**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**

**Índices de aptidão e de riscos climáticos para a cultura da cana-de-
açúcar no Estado de Goiás e no Distrito Federal**

Luíza Gonçalves Santos

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra
em Ciências. Área de concentração: Engenharia de
Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2015**

Luíza Gonçalves Santos
Engenheira Agrônoma

**Índices de aptidão e de riscos climáticos para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de
Goiás e no Distrito Federal**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **LUIZ ROBERTO ANGELOCCI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra
em Ciências. Área de concentração: Engenharia de
Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Santos, Luíza Gonçalves

Índices de aptidão e de riscos climáticos para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de Goiás e no Distrito Federal / Luíza Gonçalves Santos. -- versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2015.
109 p. : il.

Dissertação (Mestrado) -- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Balanço hídrico 2. Déficit hídrico 3. Risco climático 4. Aptidão climática I. Título

CDD 633.61
S237i

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Para minha mãe,
meus irmãos,
e minhas sobrinhas:
que possa ser a inspiração para um futuro brilhante.

À minha madrinha *In Memoriam*.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Olorun e aos Orixás, pela dádiva da vida.

À minha mãe, Aparecida de Fátima, meu maior ídolo, meu maior exemplo, por todo o amor, carinho, apoio e dedicação incondicionais.

Aos meus irmãos, Victória e Renné, pelo apoio a quase mil quilômetros de distância.
Ao meu pai, Veber Brasil, pelo exemplo de devoção.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Roberto Angelocci, que me aceitou sob sua tutela e me concedeu o privilégio de participar do seu hall de orientações. Serei sempre grata pelos momentos de aprendizado que me proporcionou, tanto relacionados à climatologia em si, como os ensinamentos para a vida.

Aos professores Dr. Paulo César Sentelhas, Dr. Fábio Ricardo Marin, Dr. Felipe Gustavo Pilau, Dr. Valter Barbieri e Dra. Sônia M. de S. Piedade, pelo suporte, apoio, críticas e sugestões que fizeram, sempre de bom grado e com um sorriso no rosto.

Ao Felipe Brito, pelo carinho, paciência e apoio.

Aos Cupulários, pela companhia, momentos de ajuda e pausas para o café.

Aos meus queridos amigos: Lucas Souza, Marcos Túlio, Marco Antônio, Sharon Schievano, Francine Rossetti e Daniel Polizel.

A todos os integrantes do Grupo Vocal Luiz de Queiroz, que foram meu porto seguro em Piracicaba.

A todos os funcionários do departamento de Engenharia de Biossistemas, por todo o suporte oferecido.

Considerando que um trabalho de tal magnitude não é fruto de um esforço solitário seria inviável citar todos os envolvidos e injusto atribuir a apenas alguns nomes os agradecimentos necessários. Assim, estendo os meus agradecimentos a todos aqueles que estiveram ao meu lado nesses dois anos de estudo. Muito obrigada pelo carinho, compreensão e apoio de todos.

“You have learned much, young one.” – Darth Vader

“Much to learn, you still have.” – Master Yoda

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 A IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA CULTURA CANAVIEIRA PARA O BRASIL E REGIÃO CENTRO-OESTE.....	17
2.2 MORFOLOGIA, CICLOS E FASES FENOLÓGICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR ...	19
2.3 EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	21
2.4 TIPOS DE ZONEAMENTOS AGROCLIMÁTICOS NO BRASIL.....	23
3 METODOLOGIA	27
3.1 CARACTERIZAÇÃO E SÉRIES CLIMATOLÓGICAS DAS LOCALIDADES ESTUDADAS	28
3.1.1 CORREÇÕES DAS SÉRIES CLIMATOLÓGICAS.....	30
3.1.2 ANÁLISE DAS SÉRIES CLIMATOLÓGICAS	32
3.2 CÁLCULOS DOS BALANÇOS HÍDRICOS.....	32
3.2.1 TIPOS DE BALANÇOS HÍDRICOS UTILIZADOS	32
3.2.2 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETO)	34
3.2.2.1 CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DA CULTURA.....	37
3.3 DATAS DE SIMULAÇÃO DE PLANTIO	37
3.4 CRITÉRIOS DE DEFINIÇÃO DE APTIDÃO CLIMÁTICA (AP_{CLIMA})	38
3.5 ÍNDICE DE RISCO CLIMÁTICO (IR_{CLIMA}) E DE CULTURA ($IR_{CULTURA}$)	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1 DESEMPENHO DO MÉTODO DE MONTE CARLO	43
4.2 ANÁLISE DAS SÉRIES DE TEMPERATURA DO AR	44
4.3 ANÁLISE DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO.....	46
4.4 DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR....	47
4.3.1 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO MÉDIO.....	47
4.3.2 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO SEQUENCIAL.....	52
4.3.3 BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL DE CULTURA.....	54
4.3.4 COMPARAÇÃO ENTRE DÉFICITS HÍDRICOS OBTIDOS COM OS BALANÇOS HÍDRICOS MÉDIOS E COM OS BALANÇOS HÍDRICOS SEQUENCIAIS.....	57

4.3.5	COMPARAÇÃO ENTRE DÉFICITS HÍDRICOS OBTIDOS COM OS BALANÇOS HÍDRICOS MÉDIOS E COM OS BALANÇOS HÍDRICOS DE CULTURA	58
4.4	CORREÇÃO DOS VALORES LIMITES DE DEF COMO REFERENCIAIS PARA DELIMITAÇÃO DE CLASSES DE APTIDÃO PARA A CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL.....	59
4.5	APTIDÃO CLIMÁTICA (AP_{CLIMA}).....	62
4.6	ÍNDICE DE RISCO CLIMÁTICO (IR_{CLIMA})	67
4.7	ÍNDICE DE RISCO DE CULTURA ($IR_{CULTURA}$)	70
4.8	COMPARAÇÕES E PECULIARIDADES DOS TRÊS MÉTODOS.....	73
5	CONCLUSÕES	75
	REFERÊNCIAS	77
	ANEXOS	83

RESUMO

Índices de aptidão e de riscos climáticos para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de Goiás e no Distrito Federal

Goiás e Distrito Federal têm papel importante na cultura canavieira brasileira, da qual GO é o segundo maior produtor. Na definição de aptidão e de riscos climáticos a essa cultura, a ocorrência natural de altos déficits hídricos, como ocorre no centro-oeste do país, tem um efeito preponderante sobre a produtividade, sendo determinante na elaboração de zoneamentos agroecológicos e de riscos para a cana-de-açúcar no Brasil, com a finalidade de orientação de datas de plantio e uso de irrigação que minimizem esse efeito. Com o objetivo de aprofundar o conhecimento e aplicabilidade de índices de aptidão e de riscos climáticos, neste trabalho foram utilizadas séries climáticas de 13 localidades de GO e DF, para estimativa de três índices baseados no balanço hídrico de Thornthwaite-Mather calculado por três formas: climatológico médio e sequenciais (climatológico e de cultura), para dois tipos de solo. O índice de aptidão climática (AP_{Clima}) considerou o déficit acumulado no ciclo de plantio fornecido pelo BH sequencial climatológico e o índice de satisfação da necessidade de água (ISNA) no período crítico da cultura, simulando-se períodos de cultivo com duração de 12 meses (cana-planta), com plantios no primeiro decêndio dos bimestres do ano. Outros, dois índices de risco (IR_{Clima} ; $IR_{Cultura}$) originaram-se dos BHs sequenciais, utilizando valores acumulados de DEF para a definição de classes de aptidão (apta, marginal e inapta). Também foram utilizados fatores de ponderação e porcentagem de ocorrência das classes de aptidão, gerando-se 5 classes de risco (de muito alto a muito baixo). Na definição das classes foram usados limites de DEF em duas formas, uma, tradicionalmente usada com valores de 200mm e 400mm; e uma ajustada de acordo com valores estimados a partir de correlação dos DEF do BH médio com aqueles gerados pelos balanços sequenciais (DEF_{corr}). Os resultados mostraram a dificuldade da escolha do índice mais indicado, pois embora tenha-se o BH como base dos três, eles são usados de formas diferentes, além de haver diferenças conceituais entre os mesmos. Entretanto, duas conclusões gerais servem para os índices: a) quando comparados entre si e com mesma forma de cálculo de DEF, não foram observadas diferenças acentuadas nos índices quando se usou CAD 95 ou 125mm/m para cada um dos dois solos adotados; b) o uso de DEF_{corr} permitiu visualizar um número maior de localidades e janelas de plantio no ano em relação ao zoneamento agroecológico adotado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. O AP_{Clima} mostrou-se interessante por permitir a indicação de necessidade de irrigação, seja de salvamento ou complementar, mas mostrou-se mais rígidos que os outros nessas indicações. Os índices originários dos BHs sequenciais (IR_{Clima} e $IR_{Cultura}$) levaram a cenários mais favoráveis, com o aumento de janela de plantio com menor risco por efeito de DEF, entretanto suas avaliações não incluem os efeitos da época de sua ocorrência, podendo subestimar os resultados do período seco do ano e demandando maiores estudos. A metodologia proposta no trabalho mostrou-se bastante interessante por permitir maiores informações, consideradas importantes para o planejamento de plantio na região.

Palavras-chave: Balanço hídrico; Déficit hídrico; Risco climático; Aptidão climática

ABSTRACT

Suitability and climatic risk indices for sugarcane crop in the state of Goiás and Federal District, Brazil

The State of Goiás (GO) and Federal District (DF) have an important role in Brazilian sugarcane production, being the second largest producer in the country. In the case of risks and climate suitability to this crop, the natural occurrence of high water stress has major effect on yield, as occurs in the Midwest of the country, being decisive in the development of agro-ecological zoning and risks for sugarcane in the country. In order to understand and apply the climate suitability and risks indexes used in this study, climatic series of 13 localities of GO and DF have been utilized. Thus the Thornthwaite-Mather water balance (BH) was calculated in three ways: the normal climatological, the sequential climatological and the sequential of crop, for two types of soil. The climate suitability index (AP_{Clima}) considered the cumulative water deficit DEF (potential minus actual evapotranspiration) in the crop cycle, provided by the sequential BH climatological and water requirement satisfaction index (ISNA) in the critical period of crop, simulating up growing seasons of 12 months, with plantations in the first ten days of each bimester of the year. Other two risk indices (IR_{Clima} ; $IR_{Cultura}$) were originated from sequential BHs using accumulated DEF value to define the suitability classes. In the three indexes, both traditional limits of DEF (200mm and 400mm) as those estimated with adjusted values originated from correlation between the normal and the sequential balances (DEF_{corr}) were applied. The results showed the difficulty of choosing the best index because although they were based on the BH, there are conceptual differences between them. However, two general conclusions serve for the contents: a) when compared with each other, within the same form of DEF calculation, no pronounced differences have been observed when soil water holding capacity of 95 or 125mm/m was applied, on both types of soil; b) the use of DEF_{corr} allowed a greater number of localities and planting windows to have better indications, compared to the agro-ecological zoning adopted by the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. The AP_{Clima} proved to be an interesting index, once it indicates the use of irrigation requirement, either saving or complementary, but it has shown to be more rigorous than the other indices. The indexes originated from sequential BHs (IR_{Clima} and $IR_{Cultura}$) led to more favorable scenarios, showing a longer planting window with less risk effect of deficit, although their ratings do not include the effects of the time of its occurrence, and could underestimate the results of dry season.

Keywords: Water balance; Water deficit; Climatic risk; Climatic suitability

1 INTRODUÇÃO

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das culturas de maior importância para a economia brasileira. Com cerca de 40% da safra mundial (FAO, 2014), a produção concentra-se em duas macrorregiões de produção: centro-sul e nordeste.

No contexto nacional, a região Centro-Oeste vem aumentando a participação na produção canavieira, conforme estatísticas publicadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), com destaque para o estado de Goiás, que detém o segundo maior índice de produtividade do país na safra 2014/2015, de cerca de 77 t ha⁻¹ (CONAB, 2014a). Apesar do incremento na região, o mesmo não se observa para o Distrito Federal, que vem apresentando uma leve redução na área colhida e na produção desde a safra de 2011, mas não afetando a produtividade da região, que passou de 80 t ha⁻¹ para 89 t ha⁻¹ entre 2012 e 2013 (IBGE, 2014).

Com o intuito de selecionar regiões onde a cana-de-açúcar pudesse ser livremente cultivada, sem riscos produtivos inerentes às condições climáticas, na década de 50 iniciaram-se os estudos de zoneamento de aptidão climática no Brasil. Primeiramente realizados para o estado de São Paulo (CAMARGO, 1958, 1959; CAMARGO et al., 1976), serviram como base para o atual zoneamento agroecológico (ZAE) da cana-de-açúcar para o Brasil (MANZATO et al., 2009), utilizado como diretriz para o estabelecimento das políticas de segurança rural para a cana-de-açúcar no país pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

A falta de detalhamento de algumas particularidades metodológicas no zoneamento utilizado pelo MAPA, referentes a definição da aptidão climática, leva a crer na necessidade de uma reavaliação do mesmo, como nos critérios utilizados para o cálculo do índice de satisfação das necessidades em água (ISNA) e da deficiência hídrica anual pelo uso de modelo de balanço hídrico do solo de base climatológica (THORNTHWAITE & MATHER, 1955), assim como os graus de riscos climáticos que podem ser originados de várias datas de plantio e de colheita. Tais mudanças podem levar a relações mais específicas entre o desenvolvimento/crescimento da cana e o clima ao longo de um ano. A introdução desses aspectos citados resultaria em um zoneamento baseado em situações mais próximas da realidade da cultura canavieira no Brasil e em aprimoramento do zoneamento proposto pelo MAPA.

O presente trabalho é um estudo puramente climatológico de tentativa de aprimoramento do zoneamento agroecológico proposto pelo MAPA (MANZATTO et al., 2009), com introdução de modificações no cálculo de índices de risco climático. Tendo em vista a importância da região centro-oeste do Brasil na expansão da cultura canavieira, optou-se por estudar as propostas de modificações metodológicas em treze municípios do Estado de Goiás e no Distrito Federal. Justifica-se, portanto, a elaboração desse estudo pela hipótese de que a inserção de aspectos de deficiência hídrica relacionada à disponibilidade de água no solo, com os novos indicadores associados, permitiria o aprimoramento da metodologia, principalmente quanto ao grau de risco devido ao déficit hídrico em função de períodos de plantio no ano, levando à indicação da necessidade de irrigação demandada pelas localidades escolhidas nas duas unidades da Federação.

De forma mais específica, os objetivos são:

- Definir, com base na climatologia das regiões selecionadas e nos requerimentos térmico e hídrico da cultura, índices de aptidão climática e de risco climático para a cana-de-açúcar em função de datas de plantio, para localidades das duas unidades da Federação.
- Considerando a disponibilidade hídrica no solo como o principal fator de risco climático à cultura, verificar o efeito das diferentes formas de cálculo do balanço hídrico (médio e sequenciais) sobre os valores de déficit hídrico ao longo de um ciclo da cultura, e as consequências sobre os índices definidos.
- Discutir a aplicabilidade dos índices nas localidades escolhidas definindo para elas janelas de plantios e cotejá-las com o recomendado no zoneamento agroecológico do MAPA.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

“Um leitor vive mil vidas antes de morrer (...)

O homem que nunca lê vive apenas uma.”

George R. R. Martin

2.1 A importância socioeconômica da cultura canavieira para o Brasil e Região Centro-Oeste

Após sua inserção no solo brasileiro, pela capitania de São Vicente (região compreendida hoje por parte dos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro) no período colonial, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) migrou seu núcleo de produção para o nordeste, em engenhos de melado, açúcar e aguardente, retornando ao final do século XIX para o Estado de São Paulo (MOZAMBANI et al., 2006). Posteriormente, a cultura foi levada para o centro-sul brasileiro, com dada expansão motivada por programas de melhoramento genético e políticas de incentivo à produção de biocombustível (CASTRO et al., 2010).

A partir do início da década de 70, políticas específicas para o desenvolvimento da atividade do setor sucro-energético foram implantadas, como o Planalsucar, programa de melhoramento voltado à produção de açúcar e álcool, executado pelo antigo Instituto do Açúcar e Álcool - IAA, e o Proálcool que, em um primeiro momento, visava à produção de álcool anidro a ser adicionado à gasolina, e em seguida passou a objetivar a produção de álcool como substituto a esta. Apesar do fortalecimento da cultura no país, o Proálcool passou neste período por uma fase de latência, mesma época em que o Planalsucar foi encerrado, motivado principalmente pelo crescimento do mercado de derivados do petróleo. Dentro da política institucional destaca-se, também, a extinção do IAA. Entretanto, com a assinatura do Protocolo de Kyoto em 1988, o cenário político mundial se voltou para a produção e utilização consciente de combustíveis menos poluentes, como os biocombustíveis. Assim, surgiu para o Brasil a oportunidade da retomada do Proálcool, investindo tanto no etanol quanto no biodiesel (EMBRAPA, 2006; MICHELLON, 2008).

Nesse período, as regiões Sudeste e Sul do país já haviam se consolidado como produtoras de cana, sendo São Paulo, Minas Gerais e Paraná os estados com maior área, produção e produtividade. Os estados do Centro-Oeste brasileiro, apesar de apresentarem

considerável aptidão à cultura, se encontravam distantes do centro de decisões e da grande maioria das usinas produtoras de álcool, o que dificultava a logística e a produção. Assim, no início dos anos 2000, com a crescente pressão pela produção de biocombustíveis, foi criado o Plano Nacional de Agroenergia – PNA, o que fomentou a expansão da cultura canavieira para o Norte, Noroeste e Centro-Oeste brasileiros (CASTRO, 2010).

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) vem se consolidando no Centro-Oeste brasileiro. A área plantada com a cultura na região é crescente, aumentando em 4,4% entre os anos de 2014 e 2015, o que representa o dobro da média nacional (CONAB, 2014a). Na região, de acordo com as estatísticas nacionais de área plantada, o estado de Goiás assumiu a segunda posição nacional na produção canavieira, com 66,3 milhões de toneladas colhidas, e em área plantada, com 854,2 mil hectares, atrás apenas do estado de São Paulo (341,5 milhões de toneladas e 4.685.700 ha) (CONAB, 2014b). Constata-se, também, que o estado de Goiás apresenta o segundo maior índice de produtividade nacional de cana, com pouco mais que 77 t ha⁻¹ previstas para 2015. Contrariamente, o Distrito Federal vem apresentando diminuição de área de cultivo desde as safras 2010/2011, com decréscimo de 4,3% em 2011, 18,8% em 2012 e 37,2% em 2013, em relação às safras anteriores. Contudo, a produtividade regional seguiu crescente, passando de 74 t ha⁻¹ para 80 t ha⁻¹ e 89 t ha⁻¹ nas respectivas safras (IBGE, 2012).

Entretanto, se por um lado essa expansão inicial da cultura na região Centro-Oeste representa uma grande contribuição ao atendimento da demanda de açúcar e etanol, bem como à evolução do agronegócio no país, por outro lado é preocupante pela pressão de uso da terra, pelos aspectos de sustentabilidade ambiental e no contexto de organização do uso da terra para fins agrícolas. Para a minimização dos impactos às regiões, tem-se determinado a aptidão edafoclimática de regiões brasileiras, nos zoneamentos agroecológicos, alternativamente denominados de zoneamentos agrícolas, que ganharam projeção no Brasil a partir da década de 1970. Além de contribuir para a sustentabilidade ambiental, os zoneamentos podem ter aplicações específicas, como na política de créditos e de seguridade rural (ROSSETI, 2001), fornecimento de subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas para a expansão e produção agrícola sustentável (MANZATTO et al., 2009) e orientação técnica à comunidade envolvida na produção agrícola.

2.2 Morfologia, ciclos e fases fenológicas da cana-de-açúcar

As diferentes variedades de cana-de-açúcar atualmente cultivadas são híbridas, cuja base de melhoramento foi a *Saccharum officinarum*. Suas plantas são caracterizadas por produção em touceiras, que podem chegar a mais de 2 metros de altura. Por ser uma poácea, sua parte aérea é perfilhada e seus colmos, em forma de toletes, são utilizados no plantio. Cada perfilho, que pode chegar a cerca de 5 cm de espessura, apresenta comportamento individual, produzindo desde raízes a frutos, e mantém ligação com os outros perfilhos da touceira, realizando trocas de nutrientes quando necessário (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2008; JAMES, 2004).

O sistema radicular da planta é dividido em raízes e rizomas, formados por nós, entrenós e gemas, responsáveis pelo desenvolvimento da parte aérea. As raízes podem ser classificadas em superficiais, finas e bem ramificadas, crescendo horizontalmente a partir dos toletes; de sustentação, mais grossas que crescem em profundidade até cerca de 1,5m; e de cordão, formadas pela aglomeração de raízes verticais, atingindo maior profundidade (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2008). Apesar de existirem registros de raízes com mais de 6 metros de profundidade, 90% do volume radicular da cana-de-açúcar está distribuída em seus primeiros 90 cm, sendo que destes, a maior parte se localiza nos 30 centímetros superficiais do solo (INFORZATO; ALVAREZ, 1957; ANTWERPEN, 1999; FARONI, 2004; BUSO et al., 2009; VASCONCELOS; DINARDO-MIRANDA, 2011).

A cana-de-açúcar apresenta duas denominações ao longo dos ciclos: cana-planta, quando oriunda de mudas, e cana-soca, quando, a partir do segundo ano da cultura em campo, os colmos são gerados de rebrota. O período compreendido entre o plantio e o primeiro corte da cultura pode variar, de acordo com o local e o manejo empregado, estabilizando a partir do segundo ano. Essa variação, classifica a cana-planta em cana de ano (cujo primeiro corte é feito após 12 meses, em média) e cana de ano e meio (com duração entre o plantio e o primeiro corte variando em torno de 18 meses) (Figura 1). Para a cana-soca, os cortes são realizados a cada 12 meses (MARIN et al., 2009), podendo haver uma antecipação ou postergação destes em função do manejo local. De acordo com Castro (1999 apud SCARPARI, 2011), na região Centro-Oeste o plantio da cana é realizado tradicionalmente em dois períodos distintos: o primeiro, em setembro e outubro, coincide com início da estação chuvosa da região, sendo destinado ao plantio da cana de ano, e o segundo, de janeiro a março, é destinado ao plantio de cana de ano e meio. As relações entre os subperíodos fenológicos, a temperatura do ar e a pluviosidade para o plantio da cana de ano e de ano e meio mostradas na Figura 2.

Figura 1 - Diagrama esquemático diferenciando a duração, ao longo dos meses, das fases fenológicas entre cana de ano (I) e cana de ano e meio (II). Fonte: adaptado de Evangelista (2011)

Em relação ao processo de desenvolvimento da planta, tanto a cana-planta quanto a soca apresentam comportamento semelhante, ressaltando as respectivas durações de ciclo, variando na cana-soca quanto ao tipo de enraizamento e velocidade de brotação. As maiores diferenças se encontram, entretanto, quanto aos aspectos econômicos e nutricionais, uma vez que a cana-soca apresenta redução na produtividade, na fertilidade do solo e na eficiência da utilização de fertilizantes aplicados (MARIN et al., 2009).

Figura 2 - Relações entre os ciclos da cana-de-açúcar (plantio de ano e de ano e meio) e variações na temperatura e pluviosidade na região Centro-Sul do Brasil
Fonte: Castro (1999 apud SCARPARE, 2011)

A duração das fases fenológicas da cultura (Tabela 1) varia de acordo com as variedades usadas e condições climáticas prevalentes no ciclo. Utilizando diferentes variedades, e distintas tecnologias disponíveis no mercado atualmente, pode-se realizar o manejo da plantação de forma que ocorra colheita na maior parte do ano. No caso da cana-soca, a data de rebrota e até mesmo a possibilidade de que ela ocorra sob condições de sequeiro, depende principalmente da disponibilidade hídrica em função do regime de chuvas (MARIN et al., 2009).

Tabela 1 - Tempo médio dos subperíodos fenológicos da cana-de-açúcar.

Subperíodo	Emergência	Estabelecimento	Desenvolvimento da Cultura	Maturação
Eventos	Germinação e Emergência	Perfilhamento e Estabelecimento	Elongação do colmo; Crescimento Intenso; Início do Acúmulo de Sacarose	Intenso acúmulo de Sacarose
Duração	30 a 60 dias	60 a 90 dias	180 a 210 dias	60 a 90 dias

(Fonte: MARIN et al., 2009)

2.3 Exigências climáticas da cana-de-açúcar

O potencial produtivo da cana-de-açúcar está diretamente associado à variação térmica durante o seu ciclo. No subperíodo vegetativo, a temperatura do ar deve estar entre 22°C e 30°C (BARBIERI et al., 1979). Para Marin et al. (2009) acerca da temperatura do solo para brotação, o ótimo se encontra em 32°C. Em relação ao ciclo total da cultura, a faixa térmica ótima para o desenvolvimento varia de 20 a 30°C. Para Barbieri et al. (1979) temperatura do ar inferior a 20°C pode reduzir o crescimento da cultura, ou mesmo paralisá-lo ao atingir 10°C. Para Fauconier e Bassereau (1970) o desenvolvimento é impedido com temperaturas abaixo de 16°C.

Quanto às necessidades hídricas, o total demandado pela cultura durante todo ciclo varia de 1500 a 2500 mm (RUDORFF; BATISTA, 1988; JOAQUIM, 1998; EVANGELISTA, 2011). Marin et al. (2009) destacam que a exigência hídrica da cultura, em função das condições de cultivo, pode ter seu valor alterado devido ao método de cálculo utilizado para quantificação, uma vez que metodologias que utilizem aproximações teóricas podem apresentar divergências significativas entre si, dada à sensibilidade das diversas componentes das equações, e frente às metodologias que aplicam medições em campo. Diversos estudos comparando diferentes métodos de cálculo de evapotranspiração de referência, mostram que a depender do regime

hídrico anual de cada localidade, um mesmo método pode se mostrar mais ou menos eficiente, podendo, inclusive, essa variação ocorrer em um único local (CAMARGO & SENTELHAS, 1997; MENDONÇA et al, 2003; VESCOVE & TURCO, 2005; CARVALHO et al, 2011).

