

## OPEN ACCESS

Editado por:  
Victor Hugo Gomes Sales, Instituto  
Federal do Amapá

Seção:  
Bioenergia/Agroenergia - Revisão, uma  
seção do Journal of Bioenergy and Food  
Science

ID JBFS2592018

DOI 10.18067/jbfs.v6i1.259

\*Autor para correspondência:

Erich Collicchio  
collicchio.e@gmail.com

Conflito de interesse  
Os autores declararam que não há  
conflito de interesse.

Financiamento:  
Os autores reportaram que não houve  
financiamento.

Convite: 09 de novembro de 2018

Recebido em: 12 de dezembro de 2018

Aceito em: 21 de dezembro de 2018

Publicado em: 31 de janeiro de 2019

# Analysis of the possible effects of climate change on the cultivation of sugarcane and *Eucalyptus* in the Tocantins state

## Análise dos possíveis efeitos das mudanças do clima no cultivo da cana-de-açúcar e do eucalipto no estado do Tocantins

<sup>1,\*</sup>  Erich COLLICCHIO, <sup>2</sup>  Rodrigo Barbosa Sellos LOPES e <sup>3</sup>  Murilo de Pádua MARCOLINI

<sup>1</sup>Dr. em Ecologia Aplicada (USP), Prof. Adjunto IV da UFT, Campus Palmas. Quadra 109 Norte, Avenida NS15, ALCNO-14 - Plano Diretor Norte. CEP 77001-090. Palmas - TO, Brasil.

<sup>2</sup>Engenheiro Ambiental, Mestrando em Agroenergia (UFT), Palmas - TO.

<sup>3</sup>Engenheiro Ambiental, Mestre em Agroenergia (UFT), Palmas - TO.

## RESUMO

Nos últimos anos tem ocorrido o aumento do plantio de culturas para fins agroenergéticos no estado do Tocantins, como a cana-de-açúcar e o eucalipto. Por requererem elevados investimentos, torna-se relevante para a tomada de decisão, a identificação de regiões com aptidão agroclimática favoráveis ao bom desempenho dessas culturas no Estado, bem como considerar os possíveis impactos das mudanças do clima. Sendo assim, o presente estudo visou analisar os possíveis reflexos das mudanças climáticas no cultivo de culturas agroenergéticas (cana-de-açúcar e eucalipto) no estado do Tocantins. Neste estudo analisou-se os resultados de dois trabalhos científicos desenvolvidos no Estado, que elaboraram os zoneamentos agroclimáticos para a cana-de-açúcar e o *Eucalyptus urograndis*, os quais projetaram os efeitos dos cenários futuros de mudanças do clima, sobre os respectivos zoneamentos, utilizando o modelo GFDL, para dois períodos distintos. Constatou-se que independente das alterações climáticas futuras, o cultivo de cana-de-açúcar necessitará de irrigação. Considerando as duas culturas analisadas, as classes de aptidão mais favoráveis reduzirão significativamente conforme os cenários futuros de emissões. Logo haverá a necessidade de readequação do manejo atualmente empregado na cana-de-açúcar, podendo esta atividade ser inviabilizada economicamente. Porém para o cultivo do *Eucalyptus urograndis* nessa condição, poderá não ser viável no estado do Tocantins.

**Palavras-chave:** Mudanças ambientais. SIG. culturas energéticas.

## ABSTRACT

In recent years there has been an increase in the cultivation of crops for agroenergy purposes in the state of Tocantins, such as sugarcane and *Eucalyptus*. Because they require high investment, it is relevant for decision-making, the identification of regions with agro-climatic aptitude that are favorable to the good performance of these crops in the State, and to consider the possible impacts of climate change. Thus, the present study aimed to analyze the possible effects of climate change on the cultivation of agroenergy crops (sugarcane and *Eucalyptus*) in the Tocantins state. This study analyzed the results of two scientific studies carried out in the State, which elaborated the agroclimatic zoning for sugarcane and *Eucalyptus urograndis*, which projected the effects of future climate change scenarios on the respective zoning, using the GFDL model, for two different periods. It has been found that, irrespective of future climate change, sugarcane cultivation will require irrigation. Considering the two crops analyzed, the most favorable aptitude classes will reduce significantly according to future emissions scenarios. Soon there will be a need to readjust the management currently employed in sugarcane, and this activity may be economically unviable. However, for the cultivation of *Eucalyptus urograndis* in this condition, it may not be viable in the Tocantins state.

**Keywords:** Environmental changes. GIS. Energy crops.

## Citação:

Collicchio, E., Lopes, R. B. S., & Marcolini, M. de P. (2019). Análise dos possíveis efeitos das mudanças do clima no cultivo da cana-de-açúcar e do eucalipto no estado do Tocantins. *Journal of Bioenergy and Food Science*, 6(1), 1-17. doi: 10.18067/jbfs.v6i1.259



JBFS all rights  
Copyright: © 2019

## INTRODUÇÃO

A produção agrícola e de florestas plantadas para fins energéticos tem-se destacado no Brasil e no mundo, devido a um conjunto de fatores econômicos e ambientais (Jandrey et al., 2010). Dentre as culturas agroenergéticas produzidas no país, destacam-se a cana-de-açúcar e o eucalipto, as quais ocupam extensas áreas agricultáveis para produção e são cadeias produtivas muito importantes para a economia brasileira, sabendo-se que o complexo sucroalcooleiro e de produtos florestais foram o terceiro e quarto itens mais exportados pelo agronegócio brasileiro em 2016 (Conab, 2017).

Com relação aos fatores ambientais, as mudanças do clima, provocadas especialmente pela mudança do uso da terra, desmatamento e a utilização de combustíveis fósseis (IPCC, 2013), torna-se preponderante para os sistemas de cultivos agrícolas e de florestas plantadas, com relação aos seus possíveis efeitos na produção. Associado a esta situação, ressalta-se a variabilidade do preço do petróleo mundial, que repercute na sua cotação, tornando-a muito sensível a um grande número de condicionantes que a levam à subida ou à queda dos preços em períodos de tempo muito curtos. Além disso, estimativas demonstram um declínio das reservas mundiais de petróleo, até a metade deste século, apesar da descoberta de novas reservas, bem como os problemas de instabilidade política nas regiões produtoras (Brasil, 2006). Nesse contexto, depreende-se a necessidade do aumento da participação de energias alternativas e limpas na matriz energética do planeta, sendo assim a sustentabilidade e o aquecimento global são temas sistêmicos que exigem um tratamento estratégico mundial.

Percebe-se nos últimos anos, uma dinâmica da expansão dessas duas culturas agroenergéticas no país e no bioma Cerrado.

No estado do Tocantins, houve um incremento mais significativo do plantio de cana-de-açúcar e da produção de etanol a partir de 2011 e do plantio de espécies distintas de eucalipto mais recentemente.

Como são consideradas culturas semi-perenes e exigem elevado investimento para suas implantações e condução, torna-se necessário o conhecimento de regiões potencialmente mais adequadas ao cultivo. Nesse sentido, o zoneamento agroclimático é fundamental para organização dos programas de trabalho e suporte do planejamento da agricultura (Almeida, Calijuri & Pinto, 2013), além disso torna-se importante saber como essas culturas responderão a possíveis impactos de distintos cenários de emissões de gases de efeito estufa – GEE.

