

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 01/12/2020.

TÚLIO BARROSO QUEIROZ

**AMPLITUDE DE TEMPERATURAS ÓTIMAS PARA O CRESCIMENTO DE
CLONES DE *Eucalyptus* NO BRASIL E URUGUAI**

Botucatu

2020

TÚLIO BARROSO QUEIROZ

**AMPLITUDE DE TEMPERATURAS ÓTIMAS PARA O CRESCIMENTO DE
CLONES DE *Eucalyptus* NO BRASIL E URUGUAI**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Ciência Florestal.

Orientador: Otávio Camargo Campoe

Coorientador: Iraê Amaral Guerrini

Botucatu

2020

Q3a

Queiroz, Túlio Barroso

Amplitude de temperaturas ótimas para o crescimento de clones de Eucalyptus no Brasil e Uruguai / Túlio Barroso Queiroz. -- Botucatu, 2020

83 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Otávio Camargo Campoe

Coorientador: Iraê Amaral Guerrini

1. Fisiologia vegetal. 2. Ecofisiologia. 3. Temperatura. 4. Eucalipto.
5. Modelo baseado em processos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Amplitude de temperaturas ótimas para o crescimento de clones de *Eucalyptus* no Brasil e Uruguai.

AUTOR: TÚLIO BARROSO QUEIROZ

ORIENTADOR: OTÁVIO CAMARGO CAMPOE

COORDENADOR: IRAÊ AMARAL GUERRINI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. OTÁVIO CAMARGO CAMPOE
Ciências Florestais / Universidade Federal de Lavras

Prof. Dr. CRISTIAN RODRIGO MONTES
Warnell School of Forestry and Natural Resources / University of Georgia

Prof. Dr. FÁBIO RICARDO MARIN
Engenharia de Biosistemas / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Pesquisador Dr. JOANNÈS GUILLEMOT
Ciências Florestais / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Prof. Dr. JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES
Ciências Florestais / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Botucatu, 01 de junho de 2020.

Aos meus amados pais e irmãs,

Geraldino, Edis, Thaís,

Maira e Marina,

dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha família pelo apoio incondicional.

Ao Prof. Dr. Otávio, pela oportunidade, orientação, ensinamentos, paciência e exemplo de professor.

Ao Prof. Dr. Iraê, pela co-orientação, motivação e amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos durante a pesquisa no Brasil (Código Financeiro 001) e pela bolsa de estudos concedida para estágio de doutoramento nos Estados Unidos (Processo nº PDSE-88881.189488/2018-01).

Ao Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF), que não mediu esforços para garantir a qualidade desta pesquisa.

Ao Programa Cooperativo TECHS/IPEF, em especial nas pessoas de Rafaela Lorenzato Carneiro (IPEF) e Clayton Alcarde Alvares (Suzano).

À University of Georgia (UGA), na pessoa do Prof. Dr. Cristian Montes, pela supervisão e ensinamentos durante meu estágio de doutorado no exterior.

À Plantation Management Research Cooperative (PMRC) nas pessoas de Bronson Bullock, Anil Koirala, John Young, Héctor Restrepo, Laura Quintero, Mark Porter, Maurício Zapata, Melissa Shockey, Michael Buchanon, Sameen Raut, Spencer Peay, Stephen Kinane and Thomas Harris.

Aos Profs. Dr. Dan Binkley (Northern Arizona University) e Dr. José Raimundo (UNESP), pelas considerações e sugestões.

À todas empresas associadas e pessoas colaboradoras neste estudo nas pessoas de Gabriela Moreira (International Paper), Ademir Silva (Vallourec), Marco Figura e James Stahl (Klabi), Helton Lourenço (Veracel), Claudio Silva (Montes del Plata) e Ricardo Buzzo (Forestal Oriental).

Aos meus colegas e amigos de Pós-graduação Josiana Basílio, Dany Caldeira, Rafael Lima, Gerardo Rojas e Marina Sbardella.

