, 2022.

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

MARTINS, F. B.; SILVA, J. C. da; STRECK, N. A. Estimating base temperature for leaf appearance rate and the phyllochron in two eucalyptus species during seedling phase. **Revista Arvore**, v. 31, n. 3, p. 373–381, 2007.

MARTINS, F. B.; STRECK, N. A. Leaf appearance in seedlings of eucalyptus estimated by two models. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1091–1100, 2007.

MELO, W. A. de. **Filogeografia e estrutura genética de uma árvores de floresta estacional neotropical *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (Bignoniaceae)**. 2014. Universidade Federal de Goiás, 2014.

MILANI, J. E. D. F. et al. Phenology and tree radial growth of *Schinus terebinthifolius* in a subtropical forest. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n. 1, p. 1–8, 2021.

MONTEIRO, E. B. et al. Estimating Emission of Leaves Seedlings Forest in Different Shading Levels, at Conditions of Transition Amazon-Cerrado, Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 05, n. 15, p. 2330–2341, 2014.

PACHECO, F. V. et al. Crescimento inicial de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex. Benth. (Fabaceae) e *Chorisia speciosa* A.St.-Hil (Malvaceae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 945–953, 2013.

PAULA, F. L. M. de et al. Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da batata (*Solanum tuberosum* L.). **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1034–1042, 2005.

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**, v. 38, n. 9, p. 2457–2463, 2008.

PILAU, F. G. et al. Temperatura basal, duração do ciclo e constante térmica para a cultura do crambe. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 958–964, 2011.

POSSE, R. et al. Basal Temperature and Thermal Constant for the Production of Cacao Tree Seedlings. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 25, n. 3, p. 1–16, 2018.

RAWAL, D. S. et al. Climatic and photoperiodic effects on flowering phenology of select eucalyptus from south-eastern Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214–215, p. 231–242, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.253>>.

REIS, F. Y. da S. et al. Climate change impact on the initial development of tropical forest species: a multi-model assessment. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 145, n. 1–2, p. 533–547, 2021.

RODRIGUES, J. C.; SOUZA, P. J. D. O. P. de; LIMA, R. T. de. Estimativa de temperaturas

basais e exigência térmica em mangueiras no nordeste do Estado do Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 143–150, 2013.

ROSA, H. T. et al. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1374–1382, 2009.

SANTOS, D. L. dos; SUGAHARA, V. Y.; TAKAKI, M. Efeitos da luz e da temperatura na germinação de sementes de *Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nich, *Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Standl. e *Tabebuia roseo-alba* (Ridl) Sand - Bignoniaceae. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 1, p. 87, 30 mar. 2005.

SHARRATT, B. S.; SHEAFFER, C. C.; BAKER, D. G. Base temperature for the application of the growing-degree-day model to field-grown alfalfa. **Field Crops Research**, v. 21, n. 2, p. 95–102, 1989.

SILVA-LUZ, C. . et al. **Anacardiaceae in Flora do Brasil**. s.d. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15471>>. Acesso em: 5 dez. 2021.

SILVA, L. V. da et al. Desenvolvimento Vegetativo de *Cesalpineia ferrea* e *Anadenanthera macrocarpa*: I - Estimativa das Temperaturas Cardinais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 23–33, 27 abr. 2020. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/rbmet/a/pqPphJZHrsq8bhV5Wb9TkwC/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 5 dez. 2021.

SILVA, M. A. V. da. **Avaliação fisiológica da aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) sob déficit hídrico com vista para o reflorestamento**. 2007. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2007.

SINCLAIR, T. R. et al. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, v. 88, n. 2–3, p. 171–178, 10 ago. 2004.

SINGH, R. K. et al. Photoperiod- and temperature-mediated control of phenology in trees – a molecular perspective. **New Phytologist**, v. 213, n. 2, p. 511–524, 2017.

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

SOUZA, A. P. de; LEONEL, S.; SILVA, A. C. da. Basal temperature and thermal sum in phenological phases of nectarine and peach cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 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**, v. 29, n. 2, p. 307–313, 2014.

STRECK, N. A. et al. Avaliação da resposta ao fotoperíodo em genótipos de arroz irrigado. **Bragantia**, v. 65, n. 4, p. 533–541, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/brag/a/vgSWMqTXNS8Nbxv3CVKKTcf/abstract/?lang=pt>>. Acesso

em: 17 jul. 2022.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEZZA, G.; MINUZZI, R. B. Characterization of the leaf emission of lettuce cultivars as a function of the thermal sum. **Journal of Environmental**, v. 2, p. 140–145, 2019.

TINCKER, M. A. H. Effect of Length of Day on Flowering and Growth. **Nature**, v. 114, p. 350–351, 1924.

TORABI, B. et al. Modeling flowering response to temperature and photoperiod in safflower. **Industrial Crops and Products**, v. 151, p. 112474, 1 set. 2020.

TORRES, R. R. et al. Projected impacts of 1.5 and 2°C global warming on temperature and precipitation patterns in South America. **International Journal of Climatology**, 2021.

YANG, S.; LOGAN, J.; COFFEY, D. L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 74, n. 1–2, p. 61–74, 1995.

ZHANG, J. et al. *Tabebuia impetiginosa*: A comprehensive review on traditional uses, phytochemistry, and immunopharmacological properties. **Molecules**, v. 25, n. 18, p. 4294. Disponível em: <www.tropicos.org>. Acesso em: 3 jun. 2021.