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

**Utilização do modelo CANEGRO para estimativa da produtividade
de cana-de-açúcar irrigada em diferentes regiões do Brasil**

Allan Cunha Barros

**Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem**

**Piracicaba
2011**

Allan Cunha Barros
Engenheiro Agrônomo

**Utilização do modelo CANEGRO para estimativa da produtividade de
cana-de-açúcar irrigada em diferentes regiões do Brasil**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010

Orientador:
Prof. Dr. **RUBENS DUARTE COELHO**

**Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem**

Piracicaba
2011

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

Barros, Allan Cunha

Utilização do modelo CANEGRO para estimativa da produtividade de cana-de-açúcar irrigada em diferentes regiões do Brasil / Allan Cunha Barros. - - Piracicaba, 2011.
118 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Cana-de-açúcar - Produtividade 2. Crescimento vegetal - Simulação - Modelo
Irrigação I. Título

CDD 633.61
B277u

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

“O Senhor me respondeu:

- Meu querido filho. Jamais eu te deixaria nas horas de provas e de sofrimento. Quando viste, na areia, apenas um par de pegadas, eram as minhas. Foi exatamente aí que eu te carreguei nos braços.”

(“Pegadas na areia” - Margareth Fishback Powers)

Dedico

À mulher que sempre esteve em minha vida,

Dona Lourdinha, minha mãe

Às outras duas mulheres que entraram e
ficarão para sempre em minha vida, Letícia e Rosy.

Dedico também ao meu irmão, Eder, o gordinho.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha existência, por me ensinar que na vida sempre haverá um caminho difícil, mas que para transcorrê-lo é só confiar Nele.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela oportunidade de aperfeiçoar e adquirir novos conhecimentos;

Ao professor Dr. Rubens Duarte Coelho, pela orientação, conselhos, pelo exemplo de profissional, pela paciência, pela amizade e pela oportunidade de trabalhar ao seu lado;

Ao professor Dr. Marcos Vinicius Folegatti, pela orientação no mestrado;

Aos professores e amigos Dr. Claudinei Fonseca Souza e Dr. Luis Fernando de Souza Magno Campeche;

Ao professor Dr. Antenor de Oliveira Aguiar Netto, pela orientação, amizade, confiança, apoio e por me ajudar a trilhar os primeiros passos na carreira acadêmica, além de servir como exemplo de profissional;

Ao prof. Fábio Ricardo Marin, por auxiliar no desenvolvimento da tese;

Ao amigo de produção científica e ex-companheiro de moradia Pedro Róbinson Fernandes de Medeiros, e aos outros amigos também indispensáveis: Lucas Melo Vellame, Anthony W. A. Gomes, Claudio A. Uyeda, Francisco Valfísio da Silva, pelos quais tenho um maior respeito e amizade;

Ao coordenador do curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, professor Dr. Tarlei Ariel Botrel, pelas condições oferecidas para a realização deste trabalho;

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem pelos ensinamentos transmitidos;

Aos funcionários do departamento do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem pela ajuda nos momentos difíceis;

À aluna da PUC – Campinas, Dorothee L. Polzer, por ter tido paciência em me ensinar o programa DSSAT pelo MSN.

Aos amigos professores da UFAL, Luke e Edmilson, pelos bons momentos dividindo moradia, pelas gargalhadas, pelo acolhimento, pelo apoio e pelos conselhos.

As secretárias, Beatriz Regina Novaes, Davilmar Aparecida Domingues Collevatti e Sandra Regina T. Silveira Mello, pela dedicação e constantes apoios;

Aos companheiros do curso de pós-graduação, Antonio, Adalberto, Ariovaldo, Fábio Jordão, Alexsandro Almeida, Ronaldo, Marcos Schaaf, Marco Rosa, Ceres, Lucas “moranguinho”, Jokastah, Juan, César, Pelé, Tales “miseravão”, Waleska, Kelly “pimpona”, Rochane “Rok-Se”, Maria Eduarda “Duda”, Fabiana, Pedro, Wanderlei, Jorge “timbalada”, Sergio “Poderoso” Weyne, Sérgio Tapparo, Pabblo “Pimpão”, Rodrigo, Priscylla, Cícero, Cleomar, Gabriel, Thiago, Robson “Açu”, Robson “tico-tico”, Mingote, Osvaldo “Avon”, João Batista, João Lelis, Ticão, Carlão, Janaína, Lígia, Cornélio, Danilton, Roque Pinho, Jaedson, Marujo, Dani e Silvão pela amizade e momentos de descontração;

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo;

À todos que colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 A cana-de-açúcar	23
2.2 Consumo de água pela cana-de-açúcar	24
2.3 Produção e consumo de água.....	25
2.4 Produção e deficiência hídrica	26
2.5 Balanço hídrico.....	28
2.6 Planejamento de área irrigada na cana-de-açúcar.....	33
2.7 Funções de produção da água na cultura de cana-de-açúcar	34
2.8 Irrigação em cana-de-açúcar.....	38
2.9 Benefícios da Irrigação.....	39
2.10 Custos da irrigação	42
2.11 Modelagem de sistemas agrícolas	43
2.12 Modelagem em cana-de-açúcar.....	44
2.13 O modelo CANEGRO.....	45
2.15 Performance do modelo	48
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	51
3.1 Dados climatológicos	52
3.2 Dados edáficos.....	54
3.3 Dados Fisiológicos	55
3.4 Cenários das Simulações.....	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
4.1 Dados meteorológicos.....	59
4.2 Gurupi.....	60
4.3 Teresina	73

4.4 Petrolina.....	86
4.4 Paranavaí	96
5 RESUMO DAS SIMULAÇÕES	106
6 CONCLUSÕES.....	109
REFERÊNCIAS	111
ANEXO	119

RESUMO

Utilização do modelo CANEGRO para estimativa de produtividade potencial da cana-de-açúcar irrigada no Brasil

Na produção da cana-de-açúcar, a irrigação é empregada mais intensivamente em novas áreas de expansão onde há insuficiência ou má distribuição temporal de chuvas. No entanto, a realização de experimentos, visando fornecer informações de produtividade na tomada de decisão, são onerosos e demoram muito tempo, por esse motivo, os modelos fisiológicos de simulação tornam-se ferramentas importantes, já que através deles é possível estimar a produtividade de uma cultura, em diferentes condições climáticas, sob diferentes épocas de plantio e colheita e sob diferentes métodos de manejo adotado. Assim, o objetivo do trabalho avaliar e simular a produtividade potencial da cana-de-açúcar nas regiões de Gurupi – TO, Teresina – PI, Petrolina – PE e Paranavaí – PA, com plantio e colheita em diferentes datas, através de estimativas de crescimento da cultura utilizando o CANEGRO/DSSAT, visando determinar o efeito da irrigação sob a produtividade desta cultura. Os cenários foram baseados em 4 datas de plantio (15 de janeiro, 15 de março, 15 de setembro e 15 de novembro), 2 épocas de colheita (1 e 1,5 anos) e 2 sistemas de produção (irrigado e sequeiro), totalizando 16 cenários por cidade; assim, foi possível verificar que a irrigação e o aumento do ciclo da cultura no campo possibilitaram aumento da produtividade, e as mesmas atingiram valores extremos entre 102 a 208 Mg.ha⁻¹, 86 a 174 Mg.ha⁻¹, 43 a 166 Mg.ha⁻¹ e 99 a 171 Mg.ha⁻¹, para Gurupi, Teresina, Petrolina e Paranavaí, respectivamente; o modelo DSSAT/CANEGRO apresentou melhor desempenho em locais com boa disponibilidade hídrica e superestimou as produtividades em locais com déficit hídrico.

Palavras-chave: DSSAT; Simulação de crescimento; Irrigação em cana

ABSTRACT

Estimating the potential productivity sugarcane in irrigation conditions in Brazil by CANEGRO model

The irrigation is come to used, in the sugarcane production, in the expansion areas where there is insufficient or poor distribution of rainfall. However, performing experiments in order to yield information in decision making, it is expensive and time-intensive, therefore, the models become important tools, since in it is possible to estimate the yield in different climatic conditions, under different planting, harvesting seasons and under different management practices adopted. Thus, the objective was to simulate and to evaluate potential productivity of sugarcane in the regions of Gurupi - TO, Teresina - PI, Petrolina - PE, Paranavaí - PA with planting and harvesting at different dates, through estimates of crop growth using CANEGRO /DSSAT and determine the effect of irrigation on productivity. The scenarios were based on four planting dates (January 15, March 15, September 15 and November 15) x 2 harvest times (1 and 1.5 years) x 2 management systems (irrigated and rainfed), totaling 16 scenarios for the city. The irrigation and the increased of the crop cycle allowed increased of productivity, and it was possibly verify the yeld obtained extreme values between 102 to 208 Mg ha⁻¹, 86 to 174 Mg ha⁻¹, 43 to 166 Mg ha⁻¹ and 99 to 171 Mg ha⁻¹, to Gurupi, Teresina, Petrolina and Paranavaí, respectively; the DSSAT/CANEGRO shows better performance at locations with good water availability and overestimated yield at locations with deficit water.

Keywords: DSSAT/CANEGRO; Growth simulation; Sugarcane irrigated

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização no mapa dos locais utilizados nas simulações (Fonte: GoogleEarth).....	51
Figura 2 - Balanço hídrico feito para a cultura da cana-de-açúcar em cada cidade utilizada	60
Figura 3 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha ⁻¹ , em condições não irrigadas, para 1 ano(A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Gurupi – TO.....	62
Figura 4 - Índice de Área Foliar (IAF) e Produtividade de Colmos (Mg.ha ⁻¹) estimados pelo DSSAT /CANEGRO da cana-de-açúcar para a região de Gurupi – TO, com plantio em 15 de janeiro de 2002 e colheita um ano depois.	63
Figura 5 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha ⁻¹ , em condições irrigadas com os plantios em 1 ano (A) e 1,5 anos (B) para a cidade de Gurupi – TO ..	64
Figura 6 - Renda bruta pelo número de meses da cultura no campo da produtividade de açúcar mensal (R\$) para cada cenário avaliado, na região de Gurupi – TO.....	70
Figura 7 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha ⁻¹ , em condições não irrigadas, para 1 ano (A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Teresina – PI	75
Figura 8 - Curvas de Índice de Área Foliar (IAF %) e produtividade de açúcar em Mg.ha ⁻¹ , em condições de sequeiro, para as épocas de plantio de Janeiro (A), Março (B), Setembro (C) e Novembro (D) para a região de Teresina – PI	76
Figura 9 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha ⁻¹ , em condições irrigadas, para 1 ano (A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Teresina – PI	77
Figura 10 - Renda bruta pelo número de meses da cultura no campo da produtividade de açúcar (R\$) para cada cenário avaliado, na região de Teresina	84
Figura 11 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha ⁻¹ , em condições não irrigadas, para 1 ano (A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Petrolina – PE.....	88
Figura 12 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha ⁻¹ , em condições irrigadas, para 1 ano (A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Petrolina - PE	89
Figura 13 - Renda bruta pelo número de meses da cultura no campo da produtividade de açúcar (R\$) para cada cenário avaliado, nas cidades de Petrolina.....	95

Figura 14 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha-1, em condições não irrigadas, para 1 ano (A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Paranavaí - PR	97
Figura 15 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha-1, em condições irrigadas, para 1 ano (A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Paranavaí - PR	98
Figura 16 – Índice de Área Foliar (IAF) e Produtividade de Colmos (Mg.ha-1) para o mês de janeiro de 2000, com colheita um ano depois.....	99
Figura 17 - Renda bruta pelo número de meses da cultura no campo da produtividade de açúcar (R\$) para cada cenário avaliado, nas cidades de Paranavaí	104
Figura 18 - Visualização do programa Weatherman.....	124
Figura 19 - Importação dos dados (esquerda) e seleção das variáveis e unidades correspondente a cada coluna.....	124
Figura 20- Visualização do arquivo SCCAN045.cul e inserção de nova cultivar	126
Figura 21 - Visualização da página principal do SBuild, local inicial para confecção dos cenários	127
Figura 22 - Visualização da Cultivar SP83-2847 cadastrada no CANEGRO.....	128
Figura 23 - Local no SBuild onde são selecionadas as estações e escolhido o tipo de solo	128
Figura 24 - Determinação do ciclo, método de plantio, distribuição do plantio, espaçamento, população de plantas e profundidade de plantio	129
Figura 25 - Visualização das Opções de Manejo para os cenários do SBuild.....	130
Figura 26 - Confecção dos tratamentos no SBuild	130
Figura 27 - Visualização da Tela principal do DSSAT e seleção do tipo de cultura que será simulada (1) e local para atualizar os experimentos (2).....	131
Figura 28 - Seleção do experimento que será simulado e destaque do botão utilizado para rodar a simulação	131
Figura 29 - Seleção dos resultados que desejam ser visualizados	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de água pela cana-de-açúcar, obtido pelo método de “Campo” por diversos autores	25
Tabela 2 - Consumo de água versus produção: informações obtidas em lisímetros	26
Tabela 3 - Valores do coeficiente cultural (Kc) para cana-de-açúcar	29
Tabela 4 - Valores de Kc para cana-planta	30
Tabela 5 - Valores de Kc para cana-de-açúcar	31
Tabela 6 - Valores de K _c para cana-soca	31
Tabela 7 - Valores de Kc para cana-de-açúcar planta, utilizando três métodos de estimativa da ETo.....	32
Tabela 8 - Produção de cana-de-açúcar planta irrigada e não irrigada (variedade SP-80 1842)	40
Tabela 9 - Produção de cana-planta irrigada e não irrigada	40
Tabela 10 - Produção de cana-de-açúcar irrigada e não irrigada da variedade SP79-1011	41
Tabela 11 - Evolução dos custos de produção de cana-de-açúcar no litoral Sul do Estado de Alagoas	42
Tabela 12 - Valores das áreas irrigadas, lâminas aplicadas e custos da irrigação na usina Coruripe	43
Tabela 13 - Média dos dados climatológicos das estações utilizadas.....	53
Tabela 14: Características Físicas dos solos utilizados para cada região	55
Tabela 15 - Indicadores Estatísticos de comparação entre dados medidos e observados do modelo CANEGRO/DSSAT para a cultivar RB83-2847	56
Tabela 16 - Relação dos itens utilizados para compor os cenários das simulações	57
Tabela 17 - Produtividade de colmos (Mg.ha ⁻¹) e de açúcar (Mg.ha ⁻¹) simuladas para as quatro épocas de plantio, sob condições irrigadas e de sequeiro para o município de Gurupi-TO	66
Tabela 18 - Análise estatística dos dados de produtividade média em relação aos meses dentro dos manejos adotado e dos manejos dentro de cada mês de plantio para a cidade de Gurupi – TO	68

