

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

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO
DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DE TRÊS
ESPÉCIES ARBÓREAS BRASILEIRAS**

FERNANDO YURI DA SILVA REIS

ITAJUBÁ, MG, BRASIL

2018

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

FERNANDO YURI DA SILVA REIS

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO
DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DE TRÊS
ESPÉCIES ARBÓREAS BRASILEIRAS**

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

Área de concentração:

Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Orientadora:

Prof. Dra. Fabrina Bolzan Martins

Coorientador:

Prof. Dr. Roger Rodrigues Torres

Itajubá (MG), Brasil

2018

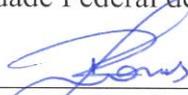
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

FERNANDO YURI DA SILVA REIS

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO
DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DE TRÊS
ESPÉCIES ARBÓREAS BRASILEIRAS**



Prof^ª Dra. Fabrina Bolzan Martins (Orientadora)
Universidade Federal de Itajubá – Unifei



Prof. Dr. Roger Rodrigues Torres (Coorientador)
Universidade Federal de Itajubá – Unifei



Prof^ª Dr^ª Lilian Vilela Andrade Pinto
Instituto Federal do Sul de Minas - Campus Inconfidentes



Prof^ª. Dr^ª Michelle Simões Reboita
Universidade Federal de Itajubá – Unifei

Itajubá (MG), Brasil

2018

A Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia.

Aos meus avós, João José e Hercília Hilduino, José Reis e Porfíria Maria, que pela vitória em grandes batalhas me fizeram chegar até aqui.

OFEREÇO

Ao meu amor Rita, por sua ajuda, compreensão e paciência.

Á minha mãe Maria por todo apoio.

A comunidade Javé Nissi.

DEDICO

AGRADECIMENTO

A Deus, que providenciou o necessário e permitiu esse projeto em minha vida, ELE que é presente em todos os momentos, é o maior mestre que alguém pode conhecer, ELE é o socorro, o motivador, o amparo, o refúgio, **bendito seja o nome do Senhor!**

Agradeço à Universidade Federal de Itajubá e ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos por todo aprendizado, oportunidades e a aprimoramento pessoal e profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa, tornando possível a execução deste trabalho.

À professora e orientadora Fabrina Bolzan Martins, pelos ensinamentos, confiança, incentivos e amizade. E pela oportunidade oferecida diante de um tempo sem orientação. Da mesma forma sou grato ao professor e Coorientador Roger Rodrigues Torres por sua importante contribuição e amizade.

À amiga Mábele de Cássia Ferreira, pela fundamental ajuda na pesquisa com o compartilhamento de informações e experiências. Aos amigos Larissa Vieira da Silva, Jeferson Martiniano Casseiro, Haroldo Felipe da Costa, não só pela imensa dedicação ao experimento, mas também pelos ricos momentos juntos.

Aos professores do Instituto de Recursos Naturais da Unifei pela oportunidade de aprendizado através das disciplinas e da convivência, em especial à Ana Lúcia Fonseca, Rogério Melloni, Maria Inês Alvarenga, Michelle Reboita e Marcelo Corrêa.

Aos servidores Willians Silva, Josivaldo Rodrigues, Alexandre Germano, em especial Tatiana Amaro, Amarildo Monteiro, por todo suporte nos laboratórios e na busca de dados importantes.

Aos amigos de pós-graduação André Reis, Matias Sales, Alex Takeo, Wesley Vieira, Lucas Martins, pelo auxílio em momentos desafiadores, conselhos, companheirismo e divertidos momentos.

Aos amigos da comunidade Theotokos Javé Nissi, Diego, Simone, Wannessa, Miller, Samuel, Daniele, Gustavo, Fernanda, Luiz, Denise por muita paciência, orações e principalmente amizade.

À minha grande família Hilduino e Reis em especial aqueles que acompanharam de perto meu trabalho, Adriana, Camila, Andreia, Maria Luiza, Tia Gloria, Tio Jorge, Tio Manoel, Tio José, Fabricio.

“Por nossa realidade corpórea, Deus nos uniu de forma tão estreita ao mundo que nos rodeia que a desertificação do solo é como uma doença para cada um de nós, e podemos lamentar a extinção de uma espécie como se fosse uma mutilação. ”

Papa Francisco

RESUMO

REIS, Fernando Yuri da Silva. **Impactos das mudanças climáticas no desenvolvimento vegetativo de três espécies arbóreas brasileiras**. 2018. 39 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.

Apesar do número crescente de políticas voltadas à mitigação da mudança climática, as emissões de gases de efeito estufa antropogênicas (GEE) continuam aumentando. As projeções climáticas projetam, no decorrer do século XXI, aumentos de temperatura do ar de até 5°C em Minas Gerais, além de mudanças nos padrões sazonais de precipitação. Esses aumentos trazem prejuízos ao desenvolvimento, crescimento e produtividade das culturas agrícolas e florestais, tendo em vista a importância da temperatura e do CO₂ na fisiologia das mesmas. A utilização de espécies nativas para fins comerciais, preservação e recuperação apresenta uma demanda crescente, entretanto, são escassos os estudos com informações básicas sobre espécies nativas brasileiras, e ainda mais raros os capazes de mensurar os possíveis impactos promovidos pelas mudanças climáticas, constituindo um incentivo para realização desse trabalho. O objetivo foi avaliar o impacto das mudanças climáticas no desenvolvimento vegetativo de três espécies florestais brasileiras na fase de muda: goiabeira (*Psidium guajava* L.), pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham.) e urucuzeiro (*Bixa orellana* L.), as quais possuem importância econômica, ecológica e ambiental. Para atender o objetivo, estudo numérico foi realizado para Itajubá, MG, a avaliação dos impactos das mudanças climáticas no desenvolvimento vegetativo foi quantificada pela variável duração da fase de muda, através dos modelos Filocrono e Wang Engel que utilizaram em suas funções de temperatura dados de temperatura média provenientes de dez modelos pertencentes ao CMIP5 regionalizados pelo NEX-GDDP, simuladas para doze épocas de semeadura, considerando dois cenários distintos (RCP's 4.5 e 8.5) e dois períodos (2021-2050 e 2071-2100). Os modelos de projeções utilizados pertencentes ao CMIP5 geraram boa representação da temperatura média, máxima e mínima do ar. O aumento da temperatura do ar (~1,4°C a ~3,9°C) irá modificar a taxa de desenvolvimento e a duração da fase de muda das três espécies nativas brasileiras cultivadas em Itajubá. Além das alterações da duração da fase de muda, as mudanças do clima também promoverão alterações nas épocas de semeadura mais aptas ao plantio.

Palavras-chave: cenários de emissões de gases de efeito estufa, temperatura do ar, fenologia.

ABSTRACT

REIS, Fernando Yuri da Silva. **Impacts of climate change on the vegetative development of three Brazilian tree species.** Master of Science Dissertation (Master in Environment and Water Resources) – Natural Resources Institute, Federal University of Itajubá, Itajubá 2018.

Even though climate changes mitigation policies are increasing, anthropogenic greenhouse gas emissions (GEE) is still going up. Climate projections predict, during the XXI century, climate projections project air temperature increases of up to 5°C in Minas Gerais state, as well as changes in seasonal precipitation patterns. These increases bring damages to the development, growth and productivity of agricultural and forestry products, considering the importance of temperature and CO₂ in their physiology. The use of native species for commercial purposes, preservation and recovery represents a growing demand, however, studies with basic information on Brazilian native species are scarce and limited, and even rarer are those capable of measuring the possible impacts promoted by climate changes, constituting an incentive to move with this job. The goal of this study was to evaluate the impact of climate changes on some plants development of three Brazilian forest species in the seedling phase: guava (*Psidiumguajava* L.), pau viola (*Citharexylummyrianthum* Cham.) and urucuzeiro (*Bixaorellana* L.), with significant economic, ecological and environmental importance. To achieve the goal of this study, a research was conducted under Itajubá-MG environment conditions, the impacts promoted by climate changes on some plants development were qualified during the seedling phase, through Filocrono and Wang Engel models that used in their functions of temperature data from ten models from the CMIP5 regionalized by NEX-GDDP, simulated for twelve seedling period, considering two distinct scenarios (RCPs 4.5 and 8.5) and two periods (2021-2050 and 2071-2100). The CMIP5 models designed generated good representation in the mean, maximum and minimum air temperature, with greater divergences between models in the distant future (2071-2100) and RCP 8.5. The increase in air temperature (~1.4°C to ~3.9°C) modifies the rate of development and duration of the seedling phase of the three Brazilian native species found in Itajubá. In addition to changes in the duration of the seedling phase, climate changes will also promote changes during seedling times more suitable for planting.

Key words: scenarios of greenhouse gas emissions, air temperature, phenology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo anual de temperatura média do ar observada (azul) (1981-2005) e simulada (cinza) pelos 10 modelos regionalizados do NEX-GDDP para o período de 1981-2005. A linha em negrito representa a média de todos os modelos.....22

Figura 2 - Projeções de temperatura mínima (A), média (B) e máxima (C) obtida pelos dez modelos regionalizados do NEX-GDDP, para dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (RCP 4.5 e 8.5). As linhas mais grossas em azul representam a média dos modelos no RCP 4.5 e em vermelho a média dos modelos no RCP 8.5. As linhas tracejadas de vermelho e azul representam o comportamento de cada modelo em suas respectivas forçantes radiativas.....24

Figura 3 - Projeções da duração da fase de muda para goiabeira (A), pau viola (B) e urucuzeiro (C) obtida pelos dez modelos regionalizados NEX-GDDP, para os dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (RCP 4.5 e 8.5). As linhas em negrito em azul representa a média dos modelos no RCP 4.5 e em vermelho a média dos modelos no RCP 8.5, as linhas tracejadas de vermelho e azul representam o comportamento de cada modelo em suas respectivas forçantes radiativas e a coluna em cinza representa a média da DFM observada* em condições experimentais para 2015/2016 (*Valor extraído de Ferreira, 2017).....26

Figura 4 - Duração da fase de muda (DFM) para goiabeira (A), pau viola (B) e urucuzeiro (C) projetadas para futuro próximo (FP= 2021-2050) e futuro distante (FD=2071-2100) nos RCPs 4.5 (1) e 8.5 (2). As linhas verticais referem-se ao desvio padrão da DFM das projeções dos 10 modelos regionalizados do NEX-GDDP. A DFM observado (OBS) foi extraída de Ferreira (2017) e baseia-se de observações referente aos anos de 2015 e 2016.....28