Diante deste contexto, o presente estudo visou analisar o zoneamento edafoclimático para as culturas da cana-de-açúcar e do eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) utilizando a climatologia atual, bem como a simulação dos possíveis impactos das mudanças do clima sobre o zoneamento agroclimático dessas culturas no estado Tocantins, considerando os dados gerados pelo modelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - GFDL, para dois períodos distintos.

## A PRODUÇÃO DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL E NO ESTADO DO TOCANTINS

Motivado pelo incremento da participação de energias alternativas e limpas na matriz energética mundial e brasileira, nos últimos anos viveu-se uma nova e promissora fase da cultura da cana-de-açúcar, onde observou-se a expansão da sua área de produção no País, por causa de sua importância econômica e ambiental.



No período de 2003 a 2009, a área colhida brasileira apresentou um incremento de 2,04 milhões de hectares, ou seja, um acréscimo de 38% da área produtiva total da cana-de-açúcar. Nesse mesmo período, a produção da cultura aumentou de 389,85 para 604,5313 milhões de t, o equivalente a 55% (Conab, 2017). Quando comparado o ano de 2017 em relação a 2009, percebe-se que houve um aumento de apenas 7,8 % na área colhida e 4,7% na produção total, a qual desde 2010 encontra-se estagnada e em oscilação (Conab, 2018).

Na safra 2017/18, de acordo com a Conab (2018), a área colhida de cana-de-açúcar no Brasil destinada à atividade sucroalcooleira foi de 8,73 milhões hectares, com uma produção de 633,3 milhões de toneladas e produtividade média de 72.543 kg/ha (Tabela 1).

Tabela 1. Situação da safra 2017/2018 da cana-de-açúcar no Brasil e no estado do Tocantins

Table 1. Situation of the 2017/2018 sugarcane harvest in Brazil and the state of Tocantins

Parâmetros	Brasil	Tocantins	Representatividade do Estado (%)
Área colhida (mil ha)	8.729,5	30,6	0,35
Produção (mil t)	633.261,9	2.187,6	0,34
Produtividade (kg/ha)	72.543	71.467	98,51
Etanol total (mil l)	27.159.139	176.313	0,65

Fonte: Conab (2018)

Source: Conab (2018)

Destaca-se que a região centro-sul do País é responsável por cerca de 93% da produção nacional, sendo São Paulo, maior produtor, com 55% da produção e 52% da área colhida. Já o estado do Tocantins representa apenas 0,34% da produção nacional e 0,65% da produção de etanol total, conforme apresentado na Tabela 1 (Conab, 2018).

A produção da indústria sucroalcooleira, referente à safra 2017/18 no Brasil, foi de 37,87 milhões t de açúcar e 27,76 bilhões de litros de etanol, sendo 11,09 bilhões l de etanol anidro (39,95%) e 16,67 bilhões de litros de etanol hidratado (60,05%) (Conab, 2018).

No Tocantins (safra 2017/18) produziu-se apenas etanol, sendo o volume global de 176.313.000 litros, sendo que desse total, 115.747.000 l foi etanol anidro (Conab, 2018).

O setor sucroalcooleiro sofreu oscilação, apresentando um forte crescimento no período de 2003–2009, estimulado por políticas públicas do governo federal, seguido de crise e estagnação nos anos de 2010–2014 (MME, 2016). Porém, em 2016 foi lançado pelo governo federal, por iniciativa do Ministério de Minas e Energia, o programa RenovaBio 2030, “que busca garantir a expansão da produção de biocombustíveis no país, baseada na previsibilidade, na sustentabilidade ambiental, econômica e financeira, em harmonia com o compromisso brasileiro na COP21” (MME, 2016). Com isso, espera-se um aumento da demanda do etanol brasileiro onde prevê-se um novo incremento da produção da cultura da cana-de-açúcar, para atender o dobro da oferta de etanol até 2030 (MME, 2016).



## NECESSIDADES AGROCLIMÁTICAS DA CULTURA

A temperatura do ar é um dos elementos meteorológicos que mais interferem no desenvolvimento das culturas. Esse fator, pode provocar efeito sobre o metabolismo das plantas, atuando diretamente na duração do ciclo de desenvolvimento até a colheita, e por estar diretamente relacionada aos processos de evapotranspiração a sua medição é importante na determinação da temperatura basal (Lucas et al., 2012; Oliveira et al., 2012).

Barbieri & Villa Nova (1977) determinaram, em condições de campo, que a temperatura base é de aproximadamente 20°C e a medida em que essa temperatura média ultrapassa a 20°C, ocorre simultaneamente o aumento significativo do comprimento, diâmetro e número de internódios dos colmos. A luminosidade é o fator mais importante para o perfilhamento da planta, seguido do efeito da temperatura. O perfilhamento aumenta à medida que a temperatura se eleva, até um máximo aproximado de 30°C, sendo que temperaturas abaixo de 20°C provocam um retardamento no perfilhamento (Van Dillewijn, 1957; Jadoski et al., 2010). Na fase de maturação da cultura, temperaturas relativamente baixas (entre 10°C e 20°C), clima seco e ensolarado, são desejáveis, porque há influência significativa na redução da taxa de crescimento vegetativo e na elevação do teor da sacarose na cana (Barbieri & Villa Nova, 1977; Doorenbos & Kassam, 1994). A temperatura máxima que provoca crescimento lento da cultura é acima de 35°C, sendo praticamente nulo quando superior à 38°C (Barbieri & Villa Nova, 1977).

A cana-de-açúcar para obter produtividade máxima, necessita dependendo do clima, que a evapotranspiração máxima da cultura – ET<sub>m</sub>, seja de 1.500 a 2.500 mm distribuídos de forma uniforme durante todo o ciclo de desenvolvimento, uma vez que o crescimento vegetativo é diretamente proporcional à água transpirada (Doorenbos & Kassam, 1994). De acordo com os mesmos autores, existe uma relação entre a redução da produtividade relativa e o déficit de evapotranspiração relativa, para o período total de crescimento, assim como para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura.

Os efeitos do déficit hídrico dependem de sua intensidade, duração e época de ocorrência, bem como da interação com outros fatores determinantes da expressão da produtividade final (Fontana et. al., 2001). O déficit hídrico durante as primeiras fases de crescimento (estabelecimento e perfilhamento) tem efeito negativo maior na produtividade do que quando comparado com o déficit hídrico nos últimos períodos de desenvolvimento (formação da colheita e maturação). Existe relação estreita entre o alongamento da cana durante estes períodos e o uso de água pela planta, sendo assim importante o suprimento adequado neste período de crescimento vigoroso, o que leva a formação de internódios mais longos (Doorenbos & Kassan, 1994).

## EXPANSÃO DO CULTIVO DO EUCALIPTO NO BRASIL E NO TOCANTINS

A expansão territorial e comercial do cultivo do eucalipto no Brasil, sempre esteve relacionado ao rápido crescimento e a elevada capacidade de adaptação às diversas regiões ecológicas (Pinto Júnior, Santarosa & Goulart, 2014). Devido a grande variabilidade de espécies e clones, o eucalipto serve de matéria-prima para diversas finalidades, podendo-se produzir celulose, papel, madeira, carvão, óleos essenciais, produtos apícolas, dentre outras substâncias (Santarosa et al., 2014).