Tabela 19 - Aumento na produtividade de colmo e açúcar (%) devido à irrigação e/ou o aumento do ciclo da cultura, para Gurupi-TO	69
Tabela 20 - Quantidade total de lâminas aplicas e número de irrigações utilizadas para cada mês e época de plantio na região de Gurupi – TO	72
Tabela 21 - Produtividade de colmos (Mg.ha ⁻¹) e de açúcar (Mg.ha ⁻¹) simuladas para as quatro épocas de plantio, sob condições irrigadas e de sequeiro para o município de Teresina-TE	79
Tabela 22 - Análise estatística dos dados de produtividade média em relação aos meses dentro dos manejos adotado e dos manejos dentro de cada mês de plantio para a cidade de Teresina – PI	81
Tabela 23 - Aumento na produtividade de colmo e açúcar (%) devido ao aumento da irrigação e/ou do aumento do ciclo, para Teresina - PI	82
Tabela 24 - Quantidade total de lâminas aplicadas e número de irrigações utilizadas para cada mês e época de plantio na região de Teresina - PI.....	85
Tabela 25 - Produtividade de colmos (Mg.ha ⁻¹) e de açúcar (Mg.ha ⁻¹) simuladas para as quatro épocas de plantio, sob condições irrigadas e de sequeiro para o município de Petrolina - PE.....	91
Tabela 26 - Análise estatística dos dados de produtividade média em relação aos meses dentro dos manejos adotado e dos manejos dentro de cada mês de plantio para a cidade de Petrolina – PE	92
Tabela 27 - Aumento na produtividade de colmo e açúcar (%) devido ao aumento da irrigação e/ou do aumento do ciclo, para Petrolina - PE	93
Tabela 28 - Quantidade total de lâminas aplicas e número de irrigações utilizadas para cada mês e época de plantio na região de Petrolina – PE	95
Tabela 29 - Produtividade de colmos (Mg.ha ⁻¹) e de açúcar (Mg.ha ⁻¹) simuladas para as quatro épocas de plantio, sob condições irrigadas e de sequeiro para o município de Paranaíba - PR	100
Tabela 30 - Análise estatística dos dados de produtividade média em relação aos meses dentro dos manejos adotado e dos manejos dentro de cada mês de plantio para a cidade de Paranaíba – PR	102

Tabela 31 - Aumento na produtividade de colmo e açúcar (%) devido ao aumento da irrigação e/ou do aumento do ciclo, para Paranavaí - PR	103
Tabela 32 - Quantidade total de lâminas aplicas e número de irrigações utilizadas para cada mês e época de plantio na região de Paranavaí - PA.	105

1 INTRODUÇÃO

A alta no preço do petróleo no mercado internacional, assim como questões relacionadas à sustentabilidade da atividade de extração e o efeito estufa fizeram com que muitos países iniciassem a busca por combustíveis alternativos. Dentre estes, o etanol, cuja técnica de produção a partir da cana encontra-se bem consolidada no mundo, sendo o Brasil o único produtor mundial com abrangência geográfica que proporciona pelo menos duas épocas distintas de colheita ao longo do ano (SCARPARI, 2008), o que o torna o maior produtor ($501.536 \text{ mil Mg.ha}^{-1}$) possuindo também a maior área cultivada mundialmente (6.290 mil ha atualizar este número) (FNP, 2009).

Os estados com maior área de plantio em cana-de-açúcar no Brasil são: São Paulo, Minas Gerais e Goiás, sendo responsáveis por 75,2% da área total plantada. Coincidentemente, estes Estados juntamente com Mato Grosso e Mato Grosso do Sul tem experimentado um aumento expressivo de área cultivada nos últimos anos. No entanto, as novas e promissoras áreas para cana-de-açúcar estão localizadas nos Estados do Maranhão, Piauí e Tocantins, na região do bioma cerrado (CGEE, 2009).

São para essas novas áreas e para áreas que já são utilizadas para o plantio de cana-de-açúcar que a utilização de modelos para determinação do potencial produtivo apresenta-se como uma interessante ferramenta a ser aplicada na tomada de decisão, principalmente quando se trata de irrigação, já que é fato que a disponibilidade hídrica no solo favorece uma maior produtividade da cultura da cana-de-açúcar, assim, a decisão de irrigar torna-se determinante para obter altas produções. Para que essa opção seja rentável o aumento de produção de açúcar por planta, em função da irrigação, deve compensar o investimento com o sistema de irrigação, com a energia que será utilizada e com o custo da água.

Além disso, a realização de pesquisas de campo para determinar a viabilidade da irrigação é onerosa, já que a cana-de-açúcar é um cultura semiperene, devendo ser cultivada por 5 ou mais anos. Modelos de simulação permitem considerar vários processos fisiológicos e elementos climáticos simultaneamente. Por isso, os modelos são ferramentas poderosas que aumentam a eficiência da pesquisa, permitindo analisar

o crescimento das culturas em diferentes condições climáticas (CHEEROO-NAYAMUTH, 2000).

Existem diversos modelos para simulação de produção de cana-de-açúcar, mas segundo Godoy (2007), os dois principais correntemente em uso são o APSIM (Agricultural Production System sIMulator) - sugarcane, modelo desenvolvido pela unidade de pesquisa australiana de sistemas de produção agrícola CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) (O'LEARY et al., 1999) e o CANEGRO (sugarCANE GROwth model) desenvolvido pela associação sul africana do açúcar (INMAN-BAMBER, 1995).

Como nos países de origem (Austrália e África do Sul) os modelos citados foram criados em locais que possuem semelhanças com o clima do Brasil, a adoção desta ferramenta poderia ser de grande importância para o Brasil, logo que segundo Cheeroo-Nayamuth et al. (2000) o custo de desenvolvimento e manutenção de um modelo é muito alto.

Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar e simular a produtividade potencial da cana-de-açúcar nas regiões de Gurupi – TO, Teresina – PI, Petrolina – PE e Paranaíba – PA, com plantio e colheita em diferentes datas, através de estimativas de crescimento da cultura utilizando o CANEGRO/DSSAT, visando determinar o efeito da irrigação sob a produtividade desta cultura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) apresenta grande importância na economia brasileira, contribuindo para a geração de divisas. Tal destaque é atribuída à sua múltipla utilização, podendo ser empregada in natura, sob a forma de forragem para alimentação animal ou como matéria prima para a fabricação de açúcar, álcool, aguardente, rapadura e melado. O Brasil destaca-se no cenário mundial como produtor de cana-de-açúcar, possuindo cerca de 6,3 milhões de hectares cultivados (FNP, 2009).

O ciclo evolutivo da cultura pode ser de 12 (cana de ano) ou 18 meses (cana de ano e meio) em cana-planta. Após o primeiro corte o ciclo passa a ser de 12 meses (ALFONSI et al., 1987), e a partir do corte passa a ser denominada de cana-soca. Os fatores ambientais que afetam de maneira significativa a produção da cana-de-açúcar são temperatura, luz, disponibilidade de água e nutriente (ALFONSI et al., 1987).

A cana de ano (12 meses), plantada em setembro-outubro, na região Centro Sul, tem seu desenvolvimento máximo de novembro a abril, reduzindo a partir de então devido às condições climáticas adversas do período caracterizado por ausência de chuvas e baixas temperaturas de acordo com Rodrigues (1995), podendo essa colheita ocorrer a partir de julho, em função do cultivar. A cana de ano e meio (18 meses), plantada de janeiro ao início de abril, apresenta taxa de crescimento mínimo ou mesmo nulo ou negativo, de maio a setembro em função das condições pouco favoráveis do inverno. Já com o início das precipitações, aumento da intensidade luminosa e também da temperatura, a fase de maior desenvolvimento da cultura acontece de outubro a abril, intensificada a partir de dezembro (SANTOS, 2005).

A cana-de-açúcar é uma poaceae semi-perene com metabolismo fotossintético C₄, que responde melhor a elevadas intensidades luminosas. Segundo Lucchesi (1995) a radiação solar afeta todos os estágios de desenvolvimento da cultura, sendo que em condições de baixa luminosidade a planta tem seu desenvolvimento comprometido,

apresentando colmos finos e longos, com menor acúmulo de matéria seca. Sendo a cana-de-açúcar uma planta de metabolismo fotossintético C₄, é considerada altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química, com taxas fotossintéticas calculadas em até 100 mg dm⁻² h⁻¹ de CO₂ fixado pela área foliar, segundo Rodrigues (1995). Entretanto, esta alta atividade fotossintética não se correlaciona diretamente com a elevada produtividade de biomassa. A grande capacidade da cana-de-açúcar, para a produção de matéria orgânica, reside na alta taxa de fotossíntese por unidade de superfície de terreno, que é influenciado pelo Índice de Área Foliar (IAF). Além disso, o longo ciclo de crescimento da planta resulta elevadas produções de matéria seca.

As características das cultivares influenciam a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, além as variações climáticas que prevalecem durante o desenvolvimento da cultura. A fotossíntese é correlacionada negativamente com a largura das folhas e positivamente com a sua espessura. Posição mais vertical da folha no colmo, traduz-se em maior eficiência fotossintética, normalmente em populações de alta densidade populacional, devido à penetração mais eficiente da luz no dossel. A fotossíntese varia com a idade das folhas, atingindo valores de fixação de C₄ apenas às folhas recém-expandidas, enquanto as folhas mais velhas e as muito jovens realizam fotossíntese em níveis semelhantes aos das plantas C₃ (RODRIGUES, 1995).

2.2 Consumo de água pela cana-de-açúcar

O consumo de água da cultura da cana-de-açúcar varia em função do ciclo da cultura (cana planta ou soca), do estágio de desenvolvimento da cultura (ciclo fenológico), das condições climáticas, da água disponível no solo, da variedade de cana-de-açúcar e de outros fatores (SANTOS, 2005). Scardua e Rosenfeld (1987) apresentam um resumo de resultados de estimativas de consumo de água em diversas regiões do mundo (Tabela 1).

Tabela 1 - Consumo de água pela cana-de-açúcar, obtido pelo método de “Campo” por diversos autores

Autor	Ano	Local	Ciclo da cultura	Consumo de água (mm dia ⁻¹)		
				Mínimo	Médio	Máximo
Média	..	...	...	2,1	3,5	4,9
Cox	1960	Havaí	...	3,8	...	8,0
Thompson	1963	África do Sul	...	2,2	...	6,0
Tosello	1966	Brasil	...	1,3	...	3,4
Cruciani	1972	Brasil	...	1,2	...	2,8
Souza	1974	Brasil	Planta	2,3	3,6	4,5
Souza	1975	Brasil	Soca	2,2	3,6	5,0
Leme	1978	Brasil	Planta	1,9	3,8	5,6
Leme	1978	Brasil	Planta	1,3	3,2	4,8
Scardua	1979	Brasil	Planta	2,3	3,3	4,5
Scardua	1979	Brasil	Soca	2,2	3,2	4,4

Fonte: Scardua e Rosenfeld (1987).

2.3 Produção e consumo de água

De acordo com Gascho (1985), é muito difícil estabelecer uma relação geral entre produção e consumo de água pela cana-de-açúcar, devido às variações geográficas de plantio, clima e variedades. Esta situação pode ser comprovada pelas informações da Tabela 2.

Peres (1988) também concluiu que a relação entre o consumo de água e a produção da cana soca foi de 12,1 mm t⁻¹.

Ressalte-se que todos os valores apresentados na Tabela 2 referem-se ao consumo médio de água pela cana-de-açúcar e foram determinados em lisímetro, onde a cultura não sofreu deficiências hídricas ao longo de todo o ciclo, isto é, o solo esteve sempre com o teor de umidade próximo da condição de capacidade de campo. Portanto, pode-se inferir que em condições de campo, onde a cana-de-açúcar está sujeita a deficiências hídricas durante o ciclo produtivo, o consumo de água pela cultura de cana-de-açúcar seja inferior aos valores determinados pelos diversos autores, e que

também, exista uma variação desse consumo nos diferentes estádios fenológicos da cultura da cana-de-açúcar (MATIOLI, 1998).

Tabela 2 - Consumo de água versus produção: informações obtidas em lisímetros

Autor	Ano	Local	Ciclo da cultura	Consumo/produção (mm t ⁻¹)
Campbell et al.	1959	EUA (Havaí)	Planta	9,4 – 14,9
Thompson et al.	1963	África do Sul	Planta	5,9 – 10,2
Chang & Wang	1968	Taiwan	Planta e Soca	4,9
Thompson & Boyce	1971	África do Sul	Planta	9,4
Fogliata	1974	Argentina	Planta e Soca	12,6 – 14,9
Thompson	1976	África do Sul	1ª Soca	8,9
			2ª Soca	8,7
Shih & Gascho	1980	EUA (Flórida)	Planta e Soca	9,2 – 12,2
Barbieri	1981	Brasil	Planta	8,6
Chang et al	1983	Taiwan	Planta	9,3
			1ª Soca	10,5
			2ª Soca	12,7
Yang et al.	1985	Colômbia	Planta	5,2
			1ª Soca	7,0

Fonte: Peres (1988)

2.4 Produção e deficiência hídrica

As plantas vegetando em ambientes com condições adequadas, sem serem submetidas a estresses nutricionais, hídricos ou ambientais, apresentam desenvolvimento adequado, entretanto, quando uma ou mais das condições não são satisfatórias, as plantas respondem com menor crescimento e conseqüentemente menor produtividade (RAMOS, 2006).

Os efeitos do estresse hídrico nas plantas incluem, além de outros, redução nas taxas de assimilação de CO₂, tamanho das células foliares, taxa de transpiração, potencial de água na planta, taxa de crescimento e abertura estomática (HISÃO, 1973). Além da sua interferência no florescimento, as relações hídricas desempenham um

papel importante na alongação dos perfilhos e altura final dos colmos em cana-de-açúcar (CHANG; WANG; HO, 1968; GASCHO; SHIH, 1983), sendo os tecidos de alongamento e meristemáticos encontrados em maior grau nos internódios em expansão, os mais severamente afetados (HARTT, 1967).

Os períodos de déficit hídrico podem ocorrer durante todo o ciclo da cultura, mas seu efeito sobre a produtividade de colmos e açúcar, é variado em função da interação entre a época do ano em que ocorrem, e a fase do ciclo fenológico da cultura (THOMPSON, 1976; DOORENBOS; PRUITT, 1975).

Rosenfeld e Leme (1984), estudando épocas de irrigação para cana-de-açúcar em Ribeirão Preto, concluíram que as maiores reduções de produção ocorreram com déficit hídrico nos primeiros oito meses do ciclo de cana-planta. Já Vazquez (1970), estudando épocas de irrigação em Porto Rico, concluiu que para as condições de variedade e climas do estudo é possível economizar até 250 mm.ano⁻¹, suspendendo a irrigação cinco meses antes da colheita, sem reduções significativas na produtividade.

