



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Implicações das mudanças do clima no zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, considerando o modelo GFDL

Erich Collicchio¹, Humberto Ribeiro da Rocha², Daniel de Castro Victória³, Maria Victória Ramos Ballester⁴, André Marcondes Andrade Toledo⁵

¹Prof. Adjunto III da Universidade Federal do Tocantins (UFT), LAMAM-UFT, Palmas, TO, Brasil, collicchio.e@gmail.com (autor correspondente).
²Prof. Titular da Universidade de São Paulo (USP), IAG-USP, São Paulo, SP, Brasil, humberto@model.iag.usp.br. ³Pesquisador Dr. Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP, Brasil, daniel.victoria@gmail.com. ⁴Profa. Dra. da Universidade de São Paulo (USP), CENA-USP, Piracicaba, SP, Brasil, vicky@cena.usp.br. ⁵Prof. Adjunto da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Rondonópolis, MT, Brasil, amatoledo@gmail.com.

Artigo recebido em 09/09/2015 e aceito em 24/12/2015

RESUMO

Tem havido a expansão do complexo sucroalcooleiro para as regiões Centro-Norte do país, devido ao aumento da demanda pelo etanol, tornando relevante a elaboração do zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar para essas regiões, notadamente para o estado do Tocantins. As informações climáticas e edáficas favorecem a determinação de áreas mais aptas ao cultivo e à mecanização. Por outro lado poderá ocorrer a elevação do risco climático nas regiões produtoras devido à possível influência das mudanças do clima. O presente estudo visou simular o impacto das mudanças do clima sobre o zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar no Tocantins, considerando os dados do modelo GFDL e cenários de emissão B₁ e A₁B, para o período de 2021 a 2050. Os resultados mostraram que tanto para as condições climáticas atuais, quanto para projeção do modelo, não há restrição térmica para o desenvolvimento da cultura, e que para obter boa produtividade no Estado será necessário, de forma geral, a utilização de irrigação nos períodos de deficiência hídrica. Constatou-se que, existe potencial para a produção, apesar da predominância da classe de aptidão "restrita", e que as regiões potenciais com condições agroclimáticas favoráveis, estão localizadas no sul, sudeste e centro do Estado. As simulações dos cenários de emissões indicam fortes restrições hídricas para o Tocantins, com grande redução de áreas consideradas "aptas" e "marginais", e aumento das áreas "restritas" ao cultivo da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Agroenergia; etanol; balanço hídrico; aptidão agroclimática; aquecimento global

Implications of climatic changes on agroclimatic sugarcane zoning for Tocantins State, considering the GFDL model

ABSTRACT

There has been an expansion trend of ethanol demand, the tendency to expansion of the complex sugarcane industry in the Center-North region requires an elaboration of agroclimatic zoning for sugarcane culture, especially in Tocantins State. The climatic and edaphic informations favor the determination of most suitable areas for cultivation and mechanization. On the other hands, it may occur an elevation of the climatic risk in the producing regions due to the possible influence of climate change. This study aimed to simulate the impact of climate change on agroclimatic zoning for sugarcane in Tocantins, considering the data generated by GFDL model and B₁ and A₁B emission scenarios for the period between 2021 and 2050. Results showed that for both the current climatic conditions and the projected models there is no thermal restrictions for cane development and to obtain good productivity it will be necessary to irrigate the crops during the drought periods. It was found that there is potential for the production, despite the predominance of "restricted" aptitude class, and that the potential regions with favorable agroclimatic conditions, are located in the south, southeast and center of the State. Simulations of emissions scenarios indicate strong water restrictions to Tocantins, with great reduction in areas considered "apt" and "marginal", and increase of the "restricted" areas for the sugarcane cultivation.

Keywords: Agroenergy; ethanol; water balance; agroclimatic aptitude; global warming

Introdução

Uma associação de fatores determinantes tem despertado o interesse brasileiro e mundial pela agroenergia (Brasil, 2006; Jandrey et al., 2010). Dentre estes fatores destaca-se a mudança do clima relacionada ao aumento global da concentração dos gases do efeito estufa - GEE, os quais se devem especialmente à mudança do uso da terra e a utilização de combustíveis fósseis (IPCC, 2007 e 2013). Aliado a isto, as tendências de expressivo aumento do preço do barril de petróleo, associado às estimativas de declínio das reservas até a metade deste século e à instabilidade política nas regiões produtoras (Brasil, 2006), observa-se a necessidade de incremento da participação de energias alternativas e limpas na matriz energética mundial.

Estes fatores contribuem fortemente para a promoção do aumento da demanda mundial por biocombustíveis, notadamente o etanol proveniente da cana-de-açúcar, com grandes vantagens comparativas em termos econômicos e ambientais sobre o etanol de milho e de cereais (Jank e Rodrigues, 2007). De acordo ainda com esses autores, quando comparadas às matérias-primas para produção de etanol substituindo a gasolina, considerando-se a produtividade, o balanço energético e as emissões evitadas de GEE, o etanol proveniente da cana-de-açúcar supera em todos os itens o do milho (Estados Unidos) e da beterraba (Comunidade Européia). Eles afirmam que a sustentabilidade e o aquecimento global são temas sistêmicos que exigem um tratamento estratégico mundial.

O Brasil com sua experiência acumulada de mais de 30 anos, saiu na frente do resto do mundo na produção e no uso do etanol. No início dos anos 2000, desenvolveu-se a tecnologia *flex*, já responsável por quase 90% das vendas de automóveis novos, além de ter sido o primeiro país a adicionar álcool anidro à gasolina (Jank e Rodrigues, 2007).

Motivado por este cenário, no período de 2002 a 2007, a área colhida de cana-de-açúcar no Brasil cresceu de 5,10 milhões de ha, para 6,16 milhões de ha, ou seja, 21% de acréscimo (FNP Consultoria & Comércio, 2008). Já a área colhida na safra 2013/2014 atingiu 8,81 milhões de ha, correspondendo um acréscimo de 43% em relação a 2007, com produção de 658,7 milhões de t e produtividade média de 74,8 t/ha (UDOP, 2015).

De acordo com a NOVA CANA (2015), o volume global comercializado de etanol no Brasil em 2014, alcançou 25,17 bilhões de litros, praticamente o mesmo valor contabilizado no mesmo período do ano safra de 2013 (25,67 bilhões de litros). Deste volume total, 23,67 bilhões de litros foram destinados ao abastecimento interno,

sendo cerca de 9,62 bilhões de litros de etanol anidro e 14,05 bilhões de litros de etanol hidratado. Com o aumento da demanda do etanol brasileiro (mercados interno e externo), o CTC (2007), realizou previsões da expansão da cultura da cana-de-açúcar para as regiões Centro-Oeste, Norte (Tocantins) e Nordeste do Brasil, as quais estão ocorrendo atualmente.

A criação da região do MATOPIBA, composta pelos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia, é agora uma realidade como estratégia de competitividade industrial, desenvolvimento econômico e política pública do governo brasileiro (Miranda et al., 2014). Nessa região, a expansão da agropecuária se dará de forma mais intensiva, devido à disponibilidade de terras para novos projetos industriais, preços de terras mais atrativos (menor competição agronegócio), proximidade dos novos mercados consumidores (movimento migratório no Brasil – passado e atual) e a redução da pressão de grandes empreendimentos em grandes aglomerados urbanos (CONSUFOR, 2013; EMBRAPA, 2015). Conforme tem-se constatado pelos autores e referendado pelo Brasil (2013), o setor agroenergético está crescendo em todo o país e o MATOPIBA deverá ser consolidado como um pólo promissor nesta área, sendo que e o complexo sucroalcooleiro poderá ser tornar um dos principais agentes de desenvolvimento nesta região.

Contudo, para o bom desempenho da cultura, as condições climáticas devem ser observadas, pois se uma região dispõe de solos favoráveis e tecnologias adequadas, mas apresenta risco climático elevado, pouco colaborarão para atenuar esta vulnerabilidade (Zullo Junior et al., 2008). Sendo assim, torna-se relevante o zoneamento agroclimático da cultura, que é um instrumento oficial de política pública acoplado ao Programa de Garantia da Atividade Agropecuária - PROAGRO, e que permite regionalizar áreas de maior risco para a cultura, no espaço e no tempo, utilizando-se as redes meteorológicas (Rossetti, 2001 e Brasil, 2015).

As condições climáticas podem ser consideradas as mais importantes na avaliação da aptidão agrícola, porque praticamente não podem ser modificadas, com exceção da deficiência hídrica, que em algumas situações pode ser atenuada com o uso da irrigação (Ranieri et al., 2007).