De acordo com o relatório do Ibá (2017), no ano de 2016 o setor de florestas plantadas no Brasil foi responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais, o qual representou cerca de 6,2% do PIB Industrial no País. Nesse mesmo ano, a área de floresta plantada no Brasil atingiu 7,8 milhões de hectares, correspondendo a um acréscimo de 0,5% em relação ao ano anterior. Esse incremento foi devido exclusivamente ao aumento da área plantada com eucalipto (5,7 milhões ha), cuja participação total foi de 72,32%.

Os três maiores produtores de eucalipto do Brasil, são os estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul, sendo que este último apresentou uma taxa média de crescimento da área de cultivo de 13% ao ano, superior à taxa de crescimento nacional observada nos últimos cinco anos que, foi de 2,4% ao ano (Ibá, 2017).

Já no estado do Tocantins, das espécies florestais plantadas no Tocantins, o eucalipto corresponde em média a cerca de 91%, seguido da teca, seringueira e do pinus. O cultivo do eucalipto observado no período de 2010 a 2016, teve um aumento significativo de 145,7%, passando de uma área plantada de 47.542 ha para 116.798 ha. Contudo, observou-se uma estagnação na área de plantio nos últimos dois anos do período. Em 2010 a área de plantio correspondia a apenas 0,97% da área total do País, sendo que no ano de 2016, passou para 2,06% (Ibá, 2017).

Apesar desse aumento da área plantada de eucalipto no Tocantins, nota-se que a participação do Estado em relação ao Brasil é muito pequena, embora forneça matéria-prima para siderúrgicas e indústria de papel e celulose, localizadas nos estados do Pará e Maranhão, demonstrando possibilidade de crescimento da cultura na região.

### NECESSIDADES AGROCLIMÁTICAS PARA O CULTIVO DO EUCALIPTO

Existe ampla variabilidade e controle genético entre os clones de eucalipto quanto às características de crescimento e fisiológicas (Vellini et al., 2008) e associada aos fatores do ambiente pode provocar estresse na planta, como a radiação solar, disponibilidade hídrica e temperatura, sendo a água o fator de maior limitação à produção de sistemas agrícolas e florestais (Doorenbos & Kassan, 1994).

O cultivo do eucalipto ocorre em quase todo o território nacional, contudo o estresse hídrico tem provocado limitações no desenvolvimento da cultura em grande parte das áreas de plantio (Vellini et al., 2008).

Cada espécie de eucalipto exige diferentes ambientes edafoclimáticos para o seu desenvolvimento pleno. Corrêa et al. (2013) verificaram que independentemente da temperatura do ar na casa de vegetação, para a produção de mudas de eucalipto do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, a umidade do substrato deve ser 90% da capacidade de campo para ter um bom desenvolvimento e mudas de boa qualidade. Contudo, para o clone avaliado, o ambiente de temperatura média em torno de 32°C foi o que mais favoreceu o crescimento das mudas.

A espécie *Eucalyptus urograndis* por exemplo, suporta normalmente temperaturas médias anuais variando de 18°C a 25°C e desenvolve-se bem em regiões cuja pluviosidade varia de 720 a 1800 mm anuais, porém não suporta um déficit hídrico médio anual elevado, o qual pode variar entre 15 a 170 mm (Sperandio et al., 2010).



## ZONEAMENTO DE APTIDÃO AGROCLIMÁTICA DE CULTURAS E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Os elementos climáticos afetam diretamente a produtividade de culturas, com destaque as condições de temperatura, disponibilidade hídrica e o fotoperíodo. Tais elementos são fundamentais para estabelecer boas condições de plantio, manejo e colheita (Farias et al., 2001). Frente a isso, o zoneamento agroclimático, mostra como reduzir os déficits provenientes de alterações irregulares na distribuição pluvial. Logo, torna-se possível um agronegócio competitivo, à medida que se abre portas a soluções tecnológicas para sanar tal problema. Reduzindo os riscos climáticos, a tomada de decisão para créditos e seguros agrícolas também é respaldada, de acordo com o calendário de plantio (Assad et al., 2013).

Na análise da aptidão agroclimática de uma cultura, os dados como precipitação, temperatura, déficit hídrico e declividade e outros, são fatores que auxiliam na tomada de decisão (Fraga et al., 2018). A utilização de sistemas de informações geográficas (SIG) é de suma importância para o zoneamento, tendo em vista sua funcionalidade, praticidade, e fácil interpretação de resultados expressos em mapas temáticos. Aliado a isso, deve-se atentar ao refinamento e precisão de informações, pois esses fatores determinaram a qualidade do produto final (Nappo, Nappo & Paiva, 2005).

A expansão do plantio de eucalipto e da cana-de-açúcar que tem ocorrido no Brasil leva à necessidade de estudos que identifiquem áreas com aptidões climáticas para a implantação e bom desenvolvimento dos cultivos, conforme estudos realizados com a cana-de-açúcar para o estados de Minas Gerais (Almeida, Calijuri & Pinto, 2013) e do Tocantins (Collicchio et al., 2015), e com espécies de eucalipto no Espírito Santo por Sperandio et al. (2010) e por Fraga et al. (2018), e também no estado do Tocantins por Souza et al. (2015; 2015a). Nesse contexto, o zoneamento agroclimático para culturas subsidiam a realização de análise estratégica de decisão quanto ao cultivo em uma região (Fraga et al., 2018).

Nesse contexto o zoneamento agroclimático para culturas subsidiam na realização de análise estratégica de decisão quanto ao cultivo numa região (Fraga et al., 2018).

De acordo com o quarto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC (2014), é provável que o aumento da temperatura média da superfície global no final do século XXI (2081-2100) em comparação com 1986-2005, seja de 0,3°C a 1,7°C (cenário RCP2.6 – otimista); de 1,1°C a 2,6°C (RCP4,5); de 1,4°C a 3,1°C (RCP6,0) e de 2,6°C a 4,8°C para o cenário pessimista (RCP8,5).

Com base na avaliação de muitos estudos que abrangem um amplo espectro de regiões e de culturas no mundo, o IPCC (2014) mostrou com alto nível de confiança que os impactos negativos da mudança climática no rendimento de culturas, tem-se mostrado mais comuns do que impactos positivos.

De acordo com Zullo Junior et al. (2011), a agricultura parece ser uma das atividades humanas mais vulneráveis às mudanças climáticas devido à sua grande dependência das condições ambientais, podendo gerar riscos à esta atividade. Porém, a grande diversidade de ambiente no Brasil poderia ser de grande vantagem para adaptar este setor aos novos cenários de condições climáticas. Contudo, para comprovar esta suposição, torna-se necessário a realização de estudos que avaliem essas condições.

Estas projeções do IPCC têm provocado inquietações no meio técnico-científico ligado ao setor agropecuário, o que tem estimulado a execução de estudos



do efeito das mudanças climáticas, considerando estes cenários de emissões, sobre o zoneamento agroclimático de culturas (Collicchio et al., 2015).