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Datas de início das simulações do desenvolvimento vegetativo das três espécies nativas brasileiras. O ano de início das simulações é 2021.....18
- Tabela 2** - Lista de modelos regionalizados do NEX-GDDP utilizados no estudo e respectivas informações.....20
- Tabela 3** - Avaliação da simulação dos dados de temperatura média do ar dos 10 modelos regionalizados do NEX-GDDP (1981-2005).....22
- Tabela 4** - Caracterização da temperatura do ar durante as doze épocas de simulação de semeadura, em dois período futuro (FP = 2021-2050 e FD = 2071-2100) e dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (RCP 4.5 e 8.5) para as três espécies nativas.....29
- Tabela 5** - Comparação de médias para variável duração da fase de muda (DFM, dias) para três espécies arbóreas nativas (goiabeira, pau viola e urucuzeiro) considerando dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (RCP 4.5 e 8.5) e dois períodos de projeções (FP=2021-2050 e FD=2071-2100) para Itajubá (MG).....31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA - análise de variância
CMIP5 - *Coupled Models Intercomparison Project Phase 5*
DFM – duração da fase de muda
DV – desenvolvimento vegetativo
E1: E12 – época de simulação sementeira 1 a época de simulação sementeira 12.
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fc – fator de correção
FD – futuro distante
FIL – filocrono
FP – futuro próximo
GD – graus-dia acumulado
GD_i - graus-dia
i - data do início da simulação
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
MCG – Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
MG – Minas Gerais
n - data de término da simulação
NEX-GDDP - *Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections*
NF – número de folhas
QME – quadrado médio do erro
RCP – Representative Concentration Pathways
TAF – taxa de aparecimento de folhas
TAF_{max} = taxa diária máxima de aparecimento de folhas
T_b – Temperatura basal inferior
T_c – Temperaturas cardinais
T_B – Temperatura basal superior
T_m – Temperatura média
T_{max} – Temperatura máxima
T_{min} – Temperatura mínima
Tot – Temperatura ótima
WE – Wang e Engel

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4. CONCLUSÕES.....	33
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais (MG) é uma das regiões brasileiras que mais serão afetadas pelas alterações no clima, uma vez que projeta-se um aumento de temperatura do ar chegando até 5°C para várias regiões de MG, no decorrer do século XXI (MARTINS et al., 2018a; REBOITA et al., 2018; SANTOS et al., 2017) e consequentemente do CO₂ atmosférico. Esses aumentos trazem prejuízos ao desenvolvimento, crescimento e produtividade das culturas agrícolas e florestais, pois a temperatura do ar é a variável meteorológica que mais influencia o desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e crescimento das plantas, enquanto o CO₂ é o principal substrato para a realização da fotossíntese, afetando diretamente a taxa de crescimento das plantas (MARENCO; LOPES, 2009; TAIZ et al., 2017).

A importância da temperatura do ar ocorre devido a influência direta nos processos fisiológicos das plantas, pois atua como moderadora nas reações bioquímicas da fotossíntese e fotorrespiração, alteração das atividades enzimáticas, na velocidade de transporte e translocação de solutos, no balanço entre a transpiração e consumo de água do solo (FREITAS et al., 2017). Além disso, determina a velocidade das reações enzimáticas, afetando a taxa de respiração de manutenção, processo que consome energia (ATP e NADPH) ou esqueletos carbonados provenientes da fotossíntese (TAIZ et al., 2018). Já o CO₂ é utilizado no processo da fotossíntese, que apresenta resumidamente duas fases distintas, sendo a primeira relacionada a oxidação da água à oxigênio molecular e a formação de Adenosina trifostato (ATP) e Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato - NADPH (coenzima orgânica); e a segunda refere-se a utilização do ATP e NADPH no ciclo de Calvin & Benson na redução do CO₂ para formar compostos orgânicos, como os carboidratos (MARENCO; LOPES, 2009; TAIZ et al., 2017). Em função da sequência de reações que envolvem a fixação do CO₂ e a formação dos carboidratos pela fotossíntese, as plantas superiores são classificadas como: plantas C₃, C₄ e plantas CAM (MARENCO; LOPES, 2009).

Em teoria, as plantas C₃, vegetais que compreendem a maioria das espécies terrestres, deveriam ser beneficiadas com o aumento de CO₂, pois são plantas altamente dependentes do CO₂ atmosférico por possuir a enzima ribulose 1-5 bifosfato carboxilase-oxigenase (Rubisco), única responsável pelo processo metabólico que

governa a fotossíntese nas plantas C3 (FAGUNDES et al., 2010; TAIZ et al., 2017). Por outro lado, o aumento de CO₂ juntamente com o aumento da temperatura do ar pode impactar negativamente as plantas, pois em condições de temperatura elevada ocorre o efeito de Warburg, onde o O₂ inibe a fixação da CO₂ pela enzima rubisco, reduzindo a fotossíntese e elevando a fotorrespiração (MARENCO e LOPES, 2009). Tal combinação encurta a duração do ciclo, diminui a produção de fotoassimilados, reduz o desenvolvimento, e conseqüentemente a produtividade (TAIZ et al., 2017; DAMATTA et al., 2010; ALEXANDROV et al., 2000; NORBY; LUO, 2004). No entanto, o impacto é diferenciado em cada espécie vegetal (TIRONI et al., 2017), e deve ser analisado de forma pontual.

Dessa forma, a avaliação dos impactos das mudanças climáticas pode ser realizada através dos modelos de simulação com modelos numéricos de desenvolvimento vegetativo. Tais modelos relacionam a taxa de aparecimento de folhas (TAF) com funções de resposta à temperatura do ar, as quais por sua vez diferem-se basicamente em duas categorias: linear ou aditiva e não linear ou multiplicativa (MARTINS et al., 2014). Na categoria linear, o modelo do Filocrono (FIL) é o exemplo mais recorrente, enquanto o modelo de Wang e Engel (WE) é bastante utilizado na categoria não linear (WANG; ENGEL, 1998; STRECK et al., 2009; ERPEN et al., 2013; FERREIRA, 2017).

Estudos dessa natureza são recorrentes em espécies agrícolas (STRECK, 2002; LAGO et al., 2009; FAGUNDES et al., 2010a; STRECK et al., 2011; LUZ et al., 2012; ERPEN et al., 2013; MANTAI et al., 2017), ornamentais e medicinais e escassos em espécies arbóreas (MARTINS et al., 2018b), principalmente espécies nativas brasileiras constituindo o esforço para a realização desta dissertação, em que foram abordadas espécies nativas como goiabeira (*Psidium guajava* L.), pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham.) e urucuzeiro (*Bixa orellana* L.).

A espécie *Psidium guajava* L. conhecida popularmente como goiabeira, pertence a família Myrtaceae e possui ampla ocorrência no território nacional. É cultivada comercialmente aproximadamente desde 1950 (PEREIRA; KAVATI, 2011), sendo seus frutos adequados para o consumo *in natura* e para utilização industrial na produção e processamento de sucos, néctares e polpas (ASSIS et al., 2014; BARBOSA; LIMA, 2010). O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de goiaba (RAMOS et al., 2010; IBGE, 2018), com volume de produção de 460.515 toneladas em uma área de 20.294 hectares, concentradas principalmente na região sudeste e nordeste (IBGE, 2018). Além

disso, a espécie é uma alternativa em plantios mistos destinados a recomposição de áreas degradadas e preservação (LORENZI, 2014).

A *Citharexylum myrianthum* Cham., conhecida popularmente como pau viola ou tarumã, pertence a família Verbenaceae (ZANON; CARPANEZZI; FOWLER, 1997) e possui ampla ocorrência nas regiões nordeste, sudeste e sul, principalmente em formações de floresta pluviais e semidecíduas da Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado (AMARAL; ANTIQUEIRA; HORBACH, 2013). É uma espécie pioneira, apresentando ótima regeneração natural e adaptação em terrenos muito úmidos e brejosos, além de possuir frutos apreciados pela avifauna, sendo importante na recomposição de áreas ciliares degradadas (ZANON; CARPANEZZI; FOWLER, 1997). Ademais, sua madeira pode ser aproveitada para produção de tabuado em geral, forro e instrumentos musicais (LORENZI, 2014).

A *Bixa orellana* L. , conhecida popularmente como urucuzeiro, pertence à família Bixaceae, assim como a goiabeira é uma espécie de relevante interesse econômico uma vez que produz fruto do urucum (FERREIRA; NOVEMBRE, 2015), muito apreciado pela quase ausência de sabor e por não apresentar os efeitos prejudiciais dos corantes artificiais. As sementes são revestidas por pigmentos avermelhados constituído por carotenoides, com predomínio da enzima bixina, amplamente empregados pelas indústrias alimentícias, farmacêuticas e testeis (MANTOVANI; GRANDO; XAVIER, 2013). No Brasil o cultivo de urucum abrange uma área de aproximadamente 13.934 hectares produzindo 13.363 toneladas de semente (IBGE, 2018). Ressalta-se ainda que a espécie possui expressivo valor cultural, estando entre as plantas mais utilizadas pelas comunidades indígenas para proteção contra insetos, queimaduras por exposição ao sol e rituais religiosos (LORENZI, 2014; MORAIS et al., 2005).

Dessa forma, o objetivo dessa dissertação foi simular o desenvolvimento vegetativo de três espécies florestais nativas brasileiras (*Psidium guajava* L., *Citharexylum myrianthum* Cham. e *Bixa orellana* L), em doze épocas de semeadura, considerando dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (4.5 e 8.5) e dois períodos de projeções (2021- 2050; 2071-2100). A justificativa para esse estudo é dada pela carência de trabalhos que identifiquem os impactos das mudanças climáticas no desenvolvimento de espécies nativas brasileiras, aliado a importância socioeconômica e ambiental das três espécies, sobre tudo no Brasil em que as espécies podem se deslocar e/ou sofrerem redução em suas áreas de ocorrência (VALE; ALVES; LORINI, 2009).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado para o ponto de grade mais próximo a Itajubá, MG, Brasil (22°24'46" S 45°26'49" O, 850m de altitude), que possui clima presente (2015 / 2016), segundo a classificação de Köppen, do tipo Cwa, tropical de altitude com invernos secos e verões quentes e chuvosos (REBOITA et al., 2015; MARTINS et al., 2018a).