Ao mesmo tempo, tem sido constatado que as concentrações atmosféricas globais de GEE, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) aumentaram significativamente em consequência das atividades humanas desde 1750, e atualmente ultrapassam em muito os valores pré-

industriais. Os aumentos globais da concentração de CO₂ se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra. Já os aumentos da concentração de CH₄ e N₂O são devidos principalmente à agricultura.

O CO₂ é o GEE antrópico mais importante, sendo que a sua concentração atmosférica global aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005. A sua concentração na atmosfera em 2005 ultrapassou de forma significativa, a faixa natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300 ppm), como determinado a partir de testemunhos de gelo. A taxa de aumento da concentração anual de CO₂ foi mais elevada durante os últimos 10 anos (média de 1995 a 2005: 1,9 ppm por ano), do que desde o início das medições atmosféricas diretas contínuas (média de 1960 a 2005: 1,4 ppm por ano), embora haja variações de um ano para o outro nas taxas de aumento (IPCC, 2007).

Diante desses fatos, poderá ocorrer a elevação do risco climático nas regiões produtoras devido ao aumento da temperatura do ar, conforme resultados dos modelos climáticos utilizados nos estudos do IPCC (2007), os quais projetaram um aquecimento médio global da superfície do planeta, variando de 1,8 °C a 4 °C até o final do século XXI tomando-se como referência o período de 1980 a 1999. Estas projeções do IPCC têm provocado inquietações no meio técnico-científico ligado ao setor agropecuário, o que tem estimulado a realização de estudos mostrando o efeito das mudanças climáticas, considerando estes cenários de emissões, sobre o zoneamento agroclimático de culturas. Nesse contexto, têm sido realizados no Brasil, estudos para as culturas do café em São Paulo (Assad et al., 2004), arroz, soja, milho e feijão (Assad et al., 2007), cana-de-açúcar para o

Tocantins (Collicchio, 2009), Zona da Mata do Pernambuco (Santiago, 2015) e para o Brasil (Manzatto et al., 2009), seringueira para o Espírito Santo (Campanharo et al., 2011), eucalipto (Marcolini, 2014) e seringueira (Naves-Barbiero, 2014) para o estado do Tocantins.

O levantamento da vulnerabilidade agroambiental do setor sucroalcooleiro em relação à climatologia atual e às mudanças climáticas é estratégico, pois permite determinar o potencial da cultura no Tocantins e realizar o planejamento de médio e longo prazo (Zullo Junior et al., 2008).

O presente trabalho teve como objetivo geral propor a elaboração do zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, considerando a condição do clima atual e as mudanças climáticas previstas pelo modelo GFDL e dois cenários de emissões, que integram o IPCC (2007), para o período entre 2021 e 2050.

Material e métodos

A área de estudo compreende o limite político-administrativo do estado do Tocantins localizado na região geoeconômica Norte, com uma área total de 277.620 km².

A situação geográfica do Estado conforme informado pela SEPLAN (2005) é definida pelos seguintes limites geográficos: nas Latitudes 5° 10' 06" S, no extremo norte: rio Tocantins (divisa TO/MA) e 13° 27' 69" S, no extremo sul: Serra das Traíras ou das Palmas (divisa TO/GO) e nas Longitudes 45° 41' 46" W, no extremo leste: APA – Área de Proteção Ambiental Serra da Tabatinga (divisa TO/PI/BA) e 50° 44' 33" W, no extremo oeste: Rio Araguaia (divisa TO/MT), como ilustrado na Figura 1.

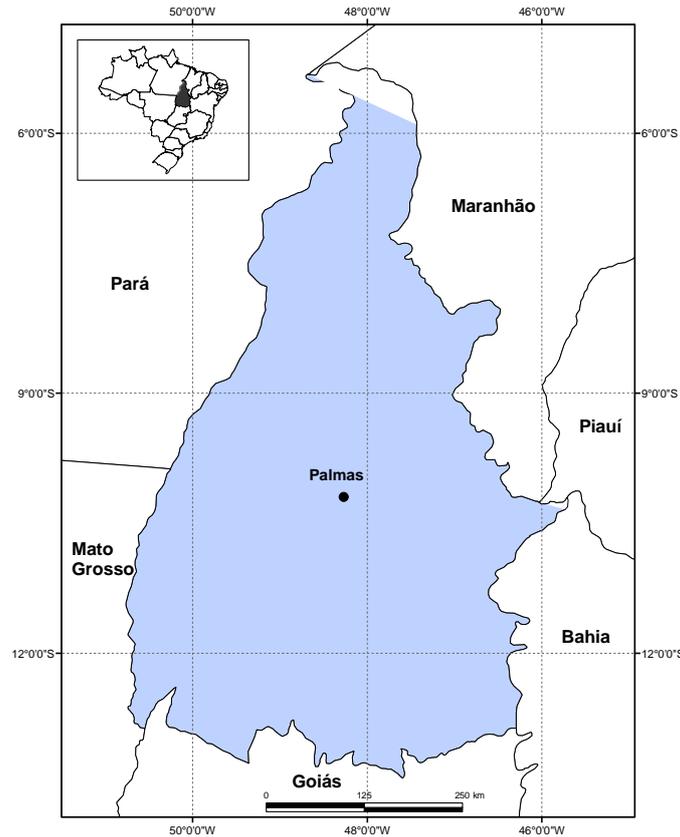


Figura 1. Estado do Tocantins e seus confrontantes

O presente trabalho visou elaborar o zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar, para o estado do Tocantins, com maior nível de detalhamento (resolução espacial de 900 m), devido à expressiva quantidade de dados meteorológicos disponíveis atualmente, utilizando os parâmetros agroclimáticos de Camargo et al. (1977) e Brunini et al. (2008).

Foram usados dados mensais de precipitação e temperatura de 110 estações meteorológicas e pluviométricas, situadas na área de estudo e estados circunvizinhos, compreendidas entre os paralelos 4^o30' e 13^o30' Sul e meridianos 45^o30' e 51^o30' Oeste (Figura 2), provenientes do

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Agência Nacional de Águas - ANA, Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Tocantins- SEAGRO e Embrapa. Uma parte dos dados de temperatura, indisponíveis em algumas estações, foram obtidos através do programa de estimação do clima local, denominado New-LocClim versão 1.10 da FAO (2005) e descrito por Grieser et al. (2006).

A maioria dos dados pluviométricos foram adquiridos do sistema de informações hidrológicas – Hidroweb da ANA, sendo organizados e analisados por intermédio do software Hidro 1.0.9 (ANA, 2005).

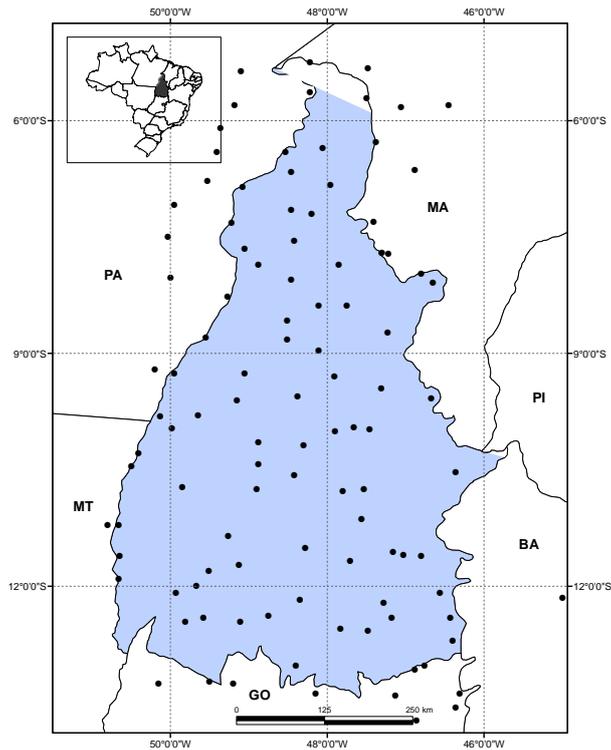


Figura 2. Distribuição das estações meteorológicas e pluviométricas no estado do Tocantins e seu entorno

Para espacialização da temperatura média e da precipitação procedeu-se a interpolação dos valores pelo método “*Spline with tension*”, em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Esses dados serviram de base para o cálculo do balanço hídrico climatológico, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), conforme simplificado por Pereira (2005), uma vez que o modelo necessita apenas de dados de precipitação, temperatura média mensal e da Capacidade de Armazenamento Disponível (CAD), que é o máximo de água que o solo pode reter, sendo adotada a CAD = 100 mm (Camargo et al., 1977 e Waldheim et al., 2006).

O modelo considera que, sendo a precipitação superior à evapotranspiração potencial, a evapotranspiração real será igual à potencial e o restante de água será utilizado para recarregar o armazenamento do solo ou convertido em excedente hídrico.