Nesse sentido têm sido realizados diversos trabalhos no País, como por exemplo, estudos da cultura do café para todo o território brasileiro (Camargo, 2010 e Zullo Junior et al., 2011), em São Paulo (Assad et al., 2004) e no Espírito Santo (Bragança et al., 2016); algodão no Brasil (Assad et al., 2013); cana-de-açúcar no Brasil (Marin & Nassif, 2013), na região Nordeste (Silva et al., 2013), no estado de São Paulo (Marin et al., 2007) e do Tocantins (Collicchio et al., 2015) e eucalipto para o Tocantins, por Marcolini (2014).

### PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DOS ESTUDOS ANALISADOS

Os dois estudos analisados neste artigo referem-se aos zoneamentos de aptidão agroclimática das culturas de cana-de-açúcar e do Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) e seus impactos nas mudanças climáticas no limite político-administrativo do estado do Tocantins, localizado na região Norte, que possui uma superfície total de 277.620,914 km<sup>2</sup>.

Os trabalhos dos autores foram executados em duas etapas básicas, conforme descritas a seguir. A primeira etapa referiu-se à elaboração do zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar desenvolvido por Collicchio et al. (2015) e do *Eucalyptus urograndis*, por Souza et al. (2015a).

Os dois trabalhos foram realizados utilizando a base de dados mensais de precipitação e temperatura, provenientes de 110 estações meteorológicas e pluviométricas nos limites e entorno do estado do Tocantins (Figura 1), organizados a partir da base de dados do INMET, ANA e Secretaria da Agricultura do estado do Tocantins - Seagro.

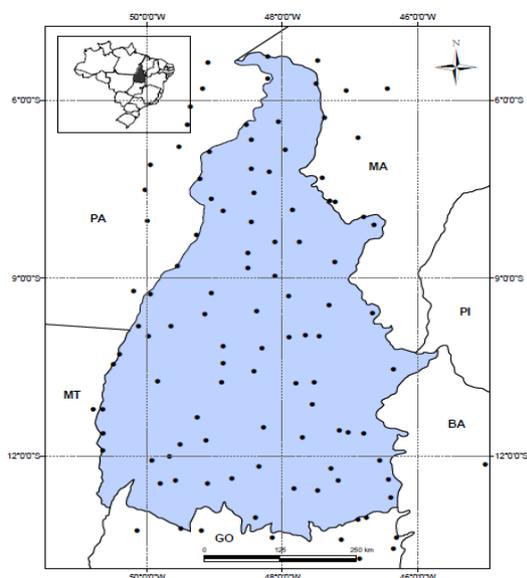


Figura 1. Distribuição das estações meteorológicas/pluviométricas localizadas no estado do Tocantins e em seu entorno

*Figure 1. Distribution of meteorological/pluviometric stations in the state of Tocantins and its surroundings*

Fonte: Collicchio (2015)

Source: Collicchio (2015)

A partir desses dados, calculou-se o balanço hídrico de Thornthwaite & Mather (1955), conforme Pereira (2005), utilizando um modelo desenvolvido num Sistema de

Informação Geográfica - SIG por Victória et al. (2007), os quais foram gerados mapas, como: temperatura média anual (Ta), precipitação média anual (P), evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR) e de déficit hídrico anual (Da). As tabelas 2 e 3 mostram as exigências agroclimáticas das duas culturas.

Tabela 2. Classificação das zonas de aptidão, de acordo com os parâmetros agroclimáticos da cultura cana-de-açúcar

Table 2. Classification of aptitude zones, according to the agroclimatic parameters of the sugar cane crop

Classe de Aptidão	Exigência Hídrica (mm)	Condições
Inapta	$0 < Da \leq 10$	Ausência de período seco necessário para a maturação e colheita
Apta	$10 < Da \leq 250$	Condição hídrica favorável
Marginal	$250 < Da \leq 400$	Restrição hídrica – Apta c/ irrigação de salvamento/complementar
Restrita	$Da > 400$	Restrição hídrica acentuada - Apta com irrigação plena (imprescindível)

Fonte: Collicchio (2015)

Source: Collicchio (2015)

Nota: Exigências térmicas da cultura: Tb = 20°C e TB = 38°C.

Note: Thermal requirements of the culture: Tb = 20°C and TB = 38°C.

Tabela 3. Exigências agroclimáticas para o cultivo do *Eucalyptus urograndis*

Table 3. Agroclimatic requirements for the cultivation of *Eucalyptus urograndis*

Aptidão Climática	Temperatura Média Anual (Ta)	Deficiência Hídrica Anual (Da)	Precipitação Anual (P)
Apta	$18 \leq Ta \leq 25^\circ\text{C}$	$15 \leq Da \leq 170 \text{ mm}$	$720 \leq P \leq 1800 \text{ mm}$
Inapta	$Ta < 18^\circ\text{C}$ ou $Ta > 25^\circ\text{C}$	$Da < 15$ ou $Da > 170 \text{ mm}$	$P < 720$ ou $P > 1800 \text{ mm}$
Marginal	Ocorreu nas áreas em que apenas uma variável (T, Da ou P) foi inapta		
Restrita	Ocorreu nas áreas em que apenas uma variável (T, Da ou P) foi apta		

Fonte: Souza et al. (2015) adaptado de Sperandio et al.(2010)

Source: Souza et al. (2015) adaptated from Sperandio et al.(2010)

O resumo das fases para a elaboração do zoneamento agroclimático das culturas agroenergéticas em análise pode ser visualizado na Figura 2.



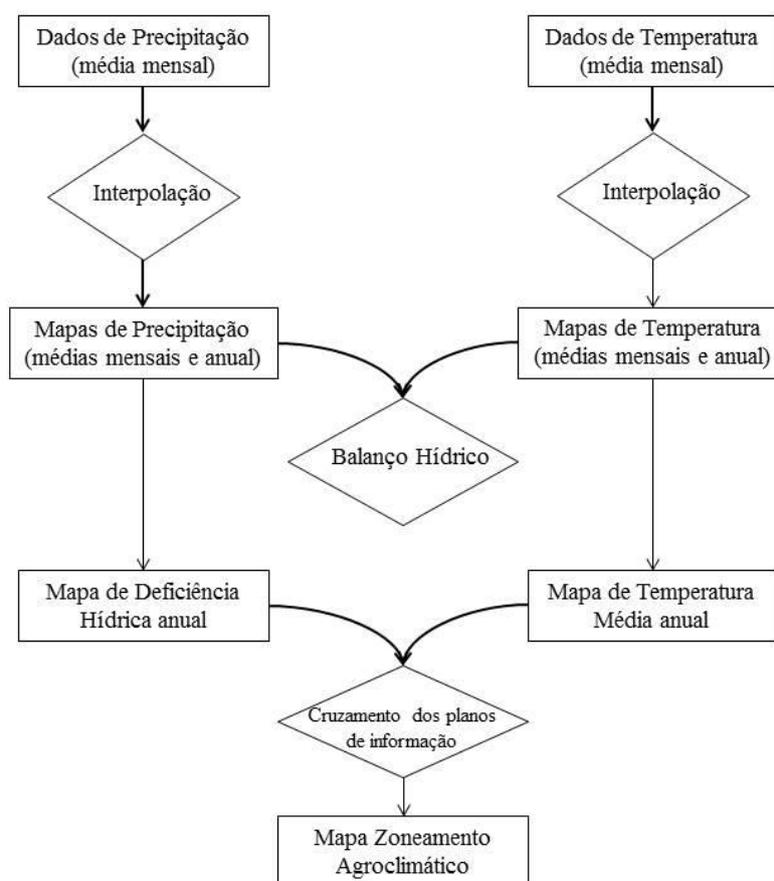


Figura 2. Fluxograma mostrando a metodologia utilizada para realizar o zoneamento de aptidão agroclimática as culturas da cana-de-açúcar e do *Eucalyptus urograndis* para o Tocantins