Entretanto, para um bom desenvolvimento da cultura, independente do volume hídrico demandado, é importante que a necessidade hídrica seja satisfeita, ou seja, que o déficit hídrico seja tal que a penalização para a cultura seja mínima. Durante a execução do zoneamento agroecológico (ZAE) da cana-de-açúcar para o Brasil (MANZATTO et al., 2009), regiões com déficits anuais menores que 200 mm, estimados a partir do balanço hídrico do solo pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), com capacidade de água disponível de 125mm, foram consideradas plenamente aptas ao cultivo da cana sob o ponto de vista hídrico; regiões com déficits variando entre 200 e 400 mm foram consideradas aptas mas com recomendação de irrigação de salvamento; e regiões com déficit anual maior que 400 mm indicadas ao plantio somente com irrigação intensiva. Esses valores limites de déficit foram empregados primeiramente no zoneamento da cana para o Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 1974), no qual se utilizou o balanço hídrico climatológico médio mensal com CAD de 125mm para definir as aptidões da cultura para o Estado. Entretanto há de se ressaltar que a definição das faixas de déficit hídrico acima citadas foi feita por meio de análise dos balanços hídricos em regiões de origem e de adaptação da cana-de-açúcar no mundo.

Uma variável importante no balanço hídrico das culturas é sua evapotranspiração. O coeficiente de cultura (k_c) é definido como um coeficiente de correção para o cálculo da evapotranspiração da cultura a partir da evapotranspiração de referência (PEREIRA et al., 2002), sendo definido como a razão entre a evapotranspiração máxima da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o). Os valores de k_c estão relacionados à área foliar de cada cultura, o que os torna variáveis de acordo com a fase fenológica, como mostram as faixas de valores propostos no Boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998), e por Doorenbos e Kassam (1979). Entretanto, esses são valores indicativos, podendo a distribuição ao longo do ciclo variar em função das características de cultivo. Monteiro (2012) propõe uma adaptação na qual o k_c foi relacionado à porcentagem de cobertura do terreno pela folhagem, com dois últimos estádios caracterizados pela senescência e maturação. Evangelista (2011) sugere valores decendiais de k_c para o ambiente de Cerrado (Goiás e Distrito Federal) variando entre 0,1 e 1,5, onde as maiores demandas hídricas da cultura coincidem com os períodos de maior volume de precipitação da região. Por sua vez, Barbieri e Silva (2012) estabeleceram duas equações descrevendo o k_c em função do acúmulo de graus-dia para cana-planta e cana-soca,

possibilitando uma análise onde a variação do coeficiente está diretamente relacionada com às condições térmicas e à duração do ciclo da planta para essas condições.

2.4 Tipos de zoneamentos agroclimáticos no Brasil

Originalmente, denomina-se de zoneamento agrícola a delimitação de regiões (“zonas”) com características edafoclimáticas e socioeconômicas adequadas para o desenvolvimento de uma cultura em determinada área geopolítica. No caso das condições edafoclimáticas, são identificadas faixas com condições de favorabilidade em diferentes graus de clima e solos. Desde a instauração dos estudos de aptidão climática para as várias culturas produzidas no Brasil, pioneiramente realizados para o estado de São Paulo (CAMARGO, 1958, 1959; CAMARGO; ORTOLANI, 1962; CAMARGO et al., 1976), essa modalidade de análise recebeu destaque devido à sua importância socioeconômica no cenário nacional. Tais trabalhos têm sido denominados de “zoneamento agrícola”, “zoneamento agroecológico”, “zoneamento edafoclimático” ou, simplesmente, “zoneamento agroclimático”.

Os estudos originais realizados pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em São Paulo, culminaram num trabalho com dezenas de culturas de interesse agrônomo para o Estado, denominado genericamente de “Zoneamento Agrícola” (SÃO PAULO, 1974, 1977), que compuseram uma classificação de aptidão denominada de “ecológica”, na qual estava incluída, também, a classificação dos solos por sua classe de capacidade de uso. A parte de aptidão climática foi definida com base em variáveis fornecidas por balanços hídricos segundo o modelo de Thornthwaite e Mather (1955) e de temperatura média do ar, além de, para algumas culturas, terem sido utilizados dados de umidade do ar, em vista do interesse desta para doenças de plantas. Além do aspecto descritivo, a apresentação dos resultados foi feita pelo uso de mapas.

Por sua vez, os estudos de aptidão climática utilizam valores médios de temperatura do ar e parâmetros derivados do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955), como deficiência, excedente e índices hídricos, anuais, mensais ou sazonais, dependendo da cultura, cotejados com as exigências térmicas e hídricas de cada uma, encontradas na literatura e/ou baseados no conhecimento técnico e de especialistas de cultivos potenciais nas regiões do mundo. Nos trabalhos da década de 70, foram utilizados valores médios constantes de capacidade de água disponível (ou “armazenamento máximo”) do solo, mas posteriormente

passaram a ser usados valores variáveis de CAD, de acordo com a cultura. Zoneamentos com divisão dos anos por cenários de água no solo (anos úmidos, secos e regulares em relação à média), têm sido usados. Com a evolução da computação gráfica, técnicas modernas têm sido aplicadas na obtenção dos melhores modelos de mapas georreferenciados.

Para a cana-de-açúcar, zoneamentos desse tipo, com objetivo de definir a aptidão climática de regiões à cultura, com base em dados médios ou normais, foram realizados para o estado de São Paulo (CAMARGO; ORTOLANI, 1964; SÃO PAULO, 1974, 1977), para o estado de Minas Gerais na década de 60 (GEOMINAS, 2009) e mais recentemente (ALMEIDA et al., 2013), para o estado de Santa Catarina (IDE et al., 1980; MOTA et al., 1974)), para o Rio Grande do Sul (MOTA et al., 1974) ou em regiões mais específicas, como a sub-bacia do alto e médio São Francisco em Minas Gerais (CECÍLIO et al., 2003);

Uma abordagem diferente quanto ao zoneamento de culturas tem sido usada para quantificar o risco de perda de produtividade das lavouras. Baseadas no histórico de ocorrências de eventos climáticos adversos, como ocorrência de déficits hídricos, essas metodologias possibilitam, através das séries climatológicas históricas, identificar melhores épocas de plantio em cada localidade (BRASIL, 2014). Desde 1995, tais zoneamentos são utilizados pelo Governo Federal como ferramenta orientadora para o contrato de programas de plantio e de pagamento das apólices de seguro agrícola (MARIN, 2007). A cada ano as portarias referentes aos zoneamentos de riscos das diferentes culturas são publicadas de forma a oferecer os subsídios para as contratações do seguro agrícola para a safra vigente (BRASIL, 2014). Entretanto, em 2009 houve a publicação de um decreto federal, que teve como base o trabalho de Manzatto et al. (2009), direcionando o zoneamento para o estabelecimento de condições e critérios para a liberação de crédito rural e agroindustrial na produção e industrialização da cana-de-açúcar. O decreto deu origem a 23 portarias, em 2010, que não passaram por modificações desde então.

Nesse zoneamento da cultura canavieira, objetivando o ordenamento da sua expansão e no qual se incluiu, entre vários outros, o estado de Goiás e o Distrito Federal, foram classificadas áreas quanto à aptidão edafoclimática para a cultura, tendo sido dele excluídas áreas por uma série de critérios associados à vulnerabilidade, importância ambiental e sociológica das terras.

No trabalho, Manzatto et al. (2009) classificam os municípios de 21 estados e o DF, com indicação de cinco tipos de aptidão à cana-de-açúcar em função das características climáticas locais, definindo essas aptidões com base em séries climáticas históricas. Pelo uso dos dados climáticos relacionados à temperatura do ar, déficit hídrico no solo, índice de satisfação da necessidade de água (ISNA) e risco de geada, as áreas foram identificadas em

aptas ou inaptas. Nas aptas, o risco foi classificado como baixo, em regiões que não apresentam limitação térmica ou hídrica à cultura; e de baixo risco mas com irrigação de salvamento, onde os déficits hídricos anuais situam-se entre 200 e 400 mm, o que restringe o desenvolvimento da cultura. As regiões inaptas foram definidas por carência térmica ou alto risco de geada, por temperatura média anual abaixo de 19°C ou risco de geada maior que 20%; por necessitar irrigação intensiva imprescindivelmente, devido aos déficits hídricos anuais superiores a 400mm ou, também, por excesso d'água, sendo o período de seca menor que 3 meses ao ano.

Outro tipo de metodologia usada, também definindo um índice de risco climático ao cultivo, em relação às diferentes datas de plantio, é proposto por Yamada (2014) aplicando a deficiência hídrica acumulada, definida a partir de um balanço hídrico sequencial. Neste tipo de estudo é possível se identificar o risco da produção de acordo com as características climatológicas da região, de forma mais simples que os modelos anteriormente mencionados. A autora realizou um estudo de caso, utilizando esta metodologia para pinhão manso (*Jathropa curcas L.*), e obteve resultados que validaram as simulações para zoneamento da cultura realizadas por meio de dados normais.

Ressalta-se também a publicação de outros estudos sobre a potencialidade ou o risco de perda de produção para diversas regiões do país, com maior complexidade que a usada nos estudos já citados, utilizando modelos matemáticos de simulação de crescimento, como o FAO-MZA (MONTEIRO; SENTELHAS, 2013). Além desse, outros modelos para a cana-de-açúcar são utilizados e aperfeiçoados frequentemente, como o Auscane (JONES et al., 1989), o CSM-Canegro (INMAN-BAMBER, 1991; JONES; SINGELS, 2008), o Qcane (LIU; KINGSTON, 1995), o Apsim-Sugar (KEATING et al., 1999) e o Casupro (VILLEGAS et al., 2005). Os modelos trabalham com a inclusão de dados de cultura, solo e climatologia, e seus resultados vão de déficits hídricos às produtividades potenciais e atingíveis. Vianna e Vianna & Sentelhas (2014a, 2014b, 2015) trabalharam com o modelo CSM-Canegro, utilizando parâmetros de cultivar (fenologia, população de colmos, cobertura do dossel e frações de partição de biomassa), solo (características físico-hídricas e químicas) e clima (precipitação, temperatura máxima e mínima e insolação) de 30 localidades de 17 estados do Brasil, sendo 3 localidades de Goiás, e encontrou resultados indicando que Pernambuco possui, dentre as regiões estudadas, o maior (Petrolina) e o menor (Recife) risco climático.

3 METODOLOGIA

“Tudo o que acontece, acontece.

Tudo o que, ao acontecer,

faz com que outra coisa aconteça,

faz com que outra coisa aconteça.

Tudo o que, ao acontecer, faz com que ela mesma

aconteça de novo, acontece de novo.

Isso, contudo, não acontece necessariamente

em ordem cronológica.”

Douglas Adams

Para o estudo da aptidão e dos riscos climáticos da cana-de-açúcar, foram selecionadas 13 estações meteorológicas, distribuídas pelo estado de Goiás e Distrito Federal, com séries climatológicas extensas, consideradas como representativas das condições de clima dos municípios em que se inserem. O fluxograma da metodologia empregada pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma da metodologia utilizada no estudo.

Após a fase de análise de consistência dos dados, onde foram excluídos valores inconsistentes e preenchidas as falhas, procedeu-se o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) diária pelo método de Penman-Monteith, parametrizado de acordo com o proposto no

Boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998). Com os dados de ETo e de precipitação, foram calculados três tipos de balanço hídrico, sendo eles o médio climatológico, o climatológico sequencial e o sequencial de cultura, os quais foram utilizados na obtenção dos índices de risco e da aptidão climática para a cultura da cana-de-açúcar.

3.1 Caracterização e séries climatológicas das localidades estudadas

Goiás e o Distrito Federal caracterizam-se por apresentarem dois tipos principais de clima, segundo a classificação de KOEPPEN (ALVARES et al., 2013): o tropical chuvoso de savana (Aw) na região norte do Estado, e o temperado chuvoso quente (Cw), também denominado de tropical de altitude, na região sul de Goiás, sendo que numa pequena região limítrofe ao estado de Mato Grosso do Sul ocorre o tropical monçônico (Am). Os dois primeiros apresentam um período chuvoso de outubro a março, no qual se concentra cerca de 85% da altura pluviométrica anual, e outro de estiagem de abril a setembro. O período chuvoso é mais quente, com médias de temperatura máxima e mínima de 29,5° C e 19,4°C. Para o período de estiagem as médias são de 29,5°C e 16,0°C. As alturas pluviométricas respectivas referentes às normais climatológicas para cada período (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET, 2009) são de 1352,4 e 233,7mm.

Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos das redes de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (Tabela 2). Apenas duas estações possuíam série de dados com menos de 30 anos (Itumbiara: 17 anos e Santo Antônio de Goiás: 28 anos). Uma vez que não se trabalhou com comparação entre as estações, optou-se por utilizar estas séries de tamanhos distintos, em preterimento à uniformização da extensão temporal das mesmas, pois com a utilização de séries tão longas quanto possíveis obter-se-iam resultados mais precisos no tocante ao comportamento da aptidão e/ou risco climático de cada localidade. Assim, trabalhou-se com 13 localidades espacialmente distribuídas entre o sul, centro-oeste, sudeste e nordeste goiano (Figura 4).

Das estações selecionadas foram utilizados os dados de temperatura (máxima e mínima, $T_{\text{máx}}$ e $T_{\text{mín}}$, respectivamente), precipitação pluviométrica (P), umidade relativa (UR) e velocidade do vento (a 10 metros de altura, convertida para 2 metros, U2). A maioria das estações apresentava, também, dados de radiação solar global (Rg).

Tabela 2 - Estações meteorológicas/localidades do estado de Goiás e Distrito Federal

Localidade	Oper.	SIGLA	Lat. S (°)	Long. W (°)	Alt. (m)	Período e Extensão da série (anos)
Posse (GO)	INMET	POS	14,10	46,37	825	1975 – 2009 (35)
Formosa (GO)		FOR	15,53	47,33	935	1961 – 2009 (49)
Pirenópolis (GO)		PIR	15,85	48,97	740	1977 – 2009 (33)
Aragarças (GO)		ARA	15,90	52,23	345	1970 – 2009 (40)
Goiás (GO)		GOI	15,92	50,13	512	1961 – 2009 (49)
Goiânia (GO)		GYN	16,70	49,25	741	1961 – 2009 (49)
Ipameri (GO)		IPA	17,72	48,17	773	1977 – 2009 (33)
Rio Verde (GO)		RIO	17,80	50,92	774	1971 – 2009 (39)
Jataí (GO)		JTI	17,88	51,72	663	1978 – 2009 (32)
Catalão (GO)		CAT	18,18	47,95	840	1961 – 2009 (49)
Itumbiara (GO)		ITU	18,42	49,22	449	1993 – 2009 (17)
Embrapa Arroz e Feijão – Sto. Antônio de Goiás (GO)	Embrapa	CNPAF	16,47	49,28	823	1983 – 2010 (28)
Embrapa Cerrados – Planaltina (DF)		CPAC	15,58	47,70	1000	1974 – 2012 (39)

Figura 4 – Distribuição geográfica dos municípios/estações meteorológicas no Estado de Goiás e Distrito Federal

3.1.1 Correções das séries climatológicas

Previamente ao uso dos dados meteorológicos, procedeu-se ao preenchimento das falhas presentes. Não foram realizadas correções dos dados das estações operadas pela Embrapa, cujas séries obtidas eram completas. Na complementação de dados faltantes foi utilizado o Método de Monte Carlo (CASHWELL; EVERETT, 1959), que consiste na “construção de um modelo probabilístico para processos reais que estima certas características médias, como esperança, variâncias e covariâncias” (ROSS; MARSHAK, 1991). O método usado no preenchimento das falhas pode ser simplificado em três etapas:

1^a) Para cada variável meteorológica estudada e para cada mês, realizou-se um estudo de distribuições estatísticas, com seleção da que melhor se aderiria aos dados originais. Para tanto foi utilizado o software EasyFit 5.5 professional, que analisa 65 distribuições distintas e realiza três testes de aderência. Dentre os três testes, foram utilizados dois, Kolmogorov-Smirnov e Chi-quadrado, sendo que o primeiro foi utilizado na grande maioria dos casos. O teste de aderência de Chi-quadrado foi utilizado em duas situações distintas, porém não isoladas:

a) quando as distribuições indicadas pelo teste Kolmogorov-Smirnov não haviam sido indicadas para nenhum dos outros 11 meses e/ou

b) quando as distribuições indicadas já haviam sido apresentadas nos estudos dos meses de alguma das outras estações, mas, no caso da série em questão, nunca houvesse ficado entre as 15 que melhor se aderiram aos dados. Foi dada, portanto, preferência ao teste de Kolmogorov-Smirnov, que acabou sendo usado em 90% dos casos.

2^a) Combinação de um gerador de dados aleatórios com o inverso das respectivas distribuições selecionadas na primeira etapa. Neste caso foi utilizada a função aleatória do Excel, que define valores de 0 a 1 seguindo programação pré-determinada. As séries de probabilidades foram estipuladas para possuir o mesmo comprimento das séries originais.

3^a) A partir dessa combinação estimou-se os valores diários faltantes de cada variável, considerando as distribuições correspondentes de cada mês do ano.

Dessa forma, foram simulados valores para as cinco variáveis utilizadas. Cada série foi trabalhada mensalmente, ou seja, os meses foram rearranjados para formarem doze novas

séries. Assim, para cada local foram designadas até doze funções de distribuição distintas para cada variável estudada. Destaca-se a delimitação de valores máximos e/ou mínimos para as séries. Considerando que as funções obtidas a partir da determinação das distribuições apresentavam, de forma geral, um máximo e/ou mínimo simulados que tendiam a valores que fugiam da realidade, determinou-se que estes não poderiam ultrapassar os máximos e mínimos mensais observados nas séries, procedendo, então, a correção destes dados. Essa correção de limites ocorreu de três formas:

- Precipitação e Velocidade do vento:

- a. Valores menores que o mínimo absoluto mensal da estação: assumiu-se 0;
- b. Valores maiores que o máximo absoluto mensal da estação: assumiu-se valor igual a 90% do estimado; caso este continuasse maior que o máximo o valor assumido seria o de 50% do estimado;

- Temperatura máxima e mínima:

- a. Valores menores que o mínimo absoluto mensal da estação: assumiu-se valor igual a 110% do estimado; caso este continuasse menor que o mínimo o valor assumido seria de 150% do estimado;
- b. Valores maiores que o máximo absoluto mensal da estação: assumiu-se valor igual a 90% do estimado; caso este continuasse maior que o máximo o valor assumido seria o de 50% do estimado;
- c. Caso, após as correções, o valor diário de temperatura máxima fosse menor que o de temperatura mínima, o valor simulado era recalculado pela média dos três dias subsequentes.

- Umidade relativa:

- a. Valores menores que o mínimo absoluto mensal da estação: assumiu-se valor igual a 110% do estimado; caso este continuasse menor que o mínimo o valor assumido seria de 150% do estimado;
- b. Valores maiores que o máximo absoluto mensal da estação: assumiu-se valor igual a 90% do estimado; caso este continuasse maior que o máximo o valor assumido seria o de 50% do estimado;

É importante frisar que os valores obtidos acima ou abaixo dos de corte e os valores trocados de temperatura não ultrapassaram 0,01% dos totais de observações obtidos nas séries simuladas. Os máximos e mínimos das estações podem ser observados nos Anexos C a O.

3.1.2 Análise das séries climatológicas

A fim de se compreender melhor as possíveis variações de resultados entre as estações, optou-se por realizar uma análise temporal das temperaturas máxima e mínima e de precipitação acumulada de modo a identificar o comportamento das mesmas no decorrer dos anos. Para tanto, foi realizada a correlação entre as médias anuais de cada variável e o tempo, para cada uma das 13 localidades estudadas.

3.2 Cálculos dos Balanços Hídricos

3.2.1 Tipos de balanços hídricos utilizados

Com base no modelo de Thornthwaite e Mather (1955) (PEREIRA et al., 2002), foram calculados o BH climatológico médio mensal, o BH climatológico sequencial, em regime decendial, e por fim o BH sequencial de cultura, utilizando planilhas desenvolvidas em Excel.

Para realizar o BH sequencial de cultura foi adotado um ciclo da cana de 365 dias. Os coeficientes de cultura (kc) propostos por Doorenbos e Kassam (1994 apud MARIN, 2009) foram utilizados.

Para os cálculos dos BHs foram selecionados valores de CAD para os tipos de solos mais representativos para as duas unidades da federação, para cada município, de acordo com o mapeamento realizado por Evangelista (2011) (Figura 5), baseado no trabalho de Lopes-Assad et al. (2007), conforme a descrição a seguir:

- Solos Tipo 0: capacidade muito baixa de retenção de água ($CAD < 40 \text{ mm/m}$);
- Solos Tipo 1: capacidade baixa de retenção de água ($40 \text{ mm/m} < CAD < 70 \text{ mm/m}$);
- Solos Tipo 2: capacidade média de retenção de água ($70 \text{ mm/m} < CAD < 100 \text{ mm/m}$);
- Solos Tipo 3: capacidade alta de retenção de água ($CAD > 100 \text{ mm/m de solo}$).

Figura 5 - Tipos de solos do estado de Goiás Distrito Federal de acordo com a variação da CAD
 Fonte: Evangelista (2011)

Nas regiões selecionadas, a grande predominância são os solos tipos 2 e 3 (Figura 5). O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em seu zoneamento de risco para a cana-de-açúcar no Goiás e Distrito Federal, cita que em referidas áreas os tipos de solo 1, 2 e 3 são aptos ao plantio da cultura, apesar de não distinguir os solos de cada região. Assim, optou-se por trabalhar com os tipos de solo 2 e 3 (Tabela 3) para cada região, com adoção de valores efetivos de CAD de 95 mm e 125 mm. Ao se utilizar o solo do Cerrado como objeto de estudo, é necessário considerar que a maior limitação para a captação hídrica da planta ocorre pelo não-crescimento radicular, motivado pela toxidez de alumínio no solo. Durante a implantação de qualquer cultura na região, é feito o preparo do solo de forma a se corrigir o teor de alumínio no mesmo. Assim, esse fator não foi considerado no estudo. Ao se excluir tal fator, percebe-se que mesmo para um solo com taxas médias de retenção de água, o Latossolo (predominante na região) apresenta valores elevados de umidade (ANDRADE & STONE, 2011), o que motivou a escolha da CAD de 95mm/m para solo tipo 2. Para a outra classe de

solo, a CAD de 125mm/m foi mantida para que fosse possível realizar comparações com o atual zoneamento para a cana-de-açúcar, que utiliza valores de DEF definidores de classes de aptidão obtidos em estudos com igual CAD. Considerando que 90% do volume radicular da cana-de-açúcar está nos primeiros 90 cm de solo (INFORZATO; ALVAREZ, 1957; ANTWERPEN, 1999; FARONI, 2004; BUSO et al., 2009; VASCONCELOS; DINARDO-MIRANDA, 2011), optou-se por trabalhar com um metro de profundidade de solo, utilizando, então, CADs de 95 e 125 mm.

Tabela 3 - Tipos de solo para cada localidade estudada com base na predominância apontada por Evangelista (2011)

Local	Sigla	Tipo de solo
Posse (GO)	POS	2 e 3
Formosa (GO)	FOR	3
Pirenópolis (GO)	PIR	2 e 3
Aragarças (GO)	ARA	2
Goiás (GO)	GOI	2 e 3
Goiânia (GO)	GYN	3
Ipameri (GO)	IPA	2 e 3
Rio Verde (GO)	RIO	2 e 3
Jataí (GO)	JTI	2 e 3
Catalão (GO)	CAT	2 e 3
Itumbiara (GO)	ITU	3
Embrapa Arroz e Feijão – Sto. Antônio de Goiás (GO)	CNPAF	3
Embrapa Cerrados – Planaltina (DF)	CPAC	3

3.2.2 Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

A evapotranspiração de referência ET_o (mm dia⁻¹) foi calculada a partir da equação de Penman-Monteith (FAO-56) (ALLEN et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408s(Rn-G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T + 273}}{s + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad (3.2.1)$$

em que R_n é a radiação líquida (ou saldo de radiação, em MJ.m⁻².d⁻¹) e G é o fluxo líquido de calor no solo (MJ.m⁻².d⁻¹), e_s-e_a é o déficit médio diário de pressão de vapor (kPa), T é a temperatura média diária do ar (°C), U₂ é a velocidade média diária do vento (m.s⁻¹) a 2 m acima da superfície evaporante (gramado), γ é a constante psicrométrica (0,063 kPa.°C⁻¹) e s é

o valor da declividade da curva que relaciona a pressão saturante de vapor com a temperatura do ar, valor esse adotado para a temperatura média do ar no dia.

A radiação líquida diária (R_n) foi estimada a partir do balanço de ondas curtas (BOC) e de ondas longas (BOL) pela equação 3.2.2:

$$R_n = BOC + BOL \quad (3.2.2)$$

sendo BOC expresso em $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$, cuja fórmula é expressa por:

$$BOC = (1 - r)R_s \quad (3.2.3)$$

de forma que r representa o coeficiente de reflexão da superfície, adotada como valor de referência igual a 0,23 (PEREIRA et al., 2002). Por sua vez, a radiação solar global (R_s , $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$), foi obtida através do método empírico descrito por Hargreaves (1983 apud ALLEN et al., 1998):

$$R_s = k_{Rs} \sqrt{(T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})} \cdot R_a \quad (3.2.4)$$

em que k_{Rs} corresponde a um coeficiente de ajuste, que varia de $0,16^\circ\text{C}^{-0,5}$ (loais interioranos, onde não há influência de grandes massas d'água) a $0,19^\circ\text{C}^{-0,5}$ (loais costeiros, ou onde há influência direta de grandes massas d'água), sendo adotado neste estudo o valor $0,16^\circ\text{C}^{-0,5}$. R_a , por sua vez, corresponde a radiação no topo da atmosfera (em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$), e foi obtida por:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [w_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(w_s)] \quad (3.2.5)$$

sendo G_{sc} uma constante solar ($0,0820 \text{ MJm}^{-2}\text{min}^{-1}$), d_r corresponde ao inverso da distância relativa entre o Sol e a Terra (em Unidade Astronômica ou UA) no dia considerado, w_s é o ângulo horário, φ simboliza a latitude do local em estudo e δ a declinação solar, estes quatro últimos em radianos.