Caso a precipitação não seja suficiente para se manter a evapotranspiração real, o modelo retira água armazenada no solo. Porém, esta retirada apresenta resistência, fazendo com que a evapotranspiração real seja inferior à potencial, gerando déficit hídrico. A

resistência à retirada de água do solo aumenta, à medida que se diminui a quantidade de água armazenada neste. Já a entrada de água no solo não recebe nenhuma resistência. Maiores detalhes sobre o funcionamento do modelo, bem como suas fórmulas, são apresentados em Pereira (2005). Para calcular o balanço hídrico utilizou-se um modelo desenvolvido no SIG, por Victória et al. (2007) gerando os mapas mensais de evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), armazenamento (ARM), déficit hídrico anual (Da) e excedente hídrico anual (Ea).

Quanto à exigência térmica da cultura adotou-se a temperatura basal inferior (Tb) de 20 °C (Doorenbos e Kassam, 1994) e a superior (TB) igual a 38 °C (Fauconier e Bassereau, 1975; Barbieri e Villa Nova, 1977).

A partir dos mapas de temperatura média e deficiência hídrica anual delimitaram-se as zonas ou classes de aptidão, para definir as áreas de exploração da cultura da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, classificando-as em: inapta, apta, marginal, restrita ao cultivo (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação das zonas de aptidão, de acordo com os parâmetros agroclimáticos da cultura

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 com irrigação de salvamento ou complementar
Restrita	$Da > 400$	Restrição hídrica acentuada - Apta com irrigação plena (imprescindível)

Nota.: Exigências térmicas da cultura: $T_b = 20\text{ }^\circ\text{C}$ e $T_B = 38\text{ }^\circ\text{C}$

Fonte: Adaptado de Camargo et al. (1977) e Brunini et al. (2008)

O resumo das fases para a elaboração do zoneamento agroclimático da cultura da cana-de-

açúcar para o estado do Tocantins pode ser visualizado na Figura 3.

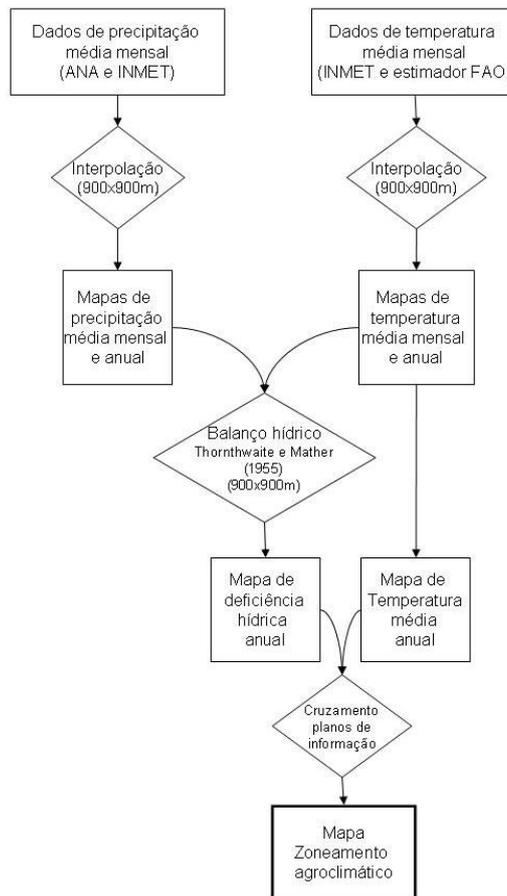


Figura 3. Fluxograma mostrando a metodologia utilizada para realizar o zoneamento agroclimático da cultura da cana-de-açúcar para o Tocantins

Com relação aos possíveis reflexos das mudanças climáticas (IPCC, 2007a) no zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar foi utilizado dados de um modelo climático (Atmosphere-Ocean General Circulation Models - AOGCM), considerando dois cenários de emissões.

Os dados utilizados foram do modelo GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), cuja resolução espacial é de $2,5^\circ$ de longitude e $2,0^\circ$ de latitude, correspondendo a aproximadamente 278×222 km na linha do Equador (Marengo, 2006 e IPCC, 2007b). Os dados do modelo GFDL para os dois cenários de emissões considerados neste trabalho: B_1 (cenário de baixa emissão - otimista) e

A₁B (cenário intermediário), com projeções do clima para o período entre 2021 e 2050, foram obtidos no GFDL (2005a e 2005b).

Visto que o clima presente simulado pelo modelo, apresenta desvio em relação ao clima observado (1961 – 1990), foi necessário fazer um procedimento de correção com o objetivo de adequar os dados simulados à realidade. Sendo assim, utilizou-se o método conforme adotado por Minguéz et al. (2004) e Salati et al. (2007).

Inicialmente foram calculados os desvios relativos aos efeitos do aquecimento global, realizando-se a diferença entre os dados simulados de temperatura e precipitação para o modelo e cenários futuros e período presente (*baseline* do modelo). Tal procedimento foi executado por intermédio do programa Grads, que gerou mapas no formato raster, reinterpretando para a resolução

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 de sudeste para o centro e do centro para o norte.

Os mapas básicos de temperatura média do ar e da precipitação anual do estado do Tocantins estão apresentados na Figura 4.

A temperatura média anual do Tocantins é de cerca de 25,7 °C, variando de aproximadamente 23,9 °C a 27,5°C, sendo que apresenta uma amplitude térmica próxima de 3,6 °C.

Pela Figura 4a, percebe-se um aumento da temperatura nos sentidos leste-oeste, sudeste-centro e do noroeste para o centro do Estado.

de 0,25⁰ x 0,25⁰ (27 x 27 km) contendo os valores das respectivas diferenças.

Resultados e discussão

Utilizando o programa WinGRASS 6.3.0, foi realizado álgebra de mapas dos dados observados (climatologia atual) somando-se aos mapas contendo os desvios e gerando mapas com dados corrigidos de temperatura e precipitação, representando a climatologia futura do modelo e cenário.

Finalizada esta etapa foi calculado o balanço hídrico conforme descrito anteriormente e elaborados os mapas do zoneamento agroclimático da cultura (Figura 3), considerando os efeitos previstos pelo modelo GFDL nos cenários B₁ e A₁B, para o período de 2021 a 2050.

Neste cenário, de acordo com Fauconier e Bassereau (1975); Barbieri e Villa Nova (1977) e Doorenbos e Kassam (1994), não haveria restrição com relação à temperatura para o cultivo da cana-de-açúcar no Tocantins.

Com relação à pluviosidade, a precipitação média anual no estado do Tocantins é de aproximadamente 1650 mm, com uma variação aproximada de 1255 a 2152 mm.

Nota-se que as maiores intensidades de chuva ocorrem numa pequena porção à sudeste e em uma área que abrange desde a região noroeste, ao centro e englobando parte da região oeste do Estado. Já as menores precipitações são observadas nas regiões sudeste e nordeste do Tocantins (Figura 4b).

De acordo com a Figura 5, 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, e a temperatura mais elevada é registrada em setembro, com 27,1°C.