Aos meus colegas e amigos de Doutorado Sandwich Kércia Rocha, Letícia Oliveira e Fabrício Souza.

À todos que colaboraram para execução deste trabalho, muito obrigado!

“Provavelmente, a distinção mais importante é que uma educação de graduação ensina o que é conhecido e uma educação de pós-graduação ensina a identificar o desconhecido e torná-lo conhecido”.

RYAN, MICHAEL G. Prospecto de aconselhamento. Tradução de Túlio Queiroz, Fort Collins, Colorado, acessado 02 de Fevereiro de 2020. Disponível em < https://www2.nrel.colostate.edu/assets/nrel_files/labs/ryan-lab/docs/Ryan%20Advising%20Prospectus.pdf >.

RESUMO

A diversidade de climas na América do Sul, associada a grande adaptabilidade do gênero *Eucalyptus* tem estimulado a busca por materiais genéticos superiores e de alta produtividade. O melhoramento genético evoluiu no desenvolvimento de genótipos em sítios específicos, mas ainda apresenta carência de informações quanto à interação entre o comportamento dos genótipos em condições climáticas e edáficas contrastantes. O projeto TECHS (Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídrico Térmico e Biótico) do IPEF (Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais) conta com materiais genéticos clonais distribuídos em uma amplitude de temperatura média anual de 16 °C a 30 °C e disponibilidade hídrica anual de 800 mm a 1800 mm. Este trabalho objetivou avaliar o efeito da variabilidade inter e intra-anual do clima sobre a produtividade de clones comerciais de eucalipto em oito sítios localizados em: Bocaiúva (MG/Brasil), Conchillas (Uruguai), Eunápolis (BA/Brasil), Mogi Guaçu (SP/Brasil), Otacílio Costa (SC/Brasil), Paysandu (Uruguai), Telêmaco Borba (PR/Brasil) e Urbano Santos (MA/Brasil). O diâmetro na altura do peito (DAP) de genótipos de eucalipto foram monitorados em alta resolução temporal (quinzenal e/ou mensal) durante 6 anos (2012 – 2018). Além disso, estações meteorológicas coletaram informações climáticas a cada 1 h em cada sítio experimental. Nós desenvolvemos um novo método de calibração que descreve a faixa de temperatura mensal para o crescimento das árvores através da otimização dos parâmetros. Em seguida, indicamos a faixa de temperatura necessária para o crescimento dos 7 genótipos mais plantados na América do Sul. A equação polinomial de 2º grau foi recomendada para explicar os limites de temperatura para o crescimento das árvores. Por fim, os resultados deste estudo poderão ser utilizados nos programas de melhoramento genético, aprimoramento de modelos de prognose de crescimento e no zoneamento dos genótipos de eucalipto.

Palavras-chave: Crescimento de árvores. Ecofisiologia. Faixa de temperatura. Modelagem. Mudanças climáticas.

ABSTRACT

The diversity of climates in South America which is associated with the great adaptability of the genus *Eucalyptus*, has stimulated the search for superior and high productivity genetic materials. Genetic improvement has evolved in the development of genotypes at specific sites, but it still shows information insufficient the interaction between genotype behavior in contrasting climatic and edaphic conditions. The TECHS project (Cooperative Program on Clonal *Eucalyptus* Tolerance to the Hydrous and Thermal Stresses) from IPEF (Forestry Science and Research Institute) has clonal genetic materials distributed over an average annual temperature range from 16 °C to 30 °C and annual water availability from 800 mm to 1800 mm. This study aimed to evaluate the effect of inter and intra-annual climate variability on the productivity of *Eucalyptus* commercial clones in eight sites located in: Bocaiúva (MG / Brazil), Conchillas (Uruguay), Eunápolis (BA / Brazil), Mogi Guaçu (SP / Brazil), Otacílio Costa (SC / Brazil), Paysandu (Uruguay), Telemaco Borba (PR / Brazil) and Urbano Santos (MA / Brazil). Diameter at breast height (DBH) of *Eucalyptus* genotypes were monitored with high temporal resolution (biweekly and/or monthly) for 6 years (2012 - 2018). In addition, meteorological stations collected weather information every 1 h at each experimental site. We developed a new calibration method that describes the monthly temperature range for tree growth by parameter optimization. After that, we indicate the temperature range required for the growth of the 7 most planted genotypes in South America. The 2nd degree polynomial equation was recommended to explain temperature threshold for tree growth. Finally, the results of this study may be used in breeding programs, enhancement of growth prognosis models and zoning of *Eucalyptus* genotypes.