As espécies nativas brasileiras utilizadas neste experimento foram escolhidas em função de sua importância econômica, ambiental e social, uma vez que possuem uso múltiplo sendo utilizadas na produção de alimentos e fármacos, em plantios mistos destinados à recomposição de áreas degradadas e marcenaria (LORENZI, 2014).

A variável utilizada para quantificar o desenvolvimento vegetativo das espécies é a duração da fase de muda (DFM) (MARTINS et al., 2018b), a qual é obtida indiretamente através de modelos de simulação. Os modelos de simulação utilizados neste estudo foram diferenciados para cada espécie, sendo utilizado o modelo do Filocrono para a goiabeira e urucuzeiro e o de Wang Engel para o pau viola, conforme recomendações de Ferreira, (2017) e Ferreira et al., (2018b), uma vez que são os modelos que melhor simulam os dados observados para as espécies. Em ambos modelos, a DFM é dada pela integração do número de folhas acumuladas na haste principal (NF) desde a data de emergência até a finalização da fase de muda, que ocorre quando cada espécie atinge o patamar de 20 NF. (MARTINS et al., 2014; FREITAS et al., 2017).

No modelo do Filocrono (FIL) o NF simulado é dado por (MARTINS et al., 2014; XUE; WEISS; BAENZIGER, 2004):

$$NF_{\text{estimado}} = \frac{\sum_{i=1}^n GD}{\text{filocrono}} \quad (1)$$

Em que: GD = função de temperatura do ar, dada pelo somatório dos graus-dia diários (GD_i) obtido através das condições (MARTINS; STRECK, 2007):

quando: $T_b \leq T_{\text{med}} \leq T_{\text{tot}}$: $GD_i = T_{\text{med}} - T_b \cdot 1\text{dia}$, ou

quando: $T_{\text{tot}} < T_{\text{med}} \leq T_B$: $GD_i = (T_{\text{tot}} - t_b) \cdot \frac{(T_B - T_{\text{med}})}{(T_B - T_{\text{tot}})} \cdot 1\text{dia}$ ou

$T_{\text{med}} < T_b$ ou se $T_{\text{med}} > T_B$, então : $GD_i = 0$

quando:

em que: T_b , T_{tot} e T_B = temperaturas cardinais para goiabeira (10,9°C, 17,3°C e 51,2°C) e urucuzeiro (12°C, 18,4°C e 46,4°C) (FERREIRA et al., 2018a); $T_{\text{med}} =$

temperatura média do ar; i = data de início da simulação (Tabela 1); n = data que cada espécie atinge 20 NF, sendo o limiar do término da fase de muda; $\overline{filocrono}$ = média dos valores de filocrono da goiabeira ($39,95^{\circ}\text{C dia. folha}^{-1}$) (FERREIRA et al., 2018b) e urucuzeiro ($47,02^{\circ}\text{C dia. folha}^{-1}$) (FERREIRA, 2017).

Tabela 1 - Datas de início das simulações do desenvolvimento vegetativo* das três espécies nativas brasileiras. O ano de início das simulações é 2021.

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

*Datas referentes a emergência das três espécies nativas, extraídas de Ferreira et al., 2018, que se refere ao início do desenvolvimento da muda em Itajubá (MG).

Já no modelo de Wang Engel (WE), o NF é dado por (WANG; ENGEL, 1998; STRECK et al., 2011; MARTINS et al., 2014):

$$NF = \sum_{i=1}^n (\text{TAF}_{\max} \cdot f(t)) \quad (2)$$

em que: TAF_{\max} = taxa diária máxima de aparecimento de folhas para o pau viola ($0,1867$ folhas dia^{-1}) (FERREIRA, 2017); $f(T)$ = função beta de temperatura do ar; i = data de início da simulação (Tabela 1) e n = data em que a espécie atinge $NF=20$, sendo o limiar do término da fase de muda.

A $f(T)$ é dada por (PEREIRA; CAMPELO JUNIOR; FERRONATO, 2010; WANG; ENGEL, 1998):

quando $T_b \leq T_{med} \leq T_B$: $f(T) = \frac{[2(T_{med} - T_b)^\alpha (T_{tot} - T_b)^\alpha - (T_{med} - T_b)^{2\alpha}]}{(T_{tot} - T_b)^{2\alpha}}$, e

quando $T_{med} < T_b$ ou $T_{med} > T_B$ $f(T) = 0$, (3)

em que: T_b , T_{tot} e T_B = temperaturas cardinais para o pau viola (11,4°C, 18,1°C, 36,6°C) (FERREIRA et al., 2018), α = coeficiente de calibração calculado em função das temperaturas cardinais:

$$\alpha = \frac{\ln 2}{\ln[(T_B - T_b)/(T_{tot} - T_b)]} \quad (4)$$

As simulações dos dois modelos de desenvolvimento vegetativo (FIL e WE) foram realizadas diariamente, desde a data i (Tabela 1) até $n = 20$ NF, para cada espécie e época de semeadura, para dois períodos futuros denominados de futuro próximo (FP=2021-2050) e futuro distante (FD=2071-2100). Nas funções de temperatura dos modelos do FIL (GD i) e WE ($f(t)$), foram utilizados os dados de temperatura média do ar (T_{med}) próximo a superfície provenientes do conjunto de dados regionalizados da NASA *Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections* (NEX-GDDP) (THRASHER et al., 2012), os quais possibilitam a avaliação dos impactos das mudanças climáticas em menor escala (THRASHER et al., 2012), sendo ideal para este tipo de estudo. Os dados do NEX-GDDP possuem resolução horizontal de aproximadamente 0,25° de latitude/longitude, e para este estudo foram extraídas as informações do ponto de grade mais próximo a Itajubá-MG (22° 25'S e 45° 27'O).

Os dados do NEX-GDDP derivam das projeções climáticas de 10 modelos do Sistema Terrestre integrantes do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5), analisados no 5° relatório (AR5) do IPCC, fornecidas pelo *Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison* e disponibilizados pelo *Earth System Grid data portal* (TAYLOR; STOUFFER; MEEHL, 2012), os quais possuem uma resolução horizontal que variam de 0,9° a 2,5° de latitude/longitude (Tabela 2).

Tabela 2 - Lista de modelos regionalizados do NEX-GDDP utilizados no estudo e respectivas informações.

Modelo	Resolução	Centro Desenvolvedor
ACCESS1.0	1.8°×1.2°	<i>CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia), and BOM (Bureau of Meteorology, Australia)</i>
CCSM4	0.9 °×1.3 °	<i>National Center for Atmospheric Research</i>
CNRM-CM5	1,4 °×1,4 °	<i>Centre National de Recherches Meteorologiques / Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique</i>
EC-EARTH	1,1°× 1,1°	<i>EC-EARTH consortium</i>
GFDL-CM3	2.0 °×2.5 °	<i>Geophysical Fluid Dynamics Laboratory</i>
HadGEM2-ES	1.3 °×1.9 °	<i>Met Office Hadley Centre (additional HadGEM2-ES realizations contributed by Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)</i>
IPSL-CM5A-MR	1.3 °×2.5 °	<i>Institut Pierre-Simon Laplace</i>
MIROC5	1.4 °×1.4 °	<i>Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology</i>
MPI-ESM-MR	1.8°×1.8°	<i>Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)</i>
MRI-CGCM3	1.1°×1,1°	<i>Meteorological Research Institute</i>

Adaptado de Torres (2014).

O conjunto de dados do NEX-GDDP possui projeções para os cenários de emissões de gases de efeito estufa, denominada *Representative Concentration Pathways* (RCP). Neste estudo utilizou o RCP 4.5 e o 8.5. O RCP 4.5 representa um comportamento intermediário entre os cenários RCPs, com forçante radiativa aproximada no final do século XXI de 4,5 Wm⁻² em concentrações de CO₂ equivalente de 490 partes por milhão, enquanto o RCP 8.5 representa a forçante mais intensa (8,5 Wm⁻²) e, portanto, condiz com os maiores aumentos de temperatura por todo o globo, em concentrações de CO₂ equivalente de 1370 partes por milhão (MOSS et al., 2010).

Uma vez que os modelos regionalizados do NEX-GDDP poderiam apresentar algumas inconsistências nos resultados, os quais gerariam erros nos padrões de saída da temperatura do ar, realizou-se uma verificação da Tmed sazonal resultantes dos modelos através da comparação com o conjunto de dados observados para o período de 1981 a 2005. Os dados observados de Tmed foram extraídos de Xavier et al., (2016) e derivam da validação cruzada entre os dados pontuais observados através de estações meteorológicas e interpolações para pontos de grade.

A Tmed utilizada como parâmetro de entrada nas funções de temperatura dos modelos de desenvolvimento vegetativo (GD_i e f(t)) foi obtida pela média aritmética dos dados diários de temperatura máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}) do ar próximo à superfície (C°), projetados pelos 10 modelos regionalizados do NEX-GDPP, para dois períodos futuros: FP = 2021-2050 e FD = 2071-2100 e dois RCPs (4.5 e 8.5).

Por fim, para avaliar o impacto das mudanças climáticas na DFM, os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$) e posteriormente foi realizada a análise de variância (ANOVA) em esquema trifatorial (12 x 2 x 2) para avaliar o efeito das fontes de variação: época de semeadura (12 épocas), períodos futuros (FP, FD) e cenários de emissões de gases de efeito estufa (RCPs 4.5 e 8.5), considerando um delineamento inteiramente casualizado (WEISS et al., 2003; STRECK et al., 2013; MARTINS et al., 2018b). Adicionalmente, foi realizada a comparação de médias nos dados de DFM através do teste Scott-Knott (1974) ($\alpha=0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela comparação dos dados simulados (1981-2005) entre os 10 modelos regionalizados do NEX-GDDP e os dados observados (XAVIER et al., 2016), percebe-se que houve razoável concordância (Tabela 3) e boa representação do ciclo anual da Tmed (Figura 1). Existe certa dispersão entre os valores simulados pelos modelos, sendo que o HadGEM2-ES e ACCESS1.0 apresentaram conjuntamente o menor viés médio (0,05 e -0,31°C respectivamente) e o menor raiz do quadrado médio do erro (1,07 e 1,15 respectivamente), enquanto os modelos MIROC5 e EC-EARTH apresentaram conjuntamente o maior viés médio (1,80 e -2,40°C respectivamente) e maior raiz do quadrado médio do erro (1,19 e 1,27 respectivamente) consequentemente pior desempenho. No entanto, a média de todos os modelos é próxima dos dados observados da Tmed e devido a isso, foi possível utilizar nas funções de temperatura do modelo FIL (goiabeira e urucuzeiro) e WE (pau viola), a Tmed obtida de cada um dos 10 modelos regionalizados do NEX-GDDP. Adicionalmente, a DFM estimada pelos 10 modelos, se aproxima da DFM média (Figura 2B), o que é coerente, principalmente quando se utiliza dados de Tmed simulados e não observados.