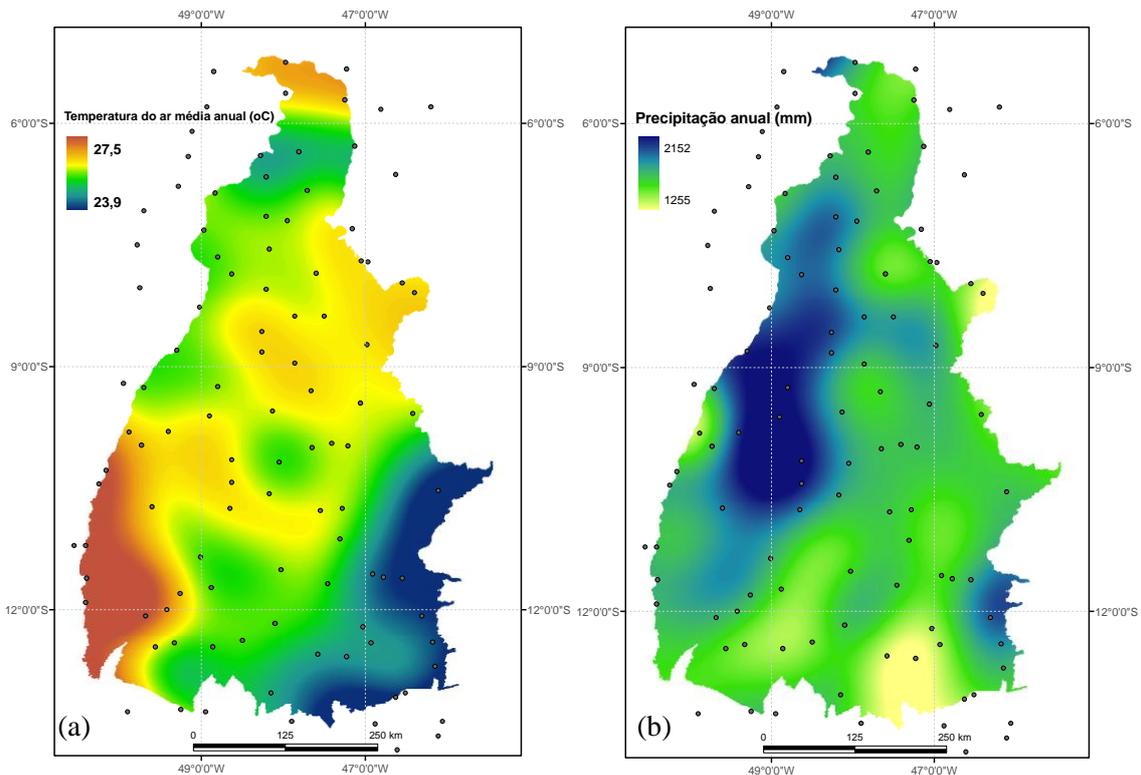


Figura 4. (a) Temperatura do ar média anual ($^{\circ}\text{C}$) e (b) precipitação média anual (mm) no estado do Tocantins

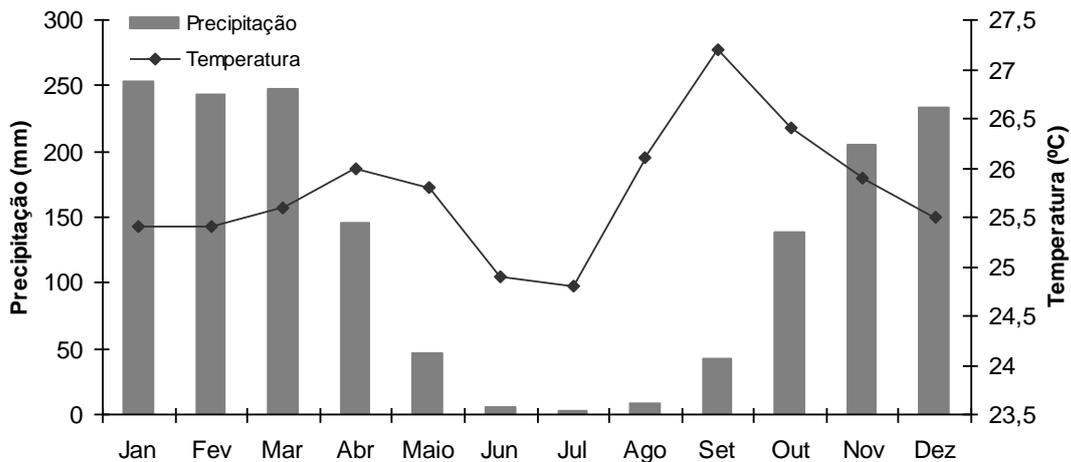


Figura 5. Médias mensais da temperatura e precipitação, no estado do Tocantins

Mais de 90% do total de chuvas acumuladas durante o ano ocorrem 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. A estação da seca varia de 3 a 6 meses, no entanto considerando precipitações mensais inferiores a 50 mm, o Estado apresenta em média 5 meses de seca, que inicia no mês de maio e finaliza em setembro, retratando bem a sazonalidade (Figura 5). O mês de janeiro se caracteriza por ser o mais chuvoso (253 mm) e julho o mais seco (3 mm).

De acordo com Van Dillewijn (1952) temperaturas mínimas mensais mais elevadas aumentam a taxa de alongação do colmo, e mínimas mais baixas promovem o aumento do estoque de açúcar. De forma geral esse comportamento pode ser observado em três regiões consideradas com menores restrições ao cultivo da cana-de-açúcar no Tocantins, Araguaína, Palmas e Taguatinga, localizadas ao norte, centro e sudeste do Estado, respectivamente.

A temperatura mínima é maior nos meses mais chuvosos e menor na estação da seca. Essa

coincidência de temperaturas mínimas mais baixas com a redução das chuvas ocasionando um déficit hídrico sazonal é um fato essencial para a concentração de sacarose de acordo com Humbert (1968) e Alfonsi et al. (1987).

Além desse fato, Doorenbos e Kassam (1994) e Delgado Rojas (1998) afirmam que a cana-de-açúcar apresenta uma maior resposta à irrigação ou disponibilidade hídrica, na fase inicial de crescimento, que coincide também com o período que ocorrem temperaturas mínimas mensais mais elevadas.

O balanço hídrico permite definir os períodos de deficiência hídrica em que há necessidade de irrigação suplementar e a identificação de períodos de excesso, os quais podem ser aproveitados para o armazenamento superficial da água da chuva (Pereira et al., 2002). O déficit hídrico aparece sempre que o solo não conseguir suplementar a precipitação no atendimento da evapotranspiração.

O conhecimento da distribuição espaço-temporal da disponibilidade hídrica estabelece diretrizes para a implementação de políticas de planejamento e execução para o uso racional da água, e fornece subsídios para a elaboração do zoneamento agrícola de risco climático.

Pela Figura 6 nota-se que a deficiência hídrica anual no Estado variou de cerca de 245 a 587 mm, com uma amplitude de 342 mm. Percebe-se que na região noroeste do Estado foi observada a menor deficiência hídrica, 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.

Os valores de deficiência hídrica anual em Tocantins são elevados, quando comparados com o valor de 72 mm de deficiência verificado na região de Ribeirão Preto – SP (Sentelhas et al., 2008), uma das mais importantes regiões produtoras de cana-de-açúcar do Brasil. A região de Ribeirão Preto é responsável por quase 10% da produção estadual de cana-de-açúcar, e por 6% da produção nacional (IEA, 2007), com uma produtividade média de 88 t.ha⁻¹ (UNICA, 2015). Ressalta-se que, nesta região as lavouras são cultivadas em condições de sequeiro.

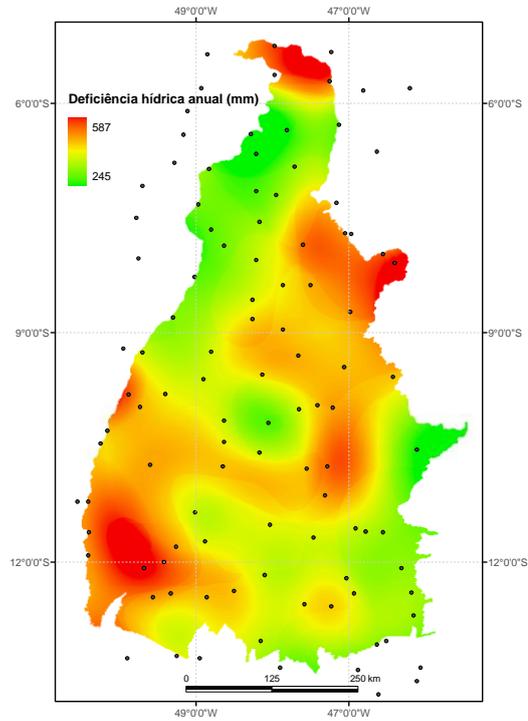


Figura 6. Deficiência hídrica anual em mm, no estado do Tocantins

Evangelista (2011) afirma que ocorre uma tendência de queda da produtividade, à medida que ocorre o aumento da deficiência hídrica anual para cultivos da cana-de-açúcar em condições de sequeiro. Tomando-se como referência a deficiência hídrica igual a 250 mm, no estado de São Paulo, percebe-se esta tendência, uma vez que a média de produtividade foi de 86 t.ha⁻¹ e 77 t.ha⁻¹, para deficiência hídrica abaixo e acima de 250 mm, respectivamente. O mesmo ocorreu em Goiás, cujas produtividades médias diminuíram de 92 t.ha⁻¹ para 79 t.ha⁻¹, a partir do momento que ultrapassou 250 mm de deficiência hídrica.

Sendo assim, a influência da necessidade hídrica é o principal fator a ser considerado no zoneamento da cana-de-açúcar no Tocantins. Nesse sentido a configuração do zoneamento de aptidão climática da cana-de-açúcar, mostra a presença de três classes, com extensões distintas, determinadas principalmente pela deficiência hídrica (Figura 7).