Keywords: Tree growth. Ecophysiology. Temperature range. Modeling. Climate changes.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	17
CAPÍTULO 1 – A NEW METHOD TO CALIBRATE CARDINAL TEMPERATURES FOR TREE SPECIES.....	21
ABSTRACT.....	21
1.1 INTRODUCTION.....	23
1.2 MATERIAL AND METHODS.....	25
1.2.1 Experimental data and climatic classification of sites.....	25
1.2.2 The models.....	29
1.2.3 Analytical approach.....	31
1.3 RESULTS AND DISCUSSION.....	32
1.3.1 Tree growth and air temperature.....	32
1.3.2 The growth rate modifier and the models simulated.....	34
1.3.3 Cardinal temperature and process-based models.....	39
1.4 CONCLUSION.....	45
ACKNOWLEDGMENTS.....	45
REFERENCES.....	46
CAPÍTULO 2 – TEMPERATURE THRESHOLDS FOR EUCALYPTUS GENOTYPES GROWTH ACROSS TROPICAL AND SUBTROPICAL RANGES IN SOUTH AMERICA.....	51
ABSTRACT.....	51
2.1 INTRODUCTION.....	53
2.2 MATERIAL AND METHODS.....	55
2.2.1 Study area.....	55
2.2.2 Weather station network and climate condition records for Eucalyptus genotypes.....	57
2.2.3 Tree growth evaluation.....	60
2.2.4 Threshold temperature for tree growth.....	62
2.3 RESULTS AND DISCUSSION.....	62
2.4 CONCLUSION.....	72
ACKNOWLEDGMENTS.....	72

REFERENCES.....	74
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
REFERÊNCIAS.....	81

INTRODUÇÃO GERAL

Entender as interações entre a vegetação e os sistemas climáticos é indispensável para prever os impactos das mudanças climáticas em ecossistemas terrestres e avaliar a adaptação e vulnerabilidade de espécies vegetais (Hayashi et al., 2017). Neste contexto, o padrão de precipitação irá mudar (Wu et al., 2017), bem como as tendências na temperatura global (Mao et al., 2017), que são os principais limitantes em processos ecológicos fundamentais para os ecossistemas terrestres (Guo et al., 2015; Wang et al., 2017).

A radiação solar e a temperatura estão diretamente relacionadas com a evapotranspiração, que consiste em toda água perdida para a atmosfera (Sawano et al., 2015). Neste processo, devido à capacidade de absorção de água em perfis mais profundos do solo, ecossistemas florestais podem atenuar o impacto de eventos de calor extremo e/ou duradouros (Teuling et al., 2010). A análise dessas variáveis em escala temporal e espacial, além de possibilitar uma avaliação das determinantes climáticas, permite a simulação para diferentes regiões (Cristiano et al., 2015).