Por sua vez, o BOL ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$), foi estimado para ambientes de clima seco:

$$BOL = \left\{ 4,903 \cdot 10^{-9} \left[\frac{(T_{m\acute{a}x} + 273,16)^4 + (T_{m\acute{i}n} + 273,16)^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(0,1 + 0,9 \frac{R_s}{R_{so}} \right) \right\} \quad (3.2.6)$$

em que e_a é a pressão parcial de vapor (kPa, explicada a seguir), e R_{so} representa a radiação solar com o céu limpo:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z) R_a \quad (3.2.7)$$

sendo z a altitude da estação, em metros.

O fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) foi assumido como negligível (zero) na escala diária. A velocidade do vento a 2m (m s^{-1}) foi estimada como equivalente a 75% do valor da velocidade medida a 10m de altura em posto meteorológico. A temperatura média diária do ar foi calculada pela média das temperaturas extremas do dia. Para o cálculo do valor médio diário da pressão de saturação de vapor (e_s) e da pressão parcial de vapor (e_a), ambas em kPa, foram usadas as três expressões seguintes:

$$e_{s_{m\acute{a}x}} = 0,6108 \cdot 10^{\frac{7,5T_{m\acute{a}x}}{237,3+T_{m\acute{a}x}}} \quad (3.2.8)$$

$$e_{s_{m\acute{i}n}} = 0,6108 \cdot 10^{\frac{7,5T_{m\acute{i}n}}{237,3+T_{m\acute{i}n}}} \quad (3.2.9)$$

$$e_s = \frac{e_{s_{m\acute{a}x}} + e_{s_{m\acute{i}n}}}{2} \quad (3.2.10)$$

$$e_a = \frac{e_s \cdot UR}{100} \quad (3.2.11)$$

A declividade da curva de pressão de vapor na temperatura do ar foi obtida por:

$$S = \frac{4098e_s}{(T+237,3)^2} \quad (3.2.12)$$

3.2.2.1 Cálculo da evapotranspiração máxima da cultura

Após a obtenção das médias decendiais dos valores diários de ET_o , procederam-se os cálculos da evapotranspiração máxima da cultura (ET_c , mm dia^{-1}), na mesma escala temporal, pelo uso do coeficiente de cultura:

$$ET_c = ET_o \cdot k_c \quad (3.2.13)$$

Os valores de coeficiente de cultura (k_c) foram adaptados a partir dos valores propostos por Doorenbos e Kassam (1994 apud MARIN, 2009), de acordo com a duração do ciclo da cultura (Figura 6). Um ciclo fixo, de trinta e seis decêndios (períodos de dez dias) até a maturação, totalizando um ano, foi adotado (Evangelista, 2001).

Figura 6 - Coeficientes de cultura utilizados. Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994 apud MARIN, 2009)

3.3 Datas de simulação de plantio

O zoneamento publicado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) recomenda o período entre 11 de outubro e 31 de março para o plantio da cana em Goiás. Para o Distrito Federal o período recomendado para o plantio vai de 21 de outubro a 10 de março (Portarias 247 de 9 de agosto de 2010, e 241 de 10 de agosto de 2010, BRASIL,

2010a, 2010b). Entretanto, optou-se por expandir o período de estudo ao ano todo, com simulações bimestrais de plantio. As datas objetivam a identificação das melhores épocas de plantio, caracterizadas por ciclos em função da faixa de valores de déficit hídrico, assumindo-se as datas de simulação da Tabela 4, na qual é indicada uma data média aproximada, representativa do meio do decêndio.

Tabela 4 - Datas de simulação de plantio adotadas e respectivos decêndios no ano

Data média de plantio	Decêndio
05 de janeiro	1
05 de março	7
05 de maio	13
05 de julho	19
05 de setembro	25
05 de novembro	31

3.4 Critérios de definição de aptidão climática (AP_{Clima})

A cultura da cana-de-açúcar apresenta três principais restrições de ordem climática, relacionadas à temperatura do ar, à deficiência hídrica e à ocorrência de geadas (MANZATTO et al., 2009). Quanto às geadas, sua formação é caracterizada, sob o ponto de vista macrometeorológico, por temperaturas abaixo de 2°C em abrigo, e para uma região ser classificada como inapta devido a esse quesito, a probabilidade de ocorrência de geada deve ser superior a 20%.

Manzatto et al. (2009) citam limites anuais de déficit hídrico (DEF) calculado a partir do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955) para CAD de 125 mm, que caracterizam as faixas de aptidão plena ($DEF < 200$ mm), aptidão com indicação de irrigação complementar ($200 \leq DEF \leq 400$) e regiões com irrigação imprescindível ($DEF > 400$ mm). Uma descrição mais detalhada dessa metodologia cita que tais referenciais foram obtidos de Alfonsi et al. (1987 apud CNPTIA, [s.d]).

Para definição dos novos valores limites de DEF, por faixa de aptidão, foram correlacionados os valores médios dos déficits anuais obtidos a partir dos balanços sequenciais e o déficit climatológico obtido a partir do balanço hídrico médio.

O Índice de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA), média anual dos dados diários, do período crítico da cultura foi também empregado para a definição de aptidão climática. O índice é obtido a partir da relação entre a evapotranspiração real da cultura e sua evapotranspiração máxima de um determinado período:

$$ISNA = ETR/ETM \quad (3.4.1)$$

Assim, o ISNA varia de 0 a 1, e significa quanto de água foi consumida pela cultura em relação ao máximo que ela consumiria sob condições ideais de água no solo. O período crítico adotado compreende um período de 150 dias, a iniciar no 6º decêndio do ciclo (dos 60 aos 210 dias após o plantio).

O valor do índice (ISNA) que determina o limite para as áreas aptas e inaptas foi fixado em 0,6, em pelo menos 80% dos anos estudados, como utilizado no ZAE (MANZATTO et al., 2009), para manter a possibilidade de comparação entre os resultados com aqueles do citado por Manzatto et al. (2009). Dessa forma a aptidão climática da cana pode ser descrita de acordo com a Tabela 5:

Tabela 5 - Classes, descrições e definições do AP_{Clima} (adaptado de MANZATTO et al., 2009)

Classe	Descrição	Definição
A	Baixo risco: Sem limitação ao cultivo	T _{méd} anual >19°C ISNA > 0,6 Geada < 20% DEF < 200mm
B	Baixo risco: Irrigação de salvamento indicada	T _{méd} anual >19°C ISNA > 0,6 Geada < 20% 200mm < DEF < 400mm
C	Carência térmica	T _{méd} anual >19°C ISNA > 0,6 Geada > 20% DEF < 200mm
D	Alto Risco: Irrigação intensiva imprescindível	T _{méd} anual >19°C ISNA > 0,6 Geada < 20% DEF > 400mm
E	Excesso de água: não aplicável a este estudo	Período seco < 3 meses

3.5 Índice de Risco Climático (IR_{Clima}) e de Cultura ($IR_{Cultura}$)

De forma a se complementar as análises de aptidão climática da região em estudo para a cana-de-açúcar, optou-se por trabalhar com o Índice de Risco Climático (IR_{Clima}). De acordo com Yamada (2011), o índice permite a identificação de regiões cuja produção é potencializada, devido à redução de riscos climáticos, com maior grau de segurança.

A partir dos BH climatológicos sequenciais de cada região estudada, procedeu-se a classificação de cada ano em apto, marginal e inapto de acordo com o DEF obtido. Similarmente aos cálculos do AP_{Clima} , foram utilizados como limiares para a indicação de classe de aptidão tanto os valores apresentados por Manzatto et al. (2009), 200 e 400mm, quanto os valores corrigidos a partir da correlação entre os DEF climatológicos médios e sequenciais. Assim, o cálculo do IR_{Clima} para cada localidade se dará pela fórmula, adaptada de Yamada (2011), a seguir:

$$IR_{Clima} = \frac{(\%AA*0 + \%AM*2 + \%AI*5)}{100} \quad (3.5.1)$$

em que %AA, %AM e %AI correspondem ao percentual de anos aptos, marginais e inaptos de cada série, respectivamente.

Como o intuito do trabalho é a análise e comparação de diferentes metodologias de estudo da aptidão e do risco climático da cana, percebeu-se que a aplicação destes mesmos parâmetros em função das características da cultura seria de fato enriquecedor. Assim, foi criado o Índice de Risco de Cultura ($IR_{Cultura}$), utilizando a mesma metodologia do IR_{Clima} , apenas substituindo o DEF climatológico sequencial pelo DEF obtido a partir do BH sequencial de cultura. A classificação dos anos em aptos, marginais e inaptos foi feita tanto para os valores limites de DEF apresentados por Manzatto et al. (2009), de 200 e 400mm, quanto para os valores corrigidos a partir da correlação entre os DEF climatológicos médios e os sequenciais.

Dessa forma, os municípios estudados ficam classificados de acordo com a Tabela 6:

Tabela 6 - Classificação dos níveis de risco climático em função do IR_{Clima} e $IR_{Cultura}$

Intervalo de IR_{Clima} e $IR_{Cultura}$	Classificação de risco	Características
4,1 a 5,0	Muito Alto	Ambientes onde a produção é penalizada por restrição hídrica
3,1 a 4,0	Alto	
2,1 a 3,0	Moderado	Ambientes com predominância de anos marginais
1,6 a 2,0	Baixo	Melhores condições para o cultivo
0 a 1,5	Muito Baixo	

Adaptado de Yamada (2011)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

“A certeza não existe, nem a perfeita verdade.
Mas sempre nos resta a fé, que nos faz confiar no impossível.
E o impossível, com frequência, se torna concreto.”
Eduardo Spohr

4.1 Desempenho do Método de Monte Carlo

Na execução das correções e preenchimentos das falhas presentes nas séries utilizadas, 28 distribuições se aderiram aos dados observados, com diferenças de aderência entre elas para os diferentes elementos utilizados (Tabela 7). Os índices de correlação (R) obtidos nas análises entre os dados observados e os simulados (Anexos P a Z) indicam que o Método de Monte Carlo é uma metodologia eficaz para as regiões estudadas, apresentando valores inferiores a 0,9 apenas para as simulações de precipitação diária no período seco do ano.

Tabela 7 - Distribuições definidas durante a análise estatística das séries estudadas

(continua)					
Dist.	Pp	Tmáx	Tmín	UR	Vvento
Beta	X	X	X		X
Burr		X	X	X	
Dagun		X	X		
Erlang			X		
Exponential					X
Gamma			X	X	X
Gen. Extreme Values	X	X	X	X	X
Gen. Gamma				X	X
Gen. Logistic	X	X	X	X	X
Gen. Pareto	X				X
Gumbel Max					X
Gumbel Min			X		
Hypersecant	X				
Johnson SB		X	X	X	X

Tabela 7 - Distribuições definidas durante a análise estatística das séries estudadas

Dist.	Pp	Tmáx	Tmín	(conclusão)	
				UR	Vvento
Jonhson SU		X	X	X	X
Kumaraswamy	X	X		X	
Log-logistic		X	X		X
Log-pearson		X			
Nakagami			X	X	
Normal			X		
Pearson			X		X
Pert			X		
Phased Bi-Exponential					X
Phased Bi-Weibull					X
Power Function	X				
Student's t	X				
Wakeby	X	X	X	X	X
Weibull		X	X		X

4.2 Análise das séries de temperatura do ar

A partir da análise dos dados de temperaturas médias para mínimas e máximas (Tabela 8) do Estado de Goiás e Distrito Federal, observa-se que todas as áreas apresentam condição plena de aptidão térmica para a cultura da cana-de-açúcar, possuindo temperatura média mínima absoluta maior que 2°C, o que exclui a possibilidade de geada na região. Da mesma forma, a temperatura média anual superior a 19°C, torna as localidades ideais ao desenvolvimento da cultura (Tabela 9) (MANZATTO et al., 2009, SILVA et al., 2013).

Os dados de temperatura média mínima apresentam uma tendência temporal crescente para a maioria das localidades estudadas, como mostra os coeficientes angulares das equações (Tabela 8). Pelos resultados, observa-se que apenas ITU apresenta redução da temperatura mínima do ar a cada ano, (“a” = -0,006), totalizando uma diminuição de 0,1°C ao longo da série. Nas demais localidades, há um incremento anual variando de 0,0006°C/ano a 0,0485°C/ano. Apesar de o incremento anual ser pequeno, há de se considerar que nas estações com maiores variações e duração de séries, pode-se perceber uma elevação global de até 1,7°C, como o que ocorre em POS. Da mesma forma, dados de temperatura média máxima anual registrados nas quatro décadas (Tabela 8), apresentam acréscimo temporal. A maioria das estações apresentou um acréscimo de 0,005°C/ano a 0,05°C/ano, com exceção apenas de GOI, que apresentou decréscimo (“a” = -0,0005) ao longo dos 49 anos, totalizando uma redução negligível de 0,02°C

no período. Novamente, a maior variação é mostrada pela estação de POS (0,056°C/ano, totalizando 1,96°C ao longo dos 35 anos).

Tabela 8 – Relação dos valores máximos e mínimos das médias de temperatura mínima e máxima anual para cada estação e respectivas equações de correlação entre temperatura (y) e tempo (x, anos)

Estação	T _{mín} (°C)			T _{máx} (°C)		
	Mín.	Máx.	Equação (y = a.x+b)	Mín.	Máx.	Equação (y = a.x+b)
POS	16,92	20,62	y = 0,0485x-77,1630	26,98	30,89	y = 0,0560x-82,5010
FOR	14,98	18,17	y = 0,0343x-51,0950	26,04	29,58	y = 0,0139x+0,2336
CPAC	15,54	17,33	y = 0,0064x+3,8251	25,75	29,42	y = 0,0351x-42,1510
PIR	17,22	18,38	y = 0,0089x-0,2010	24,86	31,37	y = 0,0547x-79,6510
ARA	18,78	21,08	y = 0,0199x-19,4770	30,10	33,69	y = 0,0369x-41,8740
GOI	18,34	21,27	y = 0,0315x-42,5310	29,67	34,13	y = -0,0005x+32,3410
CNPAF	16,73	18,78	y = 0,0485x-79,1700	27,72	31,51	y = 0,0485x-67,6100
GYN	14,95	19,68	y = 0,0336x-48,8490	28,61	32,09	y = 0,0396x-48,6350
IPA	15,89	18,15	y = 0,0393x-61,0700	27,97	31,55	y = 0,0203x-11,0240
RIO	15,92	18,91	y = 0,0088x-0,0942	29,01	31,16	y = 0,0107x+8,5610
JTI	15,99	19,47	y = 0,0006x+15,7260	29,57	31,65	y = 0,0253x-20,0310
CAT	16,33	18,76	y = 0,0304x-42,6400	26,72	30,62	y = 0,0354x-41,2920
ITU	16,89	20,53	y = -0,0060x+30,3430	30,29	32,40	y = 0,0050x+21,2640

Apesar dos acréscimos não terem ultrapassado os 2°C para os quarenta anos estudados, essa tendência geral pode ser um indício de alteração climática, passível de ser analisada em relação à sua influência sobre os períodos e potencialidade de cultivo das regiões.

As equações da Tabela 8 indicam que as temperaturas extremas nas localidades tiveram tendência de aumento no período de análise, com exceção de ITU para a mínima e GOI para a máxima, que apresentaram leve tendência de queda, menor que -0,1°C para primeira nos 17 anos e -0,02°C na segunda nos 49 anos de observação. Deve-se considerar que a variabilidade da elevação das temperaturas extremas entre as séries analisadas foi grande, sendo que para Posse a elevação foi de 1,7°C na mínima e 2,0°C a máxima nos 35 anos de observação. Entretanto, foram observados valores de elevação desprezíveis, tanto para a mínima como para a máxima, como 0,005oC/ano, mas também elevados da ordem de 0,05°C, de modo que os valores médios anuais observados de elevação foram 0,023°C para mínimas e 0,028°C para máximas, consideradas as 13 localidades.

A explicação das diferenças do grau de aquecimento entre as localidades é dificultada pelo fato de terem sido calculadas com extensões temporais diferentes e, inclusive, com diferentes graus de ajuste das equações da Tabela 8, com valores muito diferenciados de coeficiente de determinação. Além disso, ocorrem fatores locais e regionais afetando diferentemente o regime térmico das localidades. Entretanto, os resultados indicam uma

tendência que pode ser indício de alteração climática, quanto à elevação térmica. Mesmo com as diferenças entre as localidades, é possível, a partir do valor médio calculado globalmente para as 13 localidades, estimar um acréscimo de 0,77°C nos últimos 30 anos.

As temperaturas médias observadas na região variam entre 19,47°C e 27,49°C (Tabela 9), acima do limite proposto por Manzatto et al. (2009) para considerar um local apto para a cana-de-açúcar sob o ponto de vista térmico. Desse modo, o principal fator climático restritivo à cana-de-açúcar em toda a região estudada passa a ser a distribuição de chuvas e a consequente disponibilidade hídrica no solo ao longo dos meses do ano.

Tabela 9 - Relação dos máximos e mínimos de temperatura média anual para cada local (°C)

Estação	Mín.	Máx.
POS	22,6	25,5
FOR	21,4	23,8
CPAC	20,9	23,3
PIR	21,0	24,5
ARA	24,7	27,3
GOI	24,7	27,4
CNPAF	22,5	25,1
GYN	22,5	25,4
IPA	22,5	24,5
RIO	22,5	24,6
JTI	19,4	24,4
CAT	21,8	24,4
ITU	24,1	25,4

4.3 Análise das séries de precipitação

Analisando os dados médios de precipitação acumulada anualmente (Tabela 10), constata-se que os menores valores (Mín., mm/ano) foram observados nas estações localizadas sob as latitudes extremas (POS, FOR e CPAC, abaixo de 16°S e CAT e ITU, acima de 18°S). Já em relação às médias máximas (Máx., mm/ano), apesar de essas mesmas estações apresentarem valores ligeiramente menores que as demais, pode-se observar valores similares nas localidades de latitude mediana, como GYN (16,7°S) com média máxima de 2049mm/ano e FOR (15,5°S), 2038mm/ano.

Tabela 10 – Valores máximos e mínimos da precipitação anual para cada local e respectivas equações geradas pela correlação entre precipitação anual (y) e tempo (x, em anos)

Estação	Mín. (mm/ano)	Máx. (mm/ano)	Equação ($y = a.x + b$)
POS	820,8	2011,7	$y = -6,7754x + 14967,0$
FOR	816,0	2038,6	$y = 2,2799x - 3130,1$
CPAC	765,3	1998,0	$y = -15,8380x + 32901,0$
PIR	1054,8	2429,4	$y = -1,7233x + 5139,1$
ARA	1180,2	2445,3	$y = -6,4806x + 14474,0$
GOI	1109,6	2431,9	$y = 0,4403x + 929,8$
CNPAF	1018,7	1935,7	$y = 4,5993x - 7698,4$
GYN	1064,3	2049,4	$y = 3,0205x - 4399,6$
IPA	1085,6	1893,1	$y = 2,9981x - 4472,3$
RIO	1059,5	2229,8	$y = -5,9816x + 13550,0$
JTI	1168,8	2068,2	$y = -4,8102x + 11238,0$
CAT	847,7	2201,4	$y = -3,6909x + 8796,6$
ITU	899,2	1793,0	$y = 11,5170x - 21679,0$

De acordo com as equações geradas pelas análises de regressão, sete das treze estações analisadas (POS, CPAC, PIR, ARA, RIO, JTI e CAT) apresentam uma tendência à diminuição da altura precipitada a cada ano (“a” variando entre -1,7233 e -15,838), tendência essa relativamente elevada para CPAC (média de 14,2 mm/ano). Por outro lado, ITU mostra uma tendência de acréscimo anual de altura precipitada (“a” = 11,517) de 11,3 mm ano. As demais estações evidenciam uma variação positiva flutuando entre 0,4mm/ano a 4,6mm/ano.

4.4 Disponibilidade hídrica para a cultura da cana-de-açúcar

4.3.1 Balanço hídrico climatológico médio

Os resultados do BH climatológico médio (Tabelas 11 e 13) para as localidades do estado de Goiás e Distrito Federal evidenciam uma homogeneidade climática, atribuídas à proximidade das alturas pluviométricas registradas nas regiões avaliadas, concentradas em sua maioria entre os meses de outubro e março, ao período complementar de relativa escassez das chuvas, assim como ao regime térmico similar das mesmas. Na análise do déficit hídrico médio, por exemplo, verifica-se que os valores anuais das localidades variam para o solo tipo 2 (CAD 95 mm/m), entre 264,1 mm (JTI) e 405,2 mm (GO), mas a média das 8 localidades é de 333,3 mm e o desvio padrão de 46,5 m, correspondendo a um coeficiente de variação de 14,0%. Para o solo do tipo 3 (CAD 125 mm/m), os valores extremos entre as 12 localidades são 239,1 mm (JTI) e 424,7 mm (ITU), com média entre elas 310,2 mm, desvio padrão de 56,1 mm e coeficiente de variação de 18,1%.

Pequenas variações ocorrem em relação à precocidade do período seco ou antecipação das chuvas. Considerando os resultados para solo tipo 2 (Tabela 11), observa-se que em ARA a redução de ARM é iniciada em abril, anteriormente às demais estações, explicado pela altura média precipitada no mês (80mm/mês, Anexo A), associada à ETR (100,1mm/mês, Tabela 12). O mesmo ocorre para IPA e CAT. Em relação ao reestabelecimento do ARM, percebe-se que em PIR ele se inicia precocemente, em outubro (22,7mm, enquanto as demais estações não ultrapassam 3,5mm). Há de se ressaltar que a estação apresenta, já em setembro, cerca de 20mm a mais na precipitação média, assim como a maior precipitação acumulada (Anexo A). JTI, por sua vez, apresenta uma retomada tardia do ARM, atingindo 57,2mm/mês em novembro. Apesar da ETR local não ser a mais alta (1102,5mm/ano), a ação conjunta da mesma, com a precipitação (1607mm/ano) e a elevada temperatura média (23,7°C, Anexo B), justificam a ocorrência descrita.

Tabela 11 – Valores de armazenamento máximo e déficits hídricos mensais (mm) e totais anuais, calculados a partir do BH climatológico médio para solo tipo 2 (CAD 95mm/m)

	POS	PIR	ARA	GOI
JAN	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0
FEV	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0
MAR	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0
ABR	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	75,4 / 2,3	90,8 / 0,1
MAI	49,7 / 16,2	44,0 / 22,1	37,5 / 28,3	41,6 / 24,8
JUN	21,4 / 51,7	18,4 / 57,0	16,6 / 56,4	16,1 / 64,5
JUL	7,8 / 81,2	6,1 / 92,4	6,6 / 77,3	5,4 / 92,8
AGO	2,4 / 104,8	1,7 / 118,8	2,3 / 96,0	1,5 / 120,1
SET	0,8 / 101,1	0,8 / 69,3	0,9 / 82,4	0,5 / 102,6
OUT	0,7 / 14,0	22,7 / 0,0	0,9 / 8,9	3,2 / 0,0
NOV	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	83,7 / 0,0	95,0 / 0,0
DEZ	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0
Total	--- / 369,2	--- / 359,7	--- / 351,9	--- / 405,2
	IPA	RIO	JTI	CAT
JAN	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0
FEV	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0
MAR	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0
ABR	79,5 / 1,4	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	75,2 / 2,4
MAI	47,1 / 17,2	58,5 / 9,5	62,8 / 7,1	41,4 / 22,8
JUN	23,5 / 42,3	31,0 / 32,6	33,7 / 29,9	20,3 / 46,4
JUL	10,2 / 65,3	12,9 / 64,8	14,3 / 61,9	8,7 / 68,6
AGO	3,8 / 88,7	4,6 / 90,1	5,5 / 81,3	3,1 / 92,9
SET	1,7 / 70,7	2,0 / 76,0	2,6 / 67,6	1,3 / 82,8
OUT	1,3 / 25,6	1,9 / 5,4	2,2 / 16,2	2,0 / 0,0
NOV	71,7 / 0,0	95,0 / 0,0	57,2 / 0,0	75,6 / 0,0
DEZ	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0	95,0 / 0,0
Total	--- / 311,6	--- / 278,7	--- / 264,1	--- / 316,1

Tabela 12 – Valores médios mensais (mm) e totais anuais de ETo/ETR, obtidos a partir do BH climatológico médio para solo tipo 2 (CAD 95 mm/m)

	POS	PIR	ARA	GOI
JAN	118,9 / 118,9	125,8 / 125,8	126,2 / 126,2	135,2 / 135,2
FEV	108,2 / 108,2	116,0 / 116,0	114,0 / 114,0	123,1 / 123,1
MAR	111,0 / 111,0	120,4 / 120,4	117,7 / 117,7	129,3 / 129,3
ABR	98,1 / 98,1	108,0 / 108,0	102,4 / 100,1	114,8 / 114,7
MAI	91,4 / 75,2	101,2 / 79,1	95,2 / 66,8	107,0 / 82,1
JUN	85,2 / 33,5	94,2 / 37,2	85,8 / 29,4	97,5 / 32,9
JUL	97,2 / 16,0	110,3 / 17,9	93,9 / 16,5	108,7 / 15,8
AGO	116,8 / 11,9	136,9 / 18,1	114,9 / 18,8	133,8 / 13,6
SET	126,0 / 24,8	148,6 / 79,3	128,8 / 46,3	143,3 / 40,7
OUT	128,0 / 114,0	149,1 / 149,1	141,0 / 132,1	147,7 / 147,7
NOV	114,3 / 114,3	127,1 / 127,1	127,9 / 127,9	134,4 / 134,4
DEZ	115,3 / 115,3	123,3 / 123,3	123,9 / 123,9	131,4 / 131,4
Total	1310,4/941,2	1460,9/1101,3	1371,7/1019,7	1506,2/1100,9
	IPA	RIO	JTI	CAT
JAN	124,4 / 124,4	129,6 / 129,6	130,7 / 130,7	125,9 / 125,9
FEV	115,0 / 115,0	116,8 / 116,8	117,6 / 117,6	113,3 / 113,3
MAR	116,0 / 116,0	118,3 / 118,3	117,8 / 117,8	115,8 / 115,8
ABR	97,7 / 96,3	100,7 / 100,7	100,4 / 100,4	98,3 / 95,9
MAI	84,7 / 67,5	86,7 / 77,1	85,6 / 78,5	86,7 / 63,9
JUN	74,8 / 32,4	77,9 / 45,2	77,0 / 47,1	77,8 / 31,4
JUL	84,7 / 19,3	91,9 / 27,1	89,2 / 27,3	88,1 / 19,5
AGO	108,2 / 19,5	118,1 / 28,0	113,8 / 32,4	111,0 / 18,1
SET	121,7 / 50,9	133,4 / 57,3	129,6 / 62,0	125,7 / 42,8
OUT	135,8 / 110,1	144,5 / 139,1	141,1 / 124,8	133,6 / 133,6
NOV	122,3 / 122,3	133,6 / 133,6	130,5 / 130,5	122,8 / 122,8
DEZ	124,0 / 124,0	131,3 / 131,3	132,8 / 132,8	122,0 / 122,0
Total	1309,3/997,7	1382,8/1104,1	1366,1/1101,9	1321,0/1005,0

Em relação ao ARM obtido a partir do BH climatológico médio (Tabela 13), com CAD de 125mm/m, as localidades de CAT e ITU apresentam os menores valores para o mês de abril (104,7mm/mês e 94,6mm/mês, respectivamente), indicativo de que o período de seca se inicia primeiramente e mais intensamente nas duas localidades, comprovado pela altura média precipitada nos locais (76,2mm/mês e 67,1mm/mês, respectivamente). PIR e CNPAF apresentam retomada dos valores de ARM anteriormente às demais localidades (25,2mm/mês e 21,2mm/mês, respectivamente), ocasionada pelos maiores valores acumulados de precipitação para o mês das séries (171mm/mês e 153mm/mês, respectivamente).