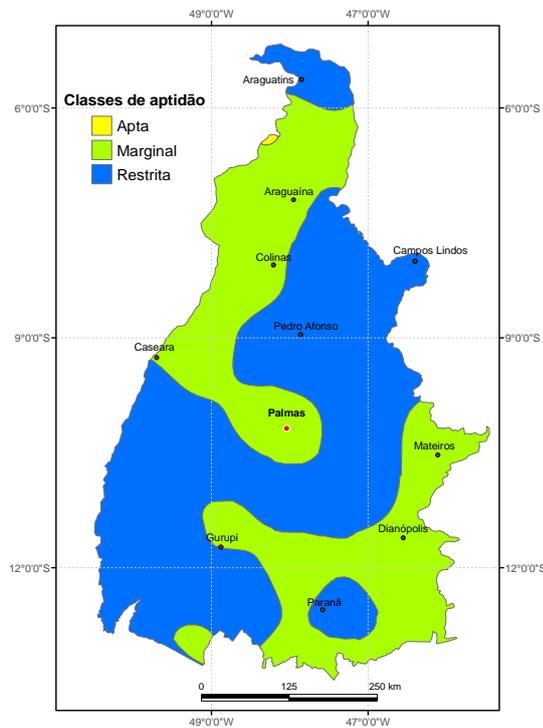


Figura 7. Zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar no estado do Tocantins

Como pode ser observado na Figura 7, no estado do Tocantins não foi constatada nenhuma área “inapta” por motivo de ausência de período seco ($0 < Da \leq 10$ mm). Isto é satisfatório, uma vez que a cultura necessita de um período seco para a sua maturação e concentração de sacarose (Doorenbos e Kassam, 1994), além de favorecer as atividades no período de colheita e possíveis plantios de inverno, caso tenha possibilidades de irrigar a lavoura nesta fase.

Regiões com condições hídricas satisfatórias (aptas), ou seja, sem necessidade de irrigação para o cultivo ($10 < Da \leq 250$ mm), foi constatada em apenas uma pequena porção da região noroeste do Estado, correspondente a 0,1 %.

Áreas com classe de aptidão “marginal” ($250 < Da \leq 400$ mm) foram determinadas em aproximadamente 41,7 % da área total do Estado. Portanto, nessas áreas, a irrigação suplementar ou irrigação de salvamento (pequena lâmina d’água) torna-se recomendável para o cultivo da cana-de-açúcar (Manzatto et al., 2009; Marin e Nassif, 2013). Existe a possibilidade do cultivo da cana-de-açúcar sem o uso de irrigação em regiões que ficaram próximas ao limite da classe considerada “apta” ($Da \sim 250$ mm). Nestes locais considerados de transição é interessante o desenvolvimento de estudos mais detalhados, pois podem existir condições climáticas e edáficas regionais favoráveis para o cultivo, sem a necessidade do uso de irrigação (suplementar ou de salvamento), sem causar prejuízos significativos de produtividade.

As zonas identificadas com classe de aptidão “restrita”, ou seja, com elevada restrição hídrica ($Da > 400$ mm), estão presentes em aproximadamente 58,2 % da área total do Estado. Nessas áreas, em caso de plantio será imprescindível o uso de irrigação plena para obter ganhos de produtividade.

Diante do observado, o cultivo da cana-de-açúcar no Estado deverá exigir predominantemente o uso de irrigação suplementar ou de forma plena (mais freqüente), a fim de garantir o seu desenvolvimento vegetativo e de promover o aumento da produtividade da cultura. Entretanto, existe a possibilidade de realizar a irrigação de salvamento, que é realizada nos períodos críticos, de chuvas escassas, com o intuito de garantir a produção. Nesse caso utiliza-se lâminas d’água de irrigação inferiores às de irrigação complementar e plena, e dependendo das condições edafoclimáticas da região, a lâmina a ser colocada varia em média de 40-50 a 80-120 mm. De acordo com o mesmo autor, a irrigação de salvamento pode ser utilizada para atender dois objetivos principais: a) salvar a soqueira, propiciar condições favoráveis para o aumento da brotação e perfilhamento da soqueira, a fim de evitar falhas e ter um bom estado no canavial. Com isso pode-se aumentar a vida útil do canavial, evitando assim a redução de produtividade e da longevidade. Por exemplo, um canavial com média de 5 cortes sem a irrigação de salvamento poderia reduzir para 3 cortes; b) salvar o plantio de inverno, racionalizando a infraestrutura da usina, ao estender o período de plantio na época seca e garantir a brotação e crescimento da cultura.

No que se refere às implicações das mudanças do clima no zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar, observa-se pela Tabela 2, que a temperatura anual média da climatologia atual ($25,7$ °C) aumentou para ambos os cenários, sendo que o maior incremento constatado ($+ 1,9$ °C) foi no cenário A₁B, cuja temperatura atingiu $27,5$ °C. Quanto à amplitude de cada classe analisada de modelo/cenários, que mostra a dispersão entre os menores e maiores valores de temperatura espacializados, observa-se que houve pouca diferença entre elas, com um pequeno acréscimo (0,4), contudo existe uma grande dispersão da temperatura, cuja amplitude nos dois cenários atingiu 4 °C.

Ao contrário do ocorrido com a temperatura registrou-se uma redução da precipitação média anual do clima local (1676 mm), para ambos os cenários. O cenário A₁B com 1543 mm, foi o que mais diminuiu, correspondendo a uma redução média de 8%. A amplitude das classes para este parâmetro foi variada, mas com tendência de

aumento em relação ao clima local, mostrando a variação dos dados.

Tabela 2. Valores médios anuais e amplitude calculados para a temperatura e precipitação, considerando os cenários de mudanças climáticas em relação ao clima na condição atual (observado)

Modelo/Cenários	Temperatura anual - Ta (°C)		Precipitação anual - Pre (mm)	
	Ta média	Amplitude	Pre média	Amplitude
Clima Atual	25,7	3,6	1676	897
GFDL_B ₁	27,4	4,0	1615	1269
GFDL_A ₁ B	27,5	4,0	1543	1074

Notas: I - Médias do aumento da Ta média em relação ao clima atual:

a) modelo: GFDL = +1,7 °C; b) cenários: B₁ = +1,6 °C e A₁B = +1,9 °C

II - Médias da diferença da Pre média em relação ao clima atual: a) modelo: GFDL = -6%; b) cenários: B₁ = -8% e A₁B = -3,6%