Figure 2. Flow chart showing the methodology used to perform agroclimatic aptitude zoning for sugarcane and *Eucalyptus urograndis* crops for Tocantins

A etapa 2 referiu-se à simulação possíveis reflexos das mudanças climáticas sobre os zoneamentos agroclimáticos para as duas culturas agroenergéticas, onde utilizou-se os dados de saída do modelo do Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - GFDL, do National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA/USA, sendo o modelo GFDL-CM 2.1, para a cana-de-açúcar e o GFDL-CM 3, para o eucalipto.

Para essas simulações sobre os zoneamentos agroclimáticos da cana-de-açúcar e do *Eucalyptus urograndis*, considerou-se os períodos de 2021 a 2050 (Collicchio et al., 2015) e de 2041 a 2060 (Marcolini, 2014), respectivamente, bem como os cenários de baixa e intermediária emissões, que para a cana-de-açúcar baseou-se no relatório AR4 (IPCC, 2007) e para o eucalipto, no AR5 (IPCC, 2014). Sendo assim, os cenários de baixa e intermediária emissões consideradas nos respectivos estudos foram: B<sub>1</sub> e A<sub>1</sub>B do relatório AR4 e RCP 2.6, RCP 4.5 do relatório AR5.

#### ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS



A maioria do território tocantinense apresenta relevo suave, com declividade inferior a 5%, fazendo com que o Estado tenha alta aptidão ao cultivo agrícola mecanizado. De acordo com o modelo de elevação digital utilizado, a altitude varia de 60 a 1223 m. As regiões com predominância de áreas inclinadas e montanhosas ocorrem ao sul, sudeste e leste do Estado, mas também estendem-se do sudeste para o centro e do centro para o norte.

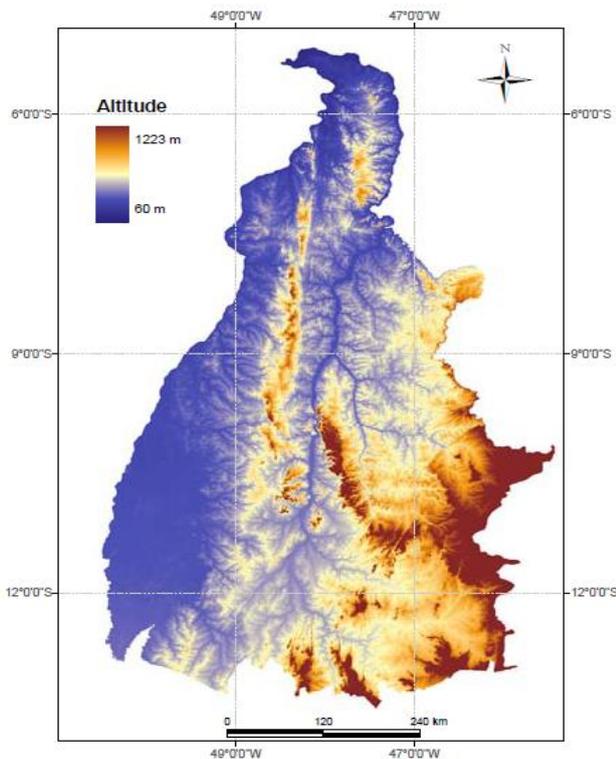


Figura 3. Relevo do estado do Tocantins, elaborado com base no Shuttle Radar Topography Mission – SRTM

*Figure 3. Relief of the state of Tocantins, based on SRTM*

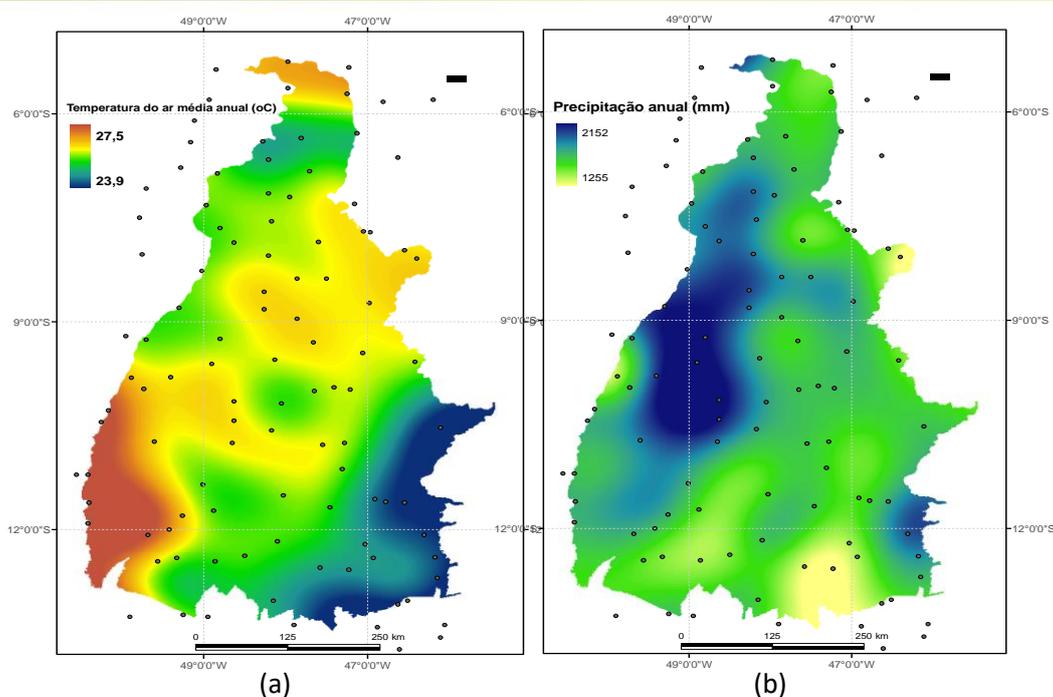
Fonte: Collicchio (2015)

Source: Collicchio (2015)

É notório, um acréscimo na temperatura no sentido leste-oeste, sudeste-centro e do noroeste sentido centro do Tocantins. A temperatura média anual do Estado é de aproximadamente 25,7°C, com variações entre 23,9°C a 27,5°C, sendo que apresenta uma amplitude térmica próxima de 3,6°C (Figura 4a).