Tabela 3. Avaliação da simulação dos dados de temperatura média do ar dos 10 modelos regionalizados do NEX-GDDP (1981-2005).

Modelos	RQME*	Viés Médio (VM)**
ACCESS1.0	1,15	-0,31
CCSM4	1,03	-1,83
CNRM-CM5	1,22	0,53
EC-EARTH	1,27	-2,40
GFDL-CM3	1,33	1,44
HadGEM2-ES	1,07	0,05
IPSL-CM5A-MR	1,29	0,61
MIROC5	1,19	1,80
MPI-ESM-MR	1,09	1,79
MRI-CGCM3	1,17	-0,26

*RQME = raiz do quadrado médio do erro, dado por: $RQME = [\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2 / N]^{0,5}$ (MARTINS et al., 2014). ** VM = Viés médio, dado por: $VM = N^{-1} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)$ (ALENCAR et al., 2011). Em que E_i = valores de Tmed estimados pelos modelos; O_i = valores de Tmed observados (1981-2005) (XAVIER et al., 2016), N = número de observações.

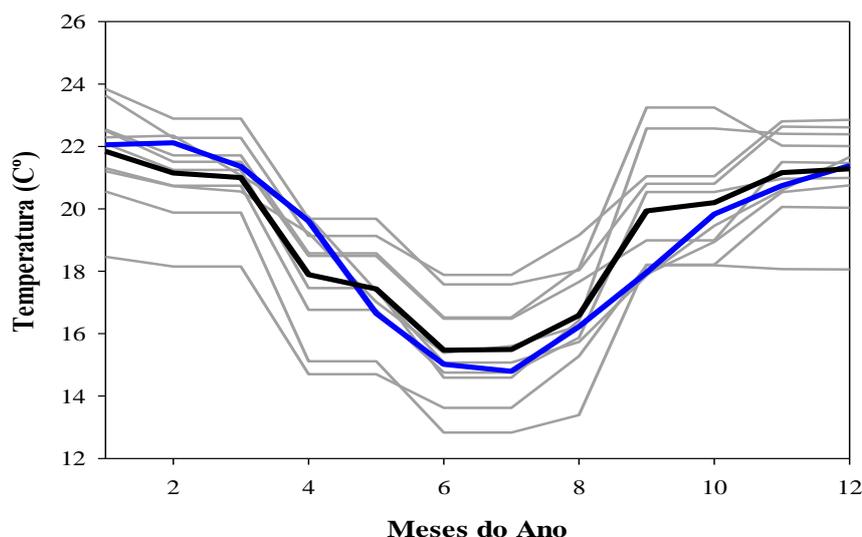


Figura 1 - Ciclo anual de temperatura média do ar observada (azul) (1981-2005) e simulada (cinza) pelos 10 modelos regionalizados do NEX-GDDP para o período de 1981-2005. A linha em negrito representa a média de todos os modelos.

Comparando o comportamento dos modelos com as projeções de Tmin, Tmed e Tmax (Figura 2), notou-se que a dispersão de cada modelo no FP (2021-2050) tende a ser menor quando comparado ao FD (2071-2100). Tal comportamento está ligado a variabilidade interna de cada modelo, que vai sendo amplificada à medida que a integração numérica avança no tempo (IPCC, 2013). Além disso, é possível observar que a dispersão dos modelos para Tmed (Figura 2B) é visivelmente superior as

projeções para Tmin e Tmax (Figura 2 A-C), comportamento que ocorre devido ao efeito cumulativo adquirido das variações entre modelos nas projeções de Tmin e Tmax.

As projeções de temperatura do ar para cada RCP demonstram aumento gradual da Tmin, Tmed e Tmax ao longo do século XXI (Figura 2), sendo mais brando no RCP 4.5 e no FP (+1,4°C) e mais intenso no RCP 8.5 e no FD (+3,9°C). Esse é o padrão esperado uma vez que projeta-se maior aquecimento na maior forçante radiativa (8.5 Wm⁻²) e na maior concentração de CO₂ emitido (1370ppm) (RIAHI et al., 2011; MOSS et al., 2010). Além disso, os valores projetados em Itajubá (Figura 2) são semelhantes ao encontrado por Santos et al., (2017) e Reboita et al., (2018) para a região sul de Minas Gerais, com valores entre +4°C à +5°C no final do século XXI (RCP 8.5).

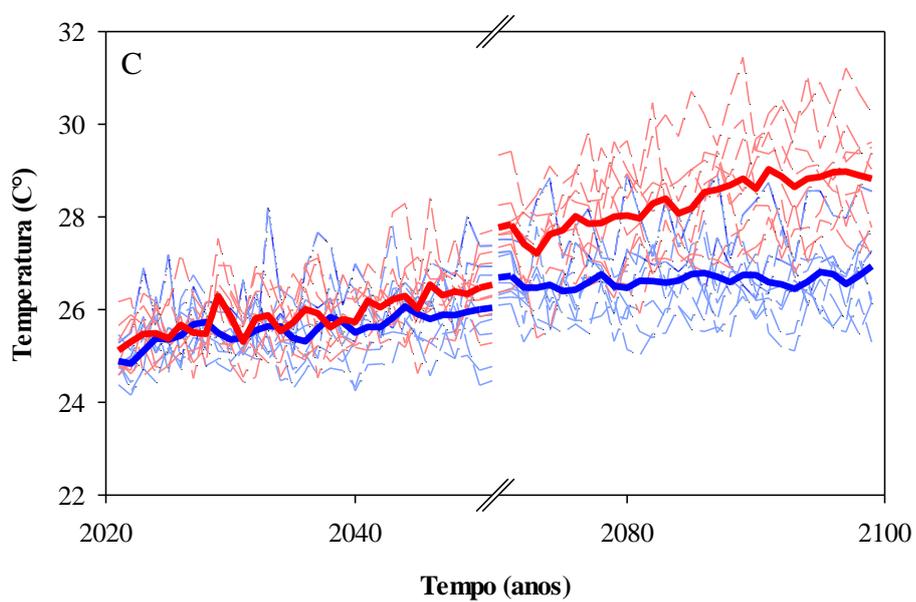
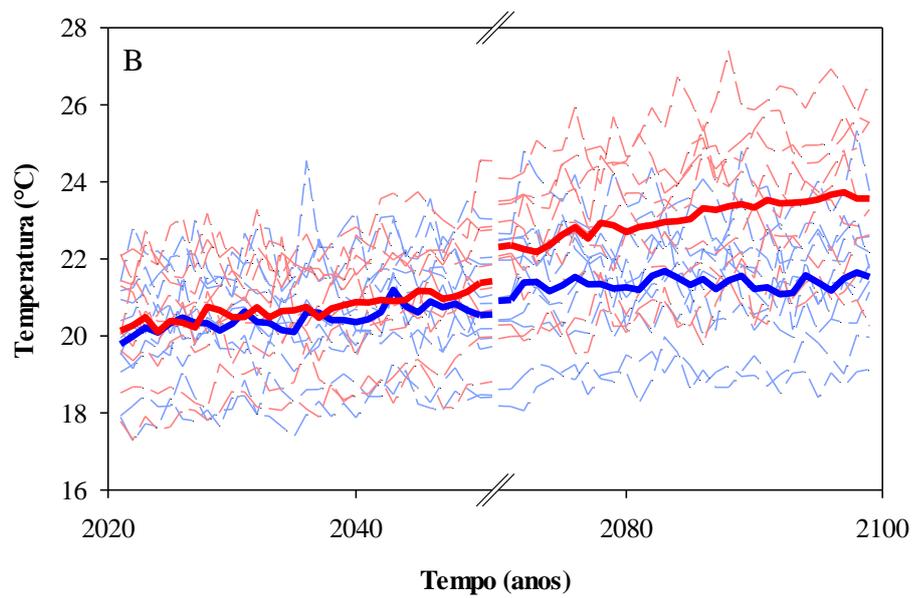
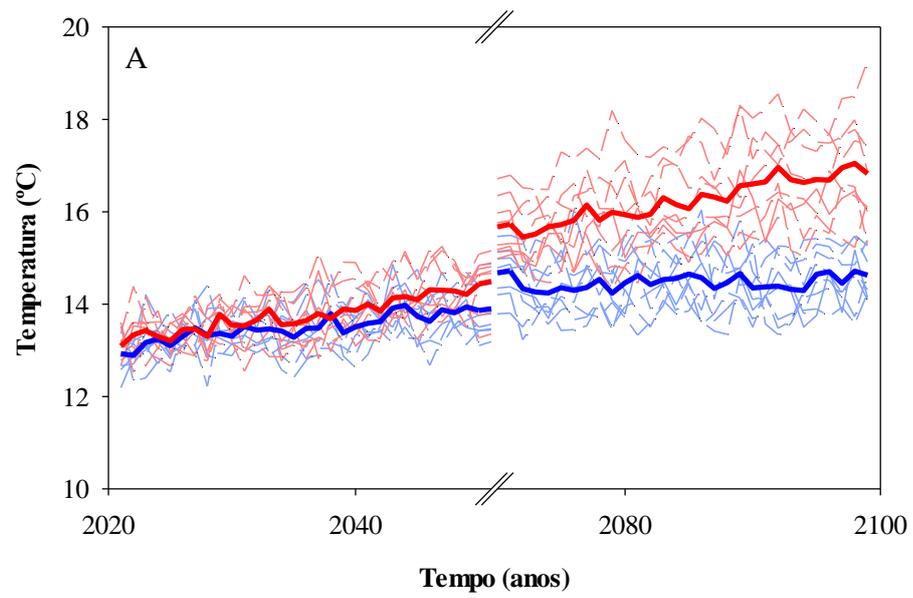


Figura 2 - Projeções de temperatura mínima (A), média (B) e máxima (C) obtida pelos dez modelos regionalizados do NEX-GDDP, para dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (RCP 4.5 e 8.5). As linhas em negrito azul representam a média dos modelos no RCP 4.5 e em vermelho a média dos modelos no RCP 8.5. As linhas tracejadas de vermelho e azul representam o comportamento de cada modelo em suas respectivas forçantes radiativas.