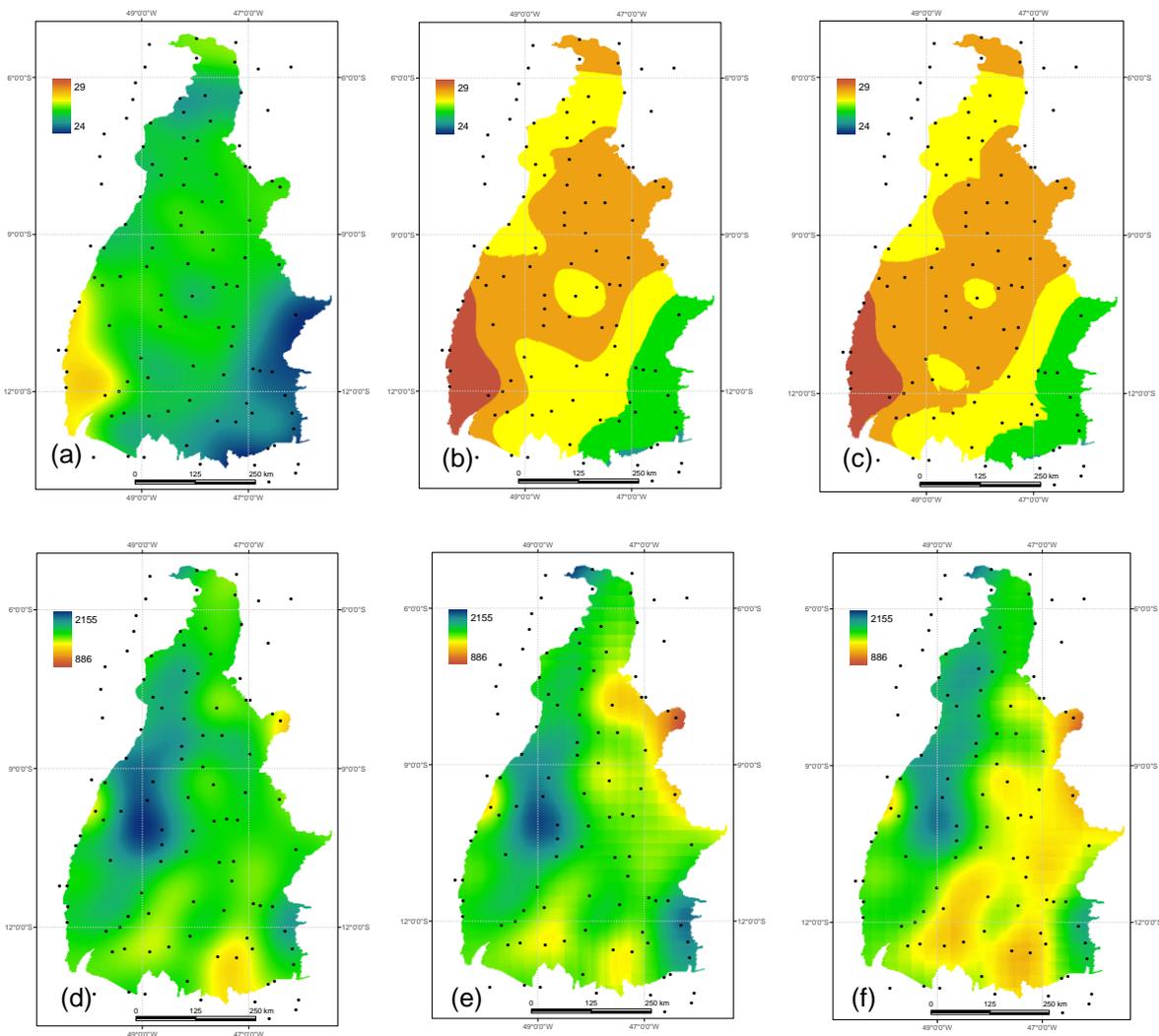


Figura 8. Temperatura média anual - Ta (°C) referente à: (a) climatologia atual; (b) cenário B₁ e (c) cenário A₁B e precipitação anual - Pre (mm) referente à: (d) climatologia atual; (e) cenário B₁ e (f) cenário A₁B

As variações espaciais da temperatura e precipitação da climatologia atual do modelo GFDL/cenários podem ser visualizadas na Figura 8.

Comparando as médias dos resultados do modelo (Tabela 2), destaca-se que em relação à climatologia atual, houve um incremento semelhante quanto à temperatura do ar e um decréscimo da precipitação anual, porém concordando com o apresentado por Marengo (2006). Percebe-se que houve um incremento médio de 1,7 °C em relação ao clima atual e praticamente não mostrou diferença entre cenários B₁ (+1,7 °C) e A₁B (+1,8 °C), cujas temperaturas médias foram 27,4 °C e 27,5 °C, respectivamente. No entanto, nota-se a diferença no total anual de precipitação entre os cenários B₁ e A₁B, com 1615 mm e 1543 mm, respectivamente e com média do modelo de 1579 mm.

Em relação ao clima atual houve uma redução na média da precipitação de aproximadamente 6%, sendo que a diminuição média observada no cenário B₁ foi de 3,6% e no cenário A₁B, foi o dobro.

Com referência a deficiência hídrica anual, pode ser observado na Tabela 3, que a Da mínima, que é o menor valor de Da obtido em um local do estado do Tocantins, passou de 245 mm (clima atual), para 324 mm, no cenário A₁B, gerando um incremento de cerca de 32 %.

De forma similar, a Da máxima também aumentou de forma expressiva (61%), passando de 587 para 946 mm (Cenário B₁). A Da média calculada para o cenário de clima atual foi de 411 mm, no entanto para o cenário A₁B, esse valor atingiu a média de 600 mm chegando a aumentar em 46%.

Tabela 3. Valores médios calculados para a deficiência hídrica anual mínima, máxima, média e amplitude, considerando os cenários de mudanças climáticas, em relação ao clima na condição atual

	Deficiência hídrica anual - Da (mm)			Amplitude
	Da mínima	Da máxima	Da média	
Clima Atual	245	587	411	342
GFDL_B ₁	284	946	555	662
GFDL_A ₁ B	324	887	600	563

Notas: I - Média da Da média: a) modelo: GFDL = 577 mm

II - Média do aumento da Da média em relação ao clima atual:

a) modelo: GFDL = +40% b) cenários: B₁ = +35% e A₁B = +46%

Especialmente pode ser percebida a distribuição dos valores correspondentes as diferenças de Da da climatologia atual menos as Da de cada cenário, como mostra a Figura 9. De modo geral visualiza-se um incremento da Da para todos os cenários, mas com variações de intensidade regionais. No cenário B₁ detectou-se um aumento expressivo da

Da na região nordeste, mas em contraponto obteve-se reduções da Da no extremo norte e no sudeste do Estado. Considerando o cenário A₁B, nota-se que a Da aumentou significativamente em área, ocupando uma faixa ampla que se estende da região sul até à nordeste e leste do Estado.

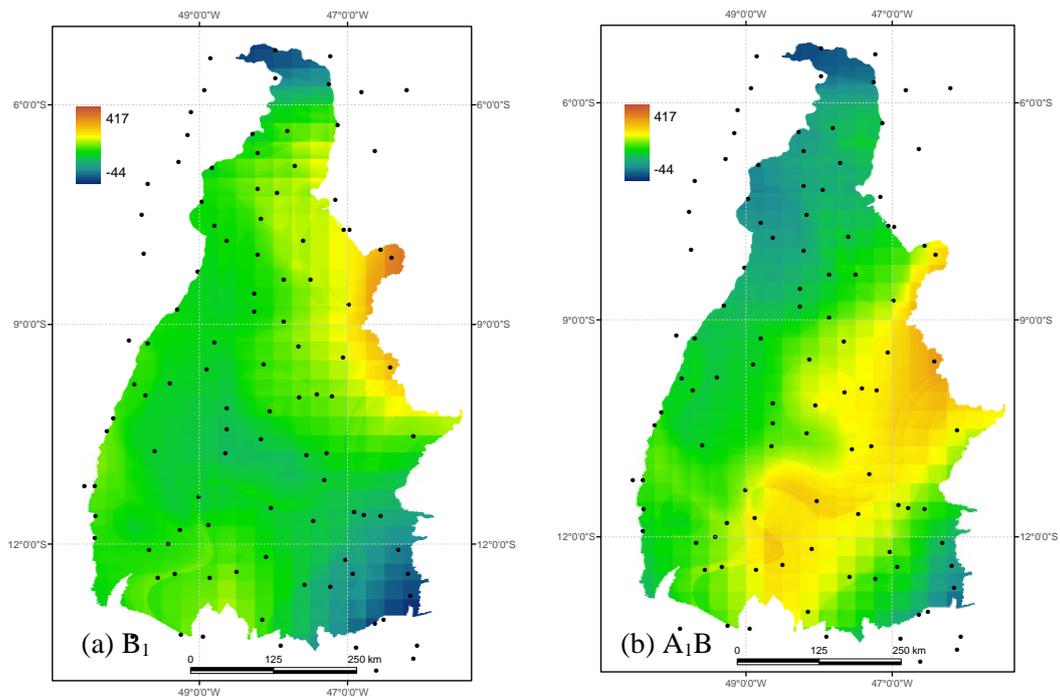


Figura 9. Diferenças das deficiências hídricas provenientes dos cenários: (a) B₁ e (b) A₁B (mm), para o período de 2021 a 2050, menos a deficiência hídrica anual da climatologia atual (mm)

Porém constata-se neste cenário, reduções da Da nas mesmas regiões observadas no cenário B₁, acrescida da região nordeste. Nota-se também que as elevações da Da mostrou uma tendência de aumento numa faixa diagonal correspondendo ao sentido sul-nordeste do Tocantins.

O aumento da temperatura anual verificado em ambos os cenários, associado às alterações dos totais de precipitação anual em relação ao clima atual, provocou reflexos nos balanços hídricos, gerando um aumento na deficiência hídrica anual média de cada cenário, conforme, uma vez que implicou na elevação proporcional nas taxas de evapotranspiração.

Resultados concordantes foram obtidos por Salati et al. (2007), ao calcularem balanços hídricos para cenário de baixa emissão (B₂), para o mesmo período e utilizando os dados do mesmo modelo deste trabalho, para a Amazônia.

Comparando a situação climática atual com os resultados das simulações do modelo GFDL para os cenários B₁ e A₁B, sobre o zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar, observa-se que houve uma mudança extrema com relação à aptidão da cultura dentro do Estado (Figura 10).