Rosenfeld (1989), estudando o período crítico de deficiência hídrica para cana-planta, concluiu que, o início do estágio de máximo desenvolvimento da cana-planta é o período mais sensível ao déficit hídrico. Para cana-de-açúcar plantada em fevereiro e junho, o período mais crítico é o do 4º ao 8º mês de idade, já para a cana-de-açúcar plantada em outubro, o período mais crítico é do 8º ao 11º mês. As maiores reduções de produção são provocadas por períodos secos durante o verão em canas com idade de 4 a 8 meses, assim como o período de seca para o crescimento da cana-planta.

Testando a deficiência de água no solo após a indução floral, Carlucci e Ramos (1989) observaram que não houve alteração no número de entrenós formados, mas sim em seu crescimento, diminuindo, conseqüentemente, o comprimento final dos colmos; O peso dos colmos foi mais afetado nos terços médio e superior, principalmente quando a restrição hídrica ocorreu durante a iniciação floral; nas parcelas tratadas houve uma diminuição na pol, brix e pureza do caldo extraído, assim como no açúcar teórico recuperável, porém essa tendência foi marcante quando a falta de água ocorreu durante a iniciação floral; Em resumo, a deficiência de água no solo após a indução floral é uma prática não recomendável na produção comercial da cana-de-açúcar, pelas reduções que traz ao seu crescimento e produção de açúcar (RAMOS, 2006).

Doorenbos e Kassam (1979) mostraram que o efeito da deficiência de água varia com o estágio de desenvolvimento da cana-de-açúcar. Os autores definem três estádios para a cana-de-açúcar: o primeiro é o de estabelecimento mais período vegetativo, o segundo é o da formação da produção e o terceiro é o da maturação. Os mesmos autores afirmam que o primeiro estágio é o mais sensível à deficiências hídricas.

Em experimentação com irrigação complementar, o autor verificou que a irrigação no início do estágio de crescimento é muito importante, confirmando que o estágio de estabelecimento + estágio vegetativo para a cana-de-açúcar é o mais sensível à deficiências hídricas.

Conforme Howell, Cuenca e Solomon (1990), afirmam que a frequência de aplicação de água, a quantidade de água aplicada, a uniformidade e a eficiência de aplicação, juntamente com a precipitação são parâmetros que ditam a relação entre água e produtividade potencial da cultura.

2.5 Balanço hídrico

2.5.1 Coeficiente de cultivo (K_c)

A evaporação é o termo principal no ciclo hidrológico terrestre e a sua estimativa acurada é importante no gerenciamento dos recursos hídricos; na previsão da produção agrícola e na compreensão das relações entre o clima e as alterações no uso do solo (WALLACE, 1995).

Segundo Harding et al. (1992), a estimativa da evapotranspiração pode ser obtida diretamente, por meio das variações do armazenamento de água no solo durante os períodos secos; e indiretamente, utilizando-se modelos de contabilização diária da sua utilização em outros locais e condições climáticas.

Barbieri (1981), estudando a evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar em Araras – SP, mediante lisímetro de lençol freático constante, concluiu que a demanda climática ideal de água para a variedade NA 56-79, variou de $0,5 \text{ mm dia}^{-1}$ na época da

emergência até 6,03 mm dia⁻¹ na fase de pico de consumo em dezembro, decaindo para 2,8 mm dia⁻¹ no início da fase de maturação.

A razão entre evapotranspiração ótima (ET_m) e a evapotranspiração de referência (ET_o) se denominada coeficiente de cultura (K_c). Os principais fatores que afetam são as características intrínsecas da cultura, e as condições climáticas locais, que é dada pela seguinte equação (DOORENBOS; PRUITT, 1975):

$$K_c = \frac{ET_m}{ET_o} \quad (1)$$

Segundo Matioli (1998), para culturas anuais, a classificação na qual se enquadra a cana-de-açúcar, o programa de Dourado Neto e Van Lier (1991) é alimentado com os valores correspondentes aos estádios 1, 3 e 5. Nos estádios 2 e 4, o programa considera que o K_c varia linearmente com o tempo.

Os coeficientes de cultura (K_c) para os diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar foram definidos por Doorenbos e Pruitt (1977) e Doorenbos e Kassam (1979), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores do coeficiente cultural (K_c) para cana-de-açúcar

Idade da cultura (meses)		Estádio de desenvolvimento	Coeficiente (K _c)		
Cana-planta	Cana-soca		Mínimo	Médio	Máximo
0 – 2	0 – 1	Do plantio até 0,25 de cobertura	0,40	0,50	0,60
2 – 3	1 – 2	De 0,25 a 0,50 de cobertura	0,75	0,80	0,85
3 – 4	2 – 3	De 0,50 a 0,75 de cobertura	0,90	0,95	1,00
4 – 7	3 – 4	De 0,75 a cobertura completa	1,00	1,10	1,20
7 – 14	4 – 9	Utilização máxima	1,05	1,20	1,30
14 – 16	9 – 10	Início da maturação	0,80	0,95	1,05
16 – 18	10 – 12	Maturação	0,60	0,70	0,75

Fonte: FAO (1977, 1979)

Barbieri (1981), trabalhando com cana-de-açúcar planta nas condições de Araras – SP, determinou os valores de K_c empregando três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). Os resultados encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de K_c para cana-planta

Idade da cana-planta (meses)	Coeficiente da cultura (K_c)		
	Penman	Radiação	Tanque Classe "A"
0 – 2	0,10 – 0,20	0,10 – 0,20	0,12 – 0,25
2 – 3	0,20 – 0,40	0,20 – 0,40	0,25 – 0,53
3 – 4	0,40 – 0,60	0,40 – 0,55	0,53 – 0,75
4 – 7	0,60 – 1,50	0,55 – 0,96	0,75 – 1,47
7 – 17	1,50 – 0,96	0,96 – 0,77	1,47 – 0,87

Fonte: Barbieri (1981)

Uma umidade adequada durante todo o período de crescimento é importante para se obter rendimentos máximos, visto que o crescimento vegetativo (incluindo crescimento da cana-de-açúcar) é diretamente proporcional à água transpirada. Dependendo do clima, as necessidades hídricas (ET_m) da cana-de-açúcar são de 1.500 a 2.500 mm uniformemente distribuídos durante a temporada de desenvolvimento. Os valores do coeficiente de cultivo (K_c), que relacionam a ET_m com a ET_o para os diferentes períodos de crescimento, estão relacionados nas Tabelas 5 e 6 (DOORENBOS; PRUITT, 1975) e (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Tabela 5 - Valores de K_c para cana-de-açúcar

Período de desenvolvimento	Dias do ciclo	Coeficiente de cultura K _c ⁽¹⁾
Do plantio até 0,25 de cobertura	30 – 60	0,40 – 0,60
De 0,25 a 0,50 de cobertura	30 – 40	0,75 – 0,85
De 0,50 a 0,75 de cobertura	15 – 25	0,90 – 1,00
De 0,75 à cobertura completa	45 – 55	1,00 – 1,20
Utilização máxima	180 – 330	1,05 – 1,30
Início da senescência	30 – 150	0,80 – 1,05
Maturação	30 – 60	0,60 – 0,75

Fonte: Doorenbos e Kassam (1994)

⁽¹⁾ os valores de K_c dependem da umidade relativa mínima e da velocidade do vento.

Tabela 6 - Valores de K_c para cana-soca

Idade da cana (meses)	Estágio de desenvolvimento da cultura	K _c
0 – 1	Do plantio até 25% de cobertura do solo	0,55
1 – 2	De 25 a 50% de cobertura do solo	0,80
2 – 2,5	De 50 a 75% de cobertura do solo	0,90
2,5 – 4	De 75 a 100% de cobertura do solo	1,00
4 – 10	Cobertura total do solo	1,05
10 – 11	Início da maturação	0,80
11 – 12	Maturação	0,60

Fonte: Doorenbos e Pruitt (1975)

Posteriormente, Peres (1988), trabalhando com soca nas mesmas condições de Araras – SP, determinou os valores de K_c utilizando três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). Os resultados encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores de K_c para cana-de-açúcar planta, utilizando três métodos de estimativa da ET_o

Estádio	Idade cana-planta (dias)	Coeficiente da cultura (K_c)		
		Penman	Tanque Classe "A"	Thornthwaite
PID ⁽¹⁾	0 – 100	0,41	0,39	0,59
PMD ⁽²⁾	101 – 350	0,73	0,80	0,93
PM ⁽³⁾	351 – 489	0,78	0,71	0,94

Fonte: Peres (1988)

⁽¹⁾ Período inicial de desenvolvimento.

⁽²⁾ Período de máximo desenvolvimento.

⁽³⁾ Período de maturação.

2.5.2 Determinação do balanço hídrico

Existem diversos autores que desenvolveram programas computacionais para determinação de balanço hídrico de culturas, empregando métodos empíricos para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o). Dentre eles destacam-se os programas de Barbieri et al. (1991) e de Dourado Neto e Van Lier (1991), que empregam o método de "Thornthwaite-Mather (1955)". O programa de Dourado Neto e Van Lier (1991) apresenta a vantagem de permitir elaborar o balanço hídrico com variação do coeficiente de evapotranspiração da cultura (K_c) e da profundidade do sistema radicular (capacidade de armazenamento de água CAD), para qualquer distribuição de dados climáticos disponíveis (MATIOLI, 1998).

O conhecimento de como as plantas utilizam a água no solo e de como respondem aos níveis de armazenagem a partir do balanço hídrico, pode ser uma saída viável para o estabelecimento de estratégias eficazes de manejo visando ao melhor uso possível das reservas de água no solo pelas culturas. O movimento cíclico da água na lavoura começa com a sua penetração no solo por meio da infiltração, continua com seu armazenamento temporário na zona do sistema radicular e termina com sua remoção do solo por meio da drenagem, da evaporação e da absorção pelas raízes (HILLEL, 1970).

Para se efetuar o balanço hídrico de uma cultura é necessário, portanto, computar as entradas de água no solo via precipitação pluvial ou irrigação, a partir da sua infiltração na superfície, e as saídas, representadas pela drenagem interna, evapotranspiração e deflúvio superficial num volume de solo, com base na configuração do sistema radicular da cultura em estudo, em determinado período de tempo; se a quantidade de água que entra no tempo considerado for maior que a quantidade que sai durante o mesmo período, o saldo será positivo e, caso contrário, será negativo. Tanto o saldo positivo como o saldo negativo são medidos pela variação de armazenagem de água no perfil do solo no período considerado (LIBARDI, 1995).

A importância do balanço hídrico como ferramenta para avaliar a intensidade das saídas e entradas de água no solo e, por conseguinte, para definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico para a cultura, está relacionada não só ao conhecimento dos fatores que o compõem (evapotranspiração, precipitação, drenagem interna ou ascensão capilar) como, também, ao conhecimento das características da planta, principalmente da sua fenologia, que representa o ponto de partida para a interpretação coerente dos resultados do balanço (CINTRA, 2000).

2.6 Planejamento de área irrigada na cana-de-açúcar

Para o planejamento, construção e operação de sistemas de irrigação e drenagem eficientes e economicamente viáveis, são necessárias informações detalhadas do consumo de água pelas culturas agrônômicas envolvidas. Um dos procedimentos comumente utilizado na estimativa envolve a determinação da evapotranspiração potencial de referência (ET_o), padrão grama, a qual, mediante o uso de coeficientes de cultura (K_c) apropriados, permite calcular a evapotranspiração potencial da cultura (ET_c), considerando diferentes estágios do seu ciclo fenológico. (PERES et al., 1992).

De acordo com Magalhães (1987), os fatores ambientais que mais influenciam na bioconversão de energia na cana-de-açúcar são a luz (intensidade e qualidade), a concentração de CO_2 , a disponibilidade de água e de nutrientes e a temperatura. Nos trópicos úmidos podem ser considerados bons rendimentos da cultura de sequeiro, na

faixa de 70 a 100 toneladas por hectare de cana-de-açúcar e nos trópicos secos com irrigação, entre 100 e 150 t ha⁻¹ (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Conforme Howell et al. (1990), a frequência de aplicação de água, a quantidade de água aplicada, a uniformidade e a eficiência de aplicação, juntamente com a precipitação são parâmetros que ditam a relação entre água e produtividade potencial da cultura.

2.7 Funções de produção da água na cultura de cana-de-açúcar

Segundo Sousa et al. (1999) a avaliação econômica da irrigação freqüentemente envolve a quantificação da produtividade em resposta ao total de água aplicada. A caracterização da resposta da cultura à aplicação de água tem sido amplamente conhecida como função de produção Água-Cultura.

Os modelos estatísticos que melhor se ajustam à relação água-produtividade e que são mais comumente utilizados nas análises econômicas das pesquisas agrícolas são: Quadrático, Raiz Quadrada, Mitschelich-Spillman e Potência 3/2 (HEXEM; HEADY, 1978). Entre esses, destaca-se o modelo Quadrático, que, na maioria das vezes, melhor representa a estimativa de produção em estudo de Função de Produção em agricultura irrigada no Brasil.

Segundo Yang (1979), em pesquisa em Taiwan, obteve uma equação que relaciona o aumento de produtividade da cana-de-açúcar à irrigação, ou seja:

$$Y = 12,152 + 0,0918x - 0,0000549x^2 \quad (2)$$

em que:

Y – produtividade de cana-de-açúcar (t ha⁻¹);

x – irrigação efetiva (mm).

Leme (1991), aborda ampla e detalhadamente sobre os métodos de função de produção que buscam relacionar a produtividade com o uso da água pela cultura,

descrevendo sobre modelos fisiológicos, semi-empíricos e de otimização econômica. Destaca o autor, que os modelos semi-empíricos são usualmente caracterizados pela relação entre a produtividade da cultura e o conteúdo de água no solo, a transpiração ou evapotranspiração e a quantidade de água aplicada pela irrigação.

Doorenbos e Kassam (1979) propuseram um modelo empírico para a quantificação da relação entre a produtividade e a água, sob a forma da expressão:

$$1 - \frac{Y_r}{Y_m} = K_y \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m} \right) \quad (3)$$

em que: Y_r – produtividade real;

Y_m – produtividade máxima;

ET_r – evapotranspiração real;

ET_m – evapotranspiração máxima.

K_y – fator de sensibilidade da cultura à deficiência de água ou taxa de redução da produtividade.