Tais aumentos projetados de temperatura do ar (Figura 2) causarão prejuízos diretos nos processos fisiológicos das plantas similar ao observado por Streck et al., (2013) e Martins et al., (2018b), influenciando a duração do estágio vegetativo das três espécies florestais nativas e conseqüentemente a DFM (Figuras 3 e 4). Isso ocorre, pois, dependendo da temperatura do ar, todas as reações metabólicas, como as da fotossíntese e fotorrespiração, atividades enzimáticas, taxa de transporte de solutos (FREITAS et al., 2017) são intensificadas ou reduzidas (TAIZ et al., 2018). Uma análise geral, dada pelo comportamento da média da DFM das 12 épocas de semeadura para as três espécies, obtida para cada modelo regionalizado do NEX-GDDP (Figura 3), demonstra que a DFM média nos dois períodos seguiu o mesmo padrão das projeções de temperatura do ar, onde foi observado menor dispersão e maior proximidade entre a DFM média no FP para ambos RCPs, enquanto que no FD há maior dispersão e maior diferenciação da DFM média entre os modelos. Isso demonstra que as funções de temperatura do FIL e WE conseguem captar a variação do desenvolvimento com os dados das projeções de T_{med} dos modelos regionalizados do NEX-GDDP, o que é ideal para esse tipo de estudo.

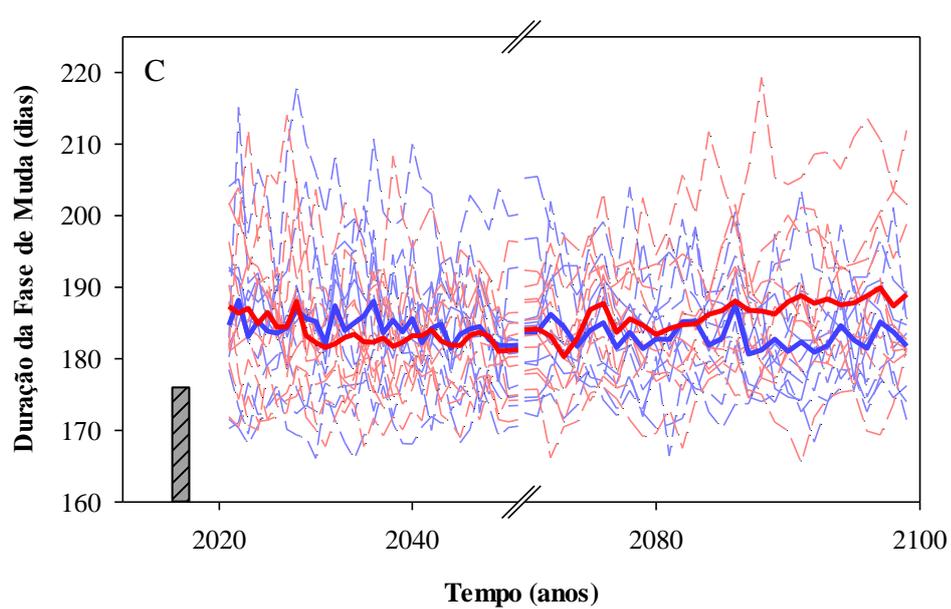
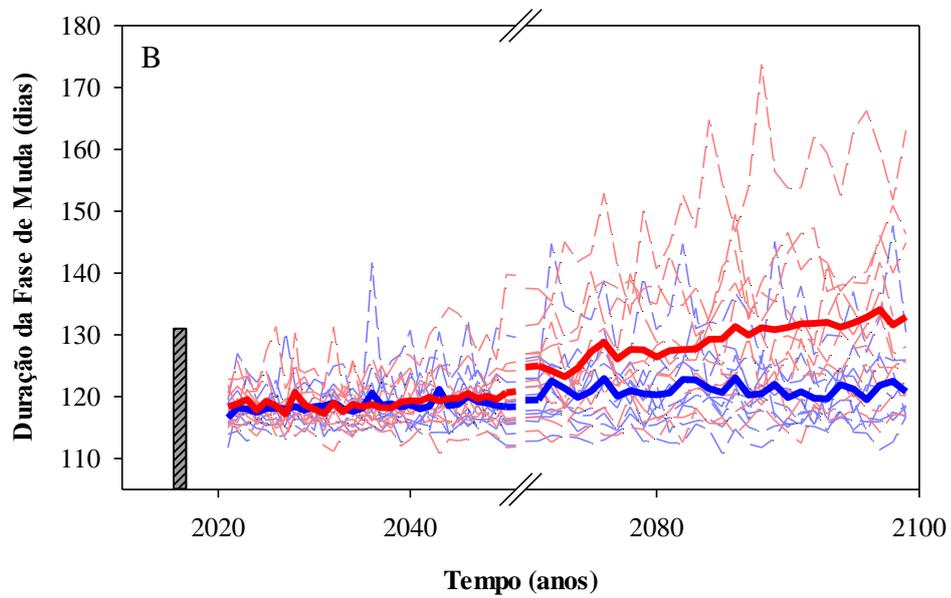
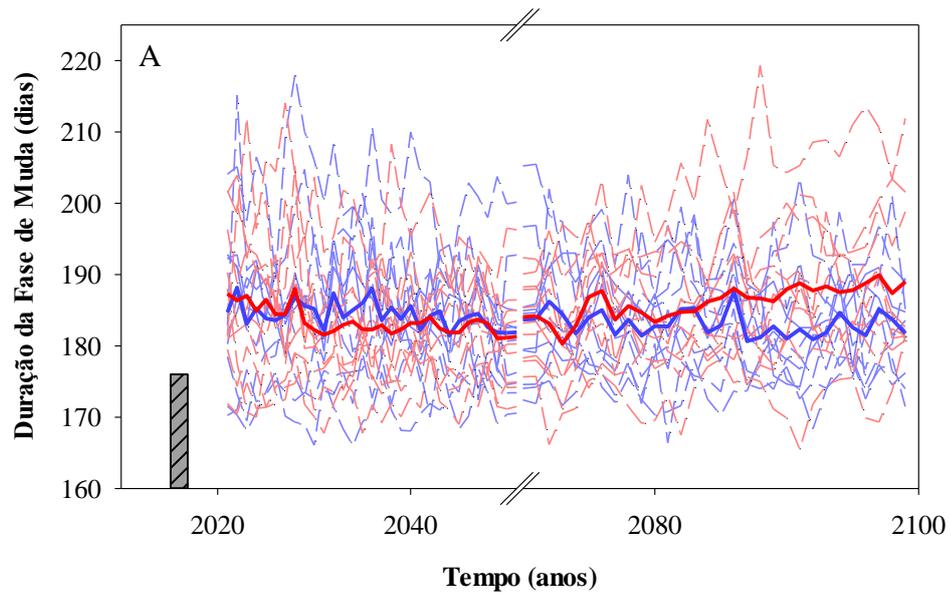


Figura 3 - Projeções da duração da fase de muda para goiabeira (A), pau viola (B) e urucuzeiro (C) obtida pelos dez modelos regionalizados NEX-GDDP, para os dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (RCP 4.5 e 8.5). As linhas em negrito em azul representa a média dos modelos no RCP 4.5 e em vermelho a média dos modelos no RCP 8.5, as linhas tracejadas de vermelho e azul representam o comportamento de cada modelo em suas respectivas forçantes radiativas e a coluna em cinza representa a média da DFM observada* em condições experimentais para 2015/2016 (*Valor extraído de Ferreira, 2017).

Ainda considerando a Figura 3, nota-se uma tendência de diminuição da DFM média para a goiabeira e pau viola no FP (em ambos RCPs) e FD (RCP4.5) (Figura 3 A-B) e aumento da DFM média no urucuzeiro (Figura 3C). No caso da goiabeira e pau viola, tal comportamento pode ser considerado coerente, uma vez que o aumento da temperatura aliado ao da concentração de CO₂, em um primeiro momento, aumenta a taxa fotossintética, acelera o desenvolvimento (FAGUNDES et al., 2010; STRECK et al., 2013) e encurta a DFM. No entanto, posteriormente podem sofrer uma série de processos de aclimação (WALTER et al., 2015), os quais podem reduzir a taxa fotossintética e prejudicar o desenvolvimento vegetativo, exatamente como no caso do urucuzeiro. Por esse motivo, convencionou-se analisar o comportamento da DFM em cada época de semeadura (Figura 4).

A DFM das três espécies nativas é diferente tanto no clima presente, considerando os dados de Ferreira (2017) para os anos de 2015 e 2016, quanto no clima futuro (FP e FD), sendo que o pau viola possui, em média, a menor DFM, seguido da goiabeira e urucuzeiro (Figura 4).