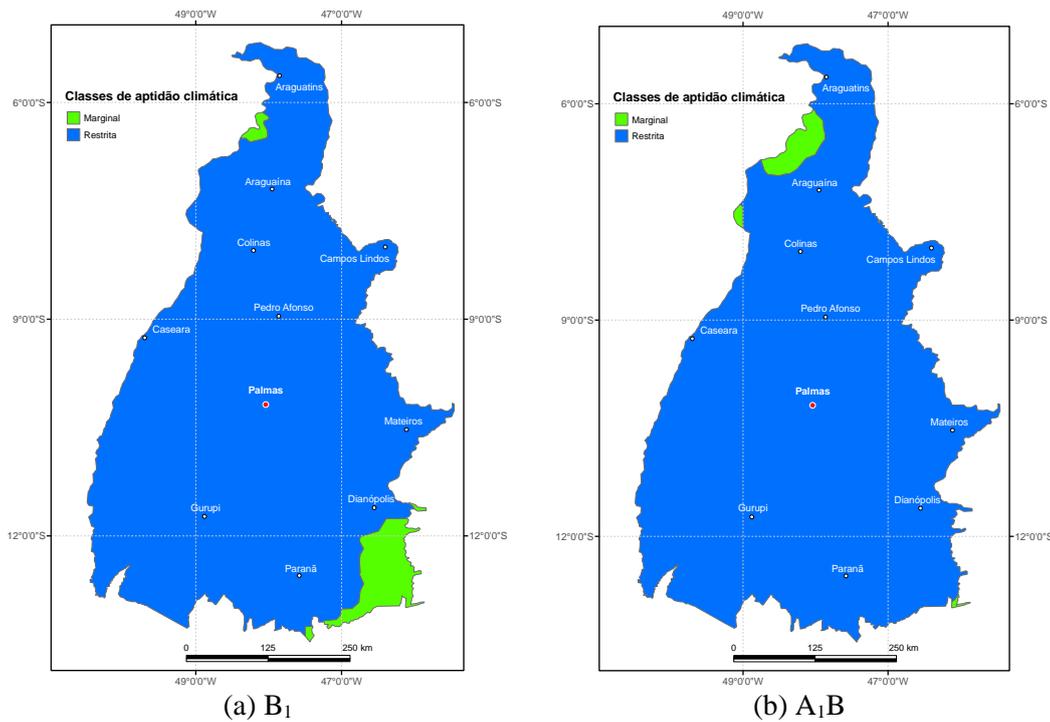


Figura 10. Zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, considerando os cenários B₁ (a) e A₁B (b), para o período de 2021 a 2050

Mesmo para o cenário mais otimista (B₁), já constata-se uma acentuada alteração no delineamento do zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar no Estado, ocorrendo 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 (Figura 10a), ampliando a área de aptidão climática “restrita” para aproximadamente 96% (Tabela 4).

Tabela 4. Área estimada do estado do Tocantins em percentual, por classe de aptidão climática para cultivo da cana-de-açúcar resultante da simulação dos distintos cenários de mudanças climáticas, em relação ao clima na condição atual

Modelo/Cenários	Área do Estado por classe de aptidão climática ¹ (%)		
	Apta	Marginal	Restrita
Clima Atual	0,1	41,7	58,2
GFDL_B ₁	0,0	4,0	96,0
GFDL_A ₁ B	0,0	1,7	98,3

¹ Área aproximada estimada pelo SIG

Considerando o cenário A₁B, a Da apresentaria uma variação de 324 a 887 mm, sendo assim, 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 10b).

Nesse sentido, entre cenários distintos registra-se que houve um decréscimo da área da classe “marginal” de 4% em B₁, para 1,7% em A₁B.

A ocorrência da classe de aptidão climática “marginal” ocorreu na parte noroeste do Estado, em duas regiões descontínuas, e numa pequena porção à sudeste, isso porque foi detectada maior

quantidade de chuva e temperatura mais amena nesses locais, refletindo nos valores de Da variando de 370 a 400 mm.

Este trabalho permite afirmar que haverá um agravamento do efeito da deficiência hídrica para todos os cenários futuros, reduzindo significativamente as regiões de aptidão consideradas “apta” e “marginal”. Isso colocaria praticamente todo o Estado na condição de aptidão “restrita” para o cultivo da cana-de-açúcar, a não ser que fosse irrigado.

Sendo assim, as regiões com necessidade de irrigação plena aumentariam consideravelmente em relação a suplementar, e a possível expansão do

setor sucroalcooleiro para o Tocantins dependerá de irrigação para obter o máximo de produtividade.

Contudo, o uso de irrigação plena poderia onerar o custo de produção, associado ao fato que o elevado consumo de água devido ao aumento da deficiência hídrica do solo, poderia causar problemas de disponibilidade de água em algumas regiões, ou mesmo não ser concedida a outorga de uso dos recursos hídricos para este fim.

Nesse sentido, os dados simulados pelos modelos para o período de 2021 a 2050 e considerando as atuais tecnologias aplicadas, apontam para um potencial de inviabilização do cultivo da cana-de-açúcar no Estado, em condições de sequeiro ou até mesmo irrigado dependendo da região em foco.

Conclusões

Este trabalho investigou a aptidão edafoclimática para o cultivo da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, e sugeriu 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 entanto, devido às elevadas deficiências hídricas observadas, para que a cultura tenha um desenvolvimento adequado e obtenha boa produtividade, será necessário de forma geral, utilizar irrigação de salvamento, suplementar ou plena, na estação da seca.

Com a tendência de expansão do setor canavieiro para o centro-norte do país, o zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar poderá auxiliar nas seguintes áreas: a) iniciativa de empreendedores do setor sucroalcooleiro que pretendem investir no Tocantins escolherem a localização mais adequada à instalação do empreendimento; b) subsídios aos estudos científicos da cultura da cana-de-açúcar e seus impactos ambientais, sociais e econômicos; c) na escolha de áreas consideradas favoráveis à implementação de unidades de pesquisa para desenvolvimento e validação de tecnologias e d) o governo nas esferas federal, estadual e municipal, a traçar políticas públicas agroambientais específicas e prospectivas, de forma a induzir a expansão ordenada e sustentável, uma vez que o Estado faz parte da Amazônia Legal.

As simulações dos balanços hídricos realizadas para o estado do Tocantins, considerando os cenários de mudanças climáticas, mostraram um aumento significativo da deficiência hídrica, reduzindo as regiões de aptidão agroclimática “marginal” (apta com irrigação de salvamento ou suplementar). Ou seja, as regiões que utilizam irrigação plena aumentarão em relação à de salvamento e suplementar, apontando

em direção à inviabilização do cultivo da cana-de-açúcar no Estado.

Em regiões climaticamente “restritas” e/ou “marginais”, onde a produção de alimentos poderá ser mantida com o uso da irrigação e estando a cana-de-açúcar presente, esta poderá vir a competir por água.

As regiões potenciais ao cultivo da cana-de-açúcar poderão mostrar-se vulneráveis frente às mudanças do clima, ou mesmo serem deslocadas para outras localidades, conforme o cenário, caso não haja medidas adaptativas. Além disso, prevê-se uma redução expressiva da área de produção nas regiões potencialmente favoráveis. Devido à interdependência do setor agropecuário, com a sociedade e com outros setores (econômico, social e ambiental), estas mudanças poderiam provocar um colapso nestas regiões e nos empreendimentos sucroalcooleiros, uma vez que os investimentos para sua implantação são elevados e suas mudanças para outros locais são onerosos ou impraticáveis.

Particularmente, as simulações deste trabalho buscaram horizontes prognósticos próximos do presente, ou seja, a partir dos próximos 15 anos de planejamento (2021 até 2050). Assim as previsões deste estudo sugerem reforçar o alerta para a necessidade de tomada de decisões antecipadas, a fim de atenuar os possíveis impactos futuros.

Dentre diversas medidas que poderão ser tomadas para enfrentamento das mudanças climáticas, pesquisas agronômicas nas áreas de biotecnologia e melhoramento genético poderão dar uma valiosa contribuição, como por exemplo: o desenvolvimento de materiais genéticos tolerantes às altas temperaturas e à deficiência hídrica, e que visem a potencialização do efeito benéfico das elevadas concentrações de CO₂ na atmosfera.

Em algumas regiões produtoras mais vulneráveis, as mudanças tecnológicas poderão atenuar os efeitos negativos das mudanças climáticas.

Portanto há a necessidade de análises e estudos mais aprofundados sobre o tema, o que implica na ampliação de investimentos em pesquisas e no desenvolvimento de tecnologias apropriadas.