No que tange à pluviosidade, precipitação média anual, os valores foram de aproximadamente 1650 mm, sendo que a variação ficou entre 1255 a 2152 mm. Destes, é possível observar que as maiores intensidades de chuva foram em uma pequena parcela à sudeste (divisa com o estado da Bahia) e em uma que engloba desde a região noroeste, ao centro e parte da região oeste (divisa com o Pará), conforme observado também por (Pinto, 2012). Nota-se o aumento nos valores de chuva na direção leste-oeste, sendo que no nordeste foram observados os menores índices pluviométricos do Estado, conforme mostra a Figura 4b.





Fonte: Collicchio (2015)

Source: Collicchio (2015)

Figura 4. Temperatura do ar média anual em °C (a), e precipitação média anual em mm (b) no estado do Tocantins

*Figure 4. Annual mean air temperature in °C (a), and annual mean precipitation in mm (b) in the Tocantins state*

No Tocantins, os meses que atingem temperaturas médias mais baixas ocorrem em junho e julho (24,9 e 24,7°C), coincidindo com os meses mais secos, sendo a temperatura média mais elevada registrada em setembro, com 27,1°C (Collicchio et al., 2015).

Foi observado por Collicchio et al (2015), que mais de 90% do total da precipitação pluviométrica acumulada durante o ano ocorre normalmente no período de outubro a abril, sendo mais chuvoso no trimestre referente aos meses de janeiro a março, correspondendo a 47% do total anual. Ocorre uma sazonalidade quanto a pluviometria anual no Estado, determinando um período de seca que em média atinge 5 meses. Caracteriza-se esse período chamado de seca (maio a setembro), porque as precipitações mensais são inferiores a 50 mm. Foi constatado ainda pela climatologia, que mês de janeiro caracteriza-se por ser o mais chuvoso (253 mm) e julho o mais seco (3 mm).

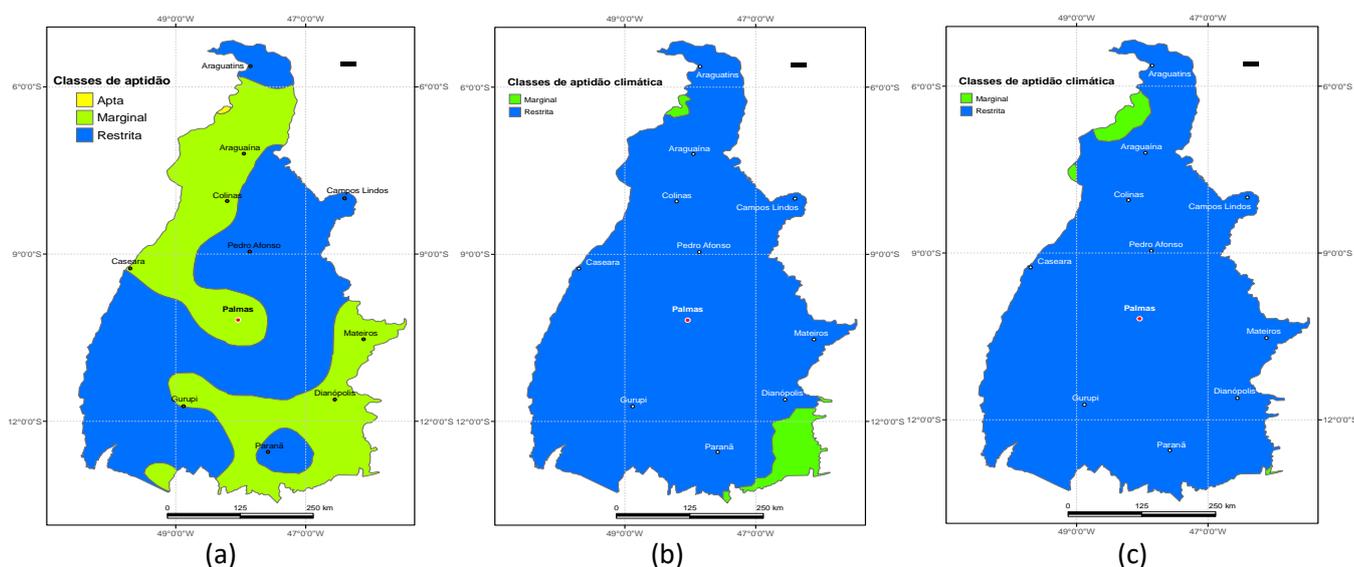
Com relação ao déficit hídrico do Tocantins, a variação observada foi de 245 a 587 mm, com uma amplitude de 342 mm. Sendo que a porção noroeste do Estado teve o menor índice, a qual ficou no limite da classe de aptidão favorável ( $10 < Da < 250$  mm), ou seja, sem a necessidade de irrigação. Por outro lado, as maiores deficiências hídricas foram verificadas especialmente nas regiões sudoeste, nordeste e extremo norte do Estado. Apesar da boa regularidade e dos elevados volumes de chuva na maior parte do Cerrado, durante o verão o longo período de estiagem é limitador do acúmulo de biomassa (Marin & Nassif, 2013). Sendo assim, dependendo

da região será necessária a utilização da irrigação da cana-de-açúcar, tanto de salvamento como complementar, durante a seca (Manzatto et al., 2009).

Com referência aos impactos das mudanças climáticas sobre o parâmetro deficiência hídrica anual (Da), e reflexos na cana-de-açúcar, notou-se um incremento médio de 63% e 79%, para os cenários otimista e intermediário respectivamente. Já para o *E. urograndis*, houve também um aumento da deficiência hídrica anual, porém de menor intensidade, correspondendo respectivamente a 35% e 46%, para os dois cenários futuros.

Comparando a situação climática atual com os resultados das simulações do modelo GFDL para os cenários: B<sub>1</sub> e A<sub>1</sub>B, com referência ao zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar, observa-se que houve uma mudança extrema com relação à aptidão da cultura dentro do Estado (Figura 5).

No cenário mais otimista (B<sub>1</sub>), nota-se a redução das áreas com possibilidades de cultivo da cultura com irrigação de salvamento ou suplementar (classe de aptidão “marginal”), deslocando-as para as regiões noroeste e no extremo sudeste do Tocantins, ampliando a área de aptidão climática “restrita” para aproximadamente 96% (Figura 5b).



Fonte: Collicchio (2015)

Source: Collicchio (2015)