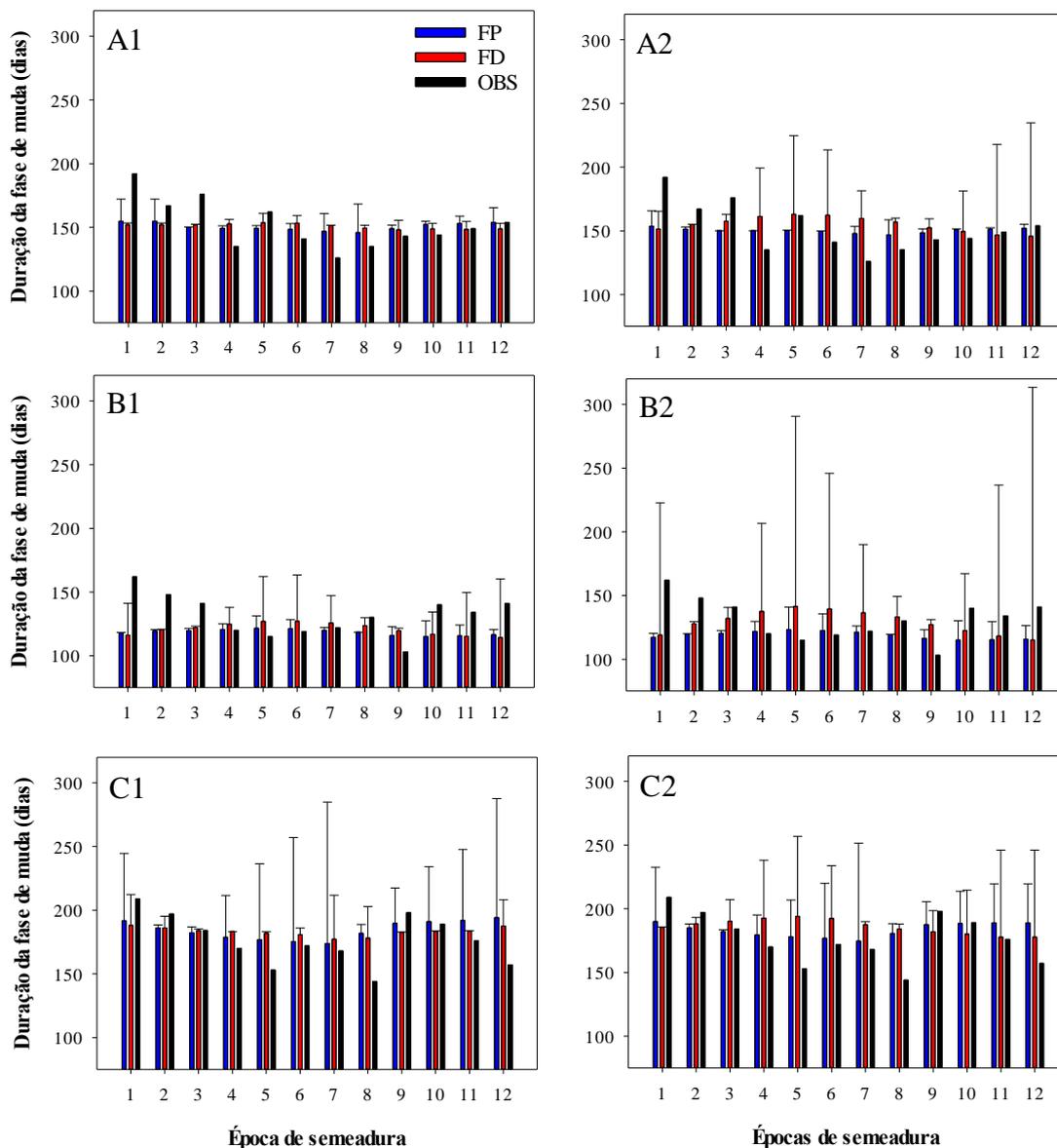


Figura 4 - Duração da fase de muda (DFM) para goiabeira (A), pau viola (B) e urucuzeiro (C) projetadas para futuro próximo (FP=2021-2050) e futuro distante (FD=2071-2100) nos RCPs 4.5 (1) e 8.5 (2). As linhas verticais referem-se ao desvio padrão da DFM das projeções dos 10 modelos regionalizados do NEX-GDDP. A DFM observado (OBS) foi extraída de Ferreira (2017) e baseia-se de observações referente aos anos de 2015 e 2016.

De maneira geral, exceto em algumas épocas de simulação da semeadura, há comportamento semelhante da DFM entre as três espécies, sendo que o padrão do impacto é intensificado no FD e no RCP 8.5. Analisando os possíveis impactos na DFM em cada época, constata-se que para as três espécies as épocas 1 (i= maio) e 2 (i= junho) sofrerão redução na DFM tanto no RCP 4.5 quanto no RCP 8.5, e as épocas 4 (i=

agosto), 6 (i= outubro), 7 (i=novembro) e 8 (i= dezembro) sofrerão aumento da DFM. Já as épocas 3 (i= julho), 5 (i=setembro), 9 (i=janeiro), 10 (i=fevereiro), 11 (i=novembro) e 12 (i=dezembro) apresentaram tendências diferentes entre as espécies (Figura 4). A diminuição da DFM ocorreu nas simulações realizadas nas épocas que compreenderam os menores valores de temperatura do ar, enquanto o aumento da DFM ocorreu nas simulações realizadas nas épocas que compreenderam os maiores valores de temperatura (Tabela 4).

Nas três espécies, a maior redução da DFM foi observada na época de simulação 1 no FD, sendo de 41 dias para a goiabeira (RCP 8.5), 46 dias para o pau viola (RCP 4.5) e 23 dias para o urucuzeiro (RCP 8.5). Já o maior aumento na DFM ocorreu na época de simulação 5 para urucuzeiro e goiabeira, com +41 e +34 dias para a finalização da fase de muda, respectivamente; e na época de simulação 7 para o pau viola, com +26 dias, especialmente no FD e no RCP8.5. Essa análise preliminar sugere que o urucuzeiro é a espécie mais impactada pelo aumento projetado da temperatura do ar para Itajubá, com maior aumento (menor redução) da DFM (Figura 4C), enquanto o pau viola é a que sofrerá menor impacto com menor aumento (maior redução).

Tabela 4 - Caracterização da temperatura do ar* durante as doze épocas de simulação de semeadura, em dois período futuro (FP = 2021-2050 e FD = 2071-2100) e dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (RCP 4.5 e 8.5) para as três espécies nativas.

Épocas de simulação da semeadura	Goiabeira				Pau Viola				Urucuzeiro			
	RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5	
	FP	FD	FP	FD	FP	FD	FP	FD	FP	FD	FP	FD
1	19,3	19,8	19,6	21,6	18,3	18,8	18,5	20,6	19,8	20,3	20	22,1
2	20,4	20,8	20,6	22,7	19,8	20,2	20,1	22,2	20,5	21,1	20,8	22,9
3	21	21,5	21,3	23,4	20,6	21,1	20,9	23,1	21	21,6	21,3	23,5
4	21,8	22,5	22,1	24,4	21,5	22,1	21,9	24,1	21,7	22,5	22	24,3
5	22,1	23,1	22,5	24,9	22,1	23	22,5	24,9	22,1	23,1	22,4	24,8
6	22,2	23,2	22,5	24,9	22,3	23,3	22,6	24,9	22	23,1	22,3	24,7
7	21,8	23	22	24,5	22,1	23,3	22,3	24,7	21,5	22,7	21,8	24,2
8	21,2	22,5	21,5	24	21,6	22,9	21,9	24,3	20,5	21,9	20,8	23,5
9	20	21,4	20,2	22,9	20,5	22	20,8	23,4	19,6	20,9	19,8	22,5
10	19	20,3	19,2	22	19,4	20,9	19,7	22,4	19,1	20,2	19,3	21,8
11	18,3	19,3	18,5	21	18,3	19,6	18,6	21,3	18,7	19,5	18,9	21,2
12	18,3	18,9	18,4	20,6	17,7	18,5	17,8	20,2	19,1	19,6	19,3	21,4

*Os valores referem-se a média das temperaturas médias.

O aumento da DFM ocorreu, principalmente, nas épocas simuladas na primavera e verão (4, 6, 7 e 8), nas quais são projetados os maiores valores (e aumentos) de temperatura do ar (Figura 2 e Tabela 4). Isso ocorre uma vez que a DFM possui relação direta com a T_{med} , e quando esta é superior a temperatura ótima da espécie (goiabeira =17,3 °C, pau viola =18,1 °C e urucuzeiro = 18,4°C FERREIRA et al., 2018a), há uma redução da taxa desenvolvimento, resultando em aumento da DFM. A redução do desenvolvimento pode estar atrelado a maior taxa de respiração de manutenção, processo que consome energia (ATP e NADPH) ou esqueletos carbonados provenientes da fotossíntese (TAIZ et al., 2017), as quais elevam os custos de manutenção, por aumentar a renovação de proteínas e balanço de íons (MARENCO; LOPES, 2009). Por outro lado, nas épocas simuladas no inverno (1 e 2) e outono (11 e 12) há redução da DFM, uma vez que a T_{med} nessas épocas encontram-se entre a T_b (goiabeira =10,9 °C pau viola =11,4 °C e urucuzeiro = 12 °C, FERREIRA et al., 2018a) e a T_{ot} , justamente a faixa em que o desenvolvimento é acelerado com redução da duração do ciclo (SHAYKEWICH, 1995; STRECK, 2004; STRECK et al., 2013). Tal comportamento é semelhante ao observado para o desenvolvimento vegetativo de culturas anuais como o arroz vermelho (STRECK et al., 2013) e a batata (STRECK et al, 2006) e de culturas perenes como a oliveira (MARTINS et al., 2018b).

Para as três espécies, a ANOVA indicou efeito significativo para a interação tripla entre épocas de simulação de semeadura, cenários de emissão de gases de efeito estufa e períodos de projeção ($p \leq 0,05$) (Tabela 5). Entre os efeitos principais, os maiores valores do quadrado médio do erro (QME) da ANOVA foram de 14547,56, 2567,69 para pau viola e goiabeira respectivamente na fonte de variação período de projeção, e de 1152,14 para o urucuzeiro na fonte variação épocas de simulação de semeadura, indicando que o período de projeção tem maior efeito no desenvolvimento vegetativo e na DFM para pau viola e goiabeira, e no caso do urucuzeiro, a fonte de variação épocas de simulação de semeadura. Com relação ao urucuzeiro esse resultado é semelhante ao observado por Streck et al. (2013) para arroz e Martins et al. (2018b) para cultivares de oliveira. Resultado importante, uma vez que atualmente recomenda-se que o início da produção de muda e do plantio à campo do urucuzeiro seja realizada cinco meses antes do período chuvoso da região (CASTRO et al., 2009). Neste estudo,

o período chuvoso ocorre nos meses de outubro, novembro e dezembro (REBOITA et al., 2015; GARCIA et al., 2018), indicando que os meses preferenciais para início da produção e do plantio de mudas sejam realizados em maio, junho e julho, justamente os meses que ocorrerão as maiores reduções da DFM (Figura 4 e Tabela 5).