Scardua (1985) usou o modelo de função de produção proposto por Doorenbos e Kassam (1979) em experimentos de cana-de-açúcar irrigada realizados durante 11 anos no município de Araras – SP e obteve a seguinte função de produção:

$$Y = 0,0620 + 0,6610x_1 + 0,2762x_2 - 0,0306x_3 \quad (4)$$

$$R^2 = 0,744.$$

Em que: $Y = \left(1 - \frac{Y_r}{Y_m} \right)$ estimado;

$x_1 = \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m} \right)$ do 1º estágio;

$x_2 = \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m} \right)$ do 2º estágio;

$$x_3 = \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right) \text{ do 3º estágio;}$$

Scardua (1985), também estudou a relação da produção máxima (Y_m) com diversos elementos de clima como graus dias, índice de área foliar, comprimento do dia e radiação líquida, obtendo o melhor ajuste quando considerou o efeito conjunto dos graus dias e radiação líquida. O autor determinou a seguinte equação para estimativa da produção agrícola máxima (Y_m):

$$Y_m = -15,5521 + 0,03886a_1 + 0,00082a_5 \quad (5)$$

$$R^2 = 0,862$$

Em que:

Y_m – produtividade máxima estimada, em $t\ ha^{-1}$;

a_1 – total de graus dias durante o ciclo da cana-de-açúcar;

a_5 – total de radiação líquida no ciclo da cana-de-açúcar, em $cal\ cm^{-2}$;

Ometto (1974) propôs uma equação para estimativa do rendimento da cana-de-açúcar, em função de parâmetros climatológicos e de nutrientes, ou seja:

$$RA = -132,91 + 59,81\left(\frac{ET_r}{ET_m}\right) + 198,62\left(\frac{e_a}{e_s}\right) + 2,67\left[\frac{(P_2O_5)_c}{(P_2O_5)_o}\right] \quad (6)$$

Em que:

RA – rendimento agrícola ($t\ ha^{-1}$);

ET_r – evapotranspiração real;

ET_m – evapotranspiração máxima ou potencial;

e_a – tensão atual de vapor d'água no ar;

e_s – tensão de saturação do vapor d'água no ar;

$(P_2O_5)_c$ – quantidade de fósforo à disposição da cultura;

$(P_2O_5)_o$ – quantidade de fósforo preconizada pelo IAC.

Barbieri (1993) desenvolveu um modelo matemático-fisiológico de estimativa de produção potencial da cana-de-açúcar, considerando as variações da fotossíntese e da respiração. O autor propôs a seguinte equação para determinação do acúmulo potencial da matéria seca (MST):

$$MST = MS_o \cdot Cr^n + \left[MS \cdot \left(\frac{Cr^n - 1}{Cr - 1} \right) \right] \quad (7)$$

Em que: MST – matéria seca acumulada no fim do mês em questão, (kg ha⁻¹);

MS_o – matéria seca existente no início do mês (kg ha⁻¹), considera as perdas de folhas e de colmos;

Cr – coeficiente respiração de manutenção (termo subtrativo);

Cr = 1 – r max. Cr(t) . Cr(i);

Em que:

r max – 0,023 g g⁻¹ – respiração máxima;

Cr(t) – correção da r max em função da temperatura;

Cr(i) – correção da r max em função da idade da planta;

n – número de dias do mês;

MS – matéria seca média mensal produzida por dia (kg ha⁻¹).

O autor afirma que os resultados de MST obtidos podem ser transformados em toneladas de colmos por hectare pela seguinte equação de regressão linear:

$$Y = b \cdot x \quad (8)$$

Em que: Y – produtividade de colmos (t ha⁻¹);

x – MST (t ha⁻¹);

b – coeficiente angular considerando-se as variedades:

CP5122	b = 2,07	r = 0,98*
CB4176	b = 1,99	r = 0,88**
CB47355	b = 2,22	r = 0,91**

NA5679	$b = 2,27$	$r = 0,94^{**}$
Variedades	$b = 2,12$	$r = 0,80^{**}$

2.8 Irrigação em cana-de-açúcar

Com relação à necessidade de irrigação complementar para a produção de etanol, tem-se que durante a fase agrícola ela é mínima em grande parte do Brasil onde se pratica essa cultura. Praticamente toda a cana-de-açúcar produzida no estado de São Paulo é cultivada sem irrigação. A tecnologia da irrigação começa a ser mais empregada em áreas de expansão onde há insuficiência ou má distribuição de chuvas. No estado de São Paulo onde se pratica o chamado plantio de ano e meio, ou plantio de ano, não se utiliza a irrigação. O chamado plantio de inverno, com ocorrência no período seco, requer a irrigação de salvamento como segurança, com recomendação de duas lâminas de 30 a 40 mm de água, sendo pouco utilizado na região Sudeste (CGEE, 2009).

A irrigação é mais necessária na região Nordeste (Alagoas, Paraíba, Pernambuco e Oeste Baiano), onde se pratica a irrigação de salvamento após o plantio da cana-de-açúcar, e quando for o caso aplica-se também a “irrigação suplementar” para atenuar os déficits hídricos. Na medida em que a cultura de cana-de-açúcar também avança para o Centro-Oeste, maiores necessidades de irrigação são também previstas. O desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar mais resistentes a períodos de seca irá contrabalançar o requisito de irrigação adicional (BERNARDO, 2007).

Scardua (1985) demonstrou a viabilidade técnico-econômica da irrigação suplementar de cana-de-açúcar, principalmente no primeiro estágio de seu desenvolvimento. Wiedenfeld (2000) observou que a cana-de-açúcar submetida ao estresse hídrico nos terceiro e quarto períodos do seu ciclo, 257 a 272 e 302 a 347 dias após o plantio, respectivamente, teve redução de 8,3 a 15% no rendimento.

A irrigação complementar ou suplementar da cana-de-açúcar é, hoje, uma das alternativas tecnológicas em busca da verticalização da produção dessa cultura no Litoral Norte da Paraíba; no entanto, muitos produtores partem para a irrigação sem um

planejamento adequado, sem considerar as necessidades hídricas, o manejo apropriado da água na cultura e sem conhecimento das peculiaridades fisiológicas do crescimento da cana-de-açúcar irrigada. (FARIAS et al., 2008)

2.9 Benefícios da Irrigação

Matioli et al. (1996) definiram os benefícios da irrigação da cultura da cana-de-açúcar em “benefícios diretos” e “benefícios indiretos”. Segundo esses autores, os benefícios diretos consistem no aumento de produtividade agrícola e longevidade das soqueiras, enquanto os benefícios indiretos são aqueles relacionados com redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionados pelo aumento de produtividade, tais como: com a dispensa de arrendamentos, com o plantio desses arrendamentos dispensados, com os tratos culturais dos arrendamentos dispensados e com transporte, se os arrendamentos dispensados forem mais distantes da unidade industrial que a área irrigada.

2.9.1 Benefícios diretos

Sobre o benefício direto de aumento de produtividade existem vários trabalhos na literatura, mas sobre o aumento de longevidade das soqueiras os trabalhos são bastante escassos, permitindo apenas inferir resultados de experimentos que visaram essencialmente o aumento de produtividade (MATIOLI, 1998).

Guazzelli e Paes (1997) estudando o comportamento da variedade SP80-1842 (ciclo de cana-de-açúcar planta) sob condições de irrigação por gotejamento, na Usina São Martinho, localizada na região de Ribeirão Preto-SP, em solo classificado como Latossolo Roxo, textura muito argilosa, obtiveram aumento de produtividade de até 30 t ha⁻¹, correspondente a um acréscimo de 20,8% em relação à cana-de-açúcar não irrigada (Tabela 8). O consumo de água em função da produção de cana-de-açúcar variou de 7,2 a 8,5 mm t⁻¹.

Tabela 8 - Produção de cana-de-açúcar planta irrigada e não irrigada (variedade SP-80 1842)

Tratamento		Produtividade (t ha ⁻¹)	Aumento de Produtividade	
Irrigação	Lâmina (mm)		(t ha ⁻¹)	(%)
100% da ETr	946	173	29	20,1
75% da ETr	710	169	25	17,4
50% da ETr	473	174	30	20,8
25% da ETr	237	166	22	15,3
Testemunha	0	144	..	...

Fonte: Guazzelli e Paes (1997)

ETr = Evapotranspiração real da cultura.

Demétrio (1978), em experimento com irrigação suplementar por gotejamento na variedade NA5679, em Piracicaba-SP, obteve uma produtividade de 140,0 t ha⁻¹ para a cana-de-açúcar irrigada e 107,4 t ha⁻¹ para a cana-de-açúcar não irrigada.

Na Tabela 9 os dados demonstram o aumento de produtividade média obtido mediante o uso de irrigação suplementar em cana-planta por aspersão convencional (aspersor tipo canhão) utilizando variedades de maior potencial produtivo e de áreas com maior cultivo no regime sequeiro e irrigado na microrregião de Coruripe, no litoral Sul de Alagoas. Já na Tabela 10, visualiza-se o resultado de cana-soca e ressoça da variedade SP79-1011 na usina Coruripe (SANTOS, 2005).

Tabela 9 - Produção de cana-planta irrigada e não irrigada

Variedade	Produtividade (t ha ⁻¹)		Aumento de produtividade (t ha ⁻¹) (1-2)
	Irigada (1)	Não irrigada (2)	
Média	90,1	55,7	34,4
CO997	88,5	51,6	36,9
SP70-1143	76,6	44,7	31,9
SP75-3046	105,3	70,9	34,4

Fonte: Demonstrativo Agrícola (USINA CORURIBE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A, 2004)

Tabela 10 - Produção de cana-de-açúcar irrigada e não irrigada da variedade SP79-1011

Ciclo da cultura	Produtividade (t ha ⁻¹)		Aumento de produtividade (t ha ⁻¹) (1-2)
	Irigada (1)	Não irrigada (2)	
Média	111,3	89,2	22,1
Soca	105,0	77,0	28,0
Ressoca	117,6	101,4	16,2

Fonte: Demonstrativo Agrícola (USINA CORURIBE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A, 2004)

Scardua e Souza (1975), em experimentos de irrigação suplementar de cana-de-açúcar planta em Araras-SP, obtiveram um aumento de produtividade de 32,8 t ha⁻¹. Scardua (1998), em trabalho com irrigação por sulcos de infiltração e aspersão em cinco variedades de cana-de-açúcar, durante 11 anos, obtiveram aumento de produtividade relativamente baixo, com uma média de 13,2 t ha⁻¹.

Matioli (1998) destaca que a maioria das soqueiras pesquisadas era de final de safra, com corte no mês de outubro. Nesta condição, a resposta da cana-de-açúcar à irrigação é pequena, porque nessa época do ano, quando inicia o primeiro estágio de desenvolvimento das socas, praticamente não existem deficiências hídricas para a cultura, nas condições climáticas do Estado de São Paulo.

2.9.2 Benefícios indiretos

De acordo com Matioli (1998) o custo de colheita da cana-de-açúcar é bastante variável, em razão das alternativas envolvidas nessa atividade, tais como: corte manual, capacidade dos caminhões de transporte, cana queimada, cana crua, entre outras.

Santos (2005) apresentou a evolução dos custos de produção de cana-de-açúcar no litoral Sul do Estado de Alagoas, e seus custos podem ser vistos na Tabela 11.

Tabela 11 - Evolução dos custos de produção de cana-de-açúcar no litoral Sul do Estado de Alagoas

Atividade	Custo da atividade (R\$ ha ⁻¹)		
	Safra 02/03 (1)	Safra 03/04 (2)	Diferença (2 – 1)
Preparo do Solo	389,48	601,07	211,59
Plantio	1 270,25	1 713,80	443,55
Tratos culturais – planta	1 206,45	1 714,59	508,14
Tratos culturais – soca	634,92	754,70	119,78
Colheita (R\$.t ⁻¹)	10,00	10,89	0,89

Fonte: Demonstrativo Agrícola (USINA CORURIBE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A, 2004)

2.10 Custos da irrigação

O custo anual da irrigação (custos fixos + custos operacionais) da cultura cana-de-açúcar da usina Coruripe, localizada no litoral Sul de Alagoas, é apresentado na Tabela 12. A irrigação usada é por aspersão com sistema convencional de ramais e aspersores tipo “canhão hidráulico”. Tanto a cana planta como as soqueiras receberam duas a três lâminas brutas padronizadas de 60 mm, totalizando irrigações anuais que variaram de 120 a 180 mm (SANTOS, 2005).

O custo anual do sistema de irrigação (custos fixos + custos operacionais) determinado por Giacomini, Apelfelner e Rosenfeld (1996) de R\$ 387,00 ha⁻¹ equivale a um custo anual unitário de R\$ 1,38 mm⁻¹ ha⁻¹, para a lâmina média anual de 282 mm. Os autores não explicam os valores de custos fixos e operacionais, mas com base nos resultados percentuais dos custos do sistema de irrigação por aspersão convencional, pode-se inferir que o custo operacional da usina Sapucaia seja da ordem de R\$ 0,92 mm⁻¹ ha⁻¹.

Tabela 12 - Valores das áreas irrigadas, lâminas aplicadas e custos da irrigação na usina Coruripe

Safrá	Área irrigada (ha)	Lâmina aplicada (mm)	Custo anual da irrigação ⁽¹⁾	
			(t de cana ha ⁻¹)	(R\$ ha ⁻¹)
Média	19 020	136	20,73	870,45
96/97	16 385	160	26,30	1 104,60
97/98	17 230	120	22,10	928,20
98/99	18 150	146	37,90	1 591,80
99/00	18 150	116	25,40	1 066,80
00/01	20 561	105	17,50	735,00
01/02	20 561	101	8,00	336,00
02/03	20 561	169	24,60	1 033,20
03/04	20 561	175	4,00	168,00

⁽¹⁾ Conversão: 1 tonelada de cana-de-açúcar na esteira = R\$ 42,00, base de jun./04.

2.11 Modelagem de sistemas agrícolas

Os modelos de simulação fisiológica da produção agrícola são equações matemáticas que representam as reações que ocorrem dentro da planta e as interações entre a planta e o meio ambiente. Devido a complexidade deste sistema e ao estado incompleto do conhecimento presente, torna-se impossível representar completamente o sistema em termos matemáticos e por isto, modelos agrícolas são imagens relativamente simplificadas da realidade. Ao contrário dos campos da engenharia e da física, modelos universais não existem na modelagem de crescimento vegetal (GODOY, 2007).

A modelagem de sistemas agrícolas é importante por oferecer uma forma prática para incorporar os resultados da experimentação agrícola, compactando um amplo conjunto de informações, servindo assim, como um meio de transmissão e padronização de tecnologia. Os modelos podem ser implementados através de programas que possam ser utilizados por agricultores, pesquisadores e agroindústrias.

As simulações computacionais permitem avaliar várias condições de produção agrícola considerando várias condições ambientais possíveis. As simulações da produção, considerando várias condições ambientais, possibilitam ao produtor, determinar as melhores culturas / variedades e formas de manejo para reduzir os prejuízos devido a condições adversas de cultivo. Além disso, os modelos agrícolas permitem determinar os riscos envolvidos para as culturas em cada região agrícola auxiliando o planejamento de políticas públicas de seguros (GODOY, 2007).