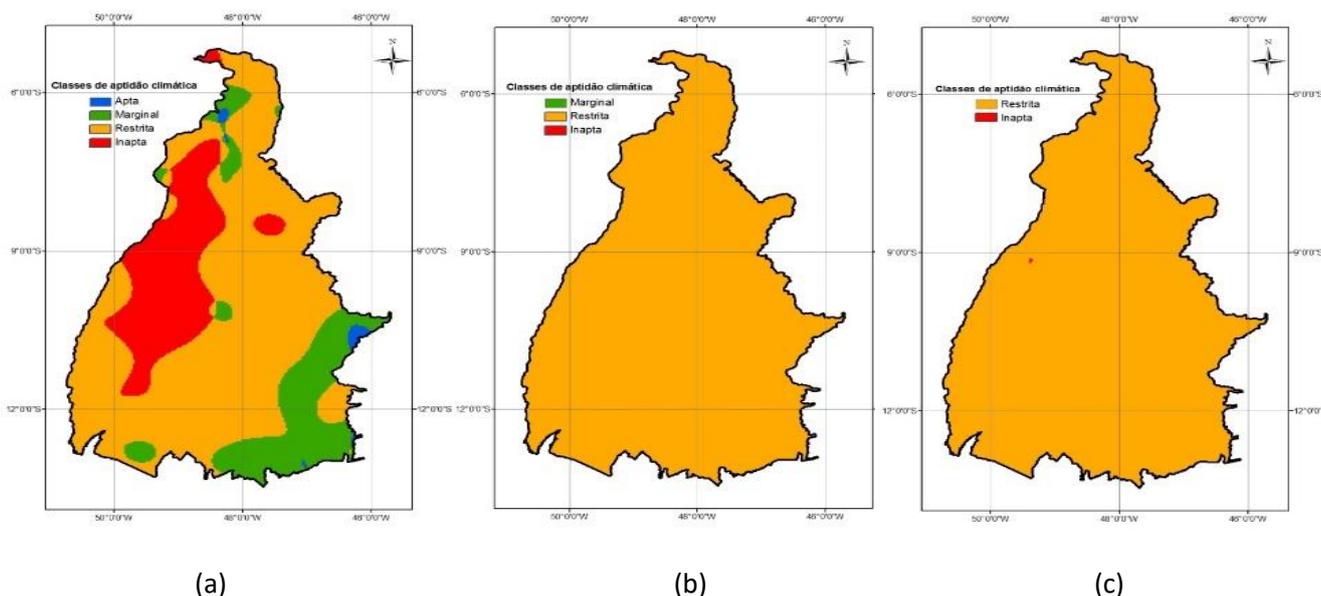
Figura 5. Zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, considerando os cenários: (a) Clima atual, (b) B<sub>1</sub> e (c) A<sub>1</sub>B, (período de 2021 a 2050)

Figure 5. Agroclimatic zoning for sugarcane cultivation in the Tocantins state, considering the scenarios: (a) Current climate, (b) B<sub>1</sub> e (c) A<sub>1</sub>B, (period from 2021 to 2050)

Para o cenário A<sub>1</sub>B (intermediário), as áreas com aptidão “marginal” passariam para “restrita”, fazendo com que praticamente todo o Estado necessitasse de irrigação plena (98,3%), com exceção da região noroeste e pequena porção no sudeste (1,7% da área) que continuaria sendo classificada como aptidão “marginal” (Figura 5c).

Comparando-se o zoneamento agroclimático do *Eucalyptus urograndis* do clima atual, com os zoneamentos obtidos a partir dos resultados do modelo GFDL-CM<sub>3</sub>, no

período de 2041 a 2060, observa-se uma alteração muito significativa na aptidão desta espécie, em todos os cenários de emissões analisados (Figura 6).



Fonte: Marcolini (2014)

Source: Marcolini (2014)

Figura 6. Zoneamento agroclimático do *Eucalyptus urograndis* no estado do Tocantins, considerando os cenários: (a) clima atual; (b) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 2.6 e (c) modelo/cenário GFDL-CM3/RCP 4.5, para o período de 2041 a 2060

Figure 6. Agroclimatic zoning of *Eucalyptus urograndis* in the Tocantins state, considering the scenarios: (a) current climate, (b) model/scenario GFDL-CM3/RCP 2.6 e (c) model/scenario GFDL-CM3/RCP 4.5, for the period from 2041 to 2060

Nota-se que a área “apta” total observada na climatologia atual que era de apenas 0,71% da área do Estado (localizadas ao norte e leste), passou para 0%, tanto para o cenário RCP 2.6, quanto RCP 4.5. Embora nos cenários futuros não haja ocorrência de áreas “aptas”, as áreas consideradas “inaptas”, tiveram uma diminuição significativa de 19,63% (clima atual) para 0,07% e 0,03%, para nos cenários RCP 2.6 e RCP 4.5, respectivamente. Pela Figura 6, percebe-se também a diminuição muito significativa da classe de aptidão “marginal”, de 63,33% (ocorrência no clima atual) para 0,01 e 0% nos cenários RCP 2.6 e RCP 4.5, respectivamente. Conseqüentemente, a redução dessas classes, ocasionaram um aumento nas áreas de aptidão “restrita” com valores de que chegaram a 99,92% (RCP 2.6) e 99,97% (RCP 4.8) (Marcolini, 2014).

Em virtude das pequenas dimensões especializadas no modelo do cenário RCP 2.6, a área “marginal” e a “inapta” nos mapas possuem tamanho quase imperceptível. Sendo a “marginal” encontrada na porção sudeste do Estado e a “inapta”, ao norte, próximo à região do Bico do Papagaio, ocasionada pelo excesso de precipitação, e no nordeste do Estado, ocasionada pela baixa precipitação.

Marcolini (2014) constatou ainda que no cenário RCP 4.5, as áreas de aptidão consideradas como “inaptas” no extremo norte, deixem de existir. Contudo, há o surgimento de uma pequena porção na região centro-oeste (abaixo do paralelo 9), a qual está associada possivelmente devido ao excesso da precipitação local.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do estudo com a cultura da cana-de-açúcar sugerem que não haverá restrição térmica para o seu cultivo, tanto sob as condições climáticas atuais, quanto para o conjunto de cenários climáticos futuros analisados. No que tange ao cultivo de *Eucalyptus urograndis*, as precipitações, atual e futura, não deverão influenciar significativamente o seu desenvolvimento. Contudo, a temperatura e conseqüentemente sua influência no balanço hídrico, mostrou-se preponderante na influência da aptidão de áreas potenciais ao cultivo.

De modo geral observou-se um incremento da deficiência hídrica anual para todos os cenários, mas com variações de intensidade regionais, tanto da cana-de-açúcar como do *E. urograndis*.

Considerando as duas culturas analisadas, as classes de aptidão mais favoráveis reduzirão significativamente conforme projeções dos cenários futuros de emissões, ampliando em ambos os casos as áreas com classe de aptidão “restrita” em quase todo o Estado.

Logo haverá a necessidade de readequação do manejo e uso de tecnologias atualmente empregadas na cana-de-açúcar, podendo esta atividade ser inviabilizada economicamente devido à deficiência hídrica. Dependendo do local e do cenário de emissões, para que seu cultivo seja adequado e obtenha boa produtividade no Estado, será necessário a utilização de irrigação de salvamento, suplementar ou plena, no período de seca. Porém, para o cultivo comercial do *Eucalyptus urograndis* nessa condição, poderá não ser viável, tornando o seu cultivo impróprio para o cultivo no Estado, se mantidas as características genéticas e fisiológicas e tecnologias atuais.

Depreende-se que o zoneamento agroclimático é uma ferramenta que pode auxiliar políticas públicas agroambientais específicas e prospectivas, de forma a orientar as regiões agrícolas adequadas, bem como subsidiar na análise estratégica de decisão.

## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Elaboração do manuscrito: EC, RBSL e MPM; Orientação e apoio na elaboração da revisão de literatura: EC, MPM e RBSL; Elaboração dos mapas: EC e MPM; Orientação e apoio na revisão final do artigo: EC e RBSL

## REFERÊNCIAS

- Almeida, T. S., Calijuri, M. L. & Pinto, L.B. (2013). Zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar para o estado de Minas Gerais com base em regressões múltiplas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(3), 352-355. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000300011>
- Assad, E. D., Martins, S. C., Beltrão, N. E. de M. & Pinto, H. S. (2013). Impacts of climate change on the agricultural zoning of climate risk for cotton cultivation in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(1), 1-8. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100001>
- Barbieri, V. & Villa Nova, N.A. (1977). Climatologia e a cana-de-açúcar. Araras: Planalsucar.
- Bragança, R., Santos, A. R. dos, Souza, E. F. de, Carvalho, A. J. C. de, Luppi, A. S. L. & Silva, R. G. da (2016). Impactos das mudanças climáticas no zoneamento agroclimatológico do café arábica no Espírito Santo. *Revista Agroambiente On-line*, 10(1), 77-82. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i1.2809>



- Camargo, M. B. P. D. (2010). The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in brazil. *Bragantia*, 69(1), 239-247. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100030>
- Collicchio, E., Rocha, H. R. da, Victória, D. de C., Ballester, M. V. R. & Toledo, A. M. A. (2015). Implicações das mudanças do clima no zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, considerando o modelo GFDL. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(6), 1730-1747. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150098>
- Conab (2017). Indicadores de Agropecuária. Observatório Agrícola, (06), 01-116. Recuperado de: [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br).
- Conab (2018). Acompanhamento da safra brasileira - safra 2017/18: cana-de-açúcar. Brasília. Recuperado de: <file:///C:/Users/Erich/Downloads/BoletimZCanaZ4ZLevantamentoZ17-18.pdf>
- Corrêa, V. B., Pezzopane, J. E. M., Xavier, T. M. T., Toledo, J. V. & Schwider, Y. S. (2013). Determinação da umidade para o desenvolvimento de mudas de eucalipto sob diferentes regimes térmicos. *Enciclopédia Biosfera*, 9(16), 711-722.
- Doorenbos, J. & Kassam, A. H. (1994). Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- Fontana, D.C.; Berlato, M.A.; Lauschner, M.H. & Mello, R.W. de. (2001). Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 36(3), 399-403. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000300001>
- Farias, J. R. B., Assad, E. D., Almeida, I. R., Evangelista, B. A., Lazzarotto, C., Neumaier, N. & Nepomuceno, A. L. (2001). Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras da soja no Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 9(3), 415-421.
- Fraga, M. de S., Uliana, E. M., Silva, D. D. da, Campos, F. B., Calijuri, M. L. & Santos, D. M. de S. (2018). Climatic zoning for eucalyptus cultivation through strategic decision analysis. *Revista Ambiente & Água*, 13(1), 1-13. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- IBÁ, Instituto Brasileiro de Árvores (2017). Relatório Ibá 2017. Brasília: IBÁ. Recuperado de: [http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf) Acesso em: 12 fev. 2018.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza.
- Jadoski, C.J.; Toppa, E.V. B.; Julianetti, A.; Hulshof, T.; Ono, E.O. & Rodrigues, J.D. (2010). Physiology development in the vegetative stage of sugarcane. *Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia*, 3(2). 169-176. <https://doi.org/10.5777/paet.v3i2.1064>



- Jandrey, D.B.; Silva, P.R.F.da; Federizzi, L.C.; Vieira, V.M. & Sangoi, L. (2010). Agroenergia e agricultura. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 9, 82-89.
- Lucas, D.D.P.; Streck, N.A.; Bortoluzzi, M.P.; Trentin, R. & Maldaner, I.C. (2012). Temperatura base para emissão de nós e plastocrono de plantas de melancia. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, 43(2), 288-292. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000200011>
- Manzatto, C.V.; Assad, E.D.; Baca, J.F.M.; Zaroni, M.J. & Pereira, S.E.M. (2009). Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Marcolini, M. de P. (2014). Efeito das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático para cultura de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) no estado do Tocantins. Palmas: Universidade Federal do Tocantins – UFT.
- Marin, F. & Nassif, D. S. P. (2013). Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(2), 232–239. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200015>
- MME, Ministério de Minas Energia e Energia (2017). Lançamento do RenovaBio 2030. Brasília. Recuperado de: <http://www.mme.gov.br/>.
- Nappo, M. E., Nappo, A. E. & Paiva, H. N. de. (2005). Zoneamento ecológico de pequena escala para nove espécies arbóreas de interesse florestal no Estado de Minas Gerais. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*, 9(3), 422–428.
- Oliveira, A. S.; Neto, A. J. S.; Ribeiro, A.; Rascon, N. J. L.; Rody, Y. P. & Almeida, A. Q. (2012). Determinação do tempo térmico para o desenvolvimento de mudas de eucalipto na fase de enraizamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(11), 1223–1228. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-4366201200110001>
- Pereira, A. R. (2005). Agrometeorologia: simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite – Mather. *Bragantia*, 64(2), 311- 313. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000200019>
- Pinto, P. H. P. (2012). Abordagem preliminar sobre a distribuição espacial das chuvas no estado do Tocantins: anos padrão do período de 1975-2005. *Revista Geonorte*, 2(5), 876 – 886.
- Silva, V. de P. R. da, Oliveira, S. D. de , Santos, C. A. C. dos & Silva, M. T. (2013). Risco climático da cana-de-açúcar cultivada na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(2), 180-189. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200009>
- Souza, O. M. M., Collicchio, E., Pereira, E. Q. & Azevedo, M. I. R. (2015). Zoneamento edafoclimático para o *Eucalyptus urophylla* no estado do Tocantins. *Journal of Bioenergy and Food Science*, 2(2), 62-71. <http://dx.doi.org/10.18607/jbfs.v2.i.2.36>
- Souza, O. M. M., Collicchio, E., Pereira, E. Q. & Azevedo, M. I. R. (2015a). Edapho-climatic zoning for *Eucalyptus urograndis* in the state of Tocantins, Brazil. *Desafios: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, 1(2), 121-134.



- Sperandio, H. V., Campanharo, W. A., Cecilio, R. A. & Nappo, M. E. (2010). Zoneamento Agroecológico para espécies de eucalipto no Estado do Espírito Santo. *Caminhos de Geografia*, 11(34), 203-216.
- Van Dillewijn, C. (1952). Botany of sugarcane. Waltham: The Chronica Botanica.
- Vellini, A. L. T. T., Paula, N.F., Alves, P. L. C. A., Pavani, L. C., Bonine, C. A. V., Scarpinati, E. A. & Paula, R. C. (2008). Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. *Revista Árvore*, 32(4), 651-663. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000400006>
- Victória, D. de C., Santiago, A.V., Ballester, M.V.R., Pereira, A.R., Victória, R.L. & Richey, J.E. (2007). Water balance for the Ji-Paraná river basin, western Amazon, using a simple method through geographical information systems and remote sensing. *Earth Interactions*, Madison, 11(5), 1-21. <http://dx.doi.org/10.1175/EI198.1>
- Zullo Junior, J., Pinto, H.S., Assad, E.D. & Ávila, A.M.H. de. (2011). Potential for growing Arabica coffee in the extreme South of Brazil in a warmer world. *Climatic Change*, 109, 535-548. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0058-0>