Tabela 13 – Armazenamento/Déficit hídrico mensais (mm) e totais anuais, calculados a partir do BH climatológico médio para solo tipo 3 (CAD 125mm/m)

	POS	FOR	CPAC	PIR
JAN	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0
FEV	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0
MAR	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0
ABR	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	118,7 / 0,1	125,0 / 0,0
MAI	76,4 / 12,9	72,8 / 15,3	70,0 / 17,3	69,6 / 17,7
JUN	40,2 / 43,9	39,0 / 44,1	37,1 / 46,2	35,9 / 48,9
JUL	18,9 / 73,3	19,8 / 65,3	17,9 / 71,6	15,5 / 84,3
AGO	7,8 / 99,2	8,5 / 93,5	7,9 / 91,4	5,8 / 113,5
SET	3,4 / 98,4	3,9 / 90,9	3,8 / 88,4	3,3 / 67,7
OUT	3,1 / 13,7	3,4 / 18,6	3,5 / 9,5	25,2 / 0,0
NOV	99,8 / 0,0	72,9 / 0,0	69,0 / 0,0	125 / 0,0
DEZ	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0
Total	--- / 341,6	--- / 328,0	--- / 324,8	--- / 332,2
	GOI	CNPAF	GYN	IPA
JAN	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0
FEV	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0
MAR	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0
ABR	120,8 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	109,3 / 1,0
MAI	66,8 / 20,0	75,9 / 13,2	89,4 / 6,2	73,4 / 13,8
JUN	32,4 / 55,7	42,2 / 39,5	54,3 / 27,1	43,3 / 35,8
JUL	14,1 / 85,2	20,5 / 68,4	27,3 / 59,0	23,0 / 58,4
AGO	5,2 / 115,2	8,6 / 96,3	12,5 / 82,2	10,7 / 82,9
SET	2,2 / 100,6	4,6 / 74,6	6,2 / 80,2	6,0 / 68,0
OUT	5,0 / 0,0	21,2 / 0,0	6,1 / 2,8	4,8 / 24,9
NOV	114,8 / 0,0	104,9 / 0,0	84,6 / 0,0	75,3 / 0,0
DEZ	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0
Total	--- / 377,0	--- / 292,2	--- / 257,8	--- / 285,2
	RIO	JTI	CAT	ITU
JAN	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0
FEV	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0
MAR	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0
ABR	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	104,7 / 1,8	94,6 / 4,4
MAI	86,5 / 7,50	91,2 / 5,5	66,5 / 18,5	58,6 / 23,7
JUN	53,4 / 27,1	56,9 / 24,6	38,7 / 39,7	33,3 / 45,4
JUL	27,5 / 56,9	29,7 / 54,1	20,4 / 61,8	15,7 / 75,8
AGO	12,5 / 83,5	14,4 / 74,8	9,3 / 87,4	6,0 / 109,3
SET	6,6 / 72,8	8,2 / 64,3	4,7 / 80,1	2,8 / 91,5
OUT	6,3 / 5,2	7,18 / 15,6	5,4 / 0,0	1,5 / 74,4
NOV	100,7 / 0,0	62,1 / 0,0	79,0 / 0,0	41,2 / 0,0
DEZ	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0	125,0 / 0,0
Total	--- / 253,2	--- / 239,2	--- / 289,6	--- / 424,8

Tabela 14 – Valores médios mensais (mm) e totais anuais de ETo/ETR para cada localidade, obtidos a partir do BH climatológico médio para solo tipo 3 (CAD 125mm/m)

	POS	FOR	CPAC	PIR
JAN	118,9/118,9	121,9/121,9	123,1/123,1	125,8/125,8
FEV	108,2/108,2	111,6/111,6	112,4/112,4	116,0/116,0
MAR	111,0/111,0	112,1/112,1	114,8/114,8	120,4/120,4
ABR	98,1/98,1	98,2/98,2	100,3/100,1	108,0/108,0
MAI	91,4/78,5	89,6/74,2	89,9/72,6	101,2/83,4
JUN	85,2/41,3	82,8/38,7	83,2/36,9	94,2/45,3
JUL	97,2/23,9	89,5/24,2	94,8/23,2	110,3/26,0
AGO	116,8/17,6	115,9/22,4	115,9/24,4	136,9/23,4
SET	126,0/27,6	128,6/37,6	129,1/40,7	148,6/80,9
OUT	128,0/114,3	135,4/116,7	132,6/123,1	149,1/149,1
NOV	114,3/114,3	117,7/117,7	118,9/118,9	127,1/127,1
DEZ	115,3/115,3	117,4/117,4	119,5/119,5	123,3/123,3
Total	1310,4/969,0	1320,7/992,7	1334,5/1009,7	1460,9/1128,7
	GOI	CNPAF	GYN	IPA
JAN	135,2/135,2	126,5/126,5	130,5/130,5	124,4/124,4
FEV	123,1/123,1	115,2/115,2	116,9/116,9	115,0/115,0
MAR	129,3/129,3	116,3/116,3	119,5/119,5	116,0/116,0
ABR	114,8/114,8	103,0/103,0	102,3/99,9	97,7/96,6
MAI	107,0/87,0	91,3/78,1	89,5/62,1	84,7/70,9
JUN	97,5/41,7	82,3/42,8	78,8/32,7	74,8/38,9
JUL	108,7/23,4	94,0/25,6	89,1/17,9	84,7/26,2
AGO	133,8/18,6	117,7/21,4	111,7/15,1	108,2/25,3
SET	143,3/42,7	130,9/56,3	124,8/21,0	121,7/53,7
OUT	147,7/147,7	136,7/136,7	135,0/96,7	135,8/110,8
NOV	134,4/134,4	125,9/125,9	127,6/127,6	122,3/122,3
DEZ	131,4/131,4	124,1/124,1	129,0/129,0	124,0/124,0
Total	1506,2/1129,3	1363,9/1071,9	1354,7/968,9	1309,3/1024,1
	RIO	JTI	CAT	ITU
JAN	129,6/129,6	130,7/130,7	125,9/125,9	130,1/130,1
FEV	116,8/116,8	117,6/117,6	113,3/113,3	118,7/118,7
MAR	118,3/118,3	117,8/117,8	115,8/115,8	117,0/117,0
ABR	100,7/100,7	100,4/100,4	98,3/96,5	101,8/97,4
MAI	86,7/79,2	85,6/80,0	86,7/68,2	88,5/64,8
JUN	77,9/50,8	77,0/52,4	77,8/38,1	82,3/36,9
JUL	91,9/35,0	89,2/35,1	88,1/26,3	97,7/21,9
AGO	118,1/34,6	113,8/38,9	111,0/23,6	127,5/18,1
SET	133,4/60,6	129,6/65,3	125,7/45,6	143,8/52,2
OUT	144,5/139,3	141,1/125,4	133,6/133,6	152,8/78,4
NOV	133,6/133,6	130,5/130,5	122,8/122,8	139,6/139,6
DEZ	131,3/131,3	132,8/132,8	122,0/122,0	134,6/134,6
Total	1382,8/1129,8	1366,1/1126,9	1321,0/1031,7	1434,4/1009,7

A partir da comparação dos valores de DEF para cada localidade, nos casos em que foram considerados os dois tipos de solo, observa-se, tal como esperado, valores de DEF superiores para o solo 2 (CAD de 95 mm/m), com diferenças de 25,0 ao máximo de 28,2 mm

em relação ao solo 3 (Tabela 15). Assim, percebe-se que, apesar das diferenças entre os valores de DEF das diferentes localidades, as variações deste entre os dois tipos de solo segue a mesma ordem de grandeza da variação entre as CADs consideradas, ao redor dos 30mm.

Tabela 15 – Deficiência hídrica anual (DEF) a partir do BH climatológico médio para os solos tipos 2 e 3, e respectivas diferenças (Δ)

Local	DEF (mm) Solo 2	DEF (mm) Solo 3	Δ (mm)
POS	369,2	341,6	27,6
FOR	--	328,0	--
CPAC	--	324,8	--
PIR	359,7	332,2	27,5
ARA	352,0	--	--
GOI	405,2	377,0	28,2
CNPAF	--	292,2	--
GYN	--	257,8	--
IPA	311,6	285,2	25,4
RIO	278,7	253,2	25,5
JTI	264,2	239,2	25,0
CAT	316,1	289,6	26,5
ITU	--	424,8	--

4.3.2 Balanço hídrico climatológico sequencial

Os menores valores de déficits, obtidos a partir do balanço hídrico climatológico sequencial, ocorreram para simulações de ciclo iniciadas em maio, enquanto os maiores valores de DEF foram encontrados para o mês de novembro, para ambos os solos (Tabelas 16 e 17). Para o solo tipo 2, o menor valor pode ser observado para JTI (361,9mm/ano) enquanto que o GOI detém o maior déficit (531mm/ano). Considerando o solo tipo 3, os valores variaram entre 333,7mm/ano, também para JTI, e 557,0 mm/ano, para ITU. Analisando os valores médios e os respectivos desvios padrões (DP), percebe-se que não há diferenças expressivas entre os meses de simulação, podendo considerar o valor médio representativo.

Tabela 16 - Valores médios de déficit no ciclo considerado (período de um ano), médias e desvio padrão (DP), obtidos a partir do balanço hídrico climatológico sequencial, para os períodos de simulação de plantio escolhidos (1º decêndio de cada mês). Solo tipo 2 (CAD 95 mm/m)

Local	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV	Média	DP
POS	514,3	507,6	487,0	510,9	517,9	521,0	509,8	12,1
PIR	494,6	490,0	470,1	492,7	498,7	501,2	491,2	11,1
ARA	456,7	456,4	442,4	459,2	462,8	467,1	457,4	8,4
GOI	523,7	524,4	499,8	517,1	528,0	531,0	520,7	11,2
IPA	410,4	408,8	392,1	408,9	414,2	418,8	408,9	9,1
RIO	399,0	397,6	374,3	387,9	404,3	407,6	395,1	12,2
JTI	385,0	384,5	361,9	378,5	389,1	391,4	381,7	10,7
CAT	432,1	429,9	415,9	432,6	437,6	444,2	432,1	9,4

Tabela 17 - Valores médios de déficit no ciclo considerado (período de um ano), média e desvio padrão (DP), obtidos a partir do balanço hídrico climatológico sequencial, para os períodos de simulação de plantio escolhidos (1º decêndio de cada mês). Solo tipo 3 (CAD 125 mm/m)

Local	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV	Média	DP
POS	484,8	484,3	455,3	477,5	487,6	491,8	480,2	13,1
FOR	452,1	451,6	420,1	443,2	451,5	457,0	445,9	13,4
CPAC	463,8	469,7	444,0	467,5	472,9	487,6	467,6	14,2
PIR	466,1	461,7	440,6	461,8	469,9	472,7	462,1	11,4
GOI	495,1	495,8	468,9	486,5	499,6	502,2	491,4	12,2
CNPAF	400,7	394,5	369,9	390,4	402,3	407,7	394,3	13,4
GYN	365,6	365,3	336,5	350,6	364,9	373,2	359,4	13,4
IPA	381,8	380,1	361,2	377,4	384,4	390,1	379,2	9,8
RIO	370,8	370,8	345,8	363,7	375,9	380,1	367,9	12,1
JTI	358,2	357,7	333,7	347,7	361,2	359,1	352,9	10,5
CAT	403,8	401,4	384,8	401,6	408,4	415,1	402,5	10,1
ITU	547,4	546,8	538,9	552,7	552,0	557,0	549,1	6,3

A variação média entre os valores máximos e mínimos de déficits dos seis ciclos simulados foi cerca de 30 mm para ambos os solos (Tabelas 18 e 19), podendo se considerar que tal variação entre os ciclos de cultivo simulados é relativamente pequena, com valores percentuais de variação entre 5,5 e 8,6% para solo tipo 2 e entre 3,3 e 10,4% no solo tipo 3. Essa pequena variação dentro de cada município é esperada, pois o regime de chuva é bimodal e o período considerado de plantio em todos os casos é de um ano. Entretanto, isso significa que a estação seca coincide com os diferentes estádios de desenvolvimento da cana, fator este considerado no balanço hídrico de cultura.

Tabela 18 – Valores máximos e mínimos, com as respectivas diferenças (Δ), dos déficits hídricos médios dos seis períodos de plantio simulados para solo tipo 2, em cada município, obtidos a partir do balanço hídrico climatológico sequencial (mm/mês)

Município	Máx.	Mín.	Δ
POS	521,0	487,0	34,0
PIR	501,2	470,1	31,1
ARA	467,1	442,4	24,8
GOI	531,0	499,8	31,2
IPA	418,8	392,1	26,7
RIO	407,6	374,3	33,3
JTI	391,4	361,9	29,5
CAT	444,2	415,9	28,4
Média	460,3	430,4	29,9

Tabela 19 – Valores máximos e mínimos, com as respectivas diferenças (Δ), dos déficits hídricos médios dos seis períodos de plantio simulados para solo tipo 3, em cada município obtidos a partir do balanço hídrico climatológico sequencial (mm/mês)

Município	Máx.	Mín.	Δ
POS	491,8	455,3	36,5
FOR	457,0	420,1	36,9
CPAC	487,6	444,0	43,6
PIR	472,7	440,6	32,0
GOI	502,2	468,9	33,4
CNPAF	407,7	369,9	37,9
GYN	373,2	336,5	36,7
IPA	390,1	361,2	28,9
RIO	380,1	345,8	34,3
JTI	361,2	333,7	27,4
CAT	415,1	384,8	30,3
ITU	557,0	538,9	18,2
Média	441,3	408,3	33,0

CPAC e ITU, em solo tipo 3, apresentam as variações mais discrepantes (43,6mm e 18,2mm, respectivamente) ao se comparar com as demais localidades. Isso mostra que, apesar dessas variações, as localidades apresentam um comportamento homogêneo, em relação ao déficit hídrico anual, ao se comparar os diferentes períodos de simulação.

4.3.3 Balanço hídrico sequencial de cultura

Ao se analisar os valores de DEF, gerados pelo BH sequencial de cultura (Tabelas 20 e 21), percebe-se que o período de simulação com os menores valores se desloca de maio para julho, uma vez que ao se iniciar o ciclo da cana neste último mês, a maior parte do período

crítico de necessidade hídrica coincide com o período de maior disponibilidade de água no solo (apenas 40 dos 150 dias críticos ocorrem sob considerável estresse hídrico). Analisando as simulações sob solo tipo 2, percebe-se que similarmente ao ocorrido para o BH climatológico sequencial, JTI e GOI apresentam o menor e o maior valor de DEF (328,7 mm/ano e 705,6mm/ano, respectivamente). Para o solo tipo 3, o menor valor de DEF (293,1mm/ano) ocorre em GYN, enquanto que ITU apresenta o maior (737,9mm/ano). Por sua vez, diferentemente do ocorrido nas Tabelas 16 e 17, as médias dos DEF de cultura não são representativas do que ocorre na região, com DP variando em torno de 90mm/ano (cerca de 18% do volume total de DEF acumulado). Essa modificação ocorre pela inclusão do coeficiente de cultura (kc) nos cálculos, de forma que este atingiu valores acima de 1,0 em aproximadamente 240 dias do ciclo. A localização deste período de maior necessidade hídrica altera o DEF consideravelmente, uma vez que a coincidência deste com o período de seca resultará em déficits maiores, reduzindo até seu menor valor, quando o período de maior kc ocorre na época chuvosa do ano.

Tabela 20 - Valores médios de DEF no ciclo (considerado com duração de um ano), média e desvio padrão (DP), obtidos pelo balanço hídrico sequencial de cultura, para os períodos de simulação de plantio escolhidos (1º decêndio de cada mês). Solo tipo 2 (CAD 95 mm/m)

Local	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV	Média	DP
POS	672,7	614,7	504,0	453,9	467,3	616,4	554,8	91,3
PIR	673,8	618,6	480,8	408,5	436,4	608,7	537,8	109,8
ARA	617,3	558,1	452,2	413,1	423,7	560,4	504,1	85,3
GOI	705,6	646,8	504,2	448,9	473,8	640,6	570,0	107,3
IPA	559,5	506,8	415,6	376,6	380,2	508,9	457,9	77,1
RIO	557,0	511,8	400,3	332,7	353,1	497,6	442,1	92,5
JTI	543,0	502,5	391,3	328,7	333,8	473,3	428,8	90,4
CAT	579,9	521,2	431,9	396,0	407,8	540,0	479,5	77,3

Tabela 21 - Valores médios de DEF no ciclo (considerado com duração de um ano), média e desvio padrão (DP), pelo balanço hídrico sequencial de cultura, para os períodos de simulação escolhidos (1º decêndio de cada mês). Solo tipo 3 (CAD 125 mm/m)

Local	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV	Média	DP
POS	643,9	595,1	471,8	420,3	436,4	585,0	525,4	94,1
FOR	608,9	554,9	437,9	398,6	401,4	541,6	490,6	89,4
CPAC	614,7	574,3	463,6	426,5	437,0	623,1	523,2	90,9
PIR	645,0	589,5	450,5	377,8	406,4	578,0	507,9	110,4
GOI	677,6	618,4	473,8	418,2	444,4	610,2	540,4	108,0
CNPAF	554,6	502,1	383,4	332,5	356,8	505,2	439,1	92,6
GYN	513,9	458,6	344,7	293,1	325,6	462,3	399,7	89,8
IPA	531,9	478,8	384,7	345,7	350,4	478,1	428,3	78,2
RIO	529,0	484,4	371,3	309,1	324,1	468,0	414,3	91,7
JTI	514,7	474,3	362,4	298,6	305,4	442,6	399,7	90,7
CAT	552,1	493,1	400,3	364,1	376,4	508,9	449,2	78,8
ITU	737,9	683,0	582,9	522,0	486,3	642,9	609,2	96,5

Os valores máximos e mínimos de DEF fornecidos pelo BH de cultura de cada localidade e suas respectivas variações, podem ser observados nas Tabelas 22 e 23. Ao se inserir a demanda hídrica da cultura nos cálculos, as variações entre as simulações de uma mesma estação tiveram um incremento expressivo de cerca de 30mm/ano para 220mm/ano em média. Esse aumento foi maior em PIR (265 e 267mm/ano para solo tipo 2 e 3) e menor em IPA (183 e 186mm/ano, para solo tipo 2 e 3, respectivamente).

Tabela 22 – Valores máximos e mínimos, com as respectivas diferenças (Δ), dos déficits hídricos médios dos seis períodos de plantio simulados para solo tipo 2, para cada localidade, obtidos a partir do balanço hídrico climatológico sequencial (mm/mês)

Município	Máx.	Mín.	Δ
POS	672,7	453,9	218,8
PIR	673,8	408,5	265,2
ARA	617,3	413,1	204,2
GOI	705,6	448,9	256,7
IPA	559,5	376,6	183,0
RIO	557,0	332,7	224,3
JTI	543,0	328,7	214,3
CAT	579,9	396,0	183,9
Média	613,6	394,8	218,8

Tabela 23 – Valores máximos e mínimos, com as respectivas diferenças (Δ), dos déficits hídricos médios dos seis períodos de plantio simulados para solo tipo 3, para cada localidade, obtidos a partir do balanço hídrico climatológico sequencial (mm/mês)

Município	Máx.	Mín.	Δ
POS	643,9	420,3	223,5
FOR	608,9	398,6	210,3
CPAC	623,1	426,5	196,5
PIR	645,0	377,8	267,1
GOI	677,6	418,2	259,4
CNPAF	554,6	332,5	222,1
GYN	513,9	293,1	220,8
IPA	531,9	345,7	186,3
RIO	529,0	309,1	219,9
JTI	514,7	298,6	216,0
CAT	552,1	364,1	188,0
ITU	737,9	486,3	251,6
Média	594,4	372,6	221,8

4.3.4 Comparação entre déficits hídricos obtidos com os balanços hídricos médios e com os balanços hídricos sequenciais

A partir das diferenças observadas entre os valores de DEF obtidos pelo BH climatológico sequencial e do BH climatológico médio, verifica-se que o uso dos valores de DEF a partir do BH climatológico médio são consideravelmente menores que os obtidos pelo BH climatológico sequencial, de forma que as variações entre valores de DEF oscilam entre 80,5 e 151,8mm/ano para solo tipo 2 (Tabela 24) e 76,1 e 162,8mm/ano para solo tipo 3 (Tabela 25). Isso ocorre pela utilização de valores médios no decorrer dos cálculos, que os sujeitam a aproximações que camuflam pequenas variações que podem ter um peso maior em uma análise mais detalhada. Temporalmente, as menores variações podem ser observadas para o mês de maio, para todas as localidades, independentemente do tipo de solo. Para todos os bimestres e tipos de solo considerados, a localidade de IPA apresenta as menores diferenças entre os valores de DEF gerados pelos BH considerados. Por sua vez, os maiores valores foram observados para o mês de janeiro, também para os dois tipos de solo. POS apresenta as maiores diferenças para solo tipo 2, enquanto que CPAC as apresenta para solo tipo 3, com exceção de janeiro, em que POS, novamente, obteve a maior variação. Por sua vez, IPA apresentou as menores oscilações entre os dois tipos de DEF, para ambos os solos.

Tabela 24 – Diferenças entre as médias de DEF (mm) obtido a partir do BH climatológico sequencial e o DEF climatológico médio para solo tipo 2

	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV
POS	145,1	138,3	117,8	141,7	148,7	151,8
PIR	134,8	130,3	110,3	133,0	139,0	141,4
ARA	104,7	104,4	90,4	107,2	110,8	115,2
GOI	118,4	119,2	94,6	111,9	122,8	125,7
IPA	98,8	97,2	80,5	97,3	102,6	107,1
RIO	120,3	118,9	95,6	109,2	125,6	128,8
JTI	120,8	120,3	97,8	114,3	124,9	127,2
CAT	116,0	113,8	99,8	116,5	121,5	128,1

Tabela 25 – Diferenças entre as médias de DEF (mm) obtido a partir do BH climatológico sequencial e o DEF climatológico médio para solo tipo 3

	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV
POS	143,2	142,7	113,7	135,9	146,0	150,2
FOR	124,1	123,6	92,1	115,2	123,5	129,0
CPAC	139,0	144,9	119,2	142,7	148,1	162,8
PIR	133,9	129,4	108,4	129,5	137,6	140,4
GOI	118,1	118,8	91,8	109,5	122,6	125,2
CNPAF	108,5	102,3	77,6	98,2	110,1	115,5
GYN	107,8	107,5	78,7	92,8	107,0	115,4
IPA	96,7	94,9	76,1	92,3	99,3	104,9
RIO	117,6	117,6	92,6	110,5	122,7	126,9
JTI	119,1	118,5	94,6	108,5	122,0	120,0
CAT	114,2	111,8	95,2	112,1	118,9	125,6
ITU	122,7	122,0	114,1	127,9	127,2	132,2

4.3.5 Comparação entre déficits hídricos obtidos com os balanços hídricos médios e com os balanços hídricos de cultura

Novamente, comparando os DEF obtidos pelo BH climatológico médio e o sequencial de cultura, percebe-se que os valores obtidos a partir do estudo climatológico subestimam o que ocorre ao se inserir o fator cultura nas simulações. Isso se deve pela elevação da demanda hídrica anual, ocasionada pela utilização do coeficiente de cultura nos cálculos, acrescida à utilização de médias nos cálculos do BH climatológico (o que faz com que as variações decendiais não sejam evidenciadas). Julho foi mês cujas flutuações foram menores, em ambos os solos (Tabelas 26 e 27). A menor variação ocorreu para GOI (43,7mm/ano), para solo tipo 2. Já considerando a outra classe de solo, o menor valor ocorre em GYN (35,3mm/ano). Considerando as maiores diferenças, estas variaram entre 314mm/ano (PIR) para solo tipo 2 e 313mm/ano (ITU), para o solo tipo 3, ambas para as simulações iniciadas em janeiro, que é o mês cujas flutuações entre os dois DEF são mais expressivas.