Alterações climáticas continuarão a afetar os diferentes biomas florestais, entretanto com padrão desigual (Ding et al., 2016). Na região do planalto da Ásia resultados baseados em projeções (2011-2040), apontam que a temperatura anual aumentará de 1,3°C para 2,3°C e a precipitação total anual 2,4% para 2,9% (Gao et al., 2016). Na África, modelos preveem aumentos de até 5°C na região sul e leste (Christensen et al., 2007), em Sahel a média anual de precipitação tem sido estável, embora em um período de 30 anos apresentou-se mais seco cerca de 25% quando comparado as décadas anteriores ao século passado (Hulme et al., 2001). Por outro lado, modelos sugerem que em 2100, extremidades superiores da Europa passarão de 8,1 °C para 6,7°C (Christensen et al., 2007). Para a região sul da América do Sul,

o aumento da temperatura depende do tempo e da região examinada, que é particularmente elevada em latitudes tropicais, além disso, observa-se um aumento da precipitação no centro da Argentina, Uruguai e sul do Brasil no verão e outono (Cabré et al., 2016).

A capacidade de adapta  o a diferentes condi  es ecológicas (clima, solo e eleva  o), as altas taxas de crescimento e múltiplos usos (madeira, papel, celulose dentre outros), fizeram com que o g  nero *Eucalyptus* adquirisse destaque no Brasil (Flores et al., 2016). A sele  o de genótipos potenciais atuando simultaneamente com técnicas silviculturais, são fatores que contrib  iram para o aumento da produtividade média, de 25 m³ ha⁻¹ano⁻¹ para 36 m³ ha⁻¹ano⁻¹ que representa a maior produtividade média do mundo (Alfenas et al., 2009; Gonçalves et al., 2013; IBÁ 2019).

A silvicultura do eucalipto era desenvolvida principalmente nas regiões Sul e Sudeste (Antonangelo and Bacha 1998), com maior concentra  o nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (ABRAF, 2013). Mais recentemente, foi possível a expansão para estados como Mato Grosso do Sul, Maranhão, Pará, Piauí e Tocantins, que se diferenciam das demais regiões devido principalmente às condi  es de quantidade e distribui  o das chuvas, e altas temperaturas (Gonçalves et al., 2013).

Além do Brasil, outros países da América latina, como o Chile e Uruguai também são casos de sucesso no desenvolvimento da silvicultura do eucalipto. De acordo com Lima-Toivanen (2013), o grau de desenvolvimento da indústria e da silvicultura pode ser classificado como baixo, médio e alto para o Uruguai, Chile e Brasil respectivamente. Esses três países, quando comparados aos demais, como a Argentina, Col  mbia e Venezuela apesar de apresentar recursos naturais

semelhantes foram os que se destacaram, devido principalmente as políticas governamentais de incentivo (Katz et al., 1999). De acordo com Foelkel (2008), as regiões centrais do Uruguai, ou perto da fronteira com a Argentina, demandam por clones especiais ou espécies adaptadas, tendo em vista que o clima é mais frio e as geadas são mais frequentes. Essa condição, em meio à diversidade climática da América do Sul, apresenta um grande desafio para silvicultura na identificação de clones capazes de suportar tais condições.

A produtividade primária líquida de uma floresta consiste na diferença entre a fotossíntese bruta total e a respiração, podendo ser definida como a biomassa total produzida ao longo do tempo (Clark et al., 2001). Os modelos de regressão estatística representam uma alternativa aos modelos dinâmicos baseados em processos para prever a produtividade das culturas em função das condições climáticas (Sharif et al., 2017). Entretanto, a dificuldade em identificar as variáveis de entrada mais relevantes para inclusão nos modelos de regressão, tem elevado número de variáveis candidatas e estas estão correlacionadas (Kim et al., 2015).

Fenômenos biológicos complexos que podem ser explicados por equações matemáticas simples são recomendados (Kato and Bellini 2009). A super-parametrização devido a redundância em informações e/ou cancelamento do polo/zero induz o uso de modelos inadequados para previsão da variável resposta (Poinot et al., 1997). Vale ressaltar que os diferentes números de repetições e/ou caselas vazias caracterizam um delineamento desbalanceado e portanto exige cautela no processo de verificação das hipóteses a serem testadas (Manso e Morais 2006).