Agradecimentos

À Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal do Tocantins (UFT), Laboratório LAMAM – UFT, Governo do estado do Tocantins, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

- Alfonsi, R.R., Pedro Júnior, M.J., Brunini, O., Barbieri, V., 1987. Condições climáticas para a cana-de-açúcar, in: Paranhos, S.B. (Coord), Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Fundação Cargill Campinas, pp. 42-55.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2005. Sistema de Informações Hidrológicas. Software Hidro 1.0.9. Disponível: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?>. Acesso: 20 abr. 2007.
- Assad, E.A., Pinto, H.S., Zullo Junior, J., Ávila, A.M., 2004. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira 39, 1057-1064.
- Assad, E.D., Pinto, H.S., Zullo Junior, J., 2007. Impacts of global warmin in the brazilian agroclimatic risk zoning, in: Dias, P.L.daS., Ribeiro, W.C., Nunes, L.H. A Contribution to Understanding the Regional Impacts of Global Change in South America. IEA/USP, São Paulo, pp. 175-182.
- Barbieri, V., Villa Nova, N.A., 1977. Climatologia e a Cana-de-açúcar. Planalsucar, Araras.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2006. Secretaria de Produção e Agroenergia. Plano nacional de agroenergia, 2006 - 2011. 2. ed. rev. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013. Anuário estatístico de agroenergia 2012. MAPA/ACS, Brasília.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015. Zoneamento agrícola de risco climático. Disponível: <http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>. Acesso: 12 maio 2015.
- Brunini, O., Prado, H. do, Landell, M.G.A., Carvalho, J.P.de, Brunini, A., Morais, J.F.L.de, 2008. Zoneamento de Culturas Bioenergéticas no Estado de São Paulo: aptidão edafoclimática da cana-de-açúcar. IAC, Campinas. 1 CD-ROM.
- Campanharo, W.A., Cecílio, R.A., Sperandio, H.V., Jesus Júnior, W.C.de, Pezzopane, J.E.M., 2011. Potencial impacto das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático para a seringueira no Espírito Santo. Scientia Forestalis 39, 105-116.
- Camargo, A.P.de, Alfonsi, R.R., Pinto, S.H., Chiarini, J.V., 1977. Zoneamento da Aptidão Climática para Culturas Comerciais em Zonas de Cerrado. Ed. USP, São Paulo.
- Collicchio, E., Victória, D.de C., Pereira, A.R., Toledo, A.M.A., 2009. Implicações das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar no Tocantins. Revista Ciência Agroambiental 4, 195-203.
- CONSUFOR, 2013. Visão geral do potencial do mercado florestal para a região do MATOPIBA. Consulfor, Curitiba. Disponível: www.consufor.com. Acesso: 15 maio 2015.
- CTC. Centro de Tecnologia Canavieira, 2007. Novas fronteiras podem dobrar produção de cana. Disponível <http://www.ctcanavieira.com.br/>. Acesso: 25 jul. 2007.
- Delgado Rojas, J.S., 1998. Modelo agrometeorológico para estimativa dos efeitos de deficiência hídrica na produtividade agroindustrial da cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, ESALQ.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1994. Efeito da água no rendimento das culturas. UFPB, Campina Grande. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2015. Grupo de Inteligência Territorial Estratégica. MATOPIBA: caracterização, agendas e agência. Embrapa/GITE, Campinas. Disponível: https://www.embrapa.br/gite/projetos/matopiba/150317_MATOPIBA_WEBSITE.pdf. Acesso : 12 maio 2015.
- Evangelista, B.A., 2011. Projeção de cenários atuais e futuros de produtividade de cana-de-açúcar em ambiente de cerrado. Tese (Doutorado). Campinas, UNICAMP.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005. New LocClim 1.10: local climate estimator. Roma. Disponível: ftp://ext-ftp.fao.org/SD/SDR/Agromet/New_LocClim/. Acesso: 25 out. 2007.
- Fauconier, R., Bassereau, D., 1975. La Cãna de azucar. Blume, Barcelona.
- FNP Consultoria & Comércio, 2008. Mercado e perspectivas: cana-de-açúcar, in: FNP Consultoria & Comércio. Agrianual 2008: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, pp. 252-264.
- GFDL. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, 2005a. IPCC DDC AR4 GFDL-CM2.1 SRESB1 run1. Disponível: http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui?Compact.jsp?acronym=GFDL-CM2.1_SRESB1_1. Acesso: 29 nov. 2007.
- GFDL. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, 2005b. IPCC DDC AR4 GFDL-CM2.1 SRESA1B run1. Disponível: [Collicchio, E., Rocha, H.R.da, Victória, D.deC., Ballester, M.V.R., Toledo, A.M.A.](http://cera-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- www.dkrz.de/WDCC/ui?Compact.jsp?acronym= GFDL-CM2.1_SRESA1B_1. Acesso: 29 nov. 2007.
- Grieser, J., Gommel, R., Bernardi, M., 2006. New LocClim: the local climate estimator of FAO. *Geophysical Research* 8, 8305.
- Humbert, R.P., 1968. *The Growing of Sugarcane*. Elsevier, Amsterdam.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007a. IPCC WG1 Fourth assessment Report. Paris.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007b. The IPCC data distribution centre. IPCC 4th assessment report 2007: model GFDL-CM2_1. Disponível: http://www.ipcc-data.org/ar4/model-GFDL-CM2_1.html. Acesso: 29 nov. 2007.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. *Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex V., Midgley, P.M. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York, New York.
- 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.
- Jank, M.S., Rodrigues, L., 2007. Dinâmica e agenda do setor sucroalcooleiro na próxima década. *Revista de Política Agrícola* 4, 86-96.
- 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. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.
- Marcolini, M. de P., 2014. Efeito das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático para a cultura do *Eucalyptus urograndis* no estado do Tocantins. Dissertação (Mestrado). Palmas, UFT.
- Marengo, J.A., 2006. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. MMA, Brasília.
- 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, 232-239.
- Minguez, M.I., Ruiz-Ramos, M., Díaz-Ambrona, C.H., Quemada, M., 2004. Productivity in agricultural systems under climate change scenarios. evaluation and adaptation. *Journal de Physique* 4, 269-281.
- Miranda, E.E.de, Magalhães, L.A., Carvalho, C.A.de, 2014. Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA. Embrapa/GITE, Campinas.
- Naves-Barbiero, C.C., 2014. Efeito das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático da *hevea brasiliensis* no estado do Tocantins. Tese (Doutorado). Aveiro, UA.
- NOVA CANA, 2015. Números finais da safra 2014/2015 e iniciais da safra 2015/2016. Disponível: <http://www.novacana.com/n/cana/safra/numero-s-finais-safra-iniciais-2015-2016-140415/>. Acesso: 13 maio 2015.
- Pereira, A.R., Angelocci, L.R., Sentelhas, P.C., 2002. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Ed. Agropecuária, Guaíba.
- Pereira, A.R., 2005. Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. *Bragantia* 64, 311-313.
- Ranieri, S.B.L., Barretto, A.G.O.P., Klug, I.L.F., 2007. Potencial de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar para o estado do Maranhão, in: Pólo Nacional de Biocombustíveis. Estudo comparativo do potencial de produção de etanol no Maranhão: vantagens competitivas e comparativas. ESALQ, Piracicaba, pp. 1-69.
- Rossetti, L.A., 2001. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 9, 386-399.
- Salati, E., Salati, E., Campanhol, T., Villa Nova, N., 2007. Tendências das variações climáticas para o Brasil no século XX e balanços hídricos para cenários climáticos para o século XXI: relatório 4. MMA, Rio de Janeiro.
- Santiago, G.A.C.F., 2015. Impactos de cenários climáticos futuros na aptidão agroclimática da cana-de-açúcar na Zona da Mata de Pernambuco. Dissertação (Mestrado em Ciências). Recife, UFPE.
- Sentelhas, P.C., Pereira, A.R., Marin, F.R., Angelocci, L.R., Alfonsi, R.R; Caramori, P.H., Swart, S., 2008. BHB rasil: balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras. Disponível: <http://www.lce.esalq.usp.br/nurma.html>. Acesso: 15 abr. 2008.
- SEPLAN. Secretaria Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins, 2005. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: SEPLAN, 54p.

- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., 1955. The Water Balance. Publications in Climatology. Drexel Institute of Thechnology, New Jersey.
- UDOP. União dos Produtores de Bioenergia, 2015. Área da produtividade brasileira da cana-de-açúcar safras 2005/2006 a 2013/2014. Araçatuba: UDOP, 2015, 2p. Disponível: http://www.udop.com.br/download/estatistica/area_cultivada/27abr15_area_produtividade_brasil.pdf. Acesso: 23 maio 2015.
- ÚNICA, 2015. Estimativa de safra da cana-de-açúcar, safra 2015/2016. Disponível: <http://www.unica.com.br>. Acesso: 25 jan. 2016.
- Van Dillewijn, C., 1952. Botany of Sugarcane. The Chronica Botanica, Waltham.
- Victória, D.deC., 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* 11, 1-21.
- Waldheim, P.V., Carvalho, V.S.B., Correa, E., França, J.R. de A., 2006. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região Nordeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências* 29, 28-41.
- Zullo Junior, J., Assad, E.D., Pinto, H.S., 2008. Alterações devem deslocar culturas agrícolas. *Scientific American Brasil* 74, 72-77.