2.12 Modelagem em cana-de-açúcar

O início da modelagem, em meados da década de 1970, na cana-de-açúcar ocorreu simultaneamente em três países. Bull e Tovey (1974) iniciaram na Austrália gerando posteriormente o APSIM – Sugarcane (KEATING et al., 1999) e o QCANE (LIU; BULL, 2001). Thompson (1976) desenvolveu na África do Sul um modelo relacional simples, precursor do atual modelo CANEGRO/DSSAT (BEZUIDENHOUT, 2000; INMAN-BAMBER; KIKER, 1997). No Brasil, Ometto (1974) deu o primeiro passo até o SIMCANA (PEREIRA; MACHADO, 1986) e o MST (BARBIERI, 1993). Esses modelos já demonstravam a importância do conhecimento da qualidade futura da matéria-prima, porém não priorizavam avaliar os processos envolvidos na maturação e sim no crescimento (O'LEARY, 2000), deixando uma lacuna na tomada de decisão de corte e na estimativa confiável da maturação como verificado por Beauclair e Penteado (1984).

Segundo O'Leary (2000), existem dois principais modelos de simulação de cana-de-açúcar correntemente em uso através do mundo, excluindo os numerosos modelos de regressão utilizados em locais específicos de estudo. Os modelos são o APSIM (Agricultural Production System sIMulator)- sugarcane, modelo desenvolvido pela unidade de pesquisa Australiana de sistemas de produção agrícola CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) (O'LEARY et al., 1999) e o CANEGRO (sugarCANE GROwth model) desenvolvido pela associação sul africana do açúcar (INMAN-BAMBER, 1995). O modelo CANEGRO foi incluído no Sistema para Suporte a Decisão de Transferência de Agrotecnologia ("Decision Support System for

Agrotechnology Transfer, DSSAT version 3.1”); uma plataforma computacional (suite - conjunto de aplicativos) de modelos, e assim, o CANEGRO Versão 3.1 tem sido usado através das Américas, da África e da Ásia. Esses dois modelos, desenvolvidos independentemente, tem origens similares.

Há, no entanto, outro modelo, menos conhecido, que foi recentemente desenvolvido na Austrália (QCANE; LIU; KINGSTON, 1995) que surgiu a partir da estrutura conceitual da Bull e Tovey (1974). Esse modelo tem algumas características interessantes para explorar em conjunto com mais dois modelos populares.

2.13 O modelo CANEGRO

A origem do modelo CANEGRO data do começo dos anos de 1970, com o desenvolvimento de equações de fotossíntese e respiração para a cana-de-açúcar no “Department of Theoretical Production Ecology, Agricultural University”, Wageningen, Holanda. Inicialmente os modelos de respiração e fotossíntese foram agrupados em um único modelo de simulação denominado CANESIM em 1991, na Estação Experimental da Associação Sul Africana de Açúcar (South African Sugar Association Experiment Estation, SASEX) (INMAN-BAMBER, 1991).

Posteriormente foram adicionados os cálculos da fotossíntese por área de folha, da eficiência quântica e da respiração de crescimento e de manutenção. Os efeitos diretos da temperatura na fotossíntese não foram incluídos. Os cálculos do balanço hídrico também foram aperfeiçoados incluindo a evapotranspiração potencial de Penman-Montieth (INMAN-BAMBER; CULVERWELL; MCGLINCHEY, 1993), adaptada do balanço hídrico do modelo CROPGRO, e interceptação da chuva pela cobertura (O’LEARY, 2000). Os parâmetros fenológicos para o desenvolvimento das folhas e do perfilhamento também foram incorporados, assim como, os fatores de partição dos fotossintetizados para as raízes.

O modelo é composto por um balanço de carbono, por uma função de desenvolvimento da cultura, e de outros modelos para a simulação de água e energia. É importante notar que, até o momento, o modelo é limitado à contabilização da

radiação, água e temperatura da biomassa da cana-de-açúcar, sem levar em consideração os efeitos da nutrição (INMAM-BAMBER, 1994, 1995).

Um dos objetivos principais do desenvolvimento do CANEGRO foi auxiliar a determinar a idade de colheita ótima na África do Sul, devido ao alastramento da infestação da *Eldana saccharina* cujas larvas atacavam principalmente os colmos maduros (com alta concentração de açúcares); dessa forma, a inclusão da simulação de sacarose no modelo foi recentemente desenvolvida. Em 1994, este modelo mostrou um desempenho razoável na simulação da produção de sacarose em uma comparação gráfica dos dados observados para duas localizações na África do Sul (INMAM-BAMBER, 1994).

O acúmulo de sacarose em relação a quantidade de biomassa é simulado com base em dados experimentais, dessa forma limitada as condições ambientais dos locais dos experimentos. Houve tentativas de se elaborar um modelo mecanístico, mas sem sucesso, devido ao pouco conhecimento sobre os mecanismos relacionados à partição dos fotossintetizados na cana-de-açúcar e ao acúmulo de sacarose pelos colmos. Novos estudos estão sendo realizados na África do Sul, para modelar os mecanismos de acumulação de sacarose (NASSIF, 2010).

O modelo DSSAT/CANEGRO pode também ser empregado como referência, indicando inconsistência nos modelos empíricos (O'Leary, 2000). Este aspecto é especialmente importante, pois em grande escala, onde as lavouras apresentam grande heterogeneidade edafo-climática e biótica, a dificuldade de obtenção dos parâmetros de entrada exigidos por modelos mais complexos como o DSSAT/CANEGRO tornam sua utilização mais restrita. Atualmente, contudo, segundo Nassif (2010), a disponibilidade de dados de clima e solo tem aumentado, permitindo o uso de ferramentas mais robustas em escalas mais amplas de aplicação (NASSIF, 2010).

Este tipo de modelo, por basear-se na modelagem de processos, além de permitir a estimativa da produtividade, também permite conhecer como se deu o desenvolvimento da cultura ao longo do ciclo de cultivo, pois considera desde variáveis biométricas até aspectos envolvendo o consumo de água, o balanço hídrico no solo e a ciclagem de nutrientes, notadamente o nitrogênio (JONES et al., 2007). Singels et al. (2008) apresentam as principais características do DSSAT/CANEGRO, baseando-se

em descrições fisiológicas do crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar incluindo a fenologia, desenvolvimento do dossel, perfilhamento, acúmulo e particionamento de biomassa, crescimento de raízes, estresse hídrico e acamamento da cultura.

Os parâmetros de cultivares, ecótipos e espécies pretendem juntos representar as características genéticas da cultura da cultura em diferentes níveis de especificidade (NASSIF, 2010). Os dados de cultivares são considerados como as características de cada variedade de cana-de-açúcar, enquanto que os parâmetros de ecótipos, também representando estas características, apresentam-se mais estáveis. Os parâmetros de espécie representam as características da própria espécie da cultura, descrevendo características como fotossíntese, respiração, particionamento, crescimento de raízes e resposta da cultura ao acamamento e estresse hídrico (SINGELS et al., 2008).

Singels et al. (2008) descreveram as principais características do modelo DSSAT/CANEGRO, que seguem: a emergência do perfilhamento primário é simulada quando um período específico de tempo térmico foi acumulado a partir do plantio ou do corte, o início do crescimento de colmos é simulado quando um período específico de exigência térmica é atingido a partir do perfilhamento primário. O pico de perfilhamento ocorre após um período de tempo térmico acumulado desde a emergência. Na modelagem, a fase de perfilhamento dura desde a emergência dos primeiros perfilhos até o pico de perfilhamento, enquanto que o crescimento dos colmos ocorre desde o início do crescimento até a colheita. A fase de senescência de perfilhos é modelada após o pico de perfilhamento até a colheita. No DSSAT/CANEGRO o florescimento não é modelado.

No desenvolvimento da cultura, o DSSAT/CANEGRO utiliza um método de índice de área foliar derivado do desenvolvimento de folhas individuais e perfilhos baseado na soma térmica. Este método simula o desenvolvimento de folhas individuais e perfilhos, onde a área foliar de cada perfilho é extrapolado para o nível de dossel pela multiplicação da área foliar individual pelo número de perfilhos por unidade de área (NASSIF, 2010).

A expansão foliar é calculada através da taxa de expansão da planta (cm.dia^{-1}), A interceptação de radiação fotossinteticamente ativa é calculada de acordo com a lei de

Beer, que utiliza valores de índice de área foliar total e índice de área foliar de folhas verdes para cálculo da evapotranspiração, utilizando o modelo de Penman-Monteith seguindo a parametrização FAO 56 (ALLEN et al., 1998). A densidade de população é simulada utilizando alguns parâmetros de ecótipos, que determinam a taxa de perfilhamento sem déficit hídrico e a senescência em função de tempo térmico, e alguns parâmetros de cultivares que determinam o pico de população e sua estabilização. Estas simulações são diretamente afetadas pelo espaçamento de plantio e por estresse hídrico ocorrido na cultura (SINGELS et al., 2008).

O modelo DSSAT/CANEGRO também simula o acúmulo de biomassa e particionamento de fotoassimilados, descritos por Singels e Bezuidenhout (2002) em que o modelo calcula o aumento diário na biomassa total utilizando a radiação fotossinteticamente ativa e eficiência de conversão (g MJ^{-1}).

2.15 Performance do modelo

O modelo CANEGRO tem sido amplamente testado no seu desempenho na simulação de biomassa total acima do solo e do status da resultante do solo e da água para um cultivar popular de cana da África do Sul (NCo376). Estes testes têm sido realizados ao longo de um vasto leque de latitudes (25°S a 31°S), altitudes (15 ± 1067 m) e solos na região açucareira da África do Sul (INMAN-BAMBER, 1994).

Nesses testes de performance comparativos realizados por Keating et al. (1995), sem stress hídrico e deficiência de N, o modelo mostrou ser geralmente robusto em suas performances. Houve variação de 30 a 27% em relação à produção observada, medida em campo, em dois locais diferentes (INMAN-BAMBER et al., 1998).

Todos os modelos têm conseguido simulação realista da biomassa (produção de cana), o esforço agora deve se concentrar nos fatores que afetam o acúmulo de sacarose. Para APSIM-SUGARCANE, a atenção ao estresse devido à água e N é necessária e, para o CANEGRO, a condição de estresse e não estresse de água e N precisam ser examinados. Todos os modelos determinam a biomassa total do colmo por regras de particionamento diferente.

Todos os modelos analisados têm suas vantagens e limitações. A potencialidade do APSIM-Sugarcane é que ela é apoiada por um grande número de módulos que auxiliam a simulação do seu interesse (por exemplo, água, solo ou módulos de nitrogênio). Um fator importante em favor do APSIM-Sugarcane é a sua versatilidade na medida em que outras culturas (e resíduos da superfície e solos) podem ser incluídos nas análises da rotação de culturas ou seqüências, mas em alguns países, existem muito poucos cultivos legais que competem economicamente com a cana. A potencialidade do CANEGRO é a sua forma mais básica de fixação de carbono baseado na.

A Estrutura do Modelo de CANEGRO, sem clara distinção foi feita entre a taxa de transformação de colmo para acúmulo de sacarose (forma de diferencial) e de forma integrada para determinar as frações de colmos e de sacarose e acúmulo de massa. Embora este não parece ser problema, aproximações matemáticas podem dar a mesma resposta, é mais difícil, conceitualmente, a introdução de novos fatores que afetem a taxa de mudança de processos em um modelo que inclui principalmente processos integrados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em parceria entre a ESALQ/USP e a Embrapa Informática Agropecuária. As simulações de crescimento de cana-de-açúcar foram feitas para os municípios de Gurupi-TO (latitude 11° 43'S e longitude 49° 04' O), Teresina-PI (latitude 05°04'S e longitude 42°14'O), Petrolina-PE (latitude 09° 04'S e longitude 40° 19' O) e Paranavaí-PR (latitude 23° 04'S e longitude 52° 25' O). As simulações foram feitas utilizando-se um modelo de simulação CANEGRO, que faz parte do pacote de modelos no sistema computacional DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer).

A escolha das regiões foram baseadas nos locais classificados como áreas promissoras para o plantio de cana-de-açúcar pelo CGEE (2009), as regiões de Gurupi e Teresina, além dessas regiões, adotou-se Petrolina - PE e Paranavaí – PR por apresentarem características climáticas diferentes das regiões analisadas, devido a variação da latitude, como foi descrito anteriormente..

Figura 1 - Localização no mapa dos locais utilizados nas simulações (Fonte: GoogleEarth)

Para a realização das simulações foi necessário informar o modelo com dados de entrada referente ao clima, ao solo e à planta.

3.1 Dados climatológicos

As variáveis meteorológicas diárias de entrada utilizadas pelo modelo foram provenientes de estações meteorológicas e foram cedidos pela EMBRAPA, IAPAR e INMET. Procurou-se utilizar os anos de dados com menor número de falhas, ou que não houvesse falhas, e para a correção de falhas simples (intervalo pequeno de dias), utilizou-se a metodologia proposta por Heinemann et al. (2007), que consiste no preenchimento de um ou dois dias seguidos de dados nulos (-99) com a média de sete dias anteriores ou posteriores.

Os anos utilizados foram para Teresina-PI: 1942 a 1956, 1966, 1967, 1976 a 1978, para Gurupi-TO: 1992 a 2008, para Petrolina-PE: 1971 a 1978 e 2002 a 2008; e para Paranavaí-PR 1995 a 2009.

O modelo é abastecido com dados climatológicos diários de Temperatura Máxima (°C), Temperatura Mínima (°C), Radiação solar global (MJ.m⁻².dia⁻¹) e Quantidade de chuva (mm), sendo esses os dados mínimos para realizar as simulações (Tabela 13), no entanto o modelo permite a entrada de várias outras variáveis climatológicas.

A partir dos dados de precipitação pluvial, temperatura máxima, temperatura mínima e radiação solar correspondentes à cada localidade estudada, fez-se o diagnóstico das condições médias e extremas dessas variáveis meteorológicas.

A região de Gurupi-TO apresenta um período mais chuvoso de 6 meses, entre os meses de outubro a março, onde há uma elevada precipitação, correspondendo a quase 90% da precipitação média total. Em Paranavaí-PR há uma boa distribuição das chuvas durante todo o ano. De setembro a março a média precipitada é superior a 110 mm por mês e nos quatro meses de menor precipitação a média precipitada não é inferior a 58 mm. Na região de Petrolina-PE ocorre baixa precipitação durante todo o ano, a precipitação média mensal só atinge valores superiores a 100 mm nos meses de fevereiro e março e o valor médio de precipitação anual é de 495 mm. Ao contrário,

Teresina-PI apresenta uma boa quantidade de chuva (1482 mm), sendo essas mal distribuídas, concentrando sua maior parte entre os meses de dezembro a maio.