Tabela 5 - Comparação de médias para variável duração da fase de muda (DFM, dias) para três espécies arbóreas nativas (goiabeira, pau viola e urucuzeiro) considerando dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (RCP 4.5 e 8.5) e dois períodos de projeções (FP=2021-2050 e FD=2071-2100) para Itajubá (MG).

Época de simulação da semeadura	DFM Observada 2015/2016	Goiabeira			
		FP		FD	
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
1	192	154,79 Da2	153,67 Fa2	152,07 Ba1	151,43 Ca1
2	167	151,80 Ca1	151,47 Da1	151,99 Ba1	155,06 Db2
3	176	150,06 Ba1	150,08 Ca1	151,73 Ba2	157,46 Eb2
4	135	149,20 Ba1	150,11 Ca1	152,74 Ca2	161,26 Gb2
5	162	149,17 Ba1	150,45 Cb1	153,60 Ca2	163,02 Hb2
6	141	148,52 Ba1	149,75 Cb1	153,30 Ca2	162,33 Hb2
7	126	146,90 Aa1	147,95 Ba1	151,43 Ba2	159,78 Fb2
8	135	145,90 Aa1	146,76 Aa1	149,39 Aa2	156,92 Eb2
9	143	148,94 Ba1	148,55 Ba1	148,14 Aa1	152,48 Cb2
10	144	152,24 Cb2	150,99 Da2	148,81 Aa1	149,50 Ba1
11	149	153,03 Cb2	151,26 Da2	148,39 Ab1	146,72 Aa1
12	154	154,00 Db2	151,98 Ea2	148,80 Ab1	145,70 Aa1
Pau viola					
1	162	117,99 Ba2	117,25 Ba1	116,07 Ba1	119,05 Bb2
2	148	119,46 Ca1	119,58 Ca1	120,50 Ca1	127,87 Db2
3	141	119,79 Da1	120,36 Ca1	122,08 Da2	132,15 Eb2
4	120	120,65 Da1	121,82 Db1	124,73 Ea2	137,46 Fb2
5	115	121,56 Ea1	123,18 Eb1	127,04 Ga2	141,38 Hb2
6	119	121,24 Ea1	122,62 Eb1	127,12 Ga2	139,54 Gb2
7	122	120,03 Da1	121,19 Db1	125,73 Fa2	136,50 Fb2
8	130	118,46 Ba1	119,39 Ca1	123,63 Ea2	133,21 Eb2
9	103	115,91 Aa1	116,45 Ba1	119,72 Ca2	127,25 Db2
10	140	114,99 Aa1	115,11 Aa1	116,90 Ba2	122,53 Cb2
11	134	115,59 Aa1	115,21 Aa1	115,24 Aa1	118,33 Bb2
12	141	116,51 Aa2	115,66 Aa1	114,31 Aa1	115,14 Aa1
Urucuzeiro					
1	209	191,67 Gb2	189,95 Ha2	188,00 Eb1	185,37 Ca1
2	197	186,00 Ea1	185,13 Ea1	186,11 Da1	188,16 Db2
3	184	182,33 Da1	182,19 Da1	184,08 Ca2	190,10 Eb2
4	170	178,67 Ca1	179,45 Ca1	183,18 Ca2	192,72 Fb2
5	153	176,71 Ba1	178,03 Ba1	181,98 Ca2	193,91 Fb2
6	172	175,40 Ba1	176,76 Ba1	180,79 Ba2	192,41 Fb2
7	168	173,94 Aa1	174,56 Aa1	177,24 Aa2	187,49 Db2
8	144	181,76 Da2	180,61 Ca1	178,12 Aa1	184,01 Cb2
9	198	189,75 Fb2	187,60 Fa2	182,72 Ca1	181,94 Ba1
10	189	191,05 Gb2	188,40 Ga2	183,55 Cb1	180,11 Ba1
11	176	191,89 Gb2	188,87 Ga2	183,61 Cb1	177,68 Aa1
12	157	194,11 Hb2	191,18 Ha2	187,65 Eb1	180,64 Ba1

médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (época de semeadura), minúscula na linha (cenário de emissões de gases de efeito estufa) e número (período de projeção) não diferem entre si pelo teste Skott-Knott ($p > 0,05$). Os dados demonstrados referem-se aos dados originais, porém houve violação da pressuposição de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$), sendo necessária a transformação (\ln (DFM)) (FREITAS et al., 2017) para a aplicação do teste Skott-Knott.

De maneira mais específica, há diferença do comportamento das espécies entre os RCPs e períodos de projeções. As épocas 4, 5 e 6 da goiabeira apresentam maior DFM (em torno de 163 dias \pm 0,72) no FD e RCP 8.5, enquanto as épocas 7 e 8 apresentam menor DFM (em torno de 146 dias \pm 0,5) no FP e RCP 4.5. Mesmo assim, são épocas em que ocorrerão aumento da DFM quando comparado aos dados do clima presente (em torno de 140 dias \pm 11) (FERREIRA, 2017). No pau viola, a época 5 apresentou maior DFM (em torno de 121 dias) no FD e RCP 8.5, o que representa um aumento da DFM de 6 dias quando comparada a mesma época no clima presente (DFM=115 dias). Além disso, as épocas 10, 11 e 12 são as que apresentam menor DFM no FP e FD (RCP 4.5 e 8.5), o que indica que o pau viola será a espécie que sofrerá menor impacto com as projeções de mudanças climáticas projetadas para Itajubá. Exatamente o oposto ocorrerá com o urucuzeiro, uma vez que o maior aumento da DFM ocorrerá nas épocas 4, 5, 6 (FD e RCP 8.5) e 12 (FP em ambos RCPs), com duração em torno de 193 dias, e a maior redução ocorrerá na época 7 (174 dias no FP ambos RCPs); sendo superior a DFM observada nas mesmas épocas no clima presente (média = 163 dias \pm 10) (FERREIRA, 2017).

Épocas cultivadas tardiamente no outono, exceto para o urucuzeiro, e precocemente no inverno acelerarão o desenvolvimento vegetativo com a redução da DFM; e as cultivadas na primavera e verão retardarão o desenvolvimento vegetativo e aumentarão a DFM, principalmente em função da T_{med} ser superior a T_{ot} das espécies - 17,3°C, 18,1°C e 18,4°C - e próxima a T_B de 51,2°C, 36,6°C e 46,4°C, para goiabeira, pau viola e urucuzeiro, respectivamente (FERREIRA et al, 2018a). A taxa de desenvolvimento aumenta quando a T_{med} encontra-se entre a T_b e T_{ot} e decresce quando se afasta da T_{ot} e se aproxima da T_B (MARTINS et al., 2014; STRECK et al., 2011; ERPEN et al., 2013). Isso ocorre, pois, as três espécies são plantas C3 e possuem somente a enzima Rubisco no processo metabólico que governa a fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2018). Em condições de T_{med} elevada ocorre o efeito de Warburg, onde o O_2 inibe a fixação da CO_2 pela Rubisco, reduzindo a fotossíntese, elevando a fotorrespiração (MARENCO; LOPES, 2009; WALTER et al., 2015) e a DFM no

campo. O que revela necessidade de alteração nas épocas recomendadas para a semeadura das três espécies nativas, o que pode atenuar os impactos indesejáveis dos aumentos projetados na temperatura do ar (LINDERHOLM, 2006). Mesmo padrão observado por Tao et al. (2006) para o arroz, Streck et al. (2006) para milho, Liu e Tao (2013) para trigo, Streck et al. (2013) em diferentes genótipos de arroz e por Martins et al., (2018b) para diferentes cultivares de oliveira.

Estudos de Siqueira e Peterson (2003) e Godoy (2007) foram os pioneiros em verificar o impacto das mudanças climáticas em espécies nativas brasileiras. Nesses estudos, foi projetado redução de 25% a 90% das espécies do cerrado (SIQUEIRA; PETERSON, 2003) e diferenças no desenvolvimento sob alto CO₂, com respostas dependentes do parâmetro analisado e da fase da vida da planta em espécies da mata atlântica (GODOY, 2007). No entanto, estudos que avaliam os efeitos das mudanças climáticas na biodiversidade, representada pelas espécies nativas, e também em espécies florestais com fins comerciais como o eucalipto e o pinus, devem ser incentivados, uma vez que fornece subsídios para a escolha das espécies e quais as estratégias de adaptação em condições de mudanças climáticas (NORBY e LUO., 2004; WALTER et al., 2015, TIRONI et al., 2017), permite escolher as melhores épocas de plantio no campo (STRECK et al., 2013) repercutindo no manejo das espécies e no sucesso do estabelecimento das mudas no campo (MARTINS et al., 2018b).

4. CONCLUSÕES

Os modelos de projeções utilizados pertencentes ao CMIP5 geraram boa representação da temperatura mínima, média e máxima do ar, com maiores dispersões entre os modelos no futuro distante (2071 - 2100) e no RCP 8.5.

O aumento da temperatura do ar ($\approx 1,4^{\circ}\text{C}$ a $\approx 3,9^{\circ}\text{C}$) irá modificar a taxa de desenvolvimento e a duração da fase de muda das três espécies nativas brasileiras cultivadas em Itajubá e região.

Épocas com semeadura nos meses mais frios acelerarão o desenvolvimento vegetativo e reduzirão a duração da fase de muda, enquanto as semeadas nos meses mais quentes retardarão o desenvolvimento e aumentarão a duração da fase de muda, principalmente no urucuzeiro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDROV, V.; HOOGENBOOM, G. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. **Agricultural And Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 104, n. 2, p.315-327, 2000.

AMARAL, W. A. N. do; ANTIQUEIRA, L. M. O. R.; HORBACH, M. A. Frutification and germination ecology of *Citharexylum myrianthum* Cham (Verbenaceae). **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Amsterdam, v. 4, n. 3, p.207-215, 2013.

ASSIS, P. I. L. S. de. **Fluxo estomático de ozônio e sintomas foliares visíveis em *Psidium guajava* L. 'Paluma'**. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Instituto de Botânica, São Paulo, 2014.

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

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

DAMATTA, F. M.; GRANDIS, A.; ARENQUE, B. C.; BUCKERINGE, M. S. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p.1814-1823, 2010.