Tabela 26 – Diferenças entre as médias de DEF (mm) obtido a partir do BH sequencial de cultura e do DEF climatológico médio para solo tipo 2

	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV
POS	303,5	245,5	134,8	84,6	98,1	247,2
PIR	314,0	258,9	121,0	48,8	76,6	249,0
ARA	265,4	206,1	100,2	61,1	71,8	208,4
GOI	300,4	241,5	99,0	43,7	68,6	235,4
IPA	247,9	195,2	104,0	65,0	68,6	197,3
RIO	278,3	233,1	121,6	54,0	74,4	218,9
JTI	278,8	238,3	127,1	64,5	69,6	209,1
CAT	263,8	205,1	115,7	79,9	91,7	223,9

Tabela 27 – Diferenças entre as médias de DEF (mm) obtido a partir do BH sequencial de cultura e o DEF climatológico médio para solo tipo 3

	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV
POS	302,3	253,5	130,2	78,8	94,8	243,4
FOR	280,9	226,9	109,8	70,6	73,4	213,6
CPAC	289,9	249,5	138,8	101,8	112,2	298,3
PIR	312,7	257,3	118,2	45,6	74,1	245,7
GOI	300,6	241,4	96,8	41,2	67,4	233,2
CNPAF	262,4	209,9	91,2	40,3	64,6	213,0
GYN	256,1	200,8	86,9	35,3	67,8	204,5
IPA	246,8	193,6	99,5	60,5	65,3	193,0
RIO	275,8	231,2	118,1	55,9	70,9	214,8
JTI	275,5	235,1	123,3	59,5	66,2	203,5
CAT	262,6	203,5	110,7	74,5	86,9	219,4
ITU	313,1	258,2	158,1	97,2	61,5	218,1

4.4 Correção dos valores limites de DEF como referenciais para delimitação de classes de aptidão para a cana-de-açúcar no Estado de Goiás e Distrito Federal

Os resultados comparativos dos DEF obtidos pelas três formas de cálculo de BH (Tabelas 24 a 27), justificaram a necessidade da correção dos valores limites de classe de aptidão e risco, uma vez que o critério atualmente utilizado foi obtido para cálculos envolvendo o BH climatológico médio, sob CAD de 125mm/m.

Utilizando a correlação entre os valores de DEF obtidos a partir do BH climatológico sequencial nas CADs de 95mm/m e 125mm/m, foram estimados os valores limites de classe de aptidão para as simulações de solo tipo 2 (CAD 95mm/m), de forma que o valor de DEF de 200mm/ano passa a ser 225mm/ano e o de 400mm/ano passa a 430mm/ano para essa forma de cálculo de BH (Figura 7).

Figura 7 – Relação entre as médias de DEF de cada localidade, obtidas pelos balanços hídricos climatológicos sequenciais, para as CAD de 95mm/m e 125mm/m.

Com a finalidade de se obter os valores de DEF corrigidos para se definir as novas classes de risco para as simulações (Figura 8a e b), foram empregues os valores médios dos déficits climatológicos sequencias obtidos nos seis períodos de plantio simulados (Tabelas, 16 e 17) juntamente com as médias anuais dos DEF climatológicos médios (Tabelas 11 e 13).

O mesmo foi realizado utilizando-se os valores médios dos déficits sequenciais fornecidos pelo BH de cultura (Tabelas 20 e 21) e as médias anuais dos DEF climatológicos médios (Figura 8c e d). Os altos valores de DP apresentados nas Tabelas 20 e 21 indicam que para os DEF sequenciais de cultura a aplicação dessas médias nos cálculos não é, de fato, a melhor metodologia a ser utilizada nesta situação. Contudo, o estabelecimento de valores limites para cada época de plantio se mostrou inviável tanto em matéria de execução quanto nas análises dos resultados que poderiam ser obtidos, uma vez que esses não poderiam ser comparados entre si.

Figura 8 –Relações entre valores médios de DEF gerados a partir dos balanços hídricos climatológico médio e climatológico sequencial, para CAD 95mm/m (a) e 125mm/m (b) e climatológico médio e sequencial de cultura, para CAD 95mm/m (c) e 125mm/m (d)

Após análise dos valores obtidos para cada data de simulação, optou-se por trabalhar com valores médios gerais, justificados pelo alto índice R^2 , o que indica que a utilização das médias dos seis períodos simulados é uma metodologia eficaz para os objetivos propostos.

A partir das correlações entre os déficits hídricos apresentados anteriormente (Figura 8) obtiveram-se os parâmetros delimitadores dos limites de classe de aptidão para os três índices utilizados neste estudo (Tabela 28). Comparando os parâmetros obtidos para CAD 125mm/m, observa-se diferença máxima, entre os valores limites originais e os corrigidos, de 180mm/ano de DEF a mais para o parâmetro corrigido adotado nas simulações de cultura.

Tabela 28 - Valores de limites inferiores e superiores para a faixa de déficits correspondente das faixas de aptidão adotadas no índice AP_{Clima} , de acordo com os tipos de balanço hídrico, e classificação dos anos a partir dos déficits hídricos utilizados nos índices IR_{Clima} e $IR_{Cultura}$

Índice	CAD	Limite inferior		Limite superior
AP_{Clima}	95 mm/m	225mm/ano		430mm/ano
	125 mm/m	200mm/ano		400mm/ano
AP_{Clima} corrigido	95 mm/m	330mm/ano		560mm/ano
	125 mm/m	300mm/ano		530mm/ano
Índice	CAD	Apto	Marginal	Inapto
IR_{Clima}	95 mm/m	DEF < 225 mm/ano	225 mm/ano < DEF < 430 mm/ano	DEF > 430 mm/ano
	125 mm/m	DEF < 200 mm/ano	200 mm/ano < DEF < 400 mm/ano	DEF > 400 mm/ano
IR_{Clima} corrigido	95 mm/m	DEF < 330 mm/ano	330 mm/ano < DEF < 560 mm/ano	DEF > 560 mm/ano
	125 mm/m	DEF < 300 mm/ano	300 mm/ano < DEF < 530 mm/ano	DEF > 530 mm/ano
$IR_{Cultura}$	95 mm/m	DEF < 225 mm/ano	225 mm/ano < DEF < 430 mm/ano	DEF > 430 mm/ano
	125 mm/m	DEF < 200 mm/ano	200 mm/ano < DEF < 400 mm/ano	DEF > 400 mm/ano
$IR_{Cultura}$ corrigido	95 mm/m	DEF < 380 mm/ano	380 mm/ano < DEF < 600 mm/ano	DEF > 600 mm/ano
	125 mm/m	DEF < 340 mm/ano	340 mm/ano < DEF < 580 mm/ano	DEF > 580 mm/ano

4.5 Aptidão Climática (AP_{Clima})

Utilizando os critérios adotados por Manzatto et al. (2009) para o período de julho a novembro (225 e 430mm/ano para solo tipo 2 e 200 e 400mm/ano para solo tipo 3) e as classes de aptidão definidas na Tabela 5, para CAD de 95 mm/m, os municípios com latitude menor que 16°S, com exceção de Aragarças (ARA), são considerados como integrantes de região em que a irrigação é imprescindível (Quadro 1). Já para os municípios com latitude entre 16,7°S e 17,9°S percebe-se que a necessidade de irrigação é reduzida para irrigação de salvamento, mas com período que vai de julho a novembro, portanto antecipado em cerca de três meses em relação ao período proposto nas portarias 241/2010 e 247/2010 (BRASIL, 2010a, 2010b). Essa

antecipação das datas de plantio ocorre num período de forte estiagem nas regiões, o que é consistente com a necessidade de um período seco para a maturação dos colmos na fase final do plantio anterior. Entretanto, a potencialização da produtividade do ciclo a ser então começado, em termos de açúcar e álcool, é conseguida com uso de irrigação de salvamento.

AP _{Clima}			Solo tipo 2 (CAD 95mm/m)						Solo tipo 3 (CAD 125mm/m)					
Localidade	Lat (°)	Alt (m)	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV
POS	14,1	825	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
FOR	15,5	935							D	D	D	D	D	D
CPAC	15,6	1000							D	D	D	D	D	D
PIR	15,9	740	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
ARA	15,9	345	D	D	D	D	D	D						
GOI	15,9	512	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
CNPAF	16,5	823							D	D	D	B	D	D
GYN	16,7	741							D	D	D	B	B	B
IPA	17,7	773	D	D	D	B	B	B	D	D	D	B	B	B
RIO	17,8	774	D	D	D	B	B	B	D	D	D	B	B	B
JTI	17,9	663	D	D	D	B	B	B	B	D	D	B	B	B
CAT	18,2	840	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
ITU	18,4	449							D	D	D	D	D	D

Legenda: Azul - período indicado pelo MAPA para plantio em GO e DF (OUT a MAR); B - Região com irrigação de salvamento indicada; D - Região com irrigação imprescindível; Cinza - tipo de solo não estudado para a localidade

Quadro 1 – Classificação de aptidão climática nos locais para a cana-de-açúcar, de acordo com as datas de plantio, em função de deficiência hídrica pelo BH adotando os limites de 225 e 430 mm/ano para CAD 95mm/m, 200 e 400 mm/ano para CAD 125mm/m.

Fogem um pouco dessa situação as localidades de JTI e CNPAF para solo 3 (Quadro 1). Para a localidade de Santo Antônio de Goiás (CNPAF), somente a simulação iniciada em julho apresenta necessidade de irrigação de salvamento, explicada pela localização do período crítico de necessidade hídrica da cultura, que nesse caso fica em sua maior parte compreendido no período chuvoso local. Esse fator influi no fato do ISNA permanecer acima de 0,6 em todas as simulações realizadas no período (Tabelas 29 e 30), que associado a um déficit médio abaixo do limite de 400mm/ano, garante a melhor classificação. Por sua vez, nas simulações iniciadas nos meses de setembro e novembro, apesar de não haver restrições indicadas pelo índice, a média de DEF foi superior a 400 mm/ano, enquanto que nas simulações restantes, apesar da média permanecer abaixo de 400mm/ano, o ISNA atingiu taxas de 59% de anos acima de 0,6 em janeiro, nenhum ano em março e 29% em maio. O percentual de anos com ISNA acima de 0,6 para as localidades pode ser observado nos Anexos KK e LL.

Tabela 30 - Percentual de anos com ISNA superior a 0,6 para solo tipo 3 (CAD 125mm/m)

Mês	POS	FOR	CPAC	PIR	GOI	CNPAF
JAN	44,1	51,0	43,6	56,3	38,8	58,6
MAR	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
MAI	5,9	10,2	12,8	24,2	8,2	28,6
JUL	85,3	83,7	78,9	93,9	91,8	100,0
SET	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
NOV	100,0	100,0	84,2	100,0	100,0	100,0
Mês	GYN	IPA	RIO	JTI	CAT	ITU
JAN	63,3	62,5	73,7	83,9	51,0	43,8
MAR	8,2	3,0	13,2	22,6	2,0	6,3
MAI	38,8	21,2	47,4	48,4	24,5	6,3
JUL	98,0	100,0	97,4	93,5	91,8	75,0
SET	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
NOV	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Com a utilização dos novos índices de limites dos valores de DEF (Tabela 28), observa-se pelo Quadro 2 considerável modificação em relação aos limites adotados anteriormente. Com exceção de ITU (solo tipo 3), todos os municípios (nos dois tipos de solo) ficam classificados como necessidade de irrigação de salvamento indicada entre julho e novembro, com POS, em solo tipo 2, e CPAC, em solo tipo 3, apresentando um mês a menos nessa indicação e, novamente, JTI, em solo tipo 3, apresentando um mês a mais.

AP _{Clima}			Solo tipo 2 (CAD 95mm/m)						Solo tipo 3 (CAD 125mm/m)					
Localidade	Lat (°)	Alt (m)	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV
POS	14,1	825	D	D	D	D	B	B	D	D	D	B	B	B
FOR	15,5	935							D	D	D	B	B	B
CPAC	15,6	1000							D	D	D	D	B	B
PIR	15,9	740	D	D	D	B	B	B	D	D	D	B	B	B
ARA	15,9	345	D	D	D	B	B	B						
GOI	15,9	512	D	D	D	B	B	B	D	D	D	B	B	B
CNPAF	16,5	823							D	D	D	B	B	B
GYN	16,7	741							D	D	D	B	B	B
IPA	17,7	773	D	D	D	B	B	B	D	D	D	B	B	B
RIO	17,8	774	D	D	D	B	B	B	D	D	D	B	B	B
JTI	17,9	663	D	D	D	B	B	B	B	D	D	B	B	B
CAT	18,2	840	D	D	D	B	B	B	D	D	D	B	B	B
ITU	18,4	449							D	D	D	D	D	D
Legenda: Azul - período indicado pelo MAPA para plantio em GO e DF (OUT a MAR); B - Região com irrigação de salvamento indicada; D - Região com irrigação imprescindível; Cinza - tipo de solo não estudado para a localidade														

Quadro 2 – Classificação de aptidão climática nos locais para a cana-de-açúcar, de acordo com as datas de plantio, em função de deficiência hídrica pelo BH (CAD 95 e 125 mm/m) adotando os limites corrigidos de DEF a partir de correlações

Considerando que os valores de ISNA e DEF não foram modificados, as variações ocorridas nas classificações das localidades são explicadas apenas pela diferença dos limites definidores de classe aplicados. De forma geral, observa-se que, na segunda metade do ano, tanto ISNA quanto DEF não limitam o cultivo, entretanto, ao se considerar o primeiro semestre do ano, essa situação se inverte, de forma que independente do DEF obtido para cada localidade em cada simulação, o ISNA é sempre o definidor da necessidade de irrigação. Isso significa que apesar dos valores de DEF terem a possibilidade de serem inferiores a 330mm/ano, para solo tipo 2, ou 300mm/ano, para solo tipo 3, o ISNA indica que esse déficit ocorre no momento em que a cultura necessita do maior volume de água.

Assim, regiões que anteriormente foram classificadas como de alto risco de plantio nas simulações sob os parâmetros de limites originais (Quadro 1), passaram a ser consideradas de risco mediano, de acordo com os índices de plantio e colheita publicados pelo IBGE (2014) para tais localidades (Anexos II e JJ). Entretanto, mesmo após a modificação dos limites de DEF (Quadro 2), o município de ITU permanece com todas as datas de plantio no ano originando períodos indicados como de irrigação imprescindível, ocasionado pelos elevados níveis de déficit da região.

Gerstemberger (2012) realizou a “caracterização das relações hídricas e avaliação do desempenho de modelos de produção água-cultura para cana-de-açúcar no município de Paranavaí-PR”, utilizando, além dos componentes do balanço hídrico, o ISNA no estudo. Para tal, considerou o solo local como Latossolo Vermelho distrófico, com CAD que se assemelha ao solo tipo 2 utilizado no atual estudo. A pesquisa identificou 3 fases fenológicas para a cultura, tendo a primeira (brotação e perfilhamento) duração de 231 dias, a segunda (crescimento em estatura), 160 dias e a terceira (diminuição do crescimento e acúmulo de sacarose), 112 dias. Assim, realizando uma comparação direta entre os dois trabalhos, o período crítico considerado no presente estudo tomaria o final da fase 1 até pouco mais da metade da segunda fase. Em seus resultados, o autor menciona que em mais de 25% dos anos estudados, o ISNA não atingiu o valor de corte em que se considera que há pouca ou nenhuma penalização por déficit hídrico para a cultura (valor este igual a 0,6). O período de plantio considerado para a cana planta foi o mês de abril, assim o período crítico mencionado ficou situado entre junho e outubro. Em suas conclusões, o autor cita a classificação da localidade como B (indicação de irrigação de salvamento), com parâmetros utilizados iguais à primeira metodologia adotada no presente estudo. Há de se considerar que Paranavaí possui clima Cfa (clima temperado úmido com verão quente), sem período de seca determinado, favorecendo assim o plantio da cana ao longo do ano e que o estudo foi realizado considerando a cana-planta de ano e meio.

Considerando o cultivo da cana na faixa litorânea compreendida entre o sul da Bahia e o norte do Maranhão, cujo regime pluviométrico se assemelha ao da região estudada (verão chuvoso e inverno seco, com altura pluviométrica média de 1500mm/ano), Silva et al. (2013) encontraram que o período de baixo risco de cultivo da cana se estende entre novembro e fevereiro. Entretanto, algumas diferenças metodológicas devem ser consideradas, como os critérios das faixas de aptidão adotadas, onde períodos com mais de 80% de valores de ISNA maiores que 0,65 garantem o baixo risco, entre 0,55 e 0,65 são indicados como médio risco e abaixo de 0,5, são considerados como alto risco.

4.6 Índice de Risco Climático (IR_{Clima})

Baseado nos parâmetros estabelecidos por Manzatto et al. (2011) e os obtidos a partir do estudo de correlação entre as CADs utilizadas (Tabela 28), definiram-se os índices de risco com base especificamente na climatologia das localidades. Os resultados (Quadro 3) mostram que, para os solos tipo 2 e 3, os plantios nos períodos considerados do ano geram riscos considerados de moderado a muito alto, indicando a necessidade de irrigação complementar em todos os casos, principalmente POS, GOI e ITU.

IR _{Clima}			Solo tipo 2 (CAD 95mm/m)						Solo tipo 3 (CAD 125 mm/m)					
Localidade	Lat (°)	Alt (m)	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV
POS	14,1	825	4,56	4,40	4,21	4,56	4,56	4,49	4,56	4,47	4,29	4,56	4,56	4,57
FOR	15,5	935							3,96	3,96	3,47	4,08	4,45	4,08
CPAC	15,6	1000							3,92	4,08	3,77	4,13	4,21	4,13
PIR	15,9	740	3,97	3,91	3,58	4,09	4,09	3,91	3,97	3,91	3,58	4,09	4,09	3,91
ARA	15,9	345	3,77	3,77	3,50	3,88	3,88	3,95						
GOI	15,9	512	4,39	4,33	4,10	4,47	4,51	4,39	4,39	4,39	4,20	4,41	4,51	4,39
CNPAF	16,5	823							3,34	3,29	2,96	3,39	3,71	3,50
GYN	16,7	741							2,94	2,94	2,51	2,65	3,00	3,00
IPA	17,7	773	3,31	3,36	2,91	2,82	3,09	3,27	3,31	3,27	2,82	2,91	3,09	3,27
RIO	17,8	774	3,08	2,92	2,89	2,71	3,13	3,33	3,08	3,00	2,82	2,84	3,13	3,33
JTI	17,9	663	3,29	3,29	2,65	2,81	2,90	3,29	3,29	3,19	2,71	2,81	2,81	3,29
CAT	18,2	840	3,29	3,12	3,06	3,35	3,35	3,53	3,37	3,12	3,06	3,35	3,35	3,53
ITU	18,4	449							4,44	4,44	4,63	4,81	4,82	4,63
Legenda: Vermelho - Risco muito alto; Laranja - Risco alto; Amarelo - Risco moderado; Verde Claro - Risco baixo; Verde escuro - Risco muito baixo; Cinza - tipo de solo não estudado para a localidade														

Quadro 3 – Índice de Risco Climático para a cana-de-açúcar, de acordo com as datas de plantio (CAD 95 e 125 mm/m) adotando os limites de 200 e 400 mm/ano

Para as regiões de latitude mais elevada (entre 16 e 18°S) observa-se uma faixa compreendida entre março e setembro com riscos menores de quebra de produtividade relacionada ao déficit hídrico, para ambos os solos. Considerando as simulações com menor CAD, observa-se que CAT apresenta um mês com risco moderado, sendo o restante dos meses classificados como de risco alto. Já RIO apresenta a melhor classificação de risco, com 4 meses com risco moderado. Analisando as simulações para solo tipo 3, percebe-se que, apesar dos índices apresentarem uma ligeira elevação em seus valores, isso não foi suficiente para a ocorrência de mudanças nas classificações de risco das localidades.

Entretanto, observa-se que GYN, GOI e ITU não seguem o comportamento das localidades próximas, uma vez que a primeira apresenta risco moderado e as outras, risco muito alto durante todo o ano. Isso pode ser explicado pela maior altura pluviométrica de GYN em relação às estações próximas (1782,8mm/ano frente a 1486,9mm/ano em CNPAF e 1460,5mm/ano em IPA) e pelo menor valor em GOI (1077,3mm/ano em comparação com 1532,1 mm/ano de ARA) e ITU (1280,5 mm/ano), enquanto CAT apresenta 1468,2mm/ano.

Por sua vez, POS, localizada no extremo nordeste do Estado, apresenta precipitação média de 1411,3mm/ano e temperatura média anual de 24,4°C, o que, adicionadas às características da série meteorológica e a altitude da estação (825m) conferem déficits hídricos mensais médios semelhantes aos apresentados por GOI, com a mesma classificação de risco. As informações acerca dos volumes médios de precipitação podem ser observadas no Anexo A.

Com a utilização dos limites corrigidos para DEF (Tabela 28), observa-se considerável modificação (Quadro 4) em relação aos resultados apresentados anteriormente (Quadro 3). Dessa forma, o risco alto pode ser visualizado em duas localidades: GOI (plantios em janeiro, março e novembro, em solo tipo 2 e janeiro, março, setembro e novembro, em solo tipo 3) e ITU, em solo tipo 3.

IR _{Clima}			Solo tipo 2 (CAD 95 mm/m)						Solo tipo 3 (CAD 125 mm/m)					
Localidade	Lat (°)	Alt (m)	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV
POS	14,1	825	2,76	2,69	2,79	2,97	2,97	2,97	2,68	2,76	2,71	2,97	2,88	2,89
FOR	15,5	935							2,57	2,63	2,06	2,31	2,31	2,51
CPAC	15,6	1000							2,72	2,87	2,64	3,00	2,82	3,05
PIR	15,9	740	2,66	2,64	2,48	2,70	2,76	2,82	2,66	2,64	2,48	2,70	2,76	2,82
ARA	15,9	345	2,38	2,46	2,15	2,25	2,13	2,33						
GOI	15,9	512	3,14	3,14	2,78	2,90	3,04	3,14	3,14	3,14	2,78	2,90	3,14	3,14
CNPAF	16,5	823							2,14	1,96	1,75	1,96	1,96	2,07
GYN	16,7	741							1,80	1,80	1,45	1,51	1,55	1,82
IPA	17,7	773	1,81	1,70	1,58	1,88	1,76	1,73	1,81	1,76	1,58	1,94	1,76	1,73
RIO	17,8	774	1,61	1,66	1,39	1,61	1,68	1,72	1,66	1,66	1,45	1,61	1,68	1,72
JTI	17,9	663	1,26	1,26	1,19	1,48	1,68	1,32	1,32	1,32	1,26	1,48	1,68	1,29
CAT	18,2	840	2,06	2,08	1,96	2,04	2,10	2,14	2,06	2,08	1,94	2,04	2,10	2,14
ITU	18,4	449							3,50	3,50	3,50	3,88	3,94	3,88

Legenda: Vermelho - Risco muito alto; Laranja - Risco alto; Amarelo - Risco moderado; Verde Claro - Risco baixo; Verde escuro - Risco muito baixo; Cinza - tipo de solo não estudado para a localidade

Quadro 4 – Índice de Risco Climático para a cana-de-açúcar, de acordo com as datas de plantio (CAD 95 e 125 mm/m) adotando os limites corrigidos de DEF a partir de correlações

Analisando detalhadamente a equação 3.5.1 é possível identificar que, mesmo quando há 40% de anos classificados como aptos, o risco da localidade é considerado no mínimo moderado, sendo que a presença de anos inaptos agrava essa classificação.

Os riscos altos em GOI foram ocasionados pelo fato de 40,8% dos anos estudados terem sido classificados como inaptos nos meses de maior risco (Anexo CC e Anexo DD), de acordo com a classificação da Tabela 28, o que gerou uma maior penalização na composição do índice, em ambos os solos, enquanto que nos meses restantes, a composição de anos inaptos variou de 28 a 38%. Para ITU, os níveis de anos inaptos variaram entre 50 e 62%.

No restante dos municípios (nos dois tipos de solo) a classificação variou entre risco muito baixo a risco moderado, com uma faixa de menor risco distribuída entre aqueles localizados entre 16 a 18°S. Observa-se que para GYN, IPA e RIO, há a ocorrência de reduções nos índices no decorrer do ano, ocasionadas em todos os casos por mais anos classificados como aptos nas séries (menores níveis de déficit hídrico).

Em CNPAF, com solo tipo 3, e JTI e CAT, para ambos os solos, há elevação de risco com os plantios em janeiro (CNPAF), em setembro (JTI) e em setembro e novembro (CAT). Essas elevações podem ser explicadas pela ocorrência de 76% de anos marginais, associados a 14% de anos inaptos em CNPAF. Em JTI essa variação é ocasionada pela redução de anos aptos de 26% para 16% associada ao incremento nos anos considerados marginais, de 74% para 84%. Já em CAT, a redução dos anos aptos foi o causador da modificação nos riscos.

4.7 Índice de Risco de Cultura ($IR_{Cultura}$)

Ao se inserir os fatores de cultura, é possível observar uma modificação do comportamento dos riscos nas localidades (Quadro 5 e 6), em relação às simulações do IR_{Clima} (Quadros 3 e 4) sob mesmos parâmetros. Em geral o plantio realizado no período úmido do ano gera maiores riscos de produção. Isso é ocasionado pela obtenção de DEF elevados nos anos estudados, que, considerando os limites adotados nessa simulação, ficaram bem acima do valor máximo, garantindo a classificação “ano inapto” em mais de 80% dos anos.

Observam-se três ocorrências de risco baixo em GYN (solo tipo 3) e JTI (solo tipos 2 e 3) (Quadro 5). Na primeira, há de se considerar que o valor obtido do índice fica extremamente perto do limite (2,1) da classificação (Tabela 28), ocasionado por uma menor ocorrência de anos inaptos na série (10% frente valores superiores a 20% nas outras simulações). Já JTI apresenta baixo risco em setembro, para solo tipo 2, e julho, em solo tipo 3. Essas reduções de risco, similarmente ao ocorrido em GYN, são explicadas pela quantidade de anos inaptos, marginais e aptos, com a redução do primeiro e aumento deste último (Anexo EE e Anexo FF), gerando resultados com uma classificação de menor de risco.