Tabela 13 - Média dos dados climatológicos das estações utilizadas

Gurupi								
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Precipitação (mm)	Radiação (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)		Tmin (°C)	Tmax (°C)	Radiação (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)
jan	21,81	32,22	191,67	20,58	jul	14,98	27,77	16,71
fev	21,68	32,08	181,50	20,32	ago	16,36	29,36	18,65
mar	21,33	31,92	258,50	19,48	set	17,95	29,81	19,80
abr	19,49	30,99	66,17	18,34	out	19,79	31,75	21,33
mai	16,75	28,40	58,33	16,45	nov	20,08	31,31	21,22
jun	15,68	27,85	0,00	15,78	dez	21,30	31,80	20,65

Paranavaí								
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Precipitação (mm)	Radiação (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)		Tmin (°C)	Tmax (°C)	Radiação (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)
jan	21,15	31,27	227,37	20,52	jul	13,51	24,05	12,81
fev	20,76	31,42	153,40	20,67	ago	15,46	27,40	15,88
mar	20,65	31,69	112,23	19,69	set	16,37	27,46	16,26
abr	19,52	30,50	88,57	16,74	out	18,84	30,14	18,50
mai	14,96	25,22	172,67	13,03	nov	19,36	30,35	20,65
jun	15,72	25,76	63,33	12,34	dez	20,27	30,91	21,09

Petrolina								
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Precipitação (mm)	Radiação (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)		Tmin (°C)	Tmax (°C)	Radiação (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)
jan	23,06	32,58	50,31	19,22	jul	19,21	29,00	15,08
fev	23,18	31,61	109,75	17,97	ago	19,21	30,34	17,66
mar	22,91	31,39	112,46	17,35	set	20,26	31,69	19,63
abr	22,54	30,64	72,89	15,59	out	21,43	33,12	20,96
mai	21,36	30,00	34,02	14,48	nov	22,07	33,54	21,01
jun	19,82	28,71	8,40	13,91	dez	22,16	32,25	19,76

Teresina								
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Precipitação (mm)	Radiação (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)		Tmin (°C)	Tmax (°C)	Radiação (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)
jan	23,66	32,69	239,02	18,13	jul	20,75	32,58	17,52
fev	23,12	31,94	278,58	18,17	ago	20,39	34,36	20,49
mar	23,31	31,93	285,07	17,68	set	21,64	35,59	21,89
abr	23,08	31,89	286,96	16,88	out	22,67	36,39	22,43
mai	22,50	31,69	140,86	15,76	nov	23,48	35,86	21,11
jun	20,85	31,60	17,16	16,28	dez	23,22	33,62	19,25

As temperaturas máximas mais elevadas ocorrem de dezembro a fevereiro, para Gurupi, sendo os meses de junho e julho os mais frios. Em Paranavaí, os dias mais quentes são encontrados nos meses de janeiro a março e sua média anual não ultrapassa os 29 °C, os meses mais frios estão entre maio e agosto. Petrolina apresenta durante quase todo ano temperaturas superiores a 30 °C, sendo os meses

de outubro e novembro os mais quentes, os meses de julho e agosto os mais frios. Teresina apresenta temperaturas superiores a 31 °C durante todo o ano, sendo o mês de outubro o mais quente com quase 37 °C de temperatura média, o meses mais frios foram os de julho e agosto.

3.2 Dados edáficos

Os solos utilizados nas simulações foram o Latossolo Vermelho-Amarelo, para cidade de Gurupi-TO; o Argissolo Vermelho-Amarelo, para Teresina-Pi, Latossolo Vermelho Amarelo, para Petrolina e Latossolo Vermelho Escuro, para Paranavaí-PA, as características físicas dos solos utilizadas foram retiradas de Silva et al. (2007), Lima et al. (2000), Bassoi et al. (2001) e Marun (1996), respectivamente Tabela 14. No modelo CANEGRO as condições químicas do solo não são simuladas (INMAN-BAMBER, 1994), por isso não foram realizadas simulações para diferentes manejos de adubação.

Devido a dificuldade em conseguir dados das regiões estudadas buscou-se na literatura informações sobre os solos, por esse motivo não há uma padronização de coleta nem das profundidades analisadas. Apesar disso, no preenchimento do solo, adotou-se a profundidade padrão do solo como sendo 1,65 m.

Os valores de capacidade de campo, ponto de murcha e densidade do solo, ou seja, as informações necessárias para a determinação da disponibilidade de água no solo foram calculadas pelo modelo, já que na maioria dos artigos essas informações não constavam.

Tabela 14 - Características Físicas dos solos utilizados para cada região

Profundidade (m)	Argila	Silte	Areia	Densidade do solo (kg.dm ⁻³)
	(%)			
Gurupi ¹				
0-0,4	16,0	20,95	63,05	-
0,4-0,8	23,0	17,15	59,85	-
Piauí ²				
0,0-0,15	13,6	7,8	78,6	1,63
0,15-0,35	22,6	9,8	67,6	1,71
0,35-0,65	29,6	9,7	60,7	1,54
>0,65	26,6	12,6	60,8	1,49
Petrolina ³				
0-0,2	5,0	4,0	91,0	1,55
0,-0,4	7,0	2,0	91,0	1,44
0,4-0,6	13,0	4,0	83,0	1,47
0,6-0,8	15,0	5,0	80,0	1,44
0,8-1,0	16,0	7,0	77,0	1,55
Paranavaí ⁴				
0,05	9,0	1,0	90,0	-
0,05-0,15	11,0	2,0	87,0	-
0,15-0,25	14,0	1,0	85,0	-
0,25-0,35	16,0	1,0	83,0	-
0,35-0,45	17,0	1,0	82,0	-
0,45-0,55	18,0	1,0	81,0	-
0,55-0,65	18,0	1,0	81,0	-

Dados retirados de ¹Lima et al. (2000), ²Silva et al. (2007), ³Bassoi et al. (2001) e ⁴Marun (1996)

3.3 Dados Fisiológicos

O modelo CANEGRO já dispõe de algumas cultivares cadastradas no seu banco de dados, no entanto, segundo estudo desenvolvido por Nassif et al. (2009), O modelo CANEGRO/DSSAT, desenvolvido para cultivares sulafricanas, necessita de parametrização para as cultivares brasileiras. A cultivar utilizada na simulação foi a RB83-2847, cuja calibração foi feita e já vem sendo utilizada em outros trabalhos por Marin et al. (2009, 2010).

Para da calibração da cultivar, Marin et al. (2009) utilizou os dados coletados por Suguitani (2006), cujo experimento foi conduzido no Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), em Piracicaba (SP), e solo caracterizado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. A cultivar foi plantada em espaçamento 1,40 m em sistema irrigado e sequeiro. A análise biométrica envolveu a medida da altura das plantas, perfilhamento, dinâmica foliar, área foliar, e a fitomassa da parte aérea. Mais detalhes sobre o experimento de campo podem ser obtidos em Suguitani (2006).

De posse dos resultados, o desempenho do modelo foi quantificado pelo teste de concordância de Willmott “d”, pelo erro médio absoluto e o índice de correlação de Pearson (SNEDECOR; COCHRAN, 1982).

Os indicadores estatísticos da comparação entre dados medidos e observados do modelo CANEGRO/DSSAT podem ser vistos na Tabela 13, retirada de Marin et al. (2009) para a variedade RB83-2847. Segundo Santos (2008), essa variedade tem como potencial a rusticidade, tolerância a solos fracos e de baixa fertilidade, ou seja, produzida em ambientes C, D e E. Apresenta características desfavoráveis como florescimento e suscetibilidade ao carvão (UDOP, 2007). Vem sendo utilizada nos trabalhos de Ferreira et al. (2010), Marin et al. (2011, 2009), Souza et al. (2005) e Suguitani et al. (2006).

Tabela 15 - Indicadores Estatísticos de comparação entre dados medidos e observados do modelo CANEGRO/DSSAT para a cultivar RB83-2847

Variável	R²	Erro		Índice D*	Erro		
		Médio Absoluto	Índice D		R²	Médio Absoluto	Índice D
Não Irrigado			Irrigado				
IAF	1,00	1,2	0,57	1,00	0,66	0,79	
Massa Seca Colmos (t/ha)	0,99	6,74	0,90	0,99	6,18	0,91	
Massa Seca Aérea (t/ha)	0,99	2,85	0,99	1,00	3,36	0,98	
Perfilhos/m²	0,75	4,01	0,3	0,77	3,5	0,39	
Altura m	0,98	0,27	0,95	0,99	0,24	0,97	

(MARIN et al., 2009)

3.4 Cenários das Simulações

Os cenários utilizados nas simulações foram baseados na época de plantio – 4 datas utilizadas: 15 de janeiro (Dia Juliano 15), 15 de março (Dia Juliano 74), 15 de setembro (Dia Juliano 258) e 15 de novembro (Dia Juliano 319); duas épocas de colheita – cana de ano e de ano e meio; e utilização da irrigação – irrigado ou sequeiro.

Foram simulados 15 anos de plantio para cada localidade. Assim, para cada localidade foram consideradas 4 datas de plantio, 2 épocas de colheita e o sistema irrigado e não, totalizando 16 cenários por região.

Tabela 16 - Relação dos itens utilizados para compor os cenários das simulações

Local	Ano	Data de plantio	Data de Colheita	Irrigação/Sequeiro
Petrolina-PE		15/janeiro		
Teresina-PI	15 anos de	15/março	1 ano após	Sequeiro
Gurupi-TO	simulação	15/setembro	1,5 anos após	Irrigado
Paranavaí-PR		15/novembro		

A irrigação era calculada automaticamente pelo modelo, quando a umidade atingia o nível crítico aplicava-se a lâmina necessária para voltar a capacidade de campo. O método de irrigação foi por aspersão, a profundidade de manejo adotada foi de 0,7 m.

As datas de colheita para os plantios realizados em janeiro eram de 15 de janeiro, para plantio de 1 ano e 15 de julho para plantio de 1,5 anos; para março: 15 de março, para plantio de 1 ano e 15 de setembro para plantio de 1,5 anos; para setembro: 15 de setembro, para plantio de 1 ano e 15 de março para plantio de 1,5 anos; para novembro: 15 de novembro, para plantio de 1 ano e 15 de maio para plantio de 1,5 anos.

As análises de variância das produtividades avaliadas foram analisadas com auxílio do software SISVAR. Para os dados de produtividades utilizou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, e para a renda bruta foi utilizado o teste de Scott-Knot ao nível de 5% de probabilidade.

Para facilitar a discussão dos dados serão utilizadas as nomenclaturas: JAN, MAR, SET, NOV, para representar o mês de plantio; SEC e IRR, para representar o plantio de sequeiro ou irrigado; juntamente com 1 ou 5, para representar se o tempo da cultura no campo foi de 1 ano ou 1,5 anos. Assim, por exemplo, SEC1 representará o plantio em sequeiro com duração de um ano.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados meteorológicos

De posse dos balanços hídricos das regiões analisadas (Figura 2) pode-se notar que as regiões estudadas possuem comportamentos diferenciados, na região de Gurupi, ocorre déficit hídrico no meio do ano, entre abril e outubro, e o excedente hídrico no início e fim do ano, chegando a atingir valores de quase 170 mm em dezembro; a cidade de Paranavaí apresenta uma melhor distribuição hídrica, apesar disso, na maioria dos meses ocorre excesso hídrico, sendo a maior parte entre agosto a novembro e o período de déficit está entre somente três meses, de fevereiro a abril.

Na região de Petrolina, concordando com o que foi visto na tabela anterior, a precipitação é muita escassa e por isso durante todo o ano o déficit hídrico é muito alto, atingindo valores de 150 mm em fevereiro. O único momento de excedente hídrico ocorre no mês de março, mesmo assim, o valor não atinge 20 mm. A região de Teresina está claramente dividida em duas situações, a primeira, no início do ano, com alta disponibilidade hídrica, refletindo no pico de quase 170 mm, e uma outra situação com alto déficit hídrico, sendo este período um pouco maior que o período anterior, com 7 meses.

Figura 2 - Balanço hídrico feito para a cultura da cana-de-açúcar em cada cidade utilizada

4.2 Gurupi

Análise das produtividades

Na Figura 3A e 3B, estão as curvas de produtividade média de colmos por hectare, em condições não irrigadas, para 1 ano e 1,5 anos de plantio na região de Gurupi – TO. Observa-se que o plantio em SET (Dia Juliano – DJ 72) e colheita 1 ano depois, foi o que apresentou maior produtividade e sua curva de crescimento só atingiu estabilização aproximadamente no DJ 170, correspondendo ao final do período

chuvoso para a cidade, onde a disponibilidade hídrica era baixa, quando a cultura teve seu corte após 1,5 anos de plantio, essa estabilização foi mantida até o início do período chuvoso seguinte. No entanto, a cana-de-açúcar cortada com 1,5 anos teve maior produtividade quando plantada em NOV (DJ 319).

Fator inverso ocorreu para os plantios de JAN (DJ 15) e MAR (DJ 74), em que, com o corte da cana-de-açúcar realizado com 1 ano, MAR apresentou melhor resultado que JAN, e o oposto foi visto quando a colheita foi realizada com um ano e meio depois. Apesar disso, em regime de sequeiro, essas duas épocas de plantio apresentaram produtividades menores que SET e NOV.

Baseado no sistema de colheita em épocas mais secas, para a cana-de-açúcar colhida com 1 ano, em SET e NOV as condições de umidade no solo seriam mais adequadas, já na colheita de 1,5 anos, as épocas mais indicadas seriam para os plantios em JAN e MAR.

Como comentado acima, pode-se notar que ocorre um período de estresse prolongado, entre abril e outubro. E segundo van Dillewijn (1952), a cana-de-açúcar é uma cultura que possui 4 fases distintas de crescimento: germinação, perfilhamento, crescimento e maturação, sendo o perfilhamento combinado com o crescimento inicial a fase com o período mais crítico na demanda de água, justamente o período de estresse verificado JAN e MAR, para ambas as épocas de corte. Por esse motivo os plantios realizados nessas datas foram os que obtiveram menor desenvolvimento. Confirmado por Ramesh e Mahadevaswamy (2000), que dizem que a seca durante a fase formativa resulta na redução da produção.

Figura 3 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha-1, em condições não irrigadas, para 1 ano(A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Gurupi – TO

No entanto, apesar de alguns meses de plantio sofrerem com um estresse hídrico durante diferentes fases do ciclo vegetativo, não ocorre redução da produtividade nem a morte da planta. Contrariando os estudos de Barbosa (2011) e Ramesh e Mahadevaswamy (2000).