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

FAGUNDES, J. D.; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A.; SCHWANTES, A.P.; ALBERTO, C. M. Produtividade simulada de tubérculos de batata em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 4, p. 351-360, 2010.

FERREIRA, M. de C. **Desenvolvimento Vegetativo de Três Espécies Arbóreas**. 2017. 81 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.

FERREIRA, M.C.de; MARTINS, F.B.; PASIN, L.A.A.P.; FLORENCIO, G.W.; SILVA, J.P.C. Valores limítrofes de temperatura e necessidade térmica para o desenvolvimento de mudas de duas espécies nativas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. xx, n.xx, p.xx-xx, 2018a. (no prelo)

FERREIRA, M.C.de; MARTINS, F.B.; FLORENCIO, G.W.L. Cardinal temperatures and modeling the vegetative development of seedlings of guava. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. XX, n. XX, p. XX-XX, 2018b (no prelo).

FERREIRA, R. L.; NOVENBRE, A. D. da L. C.. Teste de germinação de sementes de urucum (*Bixa orellana* L.). **Multi-science Journal**, [s.l.], v. 3, n. 1, p.46-52, 2015.

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

GARCIA, S. R.; SANTOS, D. F dos; MARTINS, F. B.; TORRES, R. R. Aspectos climatológicos associados ao cultivo da oliveira (*Olea europaea* L.) em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.22, p. 188-209, 2018.

GODOY, J. R. de. **Ecofisiologia do estabelecimento de leguminosas arbóreas da Mata Atlântica, pertencentes a diferentes grupos funcionais, sob atmosfera enriquecida com CO₂: uma abordagem sucessional**. 2007. 111 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente), Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Produção Agrícola Municipal. Culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro, v. 44, p.1-22, 2018.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change - Summary for Policymaker. In: Climate Change 2013: **The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.;

IVERSON, L.R; PRASAD, A.M. Potential changes in tree species richness and forest community types following climate change. **Ecosystems**, [s.l.], v. 4, p. 186-199, 2001.

IVERSON, L.R; PRASAD, A. M.; MATHEWS, S.N.; PETERS, M. Estimating potential habitat for 134 eastern US tree species under six climate scenarios. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam v. 254, p. 390-406, 2008.

KELLOMÄKI, S., LEINONEN, S. (Ed.) Management of European Forests Under Changing Climatic Conditions. **Tiedonantojal Research Notes**, [s.l.], n. 163, 2005.427 p.

LAGO, I.; STRECK, N. A.; CARVALHO, M. P.; FAGUNDES, L. K.; DE PAULA, G. M.; LOPES, S. J. Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência-diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho. **Revista Ceres**, Viçosa, v.56, n.3, p.288-295, 2009.

LIU, Y.; TAO, F. Probabilistic change of wheat productivity and water use in China for Global mean temperature change of 1, 2 and 3 °C. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, Boston, v.52, p.114-129, 2013.

LINDERHOLM, H W. Growing season changes in the last century. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 137, n. 1-2, p. 1-14, 2006.

LUZ, G. L. da.; MEDEIROS, S. L. P.; TOMM, G. O.; BIALOZOR, A.; AMARAL, A. D. do; PIVOTO, D. Temperatura base inferior e ciclo de híbridos de canola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, 2012.

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

MANTAI, R. D.; SILVA, J. A. G. da; MAROLLI, A.; MAMANN, A. T. W. de; SAWICKI, S. KRÜGER, C. A. M. B. Simulation of oat development cycle by photoperiod and temperature. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n.1, p.3-8, 2017.

MANTOVANI, N. C.; GRANDO, M. F.; XAVIER, A. Avaliação de Genótipo de Urucum (*Bixa orellana* L.) por meio da Caracterização Morfológica de Frutos, produtividade de sementes e teor de bixina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p.355-362, jun. 2013.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3a. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2009. 486 p.

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

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F. dos.; REBOITA, M, S. Classificação climática de köppen e de thornthwaite para minas gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 14, n. 1, p.129-156, 2018a.

MARTINS, F.B.; FLORENCIO, G.W.L.; FERREIRA, M.C.de; PEREIRA, R.A.A. Impacts of climatic changes on the vegetative development of olive crops in Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. xx, n. xx, p.xx-xx, 2018b (no prelo).

MORAIS, S. M. de; DANTAS, Joana D'arc Pereira; SILVA, Ana Raquel Araújo da. Plantas medicinais usadas pelos índios Tapebas do Ceará. **Revista Brasileira de Farmacognosia: Brazilian Journal of Pharmacognosy**, Curitiba, v. 15, n. 2, p.169-177, 2005.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, B. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VURREN, D. P. V.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEKL, G. A.; MITCHELL, J. F. B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILBANKS, T.J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v.463, p.747-756, 2010.

NORBÝ, R. J.; LUO, Y. Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO2 and global warming in a multi-factor world. **New Phytologist**, [s.l.], v. 162, n. 2, p.281-293, 2004.

PEREIRA, F. M.; KAVATI, R. Contribuição da Pesquisa Científica Brasileira no Desenvolvimento de Algumas Frutíferas de Clima Subtropical. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 1, n. 1, p.92-108, 2011.

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

RAMOS, D. P.; SILVA, A. C. da.; LEONEL, S.; COSTA, S. M.; JUNIOR, E. R. D. Produção e qualidade de frutos da goiabeira ‘Paluma’, submetida à diferentes épocas de poda em clima subtropical. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 5, p.659-664, 2010.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos Climáticos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.17, n. 11, p.206-226, 2015.

REBOITA, M. S.; CORRÊA, M. de P.; RODRIGUES, M.; SILVA, J. P. R. da. Um balanço do curso de ciências atmosféricas no sul de Minas Gerais: ensino, pesquisa, extensão e benefícios à sociedade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 7, p.2312-2324, 2016.

REBOITA, M. S.; MARRAFON, V. H. de A.; LLOPART, M. Cenários de mudanças climáticas projetados para o estado de minas gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 144, n. 1, p.110-128, nov. 2018.

RIAHI, K., S. RAO, V. KREY, C. CHO, V. CHIRKOV, G. FISCHER, G. KINDERMANN, N. NAKICENOVIC, P. RAFAI, 2011: RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. **Climatic Change**, [s.l.], 109, 33–57, 2011.

SANTOS, D.F. dos; MARTINS, F.B.; TORRES, R. R. Impacts of climate projections on water balance and implications on olive crop in Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 2, p.77-82, 2017.

SIQUEIRA, M. F. de; PETERSON, A. T. Consequences of global climate change for geographic distributions of cerrado tree species. **Biota Neotropica**, [s.l.], v. 2, n. 3, p.1-14, jul. 2003.

SHAYKEWICH C. F. An appraisal of cereal crop phenology modelling. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 75, n. 1, p.329–341, 1995.

STRECK, N.A. A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.105-111, 2002.

STRECK, N. A. A temperature response function for development of the chrysanthemum (*Chrysanthemumx Morifolium* Ramat.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.1, p.49-54, 2004.

STRECK, N. A.; LAGO, I.; ALBERTO, C. M.; BISOHNIN, D. A. Simulação do desenvolvimento de batata cultivar Asterix em cinco cenários de mudança climática em Santa Maria, RS. **Bragantia**, Campinas v.65, p.93-702, 2006.

STRECK, N. A.; LAGO, I.; OLIVEIRA, F. B.; HELDWEIN, A. B.; DE AVILA, L. A.; BOSCO, L. C. Modeling the Development of Cultivated Rice and Weedy Red Rice. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Michigan, v. 54, n.1, p.371-384, 2011.

STRECK, N.A.; GABRIEL, L.F.; SAMBORANHA, F.K.;LAGO, I.; SCHWANTES, A.P.; SCHONS, A. Comparing two versions of a non-linear model for simulating leaf number and developmental stages in maize based on air temperature. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p.642-648, 2009.

STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; GABRIEL, L. F. Leaf development of cultivated rice and weedy red rice under elevated temperature scenarios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, p.190-199, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porta Alegre: 2017. p. 888.

TIRONI, L. F.; STRECK, N. A.; SANTOS, A. T. L.; FREITAS, C. P. de O. de.; UHLMANN, L. O.; JUNIOR, W. C. de O.; FERRAZ, S. E. T. Estimating cassava yield in future IPCC climate scenarios for the Rio Grande do Sul State, Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 2, p.1-10, 2017.

TAO, F.; YOKOZAWA, M.; XU, Y.; HAYASHI, Y.; ZHANG, Z. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981–2000. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.138, p.82–92, 2006.

TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An overview of CMIP5 and the experiment design. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v.93, p.485-498, 2012.

THRASHER, B., MAURER, E. P., MCKELLAR, C., DUFFY, P. B. Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. **Hydrology And Earth System Sciences**, [s.l.], v. 16, n. 9, p.3309-3314, 17 set. 2012.

TORRES, R.R., MARENGO, J.A. Climate change hotspots over South America: from CMIP3 to CMIP5 multi-model datasets. **Theoretical and Applied Climatology**, [S.l.], v.117, n.3-4, p. 579-587, 2014.

TORRES, R. R. **ANÁLISE DE INCERTEZAS EM PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AMÉRICA DO SUL**. 2014. 271 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014. Cap. 1.

VALE, M. M.; ALVES, M. A. S.; LORINI, M. L. Mudanças climáticas: desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade brasileira. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 03, p.518-535, 2009.

WALTER, L.C.; ROSA, H.T.; STRECK, N.A. Mecanismos de aclimação das plantas à elevada concentração de CO₂. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 9, p. 1564-1571, 2015.

WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v.58, n.1, p.1-24, 1998.

WEISS, A.; HAYS, C. J.; WON, J. Assessing winter wheat response to climate change scenarios: a simulation study in the U.S. Great Plains. **Climatic Change**, v.58, p.119-147, 2003.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal Of Climatology**, Austin, v. 36, n. 6, p.2644-2659, 2016.

XUE, Q.; WEISS, A.; BAENZIGER, P.S. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. **Ecological Modelling**, [s.l], v.175, p.261-270, 2004.

ZANON, A.; CARPANEZZI, A. A.; FOWLER, J. A. P. Germinação em Laboratório e Armazenamento de Sementes de Tarumã-branco (*Citharexylum myrianthum* CHAM.): Boletim de Pesquisa Florestal. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 35, n. 1, p.75-82, 1997.