O presente estudo justifica-se pela necessidade de pesquisas capazes de desenvolver modelos matemáticos que determinem o crescimento de genótipos potenciais de eucalipto em função da temperatura em regiões tropicais e subtropicais, fornecendo informações capazes de prever a redução ou incremento na produtividade. A estrutura dessa tese está organizada em dois capítulos. O capítulo 1 consiste na identificação, comparação e validação de uma função de estimação da temperatura cardinal de árvores com a utilização de recursos estatísticos de regressão através da técnica de otimização. O capítulo 2 propôs os limites de temperatura para 7 contrastantes genótipos de eucaliptos cultivados em gradiente climático com temperaturas médias mensais entre 6 °C e 29 °C e precipitação mensal entre 4.80 mm to 2010 mm.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A resolução temporal, abrangência climática e genótipos envolvidos neste estudo foram capazes de determinar a produtividade potencial e as faixas de temperatura específicas que deverão ser consideradas para o planejamento e manejo florestal. Ao longo de uma sequência de idades de alta frequência, considerando desde plantas jovens até adultas, este estudo possibilitou adequada parametrização de um modelo para descrever a exigência térmica para manter o incremento da biomassa.

Neste estudo sugerimos o uso do polinômio de segundo grau como mais adequado para indicar os limites de temperatura necessário para manter o crescimento de árvores, sendo altamente recomendado para implementação em modelos baseados em processos como o 3-PG. Além disso, os requisitos térmicos poderão ser usados para auxiliar os programas de melhoramento genético, aprimorar os modelos de prognose de crescimento e o zoneamento de diferentes genótipos de eucalipto em condições climáticas contrastantes.

Por fim, a grande variabilidade ao longo do ano deve ser considerada para estimativas mais precisas da produtividade. Apesar dos requisitos térmicos anuais para o crescimento de árvores serem frequentemente usados em modelos baseados em processos nós recomendamos e indicamos faixas de temperatura em escala mensal.

REFERÊNCIAS

- ABRAF. 2013. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico Da ABRAF: Ano Base 2012**. Brasília, 2013. 142 p.
- Alfenas, A. C., *et al.* **Clonagem e Doenças do Eucalipto**. 2 nd. Viçosa, MG : UFV, 2009. 500 p.
- Antonangelo, A.; Bacha, C. J. C. **As Fases Da Silvicultura No Brasil**, v. 52, n.1, p. 207–238, 1998. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbe/article/view/721/8086>> Acesso em: 09 Jul. 2020.
- Cabré, M. F.; Solman, S.; Núñez, M. Regional Climate Change Scenarios over Southern South America for Future Climate (2080-2099) Using the MM5 Model. Mean, Interannual Variability and Uncertainties. **Atmosfera**, v. 29, n. 1, p. 35–60, 2016. DOI: <https://doi.org/10.20937/ATM.2016.29.01.04>
- Christensen, J. H., *et al.* **Regional Climate Projections**. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL, editors. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University, 2007.
- Clark, D. A., *et al.* Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. **Ecological Applications**, v. 11, n. 2, p. 356–70, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0356:MNPPIF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0356:MNPPIF]2.0.CO;2)
- Cristiano, P. M., *et al.* Evapotranspiration of Subtropical Forests and Tree Plantations: A Comparative Analysis at Different Temporal and Spatial Scales. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 203, n. April, p. 96–106, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.01.007>
- Ding, H., *et al.* Valuing Climate Change Impacts on European Forest Ecosystems. **Ecosystem Services**, v. 18, n. April, p. 141–53, 2016 <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.02.039>
- Flores, T. B., *et al.* **Eucalyptus No Brasil: Zonemaneto Climático e Guia Para Identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016. 447 p.
- Foelkel, C. The World of Eucalyptus: Uruguay. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**, 2008. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/newseng_oct08.html#tres> acesso em: 09 de Julho de 2020.
- Gao, Q., *et al.* 2016. Climate Change and Its Impacts on Vegetation Distribution and Net Primary Productivity of the Alpine Ecosystem in the Qinghai-Tibetan Plateau. **Science of The Total Environment**, v. 554–555, n. June, p. 34–41, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.131>