No trabalho de Barbosa (2011), realizado em ambiente protegido na cidade de Piracicaba – SP, o autor comenta que com uma evapotranspiração potencial média de 3 mm/dia, após 33 dias sem água disponível no solo a porcentagem de touceiras vivas é de 0%, corroborado pelo trabalho de Ramesh e Mahadevaswamy (2000), que realizando um estudo para avaliar o efeito do estresse hídrico na cana-de-açúcar, na cidade de Coimbatore – Índia, afirma que após 30 dias em condições de estresse

severo, a mortalidade chega a aproximadamente 42 %, e entre 30-60 dias esta pode atingir aproximadamente 82 %.

Observando a Figura 4, em que está a produtividade e o índice de área foliar (IAF) estimados para o ano de 2002, com plantio em janeiro e colheita 1 ano depois, pode-se notar que ocorre a redução do índice de área foliar na mesma época em que ocorre o estresse hídrico, este valor atingindo 0 % de IAF, confirmado por Inman-Bamber (2004), que afirma que o conhecimento atual sobre a resposta da cana ao estresse hídrico é incorporado em pelo menos dois processos nos modelos (CANEGRO, Inman-Bamber, 1991 e APSIM sugarcane-Keating, et al., 1999). Em ambos os modelos, o estresse hídrico se desenvolve quando o sistema solo/raiz deixa de atender a demanda atmosférica por água. No CANEGRO os componentes de crescimento expansivo, como a extensão e expansão da área foliar e área de folhas maduras são reduzidas pelo estresse hídrico.

Figura 4 - Índice de Área Foliar (IAF) e Produtividade de Colmos (Mg.ha^{-1}) estimados pelo DSSAT /CANEGRO da cana-de-açúcar para a região de Gurupi – TO, com plantio em 15 de janeiro de 2002 e colheita um ano depois.

Semelhante curva de IAF em condições de estresse hídrico medida em campo pode ser encontrada em Smit e Singels (2006) em que os autores avaliam o desenvolvimento da cana-de-açúcar sobre estresse hídrico.

No entanto, apesar do modelo possuir ferramentas para identificar e afetar a fisiologia da planta, consequentemente, não aumentando sua produtividade, o mesmo

não possui um mecanismo para matar a planta ou reduzir a produtividade que já havia sido gerada até o momento do estresse hídrico.

Esses comentários servem para informar que as curvas de produtividade encontradas para os períodos de sequeiro estão superestimadas e em alguns casos essas curvas seriam anuladas, devido à morte da cultura ocorrida pelo déficit hídrico excessivo.

Nos plantios irrigados, Figura 5A e Figura 5B as curvas de crescimento apresentaram comportamento semelhante, quando relacionadas com o tempo de plantio. Estas possuem crescimento pouco variável durante todo o período de desenvolvimento da cultura, já que a disponibilidade de água não era fator limitante ao crescimento.

Figura 5 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha-1, em condições irrigadas com os plantios em 1 ano (A) e 1,5 anos (B) para a cidade de Gurupi – TO

Diferentemente do que foi visto no sistema de sequeiro, a cana-de-açúcar plantada em setembro, sob sistema irrigado não foi a que apresentou melhor

desenvolvimento, para 1 ano de plantio. E os meses de plantio considerados de menor desenvolvimento nos sistema de sequeiro, JAN e MAR, apresentaram crescimento ativo em sistema irrigado.

Na

Tabela 17 são apresentados os valores máximos, mínimos e médios simulados de produtividade de colmos e açúcar e seus respectivos coeficientes de variação (CV), na região de Gurupi-TO (GU), em diferentes épocas de plantio e tempo de colheita. Esses valores de produtividade nas condições de simulação são para uma produção potencial.

Os valores de CV servem para ver o risco de quebra de produtividade, já que ele demonstra a variação da produtividade nos diferentes anos analisados. Assim, nos plantios em sequeiro os coeficientes de variação (CV) variaram de 8,38 a 19,75% e 7,32 a 9,54%, para produtividade de massa fresca e de 13,23 a 28,16% e 10,79 a 16,18% para açúcar, alterando apenas a época de colheita, demonstrando que, com o aumento da época de colheita em 6 meses é possível reduzir a variação entre as produtividades ano a ano, já que fica possível um melhor aproveitamento dos períodos chuvosos.

SET, para SEC1, apresentou a melhor média e CV, tanto para produtividade de colmos, quanto para açúcar, no entanto foi o único mês que o aumento da época de colheita aumentou o CV, tanto para colmo quanto para açúcar, sendo o pior CV para açúcar em SEC1.5. Para 1,5 anos, as melhores médias foram para NOV, no entanto, os melhores CVs foram para MAR, para colmos, e JAN, para açúcar.

No sistema IRR1 ocorre redução dos valores de CV – colmo e CV – açúcar, no entanto, essa redução não é superior a ocasionada pelo aumento do ciclo, com exceção SET. Apesar disso, a produtividade média de açúcar produzido com irrigação foi superiora produtividade devido ao aumento do ciclo para todos os meses de plantio, comportamento similar ao encontrado para produtividade de colmos, com exceção de SET, em que ocorreu o inverso, ou seja, o aumento do ciclo e o uso da irrigação proporcionaram diminuição da quebra da produtividade.

Tabela 17 - Produtividade de colmos (Mg.ha⁻¹) e de açúcar (Mg.ha⁻¹) simuladas para as quatro épocas de plantio, sob condições irrigadas e de sequeiro para o município de Gurupi-TO

Gurupi-TO								
Plantio	Mg.Colmos.ha ⁻¹ para 1 ano de plantio							
	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	102,10	129,55	61,51	17,68	180,42	219,39	170,65	8,93
MAR	122,25	151,72	91,35	11,22	181,73	217,16	168,22	8,96
SET	127,81	146,33	109,93	8,38	169,46	210,43	150,56	12,93
NOV	106,88	169,38	80,67	19,76	178,68	219,36	162,79	12,04

Plantio	Mg.Colmos.ha ⁻¹ para 1,5 anos de plantio							
	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	153,02	167,34	127,68	8,07	199,60	239,23	188,43	7,43
MAR	141,51	157,15	120,28	7,32	196,71	238,41	185,17	9,20
SET	171,75	206,59	144,86	9,54	208,86	253,24	193,83	9,72
NOV	174,12	202,10	155,60	8,29	208,20	249,06	193,84	9,19

Plantio	Mg.Açúcar.ha ⁻¹ para 1 ano de plantio							
	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	9,51	13,38	4,80	28,16	22,02	28,94	19,45	13,50
MAR	12,09	18,82	7,48	25,11	21,51	29,36	17,99	15,22
SET	15,58	18,53	12,29	13,23	23,68	30,98	20,37	14,93
NOV	12,69	21,95	8,41	25,37	23,58	30,56	20,90	14,87

Plantio	Mg.Açúcar.ha ⁻¹ para 1,5 anos de plantio							
	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	19,17	22,53	16,15	10,79	25,73	33,52	22,75	12,55
MAR	17,78	20,92	14,71	11,00	26,91	35,41	22,89	14,70
SET	20,91	28,31	15,85	16,18	27,33	35,94	23,76	14,34
NOV	22,05	27,29	18,83	12,44	27,10	34,88	23,34	13,88

A utilização da irrigação junto com o aumento do ciclo proporcionou aumento de produtividade e diminuição do coeficiente de variação em relação a produtividade SEC1, para quase todos os meses de plantio, tanto para produtividade de açúcar, quanto para colmo, apesar de sua produtividade média ser superior a qualquer outro cenário. Comparado ao IRR1, os CVs foram quase todos inferiores, com exceção de MAR, para colmos. Demonstrando que para Gurupi, a interação época de plantio x irrigação foi benéfica tanto para aumento de produtividade, quanto para diminuição do CV.

As produtividades máximas alcançadas foram encontradas em: SET, para massa IRR1.5 e SEC1.5, açúcar IRR1, SEC1.5 e IRR1.5; JAN, para massa IRR1; NOV, para massa SEC1, para açúcar SEC1. As mínimas foram em: JAN, para massa SEC1, açúcar SEC1 e IRR1.5; MAR, para massa SEC1.5, IRR1.5, açúcar IRR1, SEC1.5; SET, para massa IRR1. Assim, pode-se notar que, na maioria dos casos, SET e NOV foram os que obtiveram os melhores resultados, baseando-se apenas nas produtividades.

Devido a falta de dados na literatura que correspondam a produção de cana-de-açúcar na região de Tocantins, não foi possível a discussão mais detalhada dos dados de produtividade.

Para a discussão mais minuciosa dos dados foi feita a estatística dos mesmos, nessa estatística foi avaliada a interação entre os manejos (SEC1, IRR1, SEC1.5 e IRR1.5) dentro de cada mês e a interação dos meses dentro de cada manejo (Tabela 18). Podemos notar que na produtividade de colmos, não há diferenciação estatística nos meses que produziram sob irrigação, mostrando que sob irrigação poderia ser utilizada qualquer época de plantio. O sistema SEC1.5 apresenta menor diferenciação estatística que o SEC1, sendo os meses de setembro/novembro e janeiro/março os que possuem produtividade estatisticamente igual, com setembro e novembro com as maiores médias. No SEC1 há maior diferença entre setembro e janeiro.

Analisando individualmente cada mês, podemos notar que em JAN há diferenciação na produtividade mudando o manejo adotado, em MAR os manejos IRR1 e IRR1.5 não apresentaram diferença, assim, seria mais vantagem utilizar o manejo IRR1 que o com 1,5 anos, já que a mesma produtividade seria atingida com um período da cultura no campo menor.

Em SET, ocorre o mesmo, no entanto, a mesma produtividade do IRR1 poderia ser atingida com o SEC1.5, esse comentário também é válido para NOV; tornando a opção de produzir sem irrigação com 1,5 anos da cultura no campo estatisticamente igual à produtividade atingida com a utilização da irrigação com colheita 1 ano depois.

Tabela 18 - Análise estatística dos dados de produtividade média em relação aos meses dentro dos manejos adotado e dos manejos dentro de cada mês de plantio para a cidade de Gurupi – TO

Gurupi-TO				
meses	Manejo			
	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
Mg.Colmos.ha ⁻¹				
JAN	102,10 a	180,42 a	153,02 a	199,60 a
MAR	122,25 bc	181,73 a	141,51 a	196,71 a
SET	127,81 c	169,46 a	171,75 b	208,86 a
NOV	106,88 ab	178,68 a	174,12 b	208,20 a

	JAN	MAR	SET	NOV
	Mg.Colmos.ha ⁻¹			
SEC1	102,10 a	122,25 a	127,81 a	106,88 a
IRR1	180,42 b	181,73 b	169,46 b	178,68 b
SEC1.5	153,02 c	141,51 c	171,75 b	174,12 b
IRR1.5	199,60 d	196,71 b	208,86 c	208,20 c

	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
	Mg.Açúcar.ha ⁻¹			
JAN	9,51 a	22,02 a	19,17 a	25,73 a
MAR	12,09 a	21,51 a	17,78 ab	26,91 a
SET	15,58 b	23,68 a	20,91 ab	27,33 a
NOV	12,69 ab	23,58 a	22,05 b	27,10 a

	JAN	MAR	SET	NOV
	Mg.Açúcar.ha ⁻¹			
SEC1	9,51 a	12,09 a	15,58 a	12,69 a
IRR1	22,02 b	21,51 b	23,68 b	23,58 b
SEC1.5	19,17 b	17,78 c	20,91 b	22,05 b
IRR1.5	25,73 c	26,91 d	27,33 c	27,10 c

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

Os comentários acima feitos para produtividade de colmos também servem para açúcar, com exceção de SEC1, na análise dos manejos dentro dos meses, em que há uma maior igualdade entre os valores, com ressalva a SET, e no SEC1.5 onde apenas JAN e NOV apresentaram produtividades diferentes.

Pode-se notar na Tabela 19, que trata do aumento de produtividade de colmo e açúcar devido à irrigação e/ou do aumento do ciclo que a sensibilidade do aumento de produtividade de colmos foi menor que o de açúcar, em todos os casos avaliados, com exceção do SET, que como já descrito acima, possui comportamento inverso aos

demais meses de plantio. Considerando que, no modelo, para aumentar a produtividade pode-se utilizar destas três estratégias: adicionar irrigação; aumentar o período da cultura no campo; e usar irrigação e aumentar o período da cultura no campo, pode-se notar que com a utilização de qualquer uma delas há aumento de produtividade.

Tabela 19 - Aumento na produtividade de colmo e açúcar (%) devido à irrigação e/ou o aumento do ciclo da cultura, para Gurupi-TO

Plantio	Irrigação		Aumento do ciclo da cultura no campo		Irrigação e Aumento do ciclo	
	Colmos (%)	Açúcar (%)	Colmos (%)	Açúcar (%)	Colmos (%)	Açúcar (%)
JAN	75,87	131,61	48,70	101,61	94,56	170,59
MAR	48,74	77,96	15,82	47,04	61,00	122,60
SET	32,59	51,97	34,38	34,21	63,42	75,39
NOV	67,12	85,89	62,85	73,85	94,73	113,61

Para Gurupi, o maior aumento de produtividade de colmo e açúcar, devido a irrigação, foi para JAN, seguido por NOV, sendo SET o menos sensível, mesmo assim os aumentos de produtividade de açúcar foram de quase 50% da produtividade. Se correlacionar com o aumento do período no campo, NOV apresentou aumento de produtividade quase semelhante ao encontrado devido ao uso da irrigação, além disso, o aumento do período no campo proporcionou maior produtividade de colmos em SET. Esse comportamento de SET é explicado por Vazquez (1970), que disse que para as condições de variedade e climas do estudo é possível economizar até 250 mm.ano⁻¹, suspendendo a irrigação cinco meses antes da colheita, sem reduções significativas na produtividade, ou seja, o estresse hídrico 5 meses antes da colheita não afeta a significativamente a produtividade.

Essa é uma informação importante na tomada de decisão da necessidade de irrigar. Mesmo assim, com exceção de SET, todos os outros apresentaram aumento de produtividade de colmo maior quando foi utilizada a irrigação, em comparação ao aumento do período no campo, já comparando à irrigação x aumento do ciclo, todas as outras situações apresentaram valores inferiores, mostrando que a utilização da irrigação juntamente ao aumento do tempo da cultura no campo pode proporcionar valores ainda maiores. No entanto, vale ressaltar que existem alguns detalhes de condução de um canavial que não são levados em conta nessa discussão, e sim, só os

valores de produtividade. Mesmo assim, essas informações são importantes na tomada de decisão.

Os parâmetros de crescimento e a sacarose (POL) da cana-soca variaram em função das lâminas de irrigação de forma linear e quadrática, respectivamente, independente da adubação.