$IR_{Cultura}$			Solo tipo 2 (CAD 95mm/m)						Solo tipo 3 (CAD 125mm/m)					
Localidade	Lat (°)	Alt (m)	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV
POS	14,1	825	5,00	4,83	4,21	3,59	4,03	4,91	5,00	4,91	4,21	3,59	4,12	4,91
FOR	15,5	935							4,94	4,82	3,78	3,41	3,22	4,88
CPAC	15,6	1000							4,85	4,69	3,92	3,84	3,82	5,00
PIR	15,9	740	4,91	4,64	3,76	2,97	3,36	4,73	4,91	4,73	3,76	2,88	3,36	4,73
ARA	15,9	345	4,85	4,69	3,73	3,45	3,43	4,63						
GOI	15,9	512	4,94	4,88	4,14	3,49	3,84	4,94	4,94	4,88	4,14	3,49	3,78	4,94
CNPAF	16,5	823							4,79	4,57	3,29	2,29	2,75	4,46
GYN	16,7	741							4,63	3,96	2,86	2,06	2,59	4,14
IPA	17,7	773	4,53	4,27	3,18	2,55	2,64	4,36	4,63	4,27	3,18	2,64	2,73	4,36
RIO	17,8	774	4,37	4,21	3,16	2,34	2,45	4,08	4,37	4,21	3,08	2,39	2,45	4,08
JTI	17,9	663	4,32	3,84	2,94	2,29	1,97	3,55	4,42	3,84	2,94	1,94	2,13	3,55
CAT	18,2	840	4,88	4,45	3,16	3,04	3,10	4,76	4,88	4,45	3,16	2,98	3,10	4,76
ITU	18,4	449							5,00	5,00	4,81	4,63	4,65	5,00

Legenda: Vermelho - Risco muito alto; Laranja - Risco alto; Amarelo - Risco moderado; Verde Claro - Risco baixo; Verde escuro - Risco muito baixo; Cinza - tipo de solo não estudado para a localidade

Quadro 5 – Índice de Risco de Cultura para a cana-de-açúcar, de acordo com as datas de plantio (CAD 95 e 125 mm/m) adotando os limites de 200 e 400 mm/ano

No período entre maio e setembro, riscos menores podem ser verificados para ambos os solos (Quadro 5). Analisando as simulações para solo tipo 3, semelhantemente às simulações de IR_{Clima} (Quadro 3), percebe-se que apesar dos índices apresentarem uma ligeira elevação em

seus valores, isso não foi suficiente para mudar as classificações de risco das localidades, a excetuar-se o caso já mencionado de JTI.

Novamente, ITU não segue o comportamento dos municípios próximos, uma vez que apresenta risco muito alto durante todo o ano. Como já citado, o regime pluviométrico desta estação tende a ser o fator de maior peso no tocante ao déficit hídrico, resultando nos riscos elevados.

Com a aplicação de limites de classe adaptados (Tabela 28), existem poucas ocorrências de alto risco (Quadro 6) para a cana, e as cinco ocorrências existentes são ocasionadas principalmente pela presença de mais de 73% de anos inaptos e nenhum ano apto ao plantio nas duas estações (Anexo GG e Anexo HH).

IR _{Cultura}			Solo tipo 2 (CAD 95mm/m)						Solo tipo 3 (CAD 125mm/m)					
Localidade	Lat (°)	Alt (m)	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV
POS	14,1	825	4,29	3,49	2,35	1,97	1,88	3,80	4,21	3,41	2,32	1,71	1,85	3,54
FOR	15,5	935							3,47	3,10	2,02	1,55	1,63	2,86
CPAC	15,6	1000							3,92	3,23	2,18	1,71	1,89	3,89
PIR	15,9	740	3,91	3,30	2,12	1,15	1,52	3,33	3,91	3,30	2,06	1,33	1,61	3,24
ARA	15,9	345	3,54	2,85	1,58	1,28	1,35	2,93						
GOI	15,9	512	4,27	3,51	2,41	1,59	1,94	3,43	4,08	3,55	2,22	1,61	1,92	3,47
CNPAF	16,5	823							2,86	2,57	1,29	0,93	1,29	2,46
GYN	16,7	741							2,47	2,08	0,90	0,53	0,90	2,04
IPA	17,7	773	3,13	2,33	1,39	0,79	0,91	2,33	2,94	2,24	1,39	0,97	1,15	2,24
RIO	17,8	774	2,89	2,26	1,32	0,63	0,84	2,03	2,74	2,32	1,29	0,74	0,89	1,87
JTI	17,9	663	3,06	2,19	1,13	0,52	0,52	1,90	2,97	2,16	1,13	0,58	0,65	1,94
CAT	18,2	840	2,94	2,53	1,53	1,22	1,29	2,63	2,88	2,51	1,59	1,22	1,39	2,43
ITU	18,4	449							4,44	4,44	3,50	2,94	2,06	4,06

Legenda: Vermelho - Risco muito alto; Laranja - Risco alto; Amarelo - Risco moderado; Verde Claro - Risco baixo; Verde escuro - Risco muito baixo; Cinza - tipo de solo não estudado para a localidade

Quadro 6 – Índice de Risco de Cultura para a cana-de-açúcar, de acordo com as datas de plantio (CAD 95 e 125 mm/m) adotando os limites corrigidos de DEF a partir de correlações

As maiores variações de classe de risco ocorrem nas estações situadas em latitudes mais baixas, entre 14 e 15,9°S. Nessas estações existe grande flutuação temporal em relação ao balanço hídrico, principalmente ao se inserir o coeficiente de cultura (kc), o que pode ser observado nas Tabelas 22 e 23.

Assim, observa-se que todas as localidades possuem períodos com baixo risco à atividade, a incluir ITU, que em todas as simulações anteriores se mostrou inapta à cultura da cana-de-açúcar. A produção de cana em ITU apresenta uma das maiores produções do Estado, com mais de três milhões de toneladas colhidas na safra de 2013 (Anexo JJ). De acordo com Ministério Público do Estado de Goiás (GOIÁS, 2015), existem ao menos 6 usinas canavieiras em atividade na região e, em todos os casos, tecnologia não considerada neste estudo (utilização

de irrigação de salvamento, vinhaça, plantio direto, adubação e manejo consciente do canavial), é empregada em um volume proporcional à atividade, o que resulta em níveis de produção acima da média do Estado. É importante salientar que sem a utilização de irrigação e vinhaça o volume produzido em ITU seria consideravelmente menor, em concordância com os resultados obtidos no Quadro 5. Contudo, no último resultado apresentado, a potencialidade da região ao cultivo de sequeiro pode ser observada, que aliada às tecnologias disponíveis atualmente poderia incutir nos altíssimos níveis de produção da localidade.

Comparando os últimos resultados (Quadro 6) com os apresentados anteriormente (Quadro 5), pode-se visualizar uma melhora considerável no período de plantio com níveis mais baixos de risco. Entretanto, o período de plantio empregado na região de estudo para cana de ano varia de outubro a dezembro, dentro da faixa adotada pelo MAPA que vai de outubro a março. O aumento de cinco meses de período favorável ao plantio é ocasionado pela inclusão dos novos índices de DEF (Tabela 28).

Vianna (2014), em seu estudo sobre o risco climático para a cana-de-açúcar para diferentes regiões brasileiras, com base em uma meta de produtividade atingível (PA) de 65% da produtividade potencial (PP), e em outra com PA de 45% de PP, trabalhou com três localidades de Goiás (Formosa, Pirenópolis e Jataí), utilizando Latossolo Vermelho Distrófico (CAD 71mm) e Latossolo Roxo distrófico (CAD 152 mm). Para o primeiro tipo de solo e para o cenário em que $PA \geq 65\% PP$ o autor encontrou resultados com indicação de datas de plantio com baixo risco entre maio e agosto para Formosa, já para Pirenópolis e Jataí estas datas ficaram compreendidas entre março e outubro. Para o cenário em que a PA atinge pelo menos 45% da PP, Formosa obteve janela de plantio com baixo risco de fevereiro a outubro, e nas outras duas localidades essa janela foi estendida para o ano inteiro. Utilizando Latossolo Roxo Distrófico (CAD 152mm), para o primeiro cenário ($PA \geq 65\% PP$) o autor estabeleceu datas de plantio de baixo risco para Pirenópolis compreendidas entre março e novembro, assim como para Jataí, com a adição do mês de janeiro. Formosa, por sua vez apresentou datas de plantio de baixo risco entre abril e setembro. No segundo cenário ($PA \geq 45\% PP$) os resultados indicaram baixo risco de plantio durante todo o ano.

4.8 Comparações e peculiaridades dos três métodos

Ao se comparar os resultados obtidos com os diferentes indicadores envolvidos no estudo, há de se ponderar uma série de fatores para a conclusão de qual utilizar em uma tomada de decisão. Deve-se ter em mente que eles têm por base a temperatura do ar e a precipitação aplicadas ao modelo de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955) em base decendial, com modificações referentes à forma de uso dos dados climatológicos na sua elaboração, que levam aos BH médios e aos sequenciais e, dentro desses últimos, utilização de cobertura vegetal gramada (BH sequencial climatológico) ou de uma cultura. Há de considerar, também, que foram utilizadas séries históricas de extensão variáveis, sendo a de Itumbiara a menor delas. Evidentemente, isto afeta os resultados e a comparação entre as localidades, principalmente quanto à representatividade dos dados, tendo-se a considerar, também, a possibilidade de possíveis mudanças climáticas, que não foi fonte de estudo no trabalho.

É necessário considerar, também, diferenças conceituais embutidas nos diferentes índices. No APClima são analisados tanto os fatores hídricos quanto os de temperatura das localidades estudadas. Por outro lado, tanto IRClima quanto IRCultura devem ser aplicados somente em locais em que o estudo de aptidão térmica tenha sido realizado previamente, não apresentando restrição térmica ao cultivo.

Ao incluir as avaliações referentes ao ISNA em seus cálculos, o APClima define não somente se o déficit existente pode ser, ou não, prejudicial à cultura como também se ele ocorre em momento não propício ao desenvolvimento da mesma, no caso, no período compreendido entre o 60º e o 210º dia após o plantio.

Por sua vez, os índices IR (de Clima e Cultura) quantificam o risco de forma integrada ao valor de DEF, pelo emprego dos pesos diferenciados a cada classe de aptidão (0 para ciclo apto, 2 para marginal e 5 para inapto). Nos índices, há ainda a possibilidade de se analisar com maior profundidade os efeitos de duração do ciclo em função da temperatura, de forma a incluir um estudo fenológico detalhado, o que não foi o alvo deste estudo.

Apesar desses problemas, os resultados permitem a constatação de algumas situações definidas. Por exemplo, o fato de se usar CADs diferentes para cada tipo de solo, relativamente próximas (95 e 125 mm/m) não levou a índices e indicações muito diferentes quando elas são comparadas dentro da mesma forma de uso de DEF (corrigido ou não). Entretanto, é importante ressaltar que na classificação de solos de Lopes-Assad et al. (2007) o solo tipo 2 é definido como tendo CAD entre 70 e 10mm/m, de modo que a adoção de outro valor inferior ao adotado

neste estudo poderia alterar significativamente os índices e as indicações. Esse efeito do uso de valores acentuadamente diferentes de CAD pode ser visto nos resultados de Vianna (2014), de 71 mm e 152 mm, acima citados.

As correções dos valores limites de DEF definidores de classe de aptidão, para todos os índices testados, permitiram que um número maior de localidades e períodos de plantio apresentassem melhores indicações quanto ao grau de risco.

Os resultados do APCLima, para as duas CADs (ou tipos de solo) consideradas, indicam que ambas sempre mantiveram a indicação da necessidade de irrigação imprescindível para os períodos de março e maio. Apenas para as demais épocas de plantio ocorreram melhores índices de risco, ampliando a possibilidade de locais e épocas com irrigação de salvamento. Como não há relação direta entre os índices numéricos dos IRs e recomendação de irrigação (imprescindível ou salvamento), fica difícil concluir e comparar seus resultados diretos.

Comparando os IRs, com limites de DEF corrigidos, os resultados do IRClima indicam redução do risco para todas as datas de plantio, basicamente para localidades de latitude maior que 16,5°S, enquanto o IRCultura mantém, para o período de plantio de novembro a março, índices de risco mais elevados, reduzindo-os apenas para as demais datas e para localidades de maior latitude.

A ausência de comparação dos resultados (Quadros 1 a 6) com os do sistema de produção canavieira de Goiás e Distrito Federal, dificulta uma conclusão plena sobre a melhora dos resultados do APCLima, usado no zoneamento de risco para a cultura, realizado pelo MAPA. Acredita-se que, a atual proposta possa ter melhorado as indicações, tornando-as mais úteis no planejamento de plantios principalmente naqueles em que se usa irrigação, havendo-se a considerar que essa prática, na cultura da cana, é relativamente pequena em GO e DF, correspondendo a apenas 16% da área plantada da cultura (GOIAS, sd).

5 CONCLUSÕES

“Eu posso não ter ido para onde eu pretendia ir,
mas eu acho que acabei terminando onde eu pretendia estar.”

Douglas Adams

A correção dos limites de DEF por uso de correlações entre os valores obtidos a partir do balanço hídrico médio e aqueles obtidos pelo balanço hídrico sequencial, seja o puramente climatológico, seja o de cultura, levaram à resultados indicadores de que a metodologia usada pode ser considerada adequada à obtenção de resultados mais coerentes na aplicação dos índices de aptidão de riscos climáticos para a cultura canavieira nas localidades estudadas.

Em geral os índices usados com tais correções permitiram visualizar uma janela de plantio maior do que a proposta no zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, para as duas unidades da Federação consideradas.

O índice de aptidão climática (AP_{Clima}) mostrou-se interessante por permitir a indicação de necessidade de uso de irrigação, mas é o mais rígido dos utilizados ao indicar recomendação de irrigação salvamento e/ou imprescindível em todas as localidades e períodos de plantio estudados.

Os índices originários de balanços hídricos sequenciais (IR_{Clima} e o $IR_{Cultura}$) apresentaram indicações de cenários mais propícios ao cultivo em função de épocas de plantio do que AP_{Clima} , quando usados os valores corrigidos de déficit, sendo que para latitudes superiores a 16° S o IR_{Clima} mostrou tendência de uma maior abertura da janela de plantio com menores possibilidades de quebra de produtividade motivada por DEF. Entretanto, as avaliações de risco de ambos não incluem o efeito da época de ocorrência dos déficits, podendo subestimar os resultados do período seco do ano e demandando maiores estudos de sua aplicabilidade.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Irrigation and drainage**. Rome: FAO, 1998. 22 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA, T.S.; CALIJURI, M.L.; PINTO, L.B. Zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar para o Estado de Minas Gerais com base em regressões múltiplas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 3, p. 352-355, 2013.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRADE, R da S. & STONE, L. F.; Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 111-116, 2011.

ANTWERPEN R. V. Sugarcane root growth and relationships to above-ground biomass. **Proceedings of South African Sugarcane Technologist Association**, Mount Edgecombe, v. 73, n. 1, p. 89-95, 1999.

BARBIERI, V.; SILVA, F.C. Coeficiente de cultura (Kc) da cana-de-açúcar para o primeiro e segundo cortes, em função do acúmulo de graus-dia durante os diferentes estágios de crescimento. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 30, n. 4, p. 1-22, 2012.

BARBIERI, V.; BACCHI, O.O.S.; VILLA NOVA, N.A. Análise do fator temperatura média do ar no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1. 1979. Mossoró. **Anais...** Mossoró: SB Agro, 1979. p. 192-197.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Plano Nacional de Agroenergia – 2006 – 2011**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção Tecnológica, 2006. 114p.

_____. **Seguro rural**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

_____. Leis, decretos, etc. Portaria nº 241/2010, de 10 de agosto de 2010. Divulga o Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura da cana-de-açúcar no Distrito Federal, **Diário Oficial**, Brasília, 10 ago. 2010a. p. 80.

_____. Portaria nº 247/2010, de 10 de agosto de 2010. Divulga o zoneamento agrícola de risco climático para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de Goiás. **Diário Oficial**, Brasília, 10 ago. 2010b. p. 90.

BUSO, P.H.M.; KOELLER, H.S.; DAROS, E.O sistema radicular da variedade RB855536 da cana-de-açúcar no plantio em minitolete e tolete. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 5, p. 343-349, 2009.

CAMARGO, A.P. de. Regiões climaticamente aptas a seringueira no Brasil. In: _____. **Cultura da seringueira**. São Paulo: Ministério da Agricultura; CATI; ETA; Secretaria da Agricultura de São Paulo, 1958. 12p.

_____. Possibilidades climáticas da cultura da seringueira em São Paulo. **O Agrônomo**, Campinas, v. 11, n. 5/6, p. 43-31, 1959.

CAMARGO, A.P. de; ALFONSI, R.R.; PINTO, H.S.; CHIARINI, J.V. Zoneamento de aptidão climática para culturas comerciais em áreas de cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4., 1976, Brasília. p. 89 – 105, 1976.

CAMARGO, A. P. de; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P.C.; PICINI, A.G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e super úmidos, com base na amplitude térmica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.

CAMARGO, AP de; ORTOLANI, A.A. Clima das zonas canavieiras do Brasil. In: _____. **Cultura e adubação da cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa, 1964. p. 121-138.

CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P.C.; PICINI, A.G. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARVALHO, L. G. de; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CASTRO, S.S. de; ABDALA, K.; SILVA, A.A.; BÔRGES, V.M.S. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia, v. 30, n. 1, p. 171-191, jan./jun. 2010.

CECÍLIO, R.A.; MEDEIROS, S. de S.; DANTAS NETO, F.S.; SOUZA, J.A.A. de; SOARES, A.A. de. Zoneamento climático associado ao potencial de cultivo das culturas do café, cana-de-açúcar e amendoim nas sub-bacias do alto e médio São Francisco em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 39-45.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – terceiro levantamento**. Brasília, 2014a. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_12_19_09_02_49_boletim_cana_portugues_-_3o_lev_-_2014-15.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2015.

_____. **Série histórica de área plantada, produtividade e produção da cana-de-açúcar**. Brasília, 2014b. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1534&t=2>>. Acesso em: 16 set. 2014.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

EVANGELISTA, B.A. **Projeção de cenários atuais e futuros de produtividade de cana-de-açúcar em ambiente de Cerrado**. 2011. 188 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

FAO. **FAOSTAT**: production quantities by country of 2012. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 29 out. 2014.

FARONI, C.E. **Sistema radicular da cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas**. 2004. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La cane à sucre**. Paris: G.P. Maisonneuve & Larose, 1970. 468p.

GOIÁS. Ministério Público do Estado de Goiás. Situação dos empreendimentos sucroalcooleiros quanto ao licenciamento ambiental, inscrição no cadastro de contribuintes do Estado de Goiás e concessão de benefícios fiscais fomentar/produzir. Disponível em: <http://www.mp.go.gov.br/nat_sucroalcooleiro/Documentos/relacao/tabela_usinas.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2015.

_____. Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento. **Desenvolvimento da irrigação no Estado de Goiás**. Goiás, s.d. 29 diapositivos: color.

GERSTEMBERGER, E. Caracterização das relações hídricas e ajuste de modelos de produção água-cultura para cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região de Paranavaí-PR. 2012. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal 2007-2013**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2013/default.shtm>>. Acesso em: 15 março 2015.

IDE, B.Y.; ALTHOFF, D.A. THOMÉ, V.M.R.; VIZZOTTO, V.J. **Zoneamento agroclimático do estado de Santa Catarina: 2ª etapa**. Florianópolis, EMPASC, 1980. 106 p.

INFORZATO, R.; ALVAREZ, R. Distribuição do sistema radicular em solo tipo terra roxa legítima. **Bragantia**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 1-12, 1957.

INMAN-BAMBER, N.G. A growth model for sugar-cane based on a simple carbon balance and the Ceres-Maize water balance. **South African Journal of Plant and Soil**, Pretoria, v. 8, p. 93-99, 1991.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007: the physical science basis; summary for policymakers**. Geneva, 2007. 18 p.

IU, D.L.; KINGSTON, G.Q. CANE: a simulation model of sugarcane growth and sugar accumulation. In: ROBERTSON, M.J. (Ed.). **Research and modeling approaches to assess**

sugarcane production opportunities and constraints. St. Lucia: University Of Queensland, 1995. p. 25-29.

JAMES, G. **Sugarcane.** 2nd ed. Oxford: Blackwell, 2004. 216p.

JOAQUIM, A.C. Identificação de variedades de cana-de-açúcar em três classes texturais de solos, na região de Araraquara - SP, através de análise de nível de cinza em imagens Landsat/TM. 1998. 118 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

JONES, C.A.; WEGENER, M.K.; RUSSELL, J.S.; MCLEOD, I.M.; WILLIAMS, J.R. **Auscane:** simulation of Australian sugarcane with Epic. Canberra: CSIRO, 1989. 99 p.

JONES, M.; SINGELS, A. DSSAT v.4.5 - sugarcane plant module: user documentation. In: INTERNATIONAL CONSORTIUM FOR SUGARCANE MODELING, nº, 2008, Mount Edgecombe. **Proceedings International Society Sugarcane Technology** Mount Edgecombe: SASTA, 2008. 57p.

KEATING, B.A.; ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; HUTH, N.I. Modelling sugarcane production system I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.61, p. 253-271, 1999.

LOPES-ASSAD, M. L.; BOSCHI, R. S.; NOMURA, E.; EVANGELISTA, B. A.; SILVA, J. S. V. Uso de informações de solos no zoneamento agrícola de risco climático. In: **XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia** - 02 a 05 de julho de 2007 - Aracaju - SE.5p. CD-Rom.

MANZATTO, C.V.; ASSAD, E.D.; BACCA, J.F.M.; ZARONI, M.J.; PEREIRA, S.E.M. (Org.). **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55 p.

MARENGO J.A. Cenários de mudanças climáticas para o Brasil em 2100. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 34, p. 100-125, 2007.

MARIN, F.R. **Eficiência de produção da cana-de-açúcar brasileira: estado atual e cenários futuros baseados em simulações multimodelos.** 2014. 262 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

MARIN, F.R.; PELLEGRINO, G.Q.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULO JUNIOR, J. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J.E.B.A. (Ed.). **Agrometeorologia dos cultivos:** o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. p. 111-130.

MARIN, F.R.; PELLEGRINO, G.Q.; ASSAD, E.D.; NASSIF, D.S.P.; VIANA, M.S.; SOARES, F.A.; CABRAL, L.L.; GUIATTO, D. Cenários futuros para cana-de-açúcar no estado de São Paulo baseados em projeções regionalizadas de mudanças climáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SB Agro, 2009. v. 16

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F. de; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.7, n.2, p.275-279, 2003.

MICHELLON, E.; SANTOS, A.A.L.; RODRIGUES, J.R.A. Breve descrição do Proálcool e perspectivas futuras para o etanol produzido no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Brasília: SOBER, 2008. v. 46

MOTA, F.S. da; BEIRSDORF, M.I.C.; ACOSTA, M.J.C.; MOTTA, W.A.; WESTPHALEN, S.L. **Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Pelotas: IPEAS, 1974. v. 2, 122 p. (Circular, 5).

MONTEIRO, L.A. Modelagem agrometeorológica como base para a definição de ambientes de produção para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. 2012. 116 p. Dissertação (Mestrado em Física no Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

MONTEIRO, L.A.; SENTELHAS, P.C. Potential and actual sugarcane yields in Southern Brazil as a function of climate conditions and crop management. **Sugar Tech**, v. 16, p. 264-276, 2013. DOI: 10.1007/s12355-013-0275-0.

MOZAMBANI, A.E.; PINTO, A.S.; SEGATO, S.V.; MATTIUZ, F.M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (org.) **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 11-18.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

RUDORFF, B.F.T.; BATISTA, G.T. **Relatório da fase I do projeto ESTIMA: desenvolvimento de um modelo para estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar baseado em dados Landsat e agrometeorológicos**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1988. 93 p. (Relatório Técnico).

SÃO PAULO (Governo). Secretaria da Agricultura. **Zoneamento agrícola do estado de São Paulo**. São Paulo, 1974. v. 1, 165 p.

_____. **Zoneamento agrícola do estado de São Paulo**. São Paulo, 1977. v. 2, 165 p.

SCARPARE, F.V. **Simulação do crescimento da cana-de-açúcar pelo modelo agrohidrológico SWAP/WOFOST**. 2011. 164 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SCARPARI, M.S.; BEAUCLAIR, E.G.F. de. Anatomia e botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L.L. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. v. 1, p. 47-56.

SILVA, V.P.R. da; OLIVEIRA, S.D. de; SANTOS, C.A.C. dos; SILVA, M.T. Risco climático da cana-de-açúcar cultivada na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 180–189, 2013.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1).

VIANNA, M.S. Risco climático para a cultura da cana-de-açúcar e estratégias de manejo de irrigação complementar para sua minimização em diferentes regiões brasileiras. 2014. 178 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

VIANNA, M. S.; SENTELHAS, P. C. Simulação do risco de déficit hídrico em regiões de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. **Pesq. agropec. bras.** Brasília, vol. 49 no. 4 2014.

VIANNA, M. S.; SENTELHAS, P. C. Performance of DSSAT CSM-CANEGRO Under Operational Conditions and its Use in Determining the ‘Saving Irrigation’ Impact on Sugarcane Crop. **Sugar Tech.** 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s12355-015-0367-0#>> Acesso em: 19/08/2015

VILLEGAS, F.D.; DAZA, O.H.; JONES, J.W.; ROYCE, F.S. **Casupro**: an industry-driven sugarcane model. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2005. 22 p. (ASAE. Paper, 053025).

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara - SP. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.25, n.3, p.713-721, 2005.

YAMADA, E.S.M. Zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. como subsidio ao desenvolvimento da cultura no Brasil visando a produção de biodiesel. 2011. 135 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

YAMADA, E. S. M.; SENTELHAS, P. C. Agro-climatic zoning of *Jatropha curcas* as a subside for crop planning and implementation in Brazil. **International Journal of Biometeorology**. v. 58, n. 9, pp 1995-2010, 2014.