Gonçalves, J. L. M., *et al.* Integrating Genetic and Silvicultural Strategies to Minimize Abiotic and Biotic Constraints in Brazilian Eucalypt Plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 301, n. August, p. 6–27, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.12.030>

Guo, Q., *et al.* Contrasting Responses of Gross Primary Productivity to Precipitation Events in a Water-Limited and a Temperature-Limited Grassland Ecosystem. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214–215, n. December, p. 169–177, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.251>

Hayashi, R., *et al.* Vegetation and Endemic Tree Response to Orbital-Scale Climate Changes in the Japanese Archipelago during the Last Glacial–Interglacial Cycle Based on Pollen Records from Lake Biwa, Western Japan. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 241, n. June, p. 85–97, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2017.02.008>

Hulme, M., *et al.* African Climate Change: 1900–2100. **Climate Research**, v. 17, p. 145–68, 2001. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr017145>

IBÁ. 2019. **Indústria Brasileira de Árvores: RELATÓRIO 2019 - REPORT 2019**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 10 Jul. 2020.

Kato, L. A.; Bellini, M. Atribuição de Significados Biológicos Às Variáveis Da Equação Logística: Uma Aplicação Do Cálculo Nas Ciências Biológicas. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 15, n. 1, p. 175–88, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-73132009000100011>

Katz, J.; Stumpo, G.; Varela, F.. **El complejo forestal chileno**. Versión Final. División de Desarrollo Productivo y Empresarial. CEPAL. Santiago Kerosky S (2007) Chile's senate passes native forest Law. The Santiago Times (Santiago, 19 August 2007), 1999.

Kim, S., *et al.* 2015. Input Variable Scaling for Statistical Modeling. **Computers & Chemical Engineering**, v. 74, n. March, p. 59–65, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2014.12.016>

Lima-Toivanen, M. B. A Evolução Da Indústria Sul-Americana de Celulose e Papel: Foco No Brasil, Chile e Uruguai. **Revista O Papel**, v. 74, n. 9, p. 51–66, 2013. Disponível em: http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1380634191_6d5aac0f077350b8c8a7820ccbd798db_189840160.pdf. Acesso em: 09 Jul. 2020.

Manso, E. M.; Morais, A. R. Emprego Do Modelo Superparametrizado Em Experimento Fatorial Desbalanceado Com Dois Fatores. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 2, p. 234–242, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000200007>

Mao, K. B., *et al.* Global Surface Temperature Change Analysis Based on MODIS Data in Recent Twelve Years. **Advances in Space Research**, v. 59, n. 2, p. 503–512, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.11.007>

Poinot, T.; Trigeassou, J.-c.; Coirault, P. Overparametrization: A Tool for System Identification. **IFAC Proceedings Volumes**, v.30, n. 11, p. 1175–1180, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)43000-X](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)43000-X)

Sawano, S., *et al.* Development of a Simple Forest Evapotranspiration Model Using a Process-Oriented Model as a Reference to Parameterize Data from a Wide Range of Environmental Conditions. **Ecological Modelling**, v. 309–310, n. August, p. 93–109, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.04.011>

Sharif, B., *et al.* Comparison of Regression Techniques to Predict Response of Oilseed Rape Yield to Variation in Climatic Conditions in Denmark. **European Journal of Agronomy**, v.82, n. January, p. 11–20, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.015>

Teuling, A. J., *et al.* Contrasting Response of European Forest and Grassland Energy Exchange to Heatwaves. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 10, p. 722–727, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo950>

Wang, S., *et al.* Responses of Net Primary Productivity to Phenological Dynamics in the Tibetan Plateau, China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 232, n. January, p. 235–46, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.08.020>

Wu, J., *et al.* Detecting the Quantitative Hydrological Response to Changes in Climate and Human Activities. **Science of The Total Environment**, v. 586, n. May, p. 328–337, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.010>