ANEXOS

Anexo A - Precipitações acumuladas mensais e anuais. Médias de todos os anos das séries de cada estação

	POS	FOR	CPAC	PIR	ARA	GOI	CNPAF	GYN	IPA	RIO	JTI	CAT	ITU
LAT (°)	14,10	15,53	15,58	15,85	15,90	15,92	16,47	16,70	17,72	17,80	17,88	18,18	18,42
ALT (m)	825	935	1000	740	345	512	823	741	773	774	663	840	449
JAN	203,9	238,4	238,7	305,2	290,7	163,9	222,2	342,6	274,9	253,3	262,0	278,7	254,3
FEV	212,9	209,3	183,1	274,3	222,3	167,7	201,0	272,6	210,6	226,6	233,3	220,2	191,3
MAR	224,6	188,4	201,2	249,6	222,8	158,8	230,2	248,9	196,7	246,5	257,9	189,8	166,4
ABR	114,7	106,0	93,9	145,8	80,6	76,9	118,6	110,7	80,9	101,7	107,8	76,2	67,1
MAI	30,0	22,1	23,9	28,2	28,9	17,4	29,1	33,0	35,1	40,8	46,4	30,1	28,9
JUN	5,2	4,9	4,2	11,7	8,5	7,9	9,2	7,4	8,9	17,8	18,1	10,4	11,6
JUL	2,5	5,1	4,0	5,7	6,6	1,6	3,9	5,2	6,1	9,1	7,9	8,0	4,4
AGO	6,6	11,2	14,4	13,7	14,5	5,9	9,5	9,7	13,0	19,6	23,7	12,5	8,5
SET	23,3	33,1	36,5	78,5	45,0	17,1	52,3	39,8	49,0	54,8	59,1	41,0	49,0
OUT	113,9	116,2	122,8	171,0	132,1	96,0	153,4	150,4	109,8	139,0	124,5	134,4	77,2
NOV	211,2	187,2	184,4	258,8	210,8	163,0	209,6	244,3	192,8	228,1	185,6	196,4	179,4
DEZ	262,6	260,7	221,9	312,3	269,1	201,1	247,9	318,2	282,8	273,8	281,6	270,5	242,5
Total	1411,3	1382,6	1329,3	1854,6	1532,1	1077,3	1486,9	1782,8	1460,5	1611,1	1607,8	1468,2	1280,5

Anexo B – Temperaturas médias mensais e anuais. Médias de todos os anos das séries de cada estação

	POS	FOR	CPAC	PIR	ARA	GOI	CNPAF	GYN	IPA	RIO	JTI	CAT	ITU
LAT (°)	14,10	15,53	15,58	15,85	15,90	15,92	16,47	16,70	17,72	17,80	17,88	18,18	18,42
ALT (m)	825	935	1000	740	345	512	823	741	773	774	663	840	449
JAN	24,4	23,1	22,6	24,2	26,5	24,5	24,1	25,9	24,6	24,6	25,2	24,0	26,1
FEV	24,5	23,4	22,8	24,3	26,7	24,5	24,2	26,1	24,6	24,7	25,2	24,2	26,2
MAR	24,7	23,3	22,9	24,3	26,9	24,8	24,2	26,5	24,4	24,6	25,1	24,1	26,0
ABR	24,7	22,9	22,5	24,0	26,7	24,9	24,0	26,4	23,5	23,9	24,1	23,3	25,0
MAI	24,1	21,7	21,2	22,8	25,2	24,0	22,5	25,4	21,5	22,0	21,6	21,6	22,3
JUN	22,9	20,4	20,1	21,7	23,9	23,2	21,4	24,4	20,1	21,1	20,3	20,6	21,5
JUL	22,7	20,2	20,0	21,9	23,9	23,1	21,8	24,8	20,1	21,2	20,3	20,5	21,7
AGO	24,1	21,7	21,7	23,4	25,8	24,4	23,5	26,7	21,9	23,0	22,3	22,4	23,7
SET	25,8	23,5	23,3	25,2	27,8	26,2	25,0	28,1	24,0	24,3	24,2	24,1	26,3
OUT	26,1	24,0	23,5	25,4	28,1	26,4	25,0	27,4	25,0	25,1	25,4	24,5	26,9
NOV	24,7	23,1	22,8	24,4	27,0	24,8	24,1	26,4	24,6	24,6	25,2	24,0	26,5
DEZ	24,3	22,9	22,6	24,1	26,6	24,4	23,9	25,8	24,4	24,6	25,1	23,8	26,2
Média	24,4	22,5	22,2	23,8	26,2	24,6	23,6	26,2	23,2	23,6	23,7	23,1	24,9

Anexo C - Máximos e mínimos absolutos observados para cada mês para Posse - GO

POS (Lat. 14,10° Alt. 825m)								
	Pp (mm/dia)	Tmáx (°C)		Tmín (°C)		UR (%)		U10 (m/s)
	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
JAN	81,40	36,10	20,30	23,80	15,90	97,50	35,25	6,25
FEV	136,00	35,50	19,80	25,10	16,00	97,50	39,50	9,00
MAR	90,90	35,10	21,40	25,30	16,10	100,00	40,50	7,00
ABR	174,00	35,80	22,20	24,70	15,00	95,25	45,50	6,50
MAI	83,60	34,50	21,40	25,30	12,30	96,50	38,50	7,00
JUN	31,00	32,60	19,30	23,30	10,30	85,25	35,00	6,75
JUL	18,40	35,00	19,80	22,20	9,00	90,50	29,50	7,00
AGO	75,40	35,90	22,30	25,10	9,70	82,25	23,00	6,25
SET	47,00	37,20	21,20	26,70	12,30	93,00	22,00	6,50
OUT	75,00	37,50	21,00	28,90	15,30	95,25	23,25	5,80
NOV	92,70	37,50	17,80	26,20	13,20	96,50	28,75	5,50
DEZ	100,50	37,10	18,60	25,70	14,20	97,75	35,00	6,20

Anexo D - Máximos e mínimos absolutos observados para cada mês para Formosa - GO

FOR (Lat. 15,53° Alt 935m)								
	Pp (mm/dia)	Tmáx (°C)		Tmín (°C)		UR (%)		U10 (m/s)
	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
JAN	76,80	35,20	19,20	21,50	11,80	98,08	37,50	5,00
FEV	124,60	33,80	17,80	22,30	14,10	98,00	42,75	6,50
MAR	99,20	34,00	19,40	22,42	10,00	97,00	41,75	4,00
ABR	92,70	33,00	20,33	21,40	13,00	95,75	47,25	5,00
MAI	74,40	32,10	17,80	22,30	5,00	96,50	42,75	6,50
JUN	31,00	33,00	19,30	20,20	4,50	89,00	34,00	5,50
JUL	45,20	31,70	18,00	20,60	3,90	94,25	31,50	6,25
AGO	55,60	34,60	19,80	22,90	8,05	90,25	23,00	7,50
SET	65,50	37,20	18,40	23,70	1,30	93,00	23,00	4,50
OUT	81,60	37,10	17,80	23,70	10,00	97,50	20,25	6,50
NOV	101,00	39,00	17,80	23,60	12,00	96,25	30,75	5,25
DEZ	110,30	36,40	18,60	23,30	12,00	98,00	33,75	7,50

Anexo E - Máximos e mínimos absolutos observados para cada mês para Embrapa Cerrados - Planaltina-DF

CPAC (Lat. 15,58° Alt 1000m)								
	Pp (mm/dia)	Tmáx (°C)		Tmín (°C)		UR (%)		U10 (m/s)
	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
JAN	111,20	33,40	19,20	21,20	13,40	99,00	45,00	4,50
FEV	99,30	33,10	17,50	22,00	9,80	99,70	49,00	3,60
MAR	99,30	34,30	17,00	23,00	12,50	99,00	25,10	3,60
ABR	77,40	32,20	20,30	21,30	11,20	97,00	29,80	4,30
MAI	77,30	31,50	17,80	21,60	5,40	97,00	41,90	4,40
JUN	33,10	31,40	19,50	21,00	2,40	93,00	34,00	4,20
JUL	45,70	31,70	18,00	19,80	4,00	92,00	33,70	4,10
AGO	41,80	35,20	19,00	23,00	8,50	99,30	26,30	4,80
SET	54,20	35,30	18,20	22,00	10,00	95,00	22,00	4,30
OUT	117,30	36,80	17,80	23,10	12,50	98,70	21,40	6,10
NOV	110,00	35,00	17,80	24,60	11,80	99,40	39,00	7,00
DEZ	73,40	35,70	19,00	23,00	12,40	99,10	38,60	6,30

Anexo F - Máximos e mínimos absolutos observados para cada mês para Pirenópolis – GO

PIR (Lat. 15,85° Alt 740m)								
	Pp (mm/dia)	Tmáx (°C)		Tmín (°C)		UR (%)		U10 (m/s)
	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
JAN	118,30	35,40	17,20	22,20	2,40	97,00	17,00	7,00
FEV	121,40	36,80	15,70	21,90	15,30	96,50	17,70	5,50
MAR	91,20	34,50	17,30	22,40	10,90	96,75	16,10	5,75
ABR	153,30	34,80	16,00	21,90	2,40	95,75	20,20	5,00
MAI	62,00	34,20	15,00	20,50	8,70	93,50	16,60	6,00
JUN	53,40	33,00	14,40	20,70	4,70	91,50	15,20	6,00
JUL	48,60	34,30	12,90	22,00	4,20	85,50	15,50	6,50
AGO	42,40	36,60	12,20	23,50	8,00	85,75	19,60	6,75
SET	58,40	37,50	15,60	24,20	12,20	93,00	18,00	6,75
OUT	106,10	39,40	16,60	25,30	13,70	94,50	18,30	7,00
NOV	108,40	36,00	18,30	23,80	14,40	97,50	16,90	6,00
DEZ	167,30	36,20	18,50	23,10	14,50	96,50	17,30	5,50

Anexo G - Máximos e mínimos absolutos observados para cada mês para Aragarças – GO

ARA (Lat. 15,9° Alt. 345m)								
	Pp (mm/dia)	Tmáx (°C)		Tmín (°C)		UR (%)		U10 (m/s)
	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
JAN	118,60	37,80	23,20	24,80	11,80	97,25	54,50	5,50
FEV	140,60	42,66	23,20	25,80	2,40	97,75	57,25	4,25
MAR	179,20	46,10	23,60	24,90	14,80	97,25	46,25	3,25
ABR	72,00	37,30	23,70	26,90	13,30	96,25	52,50	3,25
MAI	42,40	36,80	22,30	24,58	5,00	94,75	50,25	3,45
JUN	95,10	35,70	21,80	21,70	4,40	94,25	40,75	3,50
JUL	49,30	37,00	20,90	23,40	4,00	86,75	34,75	5,50
AGO	71,40	41,00	23,80	27,00	6,60	92,25	22,50	4,25
SET	79,20	41,60	21,60	26,60	10,00	95,00	21,75	4,50
OUT	97,10	42,40	22,90	28,40	15,70	95,75	35,50	5,55
NOV	121,00	40,00	22,60	25,60	15,91	97,00	40,25	4,75
DEZ	141,00	37,50	22,80	34,09	16,90	96,50	50,00	3,25

Anexo H - Máximos e mínimos absolutos observados para cada mês para Pirenópolis – GO

PIR (Lat. 15,85° Alt 740m)								
	Pp (mm/dia)	Tmáx (°C)		Tmín (°C)		UR (%)		U10 (m/s)
	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
JAN	118,30	35,40	17,20	22,20	2,40	97,00	17,00	7,00
FEV	121,40	36,80	15,70	21,90	15,30	96,50	17,70	5,50
MAR	91,20	34,50	17,30	22,40	10,90	96,75	16,10	5,75
ABR	153,30	34,80	16,00	21,90	2,40	95,75	20,20	5,00
MAI	62,00	34,20	15,00	20,50	8,70	93,50	16,60	6,00
JUN	53,40	33,00	14,40	20,70	4,70	91,50	15,20	6,00
JUL	48,60	34,30	12,90	22,00	4,20	85,50	15,50	6,50
AGO	42,40	36,60	12,20	23,50	8,00	85,75	19,60	6,75
SET	58,40	37,50	15,60	24,20	12,20	93,00	18,00	6,75
OUT	106,10	39,40	16,60	25,30	13,70	94,50	18,30	7,00
NOV	108,40	36,00	18,30	23,80	14,40	97,50	16,90	6,00
DEZ	167,30	36,20	18,50	23,10	14,50	96,50	17,30	5,50

Anexo I - Máximos e mínimos absolutos observados para cada mês para Embrapa Arroz e Feijão - Santo Antônio de Goiás - GO

CNPAF (Lat. 16,47° Alt 823m)								
	Pp (mm/dia)	Tmáx (°C)		Tmín (°C)		UR (%)		U10 (m/s)
	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
JAN	83,30	34,90	20,60	22,40	12,40	100,00	49,00	6,20
FEV	83,00	34,00	22,20	24,80	15,20	98,00	51,80	5,30
MAR	107,10	35,00	19,70	22,00	8,70	99,00	44,00	3,80
ABR	81,20	34,00	18,80	23,00	10,60	99,00	47,00	3,10
MAI	52,60	33,20	18,40	22,50	5,80	100,00	42,30	3,40
JUN	58,00	33,50	12,60	19,40	1,10	98,00	31,80	4,10
JUL	37,20	34,00	18,80	21,70	4,50	97,00	28,00	4,80
AGO	68,60	36,20	15,00	23,20	6,40	97,00	23,00	4,90
SET	92,00	37,40	17,90	25,50	10,90	96,00	15,00	4,80
OUT	86,60	37,70	20,60	24,20	14,40	100,00	19,00	3,60
NOV	87,60	36,40	20,40	22,00	14,00	100,00	38,00	5,00
DEZ	98,00	35,30	19,60	22,20	15,40	100,00	47,00	4,30

Anexo J - Máximos e mínimos absolutos observados para cada mês para Goiânia - GO

GYN (Lat. 16,70° Alt 741m)								
	Pp (mm/dia)	Tmáx (°C)		Tmín (°C)		UR (%)		U10 (m/s)
	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
JAN	124,70	36,20	21,10	23,90	9,10	96,00	13,18	5,95
FEV	127,10	35,60	21,16	24,80	14,70	95,25	19,50	6,64
MAR	99,90	35,50	19,80	23,10	14,00	96,75	20,59	5,15
ABR	94,20	34,50	20,40	23,70	11,20	93,75	31,80	5,40
MAI	79,10	34,90	18,80	22,78	5,70	92,75	22,96	6,09
JUN	47,10	35,80	14,00	21,33	1,60	88,75	15,07	4,98
JUL	28,10	35,50	17,90	21,72	2,60	86,75	17,35	4,50
AGO	44,40	36,90	18,40	23,88	6,10	90,00	17,16	6,23
SET	77,50	38,90	18,20	24,35	10,40	91,00	19,98	6,34
OUT	127,80	39,40	19,40	25,23	12,10	94,50	24,50	5,88
NOV	93,20	37,00	20,30	24,20	14,40	94,75	35,25	7,77
DEZ	136,60	36,40	20,00	24,30	12,90	96,75	16,84	7,31

Anexo K - Máximos e mínimos absolutos observados para cada mês para Ipameri - GO

IPA (Lat. 17,72° Alt 773m)								
	Pp (mm/dia)	Tmáx (°C)		Tmín (°C)		UR (%)		U10 (m/s)
	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
JAN	119,10	35,10	21,90	23,30	9,40	95,50	47,00	4,50
FEV	131,20	36,00	19,60	23,00	11,20	94,75	54,25	4,35
MAR	107,00	34,10	17,40	22,90	13,20	97,25	51,50	4,10
ABR	109,00	33,20	20,50	23,00	8,20	93,50	41,25	3,70
MAI	64,50	37,90	16,90	21,10	5,20	96,00	38,50	3,75
JUN	50,10	31,40	14,10	18,90	2,80	89,25	35,25	3,75
JUL	32,20	32,50	16,00	20,30	0,60	91,75	26,75	4,00
AGO	55,60	35,60	17,80	22,00	2,80	93,00	28,25	4,50
SET	84,40	37,20	17,00	23,30	8,70	94,25	20,75	6,00
OUT	107,20	38,10	19,80	24,70	2,50	94,75	25,00	4,55
NOV	101,00	36,30	19,40	25,40	11,80	94,75	40,25	4,25
DEZ	106,30	36,20	21,00	23,00	15,10	96,25	39,75	4,00

Anexo L - Máximos e mínimos absolutos observados para cada mês para Rio Verde - GO

RIO (Lat. 17,80° Alt. 774m)								
	Pp (mm/dia)	Tmáx (°C)		Tmín (°C)		UR (%)		U10 (m/s)
	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
JAN	135,60	35,50	21,30	24,20	14,00	97,25	50,75	7,20
FEV	161,30	35,10	21,30	22,50	12,30	97,00	48,00	7,50
MAR	137,20	34,70	22,00	23,40	9,40	96,00	38,75	8,75
ABR	83,40	34,80	19,50	22,00	6,10	95,50	44,25	5,75
MAI	76,30	33,60	15,90	21,40	2,30	96,75	40,75	6,10
JUN	46,90	33,90	11,90	19,90	0,60	95,75	31,25	6,75
JUL	28,40	34,00	15,40	20,40	0,70	91,50	29,25	5,75
AGO	63,00	37,80	16,50	23,60	1,10	92,75	25,50	6,50
SET	69,40	39,20	13,70	23,50	2,80	92,75	17,50	6,25
OUT	74,70	39,50	21,40	24,90	9,70	94,50	27,00	5,95
NOV	108,30	38,40	20,60	22,50	10,10	95,25	35,50	8,20
DEZ	149,90	35,60	20,00	22,40	12,00	96,75	46,25	7,45

Anexo M - Máximos e mínimos absolutos observados para cada mês para Jataí - GO

JTI (Lat. 17,88° Alt 663m)								
	Pp (mm/dia)	Tmáx (°C)		Tmín (°C)		UR (%)		U10 (m/s)
	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
JAN	135,60	35,60	22,50	22,50	13,00	97,00	50,25	6,95
FEV	161,30	36,30	22,30	23,00	14,10	94,75	56,00	7,30
MAR	151,40	36,60	20,90	22,80	7,80	94,25	54,00	8,75
ABR	72,80	34,70	19,50	22,60	6,00	96,00	47,50	5,50
MAI	89,70	33,60	16,00	21,40	2,60	95,00	48,50	4,20
JUN	45,50	33,90	11,90	20,90	-0,40	93,50	37,00	5,25
JUL	35,60	34,70	15,40	18,60	-1,00	91,50	28,50	5,75
AGO	65,30	37,80	15,80	21,30	3,00	94,25	24,00	6,25
SET	63,20	39,20	18,30	22,80	2,80	94,00	14,50	6,25
OUT	149,20	38,60	22,10	25,00	10,20	93,50	22,00	5,95
NOV	98,00	38,40	20,60	23,30	9,70	93,25	32,25	8,20
DEZ	128,40	35,60	21,20	22,50	12,00	95,00	49,25	7,45

Anexo N - Máximos e mínimos absolutos observados para cada mês para Catalão - GO

CAT (Lat. 18,18° Alt 840m)								
	Pp (mm/dia)	Tmáx (°C)		Tmín (°C)		UR (%)		U10 (m/s)
	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
JAN	132,40	38,60	20,50	22,60	10,00	96,50	42,00	5,00
FEV	95,60	36,60	19,90	24,00	15,20	96,50	32,00	4,70
MAR	93,80	35,20	18,90	23,70	13,20	96,50	50,75	5,00
ABR	74,00	33,20	20,60	22,50	8,20	95,25	49,25	4,30
MAI	71,20	32,20	16,90	20,30	4,20	94,50	44,75	3,85
JUN	50,10	31,00	14,20	19,20	2,80	91,00	33,50	4,95
JUL	35,50	32,00	15,40	19,80	3,90	100,00	25,50	4,85
AGO	50,20	35,20	16,90	22,10	4,40	96,50	22,75	5,15
SET	49,00	36,90	16,40	23,30	8,80	93,00	24,50	6,00
OUT	107,20	37,90	18,80	25,00	11,80	96,25	25,00	5,00
NOV	87,80	35,80	18,60	25,90	5,90	95,50	35,50	5,10
DEZ	116,90	36,80	19,60	24,60	13,60	96,25	34,75	6,00

Anexo O - Máximos e mínimos absolutos observados para cada mês para Itumbiara - GO

ITU (Lat. 18,42° Alt 449m)								
	Pp (mm/dia)	Tmáx (°C)		Tmín (°C)		UR (%)		U10 (m/s)
	Máx.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
JAN	82,90	36,60	23,40	23,90	17,40	94,50	48,25	5,75
FEV	85,80	37,00	24,30	23,40	16,70	94,00	50,75	5,00
MAR	64,80	35,10	20,00	23,30	16,90	93,75	52,75	5,00
ABR	62,00	35,20	21,80	23,90	8,60	96,50	53,00	6,25
MAI	64,60	34,70	19,00	22,70	4,80	93,50	43,50	5,50
JUN	49,60	32,90	18,50	19,40	4,40	87,75	42,00	6,25
JUL	13,60	34,60	17,30	20,70	1,90	82,75	27,75	6,75
AGO	22,20	38,20	19,90	22,90	8,00	88,00	26,75	6,00
SET	44,30	39,90	22,10	26,20	11,60	92,50	24,25	8,00
OUT	55,40	40,70	23,90	25,30	11,90	91,75	24,50	6,55
NOV	81,80	38,30	24,30	24,70	15,10	92,25	34,50	9,50
DEZ	122,50	37,60	21,50	25,80	14,90	94,25	43,75	7,50

Anexo P - Índices de Correlação (R) entre os dados observados e os simulados pelo método de Monte Carlo para a estação de Posse - GO

POS (Lat. 14,1° Alt. 825m)					
Mês	Pp	Tmáx	Tmín	UR	U10
Jan	0,979	0,998	0,994	0,999	0,995
Fev	0,963	0,999	0,996	0,998	0,988
Mar	0,971	0,999	0,993	0,998	0,991
Abr	0,987	0,997	0,994	0,999	0,996
Mai	0,952	0,991	0,996	0,999	0,996
Jun	0,655	0,996	0,988	0,998	0,994
Jul	0,708	0,992	0,996	0,992	0,996
Ago	0,719	0,999	0,996	0,996	0,996
Set	0,930	0,997	0,999	0,993	0,995
Out	0,961	0,998	0,997	0,998	0,996
Nov	0,983	0,996	0,993	0,998	0,993
Dez	0,987	0,997	0,996	0,998	0,994

Anexo Q - Índices de Correlação (R) entre os dados observados e os simulados pelo método de Monte Carlo para a estação de Formosa - GO

FOR (Lat. 15,53° Alt. 935m)					
Mês	Pp	Tmáx	Tmín	UR	U10
Jan	0,987	0,998	0,994	0,998	0,891
Fev	0,975	0,998	0,995	0,997	0,891
Mar	0,946	0,998	0,996	0,997	0,917
Abr	0,958	0,999	0,999	0,992	0,890
Mai	0,834	0,998	0,996	0,998	0,804
Jun	0,663	0,998	0,996	0,997	0,892
Jul	0,536	0,999	0,999	0,997	0,986
Ago	0,865	0,998	0,997	0,998	0,922
Set	0,899	0,999	0,993	0,999	0,935
Out	0,973	0,999	0,989	0,998	0,895
Nov	0,991	0,998	0,541	0,999	0,901
Dez	0,984	0,998	0,986	0,999	0,861

Anexo R - Índices de Correlação (R) entre os dados observados e os simulados pelo método de Monte Carlo para a estação de Pirenópolis - GO

PIR (Lat. 15,9° Alt. 740m)					
Mês	Pp	Tmáx	Tmín	UR	U10
Jan	0,984	0,992	0,959	0,979	0,991
Fev	0,949	0,993	0,998	0,977	0,995
Mar	0,964	0,994	0,991	0,980	0,997
Abr	0,976	0,987	0,905	0,984	0,997
Mai	0,917	0,985	0,999	0,975	0,996
Jun	0,923	0,994	0,995	0,992	0,994
Jul	0,867	0,902	0,995	0,985	0,997
Ago	0,857	0,955	0,998	0,998	0,998
Set	0,890	0,995	0,998	0,998	0,997
Out	0,961	0,993	0,995	0,996	0,996
Nov	0,979	0,992	0,996	0,988	0,996
Dez	0,979	0,995	0,992	0,971	0,996

Anexo S - Índices de Correlação (R) entre os dados observados e os simulados pelo método de Monte Carlo para a estação de Aragarças- GO

ARA (Lat. 15,9° Alt. 345m)					
Mês	Pp	Tmáx	Tmín	UR	U10
Jan	0,990	0,951	0,961	0,990	0,961
Fev	0,949	0,955	0,897	0,999	0,952
Mar	0,986	0,928	0,958	0,996	0,936
Abr	0,987	0,956	0,937	0,999	0,933
Mai	0,923	0,961	0,966	0,997	0,940
Jun	0,748	0,958	0,957	0,999	0,945
Jul	0,759	0,970	0,980	0,998	0,936
Ago	0,912	0,967	0,987	0,999	0,962
Set	0,980	0,977	0,969	0,999	0,969
Out	0,985	0,986	0,977	0,999	0,982
Nov	0,955	0,970	0,925	0,999	0,977
Dez	0,965	0,984	0,982	0,999	0,964

Anexo T - Índices de Correlação (R) entre os dados observados e os simulados pelo método de Monte Carlo para a estação de Goiás - GO

GOI (Lat. 15,9° Alt. 512m)					
Mês	Pp	Tmáx	Tmín	UR	U10
Jan	0,991	0,998	0,993	0,999	0,994
Fev	0,983	0,999	0,986	0,998	0,987
Mar	0,962	0,997	0,993	0,999	0,995
Abr	0,923	0,992	0,997	0,999	0,996
Mai	0,940	0,994	0,996	0,933	0,997
Jun	0,863	0,959	0,992	0,997	0,994
Jul	0,635	0,989	0,996	0,996	0,994
Ago	0,765	0,997	0,995	0,999	0,995
Set	0,935	0,995	0,988	0,998	0,996
Out	0,975	0,999	0,997	0,999	0,993
Nov	0,990	0,997	0,991	0,996	0,995
Dez	0,980	0,999	0,994	0,998	0,991

Anexo U - Índices de Correlação (R) entre os dados observados e os simulados pelo método de Monte Carlo para a estação de Goiânia - GO

GYN (Lat. 16,7° Alt. 741m)					
Mês	Pp	Tmáx	Tmín	UR	U10
Jan	0,965	0,998	0,994	0,991	0,981
Fev	0,953	0,996	0,998	0,993	0,985
Mar	0,925	0,992	0,996	0,987	0,995
Abr	0,933	0,987	0,984	0,951	0,994
Mai	0,924	0,931	0,993	0,981	0,996
Jun	0,767	0,995	0,993	0,987	0,997
Jul	0,901	0,988	0,997	0,981	0,995
Ago	0,817	0,987	0,992	0,994	0,996
Set	0,925	0,988	0,998	0,998	0,996
Out	0,961	0,999	0,996	0,997	0,987
Nov	0,952	0,997	0,996	0,999	0,963
Dez	0,983	0,996	0,995	0,995	0,993

Anexo V - Índices de Correlação (R) entre os dados observados e os simulados pelo método de Monte Carlo para a estação de Ipameri - GO

IPA (Lat. 17,7° Alt. 773m)					
Mês	Pp	Tmáx	Tmín	UR	U10
Jan	0,978	0,999	0,989	0,998	0,985
Fev	0,966	0,997	0,993	0,999	0,984
Mar	0,982	0,998	0,997	0,999	0,976
Abr	0,929	0,997	0,997	0,997	0,984
Mai	0,883	0,991	0,998	0,995	0,985
Jun	0,849	0,995	0,994	0,993	0,987
Jul	0,817	0,998	0,993	0,994	0,990
Ago	0,886	0,994	0,999	0,998	0,993
Set	0,934	0,997	0,998	0,999	0,986
Out	0,972	0,998	0,986	0,998	0,993
Nov	0,971	0,972	0,993	0,999	0,992
Dez	0,991	0,998	0,997	0,998	0,989

Anexo W - Índices de Correlação (R) entre os dados observados e os simulados pelo método de Monte Carlo para a estação de Rio Verde - GO

RIO (Lat. 18,7° Alt. 774m)					
Mês	Pp	Tmáx	Tmín	UR	U10
Jan	0,984	0,997	0,997	0,998	0,998
Fev	0,925	0,998	0,994	0,998	0,996
Mar	0,977	0,997	0,994	0,995	0,993
Abr	0,967	0,999	0,999	0,998	0,998
Mai	0,943	0,995	0,994	0,998	0,996
Jun	0,882	0,992	0,996	0,997	0,973
Jul	0,757	0,993	0,998	0,999	0,997
Ago	0,905	0,995	0,995	1,000	0,996
Set	0,937	0,995	0,997	0,999	0,998
Out	0,981	0,999	0,995	0,999	0,998
Nov	0,977	0,998	0,996	0,998	0,998
Dez	0,991	0,995	0,993	0,998	0,998

Anexo X - Índices de Correlação (R) entre os dados observados e os simulados pelo método de Monte Carlo para a estação de Jataí - GO

JTI (Lat. 17,9° Alt. 663m)					
Mês	Pp	Tmáx	Tmín	UR	U10
Jan	0,988	0,998	0,988	0,996	0,985
Fev	0,987	0,995	0,994	0,997	0,986
Mar	0,953	0,996	0,975	0,996	0,979
Abr	0,958	0,993	0,998	0,998	0,978
Mai	0,842	0,997	0,994	0,998	0,994
Jun	0,905	0,995	0,995	0,998	0,992
Jul	0,853	0,993	0,995	0,997	0,978
Ago	0,920	0,991	0,997	0,998	0,995
Set	0,976	0,998	0,996	0,999	0,994
Out	0,951	0,998	0,993	0,996	0,997
Nov	0,986	0,998	0,992	0,998	0,991
Dez	0,989	0,996	0,978	0,997	0,993

Anexo Y - Índices de Correlação (R) entre os dados observados e os simulados pelo método de Monte Carlo para a estação de Catalão - GO

CAT (Lat. 18,18° Alt. 840m)					
Mês	Pp	Tmáx	Tmín	UR	U10
Jan	0,991	0,999	0,986	0,998	0,997
Fev	0,985	0,999	0,998	0,998	0,989
Mar	0,988	0,999	0,996	0,999	0,990
Abr	0,963	0,999	0,997	0,999	0,996
Mai	0,884	0,998	0,992	0,998	0,996
Jun	0,842	0,998	0,994	0,998	0,996
Jul	0,844	0,999	0,994	0,998	0,997
Ago	0,825	0,998	0,995	0,998	0,997
Set	0,930	0,996	0,998	0,999	0,996
Out	0,975	0,999	0,999	1,000	0,996
Nov	0,987	0,998	0,996	0,998	0,994
Dez	0,991	0,998	0,998	0,998	0,996

Anexo Z - Índices de Correlação (R) entre os dados observados e os simulados pelo método de Monte Carlo para a estação de Itumbiara - GO

ITU (Lat. 18,4° Alt. 449m)					
Mês	Pp	Tmáx	Tmín	UR	U10
Jan	0,991	0,997	0,995	0,996	0,892
Fev	0,959	0,996	0,997	0,996	0,996
Mar	0,987	0,987	0,997	0,998	0,995
Abr	0,926	0,997	0,990	0,997	0,995
Mai	0,901	0,994	0,998	0,996	0,992
Jun	0,688	0,997	0,996	0,998	0,990
Jul	0,521	0,989	0,990	0,993	0,993
Ago	0,850	0,988	0,996	0,996	0,997
Set	0,920	0,998	0,993	0,998	0,996
Out	0,988	0,998	0,987	0,998	0,994
Nov	0,970	0,997	0,992	0,999	0,991
Dez	0,968	0,993	0,985	0,998	0,996

Anexo AA – Percentual de anos aptos (AA), marginais (AM) e inaptos (AI), obtidos para IR_{Clima} , utilizando valores limites de DEF de 225 e 430 mm/ano, para solo tipo 2 (CAD 95mm/m)

Mês	Classe	POS	PIR	ARA	GOI	IPA	RIO	JTI	CAT
JAN	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	3,2	0,0
	AM	14,7	34,4	41,0	20,4	56,3	55,3	51,6	57,1
	AI	85,3	65,6	59,0	79,6	43,8	39,5	45,2	42,9
MAR	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	3,2	2,0
	AM	20,0	36,4	41,0	22,4	54,5	60,5	51,6	59,2
	AI	80,0	63,6	59,0	77,6	45,5	34,2	45,2	38,8
MAI	AA	0,0	3,0	0,0	2,0	0,0	10,5	6,5	2,0
	AM	26,5	42,4	50,0	26,5	69,7	52,6	67,7	61,2
	AI	73,5	54,5	50,0	71,4	30,3	36,8	25,8	36,7
JUL	AA	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	7,9	3,2	0,0
	AM	14,7	30,3	37,5	14,3	72,7	63,2	67,7	55,1
	AI	85,3	69,7	62,5	83,7	27,3	28,9	29,0	44,9
SET	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	3,2	0,0
	AM	14,7	30,3	37,5	16,3	63,6	57,9	64,5	55,1
	AI	85,3	69,7	62,5	83,7	36,4	39,5	32,3	44,9
NOV	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	3,2	0,0
	AM	17,1	36,4	35,0	20,4	57,6	51,3	51,6	49,0
	AI	82,9	63,6	65,0	79,6	42,4	46,2	45,2	51,0

Anexo BB – Percentual de anos aptos (AA), marginais (AM) e inaptos (AI), obtidos para IR_{Clima}, utilizando valores limites de DEF de 200 e 400 mm/ano, para solo tipo 3 (CAD 125mm/m)

Mês	Classe	POS	FOR	CPAC	PIR	GOI	CNPAF
JAN	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	14,7	34,7	35,9	34,4	20,4	55,2
	AI	85,3	65,3	64,1	65,6	79,6	44,8
MAR	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	17,6	34,7	30,8	36,4	20,4	57,1
	AI	82,4	65,3	69,2	63,6	79,6	42,9
MAI	AA	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
	AM	23,5	51,0	41,0	42,4	26,5	67,9
	AI	76,5	49,0	59,0	54,5	73,5	32,1
JUL	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0
	AM	14,7	30,6	28,9	30,3	16,3	53,6
	AI	85,3	69,4	71,1	69,7	81,6	46,4
SET	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	14,7	18,4	26,3	30,3	16,3	42,9
	AI	85,3	81,6	73,7	69,7	83,7	57,1
NOV	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	14,3	30,6	28,9	36,4	20,4	50,0
	AI	85,7	69,4	71,1	63,6	79,6	50,0
Mês	Classe	GYN	IPA	RIO	JTI	CAT	ITU
JAN	AA	2,0	0,0	5,3	3,2	2,0	0,0
	AM	65,3	56,3	55,3	51,6	51,0	18,8
	AI	32,7	43,8	39,5	45,2	46,9	81,3
MAR	AA	2,0	0,0	5,3	3,2	2,0	0,0
	AM	65,3	57,6	57,9	54,8	59,2	18,8
	AI	32,7	42,4	36,8	41,9	38,8	81,3
MAI	AA	2,0	0,0	10,5	3,2	2,0	0,0
	AM	79,6	72,7	55,3	71,0	61,2	12,5
	AI	18,4	27,3	34,2	25,8	36,7	87,5
JUL	AA	4,1	0,0	5,3	3,2	0,0	0,0
	AM	71,4	69,7	63,2	67,7	55,1	6,3
	AI	24,5	30,3	31,6	29,0	44,9	93,8
SET	AA	2,0	0,0	2,6	3,2	0,0	0,0
	AM	63,3	63,6	57,9	67,7	55,1	5,9
	AI	34,7	36,4	39,5	29,0	44,9	94,1
NOV	AA	2,0	0,0	2,6	3,2	0,0	0,0
	AM	63,3	57,6	51,3	51,6	49,0	12,5
	AI	34,7	42,4	46,2	45,2	51,0	87,5

Anexo CC – Percentual de anos aptos (AA), marginais (AM) e inaptos (AI), obtidos para IR_{Clima} corrigido, utilizando valores limites de DEF de 330 e 560 mm/ano, para solo tipo 2 (CAD 95mm/m)

Mês	Classe	POS	PIR	ARA	GOI	IPA	RIO	JTI	CAT
JAN	AA	2,9	9,4	7,7	4,1	18,8	31,6	35,5	10,2
	AM	67,6	62,5	74,4	55,1	75,0	60,5	61,3	79,6
	AI	29,4	28,1	17,9	40,8	6,3	7,9	3,2	10,2
MAR	AA	8,6	9,1	7,7	4,1	18,2	28,9	38,7	8,2
	AM	62,9	63,6	71,8	55,1	75,8	63,2	58,1	83,7
	AI	28,6	27,3	20,5	40,8	6,1	7,9	3,2	8,2
MAI	AA	0,0	12,1	7,5	4,1	21,2	31,6	41,9	14,3
	AM	73,5	63,6	82,5	67,3	78,8	65,8	54,8	77,6
	AI	26,5	24,2	10,0	28,6	0,0	2,6	3,2	8,2
JUL	AA	0,0	6,1	7,5	4,1	6,1	31,6	22,6	10,2
	AM	67,6	66,7	77,5	63,3	93,9	60,5	77,4	81,6
	AI	32,4	27,3	15,0	32,7	0,0	7,9	0,0	8,2
SET	AA	0,0	3,0	7,5	4,1	12,1	23,7	12,9	4,1
	AM	67,6	69,7	80,0	57,1	87,9	71,1	87,1	89,8
	AI	32,4	27,3	12,5	38,8	0,0	5,3	0,0	6,1
NOV	AA	2,9	9,1	7,5	2,0	15,2	25,6	29,0	8,2
	AM	62,9	57,6	75,0	57,1	81,8	66,7	67,7	81,6
	AI	34,3	33,3	17,5	40,8	3,0	7,7	3,2	10,2

Anexo DD – Percentual de anos aptos (AA), marginais (AM) e inaptos (AI), obtidos para IR_{Clima} corrigido, utilizando valores limites de DEF de 300 e 530 mm/ano, para solo tipo 3 (CAD 125mm/m)

Mês	Classe	POS	FOR	CPAC	PIR	GOI	CNPAF
JAN	AA	2,9	2,0	10,3	9,4	2,0	10,3
	AM	50,0	67,3	53,8	56,3	53,1	72,4
	AI	47,1	30,6	35,9	34,4	44,9	17,2
MAR	AA	2,9	2,0	5,1	9,1	4,1	10,7
	AM	52,9	69,4	48,7	57,6	51,0	75,0
	AI	44,1	28,6	46,2	33,3	44,9	14,3
MAI	AA	0,0	6,1	10,3	12,1	4,1	17,9
	AM	64,7	75,5	51,3	60,6	59,2	78,6
	AI	35,3	18,4	38,5	27,3	36,7	3,6
JUL	AA	0,0	0,0	5,3	6,1	4,1	7,1
	AM	55,9	79,6	50,0	66,7	55,1	85,7
	AI	44,1	20,4	44,7	27,3	40,8	7,1
SET	AA	0,0	0,0	2,6	3,0	4,1	7,1
	AM	52,9	73,5	55,3	63,6	49,0	85,7
	AI	47,1	26,5	42,1	33,3	46,9	7,1
NOV	AA	0,0	0,0	2,6	9,1	2,0	14,3
	AM	48,6	67,3	52,6	54,5	53,1	71,4
	AI	51,4	32,7	44,7	36,4	44,9	14,3
Mês	Classe	GYN	IPA	RIO	JTI	CAT	ITU
JAN	AA	20,4	15,6	26,3	38,7	8,2	0,0
	AM	71,4	75,0	60,5	51,6	77,6	31,3
	AI	8,2	9,4	13,2	9,7	14,3	68,8
MAR	AA	20,4	15,2	26,3	38,7	8,2	0,0
	AM	71,4	75,8	63,2	51,6	75,5	31,3
	AI	8,2	9,1	10,5	9,7	16,3	68,8
MAI	AA	30,6	21,2	31,6	38,7	12,2	0,0
	AM	65,3	72,7	60,5	54,8	75,5	31,3
	AI	4,1	6,1	7,9	6,5	12,2	68,8
JUL	AA	22,4	3,0	31,6	22,6	10,2	0,0
	AM	75,5	93,9	60,5	77,4	75,5	25,0
	AI	2,0	3,0	7,9	0,0	14,3	75,0
SET	AA	22,4	9,1	23,7	16,1	4,1	0,0
	AM	75,5	90,9	63,2	83,9	81,6	29,4
	AI	2,0	0,0	13,2	0,0	14,3	70,6
NOV	AA	16,3	15,2	23,1	29,0	6,1	0,0
	AM	75,5	72,7	61,5	64,5	77,6	31,3
	AI	8,2	12,1	15,4	6,5	16,3	68,8

Anexo EE – Percentual de anos aptos (AA), marginais (AM) e inaptos (AI), obtidos para $IR_{Cultura}$, utilizando valores limites de DEF de 225 e 430 mm/ano, para solo tipo 2 (CAD 95mm/m)

Mês	Classe	POS	PIR	ARA	GOI	IPA	RIO	JTI	CAT
JAN	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	0,0	3,1	5,1	2,0	15,6	21,1	22,6	4,1
	AI	100,0	96,9	94,9	98,0	84,4	78,9	77,4	95,9
MAR	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	5,7	12,1	10,3	4,1	24,2	26,3	38,7	18,4
	AI	94,3	87,9	89,7	95,9	75,8	73,7	61,3	81,6
MAI	AA	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	5,3	6,5	0,0
	AM	26,5	36,4	42,5	28,6	60,6	52,6	58,1	61,2
	AI	73,5	60,6	57,5	71,4	39,4	42,1	35,5	38,8
JUL	AA	0,0	6,1	2,5	2,0	0,0	18,4	9,7	0,0
	AM	47,1	57,6	47,5	46,9	81,8	57,9	74,2	65,3
	AI	52,9	36,4	50,0	51,0	18,2	23,7	16,1	34,7
SET	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	6,5	0,0
	AM	32,4	54,5	52,5	38,8	78,8	76,3	90,3	63,3
	AI	67,6	45,5	47,5	61,2	21,2	18,4	3,2	36,7
NOV	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	2,9	9,1	12,5	2,0	21,2	30,8	48,4	8,2
	AI	97,1	90,9	87,5	98,0	78,8	69,2	51,6	91,8

Anexo FF – Percentual de anos aptos (AA), marginais (AM) e inaptos (AI), obtidos para IR_{Cultura}, utilizando valores limites de DEF de 200 e 400 mm/ano, para solo tipo 3 (CAD 125mm/m)

Mês	Classe	POS	FOR	CPAC	PIR	GOI	CNPAF
JAN	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	0,0	2,0	5,1	3,1	2,0	6,9
	AI	100,0	98,0	94,9	96,9	98,0	93,1
MAR	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	2,9	6,1	10,3	9,1	4,1	14,3
	AI	97,1	93,9	89,7	90,9	95,9	85,7
MAI	AA	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0
	AM	26,5	40,8	35,9	36,4	28,6	57,1
	AI	73,5	59,2	64,1	60,6	71,4	42,9
JUL	AA	0,0	0,0	2,6	6,1	2,0	7,1
	AM	47,1	53,1	34,2	60,6	46,9	78,6
	AI	52,9	46,9	63,2	33,3	51,0	14,3
SET	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	29,4	59,2	39,5	54,5	40,8	75,0
	AI	70,6	40,8	60,5	45,5	59,2	25,0
NOV	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	2,9	4,1	0,0	9,1	2,0	17,9
	AI	97,1	95,9	100,0	90,9	98,0	82,1
Mês	Classe	GYN	IPA	RIO	JTI	CAT	ITU
JAN	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	12,2	12,5	21,1	19,4	4,1	0,0
	AI	87,8	87,5	78,9	80,6	95,9	100,0
MAR	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	34,7	24,2	26,3	38,7	18,4	0,0
	AI	65,3	75,8	73,7	61,3	81,6	100,0
MAI	AA	0,0	0,0	5,3	6,5	0,0	0,0
	AM	71,4	60,6	55,3	58,1	61,2	6,3
	AI	28,6	39,4	39,5	35,5	38,8	93,8
JUL	AA	12,2	0,0	15,8	12,9	0,0	0,0
	AM	77,6	78,8	60,5	80,6	67,3	12,5
	AI	10,2	21,2	23,7	6,5	32,7	87,5
SET	AA	4,1	0,0	5,3	3,2	0,0	0,0
	AM	73,5	75,8	76,3	90,3	63,3	11,8
	AI	22,4	24,2	18,4	6,5	36,7	88,2
NOV	AA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	AM	28,6	21,2	30,8	48,4	8,2	0,0
	AI	71,4	78,8	69,2	51,6	91,8	100,0

Anexo GG - Percentual de anos aptos (AA), marginais (AM) e inaptos (AI), obtidos para IR_{Cultura} corrigido, utilizando valores limites de DEF de 380 e 600 mm/ano, para solo tipo 2 (CAD 95mm/m)

Mês	Classe	POS	PIR	ARA	GOI	IPA	RIO	JTI	CAT
JAN	AA	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	10,5	9,7	2,0
	AM	26,5	34,4	56,4	30,6	75,0	52,6	54,8	67,3
	AI	73,5	62,5	43,6	69,4	25,0	36,8	35,5	30,6
MAR	AA	2,9	3,0	7,7	2,0	6,1	18,4	19,4	2,0
	AM	51,4	51,5	61,5	46,9	81,8	60,5	67,7	79,6
	AI	45,7	45,5	30,8	51,0	12,1	21,1	12,9	18,4
MAI	AA	8,8	21,2	27,5	10,2	30,3	42,1	48,4	28,6
	AM	76,5	60,6	67,5	73,5	69,7	52,6	48,4	67,3
	AI	14,7	18,2	5,0	16,3	0,0	5,3	3,2	4,1
JUL	AA	20,6	45,5	37,5	30,6	51,5	68,4	71,0	40,8
	AM	70,6	48,5	60,0	63,3	48,5	31,6	29,0	55,1
	AI	8,8	6,1	2,5	6,1	0,0	0,0	0,0	4,1
SET	AA	11,8	27,3	27,5	22,4	42,4	57,9	74,2	32,7
	AM	85,3	69,7	72,5	65,3	57,6	42,1	25,8	67,3
	AI	2,9	3,0	0,0	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0
NOV	AA	0,0	6,1	2,5	0,0	6,1	17,9	12,9	2,0
	AM	45,7	48,5	65,0	51,0	81,8	69,2	80,6	81,6
	AI	54,3	45,5	32,5	49,0	12,1	12,8	6,5	16,3

Anexo HH - Percentual de anos aptos (AA), marginais (AM) e inaptos (AI), obtidos para $IR_{Cultura}$ corrigido, utilizando valores limites de DEF de 340 e 580 mm/ano, para solo tipo 3 (CAD 125mm/m)

Mês	Classe	POS	FOR	CPAC	PIR	GOI	CNPAF
JAN	AA	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	3,4
	AM	32,4	55,1	46,2	40,6	40,8	65,5
	AI	67,6	44,9	53,8	56,3	59,2	31,0
MAR	AA	0,0	0,0	0,0	3,0	2,0	3,6
	AM	52,9	73,5	59,0	60,6	49,0	75,0
	AI	47,1	26,5	41,0	36,4	49,0	21,4
MAI	AA	5,9	8,2	17,9	24,2	10,2	35,7
	AM	79,4	85,7	69,2	63,6	79,6	64,3
	AI	14,7	6,1	12,8	12,1	10,2	0,0
JUL	AA	23,5	28,6	26,3	42,4	28,6	53,6
	AM	76,5	67,3	68,4	51,5	67,3	46,4
	AI	0,0	4,1	5,3	6,1	4,1	0,0
SET	AA	11,8	18,4	21,1	24,2	22,4	35,7
	AM	88,2	81,6	71,1	75,8	67,3	64,3
	AI	0,0	0,0	7,9	0,0	10,2	0,0
NOV	AA	0,0	0,0	0,0	6,1	0,0	3,6
	AM	57,1	75,5	42,1	54,5	55,1	82,1
	AI	42,9	24,5	57,9	39,4	44,9	14,3
Mês	Classe	GYN	IPA	RIO	JTI	CAT	ITU
JAN	AA	4,1	0,0	10,5	9,7	2,0	0,0
	AM	77,6	84,4	57,9	61,3	73,5	25,0
	AI	18,4	15,6	31,6	29,0	24,5	75,0
MAR	AA	8,2	6,1	15,8	16,1	2,0	0,0
	AM	83,7	81,8	63,2	74,2	81,6	25,0
	AI	8,2	12,1	21,1	9,7	16,3	75,0
MAI	AA	55,1	30,3	39,5	48,4	26,5	0,0
	AM	44,9	69,7	57,9	48,4	69,4	56,3
	AI	0,0	0,0	2,6	3,2	4,1	43,8
JUL	AA	73,5	51,5	63,2	71,0	44,9	0,0
	AM	26,5	48,5	36,8	29,0	51,0	75,0
	AI	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	25,0
SET	AA	55,1	42,4	55,3	67,7	30,6	5,9
	AM	44,9	57,6	44,7	32,3	69,4	88,2
	AI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9
NOV	AA	10,2	6,1	17,9	12,9	0,0	0,0
	AM	81,6	81,8	74,4	83,9	89,8	31,3
	AI	8,2	12,1	7,7	3,2	10,2	68,8

Anexo II - Série histórica da área colhida, em hectares, dos municípios utilizados no estudo

Área colhida (ha) de Cana-de-açúcar dos municípios estudados - 2007-2013									
Estação	Lat. (°)	Alt. (m)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
POS	14,1	825	500	500	200	200	200	--	--
FOR	15,5	935	180	180	180	180	6000	6000	6000
CPAC	15,6	1000	568	757	783	923	883	717	450
PIR	15,9	740	--	--	--	--	--	--	--
ARA	15,9	345	--	--	--	--	60	475	625
GOI	15,9	512	120	120	120	120	218	--	--
CNPAF	16,5	823	946	965	965	965	965	965	965
GYN	16,7	741	50	50	50	50	--	--	--
IPA	17,7	773	2700	3040	4000	4800	4800	3000	3000
RIO	17,8	774	3210	6700	9180	10500	14300	22300	30400
JTI	17,9	663	95	1000	7000	18000	18000	10000	35000
CAT	18,2	840	200	600	800	800	800	800	800
ITU	18,4	449	14830	14830	22300	21800	26600	35900	35900

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Produção Agrícola Municipal 2007-2013

Anexo JJ - Série histórica da produção total, em mil toneladas, dos municípios utilizados no estudo

Produção (1000ton) de Cana-de-açúcar dos municípios estudados - 2007-2013									
Estação	Lat. (°)	Alt. (m)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
POS	14,1	825	12,5	12,5	5,0	4,8	--	--	--
FOR	15,5	935	7,2	7,2	7,2	7,2	510,0	510,0	510,0
CPAC	15,6	1000	30,3	54,7	66,2	69,5	65,3	57,4	40,4
PIR	15,9	740	--	--	--	--	--	--	--
ARA	15,9	345	--	--	--	--	3,0	33,3	43,8
GOI	15,9	512	1,9	1,9	1,9	1,9	15,3		
CNPAF	16,5	823	73,4	76,2	76,2	76,2	76,2	76,2	76,0
GYN	16,7	741	1,0	1,0	1,0	1,0	--	--	--
IPA	17,7	773	162,0	243,2	360,0	432,0	480,0	270,0	270,0
RIO	17,8	774	276,1	589,6	835,4	1008,0	1372,8	1895,5	2614,4
JTI	17,9	663	3,8	140,0	665,0	1710,0	1980,0	1300,0	4200,0
CAT	18,2	840	16,0	54,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0
ITU	18,4	449	1171,6	1186,4	1835,0	1814,0	2380,4	3096,8	3071,1

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Produção Agrícola Municipal 2007-2013

Anexo KK - Percentual de anos com ISNA superior a 0,6 no período crítico para solo tipo 3 (CAD 95mm/m)

	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV
POS	24%	3%	0%	79%	100%	100%
FOR	31%	0%	4%	82%	100%	100%
CPAC	26%	0%	10%	79%	100%	82%
PIR	31%	0%	15%	94%	100%	100%
ARA	28%	0%	10%	90%	100%	100%
GOI	24%	0%	4%	92%	100%	100%
CNPAF	38%	0%	7%	100%	100%	100%
GYN	41%	0%	27%	98%	100%	100%
IPA	44%	0%	15%	100%	100%	100%
RIO	63%	8%	32%	92%	100%	100%
JTI	58%	10%	29%	94%	100%	100%
CAT	27%	0%	12%	92%	100%	100%
ITU	19%	0%	6%	69%	100%	100%

Anexo LL - Percentual de anos com ISNA superior a 0,6 no período crítico para solo tipo 3 (CAD 125mm/m)

	JAN	MAR	MAI	JUL	SET	NOV
POS	24%	3%	0%	79%	100%	100%
FOR	31%	0%	4%	82%	100%	100%
CPAC	26%	0%	10%	79%	100%	82%
PIR	31%	0%	15%	94%	100%	100%
ARA	28%	0%	10%	90%	100%	100%
GOI	24%	0%	4%	92%	100%	100%
CNPAF	38%	0%	7%	100%	100%	100%
GYN	41%	0%	27%	98%	100%	100%
IPA	44%	0%	15%	100%	100%	100%
RIO	63%	8%	32%	92%	100%	100%
JTI	58%	10%	29%	94%	100%	100%
CAT	27%	0%	12%	92%	100%	100%
ITU	19%	0%	6%	69%	100%	100%