Análise Econômica

Para a realização de uma análise econômica mais detalhada seria necessário uma série de outros fatores para chegar a uma conclusão, tais como: custo da terra, custo da água, custo do sistema de irrigação, custo da mão-de-obra, dentre outros, no entanto, a análise da renda mensal bruta, juntamente ao número de irrigações e quantidade de lâminas aplicadas serve para dar uma noção do aspecto econômico da região e por esse motivo são apresentados os dados a seguir.

Considerando o preço de venda do açúcar de R\$ 45,00 a tonelada, foram confeccionados os gráficos a seguir (Figura 6), que correlacionam a renda bruta pelo número de meses da cultura no campo.

Figura 6 - Renda bruta pelo número de meses da cultura no campo da produtividade de açúcar mensal (R\$) para cada cenário avaliado, na região de Gurupi – TO

Nota-se que o sistema IRR1 é o que apresenta os maiores valores, mostrando uma maior renda em função das técnicas empregadas. Seguido pelo IRR1, o IRR1.5 foi o que apresentou os melhores valores. Em todas as situações os sistemas irrigados, não importando a quantidade de tempo que a cultura é mantida em campo, foram os que apresentaram os melhores resultados. No entanto, vale ressaltar que entre o sistema SEC1.5 e IRR1.5 a diferença não é tão superior quanto a diferença entre o SEC1 e IRR1, assim, a tomada de decisão de irrigar e aumentar o período da cultura no campo precisa passar por uma análise econômica mais detalhada, levando em consideração outros fatores que não foram levados aqui.

Comparado ao SEC1, o IRR1 proporcionou aumento de renda bruta mensal de 131,6; 77,96; 51,97 e 85,89%, para JAN, MAR, SET e NOV, respectivamente. SEC1.5 nos meses de MAR e SET houve redução de renda de 1,97 e 10,52%, em relação a SEC1, e nos meses de JAN e NOV os aumentos foram de 34,4 e 15,9%, bem inferiores aos alcançados por IRR1. Em IRR1.5, todos os meses demonstraram aumento de renda.

A maior variabilidade estatística está no SEC1, a menor no IRR1.5. Considerando os meses em relação aos manejos, ocorre grande variabilidade, demonstrando que os manejos interferiram de forma diferente na renda. Em MAR e SET, os valores de renda atingidos em SEC1 são iguais estatisticamente aos atingidos em SEC1.5, demonstrando que, apesar do aumento de produtividade alcançado com o aumento do período da cultura no campo, o mesmo não possibilitou aumento significativo de renda entre os manejos.

Para complementar melhor a análise foi confeccionada a Tabela 20, esta informando o número de irrigações e a quantidade total de lâminas aplicadas no desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar para os diferentes cenários na região de Gurupi – To. Correlacionando a produtividade de açúcar (Tabela 17) com a quantidade de lâminas aplicadas para suprir a deficiência hídrica do solo, percebe-se que com a aplicação de uma lâmina de 718 mm, para janeiro, o aumento de açúcar foi de 12,51 (Mg.ha^{-1}) consequentemente aumentando a renda bruta, no entanto foram necessárias aproximadamente 17 irrigações para que essa produtividade fosse atingida, fazendo com que o custo por hectare fosse aumentado.

Março e Setembro foram os meses que obtiveram menor lâmina e número de irrigações aplicadas. Para aumentar a produtividade de açúcar em 9,42; 8,1 e 10,69 (Mg.ha⁻¹), respectivamente para Março, Setembro e Novembro, foi necessária a aplicação de uma lâmina de 457 mm, para Set e Mar e 543 mm para Nov e um número de aplicação de irrigações próximo de 11.

Tabela 20 - Quantidade total de lâminas aplicas e número de irrigações utilizadas para cada mês e época de plantio na região de Gurupi – TO

Manejo	Lâminas (mm)			
	JAN	MAR	SET	NOV
IRR1	718,00	457,13	456,88	543,63
IRR1.5	940,33	837,25	626,75	612,17
	Número de irrigações			
	JAN	MAR	SET	NOV
IRR1	17	11	11	13
IRR1.5	23	20	15	15

Através da análise individual do número de irrigações ano a ano, notou-se que o modelo DSSAT/CANEGRO não realiza o corte da irrigação para promover o estresse hídrico da cultura. Segundo Darli e Cruz (2008), esse fato tem como objetivo a maturação e a concentração do açúcar, pois, segundo DOORENBOS & KASSAM (1994), durante o período de maturação, a cana-de-açúcar necessita de baixo teor de água no solo.

Além disso, as irrigações foram feitas pelo modelo sempre que a quantidade de água no solo atingia o valor crítico, mesmo quando esse valor crítico era atingido com dois ou três dias antes da colheita. Podendo concluir que o modelo executa de forma precisa a ação de irrigar, no entanto, ele considera apenas a disponibilidade de água no solo como fator de manejo, desconsiderando outros fatores e por isso, em alguns momentos a quantidade de água aplicada (mm) e o número de irrigações poderiam ser reduzidos, reduzindo, assim, os custos.

Desconsiderando essa falha do modelo, se optada pela decisão de irrigar, a diferença entre a renda bruta mensal obtida pelo IRR1 em relação ao IRR1.5 é superior, além disso, a diferença entre a quantidade de água aplicada e número de irrigações é

superior, em todos os cenários, no IRR1.5, fazendo com que a opção mais vantajosa seja para o IRR1.

Finalmente, considerando o menor número de irrigações, a menor lâmina aplicada e o maior aumento de renda bruta devido a irrigação é possível indicar, de forma simplificada, que a época de plantio em Março e Setembro, dentre os cenários com IRR1, são as melhores para que seja utilizada a irrigação, no entanto, vale salientar que trata-se de uma análise simplificada, e para uma análise mais completa seria necessário uma série de outros dados, como pode ser visto em Santos e Frizzone (2006).

4.3 Teresina

Análise das produtividades

Na Figura 7A e 6B, estão as curvas de produtividade média de colmos por hectare, em condições não irrigadas, para 1 ano e 1,5 anos de plantio na região de Teresina – PI. Assim como ocorreu em Gurupi, SET, com colheita após 1 ano, foi o que apresentou maior produtividade e sua curva apresentou comportamento semelhante ao plantio de GURUPI, no entanto, para a região de Teresina, NOV apresentou um crescimento mais próximo de SET.

Essa semelhança da curva de crescimento de Teresina com Gurupi pode ser devido a região de Teresina também sofrer com uma época de estresse hídrico elevado, nesse caso, durante os meses de junho a dezembro. Isso fez com que os plantios realizados nessa época sofressem com problemas de germinação e crescimento, já que, segundo van Dillewijn (1952), é nessa fase que a planta exige maior demanda de água.

Quando os plantios foram realizados em janeiro, a quantidade de água precipitada nos quatro meses seguintes foi, em média acima de 980 mm, assim, até o Dia Juliano (DJ) 150 a curva de crescimento nesse mês apresentava crescimento ativo, logo após essa data houve uma estabilização da mesma.

Mesmo com o bom suprimento hídrico nas fases iniciais, o déficit hídrico prolongado durante junho e setembro não é notado no gráfico, muito menos a diminuição da produtividade. Revelando a mesma falha que ocorreu com Gurupi.

Esse fato contraria diversos estudos, dentre eles, os já citados, Barbosa (2011) e Ramesh e Mahadevaswamy (2000), para melhor entendimento, recomenda-se a leitura do item 4.2.

Em JAN e MAR as curvas mostraram crescimento inicial mais acentuado nas primeiras fases, em que JAN ainda pode aproveitar melhor o período chuvoso. Com o corte após 1,5 anos de plantio, NOV obteve melhor resultado, superando JAN. Corroborando com o gráfico de Balanço Hídrico, em que pode-se ver claramente que nas primeiras fases de desenvolvimento da cultura há disponibilidade hídrica.

No entanto, como já dito acima, considerando a época de colheita num período seco, SET e NOV seriam mais ideais para um ano de plantio, para 1,5 anos seriam JAN e MAR, já que por volta de junho (DJ 152 – 181) a precipitação é bastante reduzida e se mantêm assim até o final de outubro (DJ 304), possibilitando uma colheita com a umidade do solo baixa.

Figura 7 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha-1, em condições não irrigadas, para 1 ano (A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Teresina – PI

Baseado nas Figuras 8A, 8B, 8C e 8D, em que são colocadas o Índice de Área Foliar (IAF) e de produtividade de colmos durante o ciclo de uma ano para os meses de janeiro, março, setembro e novembro, nota-se que o crescimento da curva de produtividade acompanha o crescimento da curva do IAF, no entanto, a curva de produtividade não decresce nos períodos onde ocorrem o estresse hídrico, apontada pela redução do IAF, mesmo que seja elevado.

Baseado nesses comentários é possível afirmar que o DSSAT/CANEGRO pode determinar o estresse hídrico no solo e transmitir para os processos que calculam a fisiologia da planta, no entanto, ele não possui as ferramentas necessárias para reduzir a produtividade, fazendo com que se conclua que as curvas de produtividade de

sequeiro estão superestimadas ou inválidas, o mesmo que ocorreu para os plantios em Gurupi.

Figura 8 - Curvas de Índice de Área Foliar (IAF %) e produtividade de açúcar em Mg.ha^{-1} , em condições de sequeiro, para as épocas de plantio de Janeiro (A), Março (B), Setembro (C) e Novembro (D) para a região de Teresina – PI

Nos plantios irrigados (Figura 9A e 9B) nota-se claramente que as curvas de crescimento apresentaram comportamento semelhante, com uma leve inclinação da curva de SET e NOV, mas nada que pudesse ocasionar uma queda ou estabilização da produtividade.

Diferentemente do que foi visto no sistema de sequeiro, a cana-de-açúcar plantada em setembro, para 1 ano de plantio, apresentou menor desenvolvimento, em relação às outras épocas de plantio. E os meses de plantio considerados de menor

desenvolvimento no período seco, JAN e MAR, em sistema irrigado apresentaram comportamento de crescimento constante, quando produzidos com irrigação.

Nota-se claramente que o padrão de crescimento da cidade de Teresina assemelha-se com a cidade de Gurupi, isso pode ter sido ocasionado pela semelhança entre os balanços hídricos. Os padrões de aumento de produtividade de açúcar apresentaram o mesmo comportamento dos de produtividade de colmos.

Figura 9 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha-1, em condições irrigadas, para 1 ano (A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Teresina – PI

Na Tabela 21 são apresentados as produtividades máximas, mínimas e médias simuladas de produtividade de colmos e açúcar e seus respectivos coeficientes de

variação (CV), no município de Teresina-PI (TE), em diferentes épocas de plantio e tempo de colheita.

Os valores de CV servem para ver o risco de quebra de produtividade, já que ele demonstra a variação da produtividade nos diferentes anos analisados. Assim, nos plantios em sequeiro, os coeficientes de variação (CV) variaram de 7,19 a 11,98% e 5,08 a 6,57%, para produtividade de massa fresca e de 9,70 a 23,53% e 5,12 a 8,56% para açúcar, alterando apenas a época de colheita. Resultados melhores dos que os vistos para Gurupi, isso pode ter relação com a pouca variação da radiação, já que Teresina está mais próxima a linha do equador, no entanto, muitos dos valores de produtividade em Teresina são menores que os encontrados em Gurupi. Demonstrando que o risco de quebra de produtividade em Teresina é menor que em Gurupi.

SET apresentou a melhor média e CV para SEC1, tanto para produtividade de colmos, quanto para açúcar. Para SEC1.5, as melhores médias foram para NOV, no entanto, os melhores CVs foram para JAN.

Tabela 21 - Produtividade de colmos (Mg.ha^{-1}) e de açúcar (Mg.ha^{-1}) simuladas para as quatro épocas de plantio, sob condições irrigadas e de sequeiro para o município de Teresina-TE

Teresina-PI								
Colmos. ha^{-1} para 1 ano de plantio								
Plantio	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	86,49	105,60	68,81	10,06	138,63	155,04	117,93	8,16
MAR	96,32	116,48	70,55	11,98	149,38	160,69	129,17	6,22
SET	125,33	139,24	104,68	7,19	150,79	159,24	135,92	4,68
NOV	111,92	148,73	98,91	10,25	140,56	155,08	127,87	5,84
Colmos. ha^{-1} para 1,5 anos de plantio								
Plantio	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	140,90	153,03	124,92	5,08	170,92	188,90	154,18	5,34
MAR	128,94	141,59	110,83	6,08	170,13	196,67	152,64	6,61
SET	150,97	168,00	133,69	6,54	173,48	192,61	162,04	5,21
NOV	154,07	178,21	138,52	6,57	174,58	190,95	160,64	4,94
Mg Açúcar. ha^{-1} para 1 ano de plantio								
Plantio	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	7,70	9,99	5,48	19,53	14,58	17,53	9,81	14,33
MAR	6,71	9,40	3,15	23,53	15,12	17,50	10,91	10,66
SET	12,32	14,13	10,13	9,70	17,52	19,75	14,83	6,97
NOV	10,19	14,13	8,80	13,37	15,94	19,39	14,13	8,69
Açúcar /ha para 1,5 anos de plantio								
Plantio	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	14,74	16,26	13,66	5,12	19,41	22,22	17,63	7,09
MAR	12,95	14,49	11,10	8,25	19,66	25,62	17,75	9,89
SET	15,98	18,27	14,14	8,56	20,83	26,54	18,88	11,17
NOV	16,59	20,07	15,28	7,62	20,23	24,39	18,25	9,56

SEC1.5 e IRR1 obtiveram redução dos valores de CV – colmo e CV – açúcar e aumento de produtividade comparado ao SEC1. A redução do CV para colmo em SEC1.5 foi superior à encontrada em IRR1 para JAN e MAR, apesar de que o IRR1 proporcionou uma produtividade média bastante similar a SEC1.5, com exceção de MAR em que IRR1 foi maior, e NOV, onde foi menor. A redução do CV na produtividade de açúcar também pode ser visualizada em SEC1.5 e IRR1, no entanto, principalmente em JAN e MAR, ela é mais sentida em SEC1.5. Apesar disso, assim como ocorre para produtividade de colmo, a produtividade média é quase similar.

Baseado nessas informações pode-se inferir que a irrigação na região de Teresina pode aumentar a produção, no entanto, o produtor pode atingir uma

produtividade superior/equivalente a de um sistema irrigado utilizando o corte da cana-de-açúcar com 1,5 anos após seu plantio.

Um dos poucos trabalhos da literatura que trata da produtividade da cana-de-açúcar no estado do Piauí foi feito por Andrade Júnior et al. (2009), na cidade de União – PI, localizada a menos de 60 Km de Teresina, utilizando a cultivar RB86-7515, com plantio no final de setembro de 2007 e colheita em junho de 2008. Nesse trabalho foi encontrado a produtividade de 137,9 Mg.ha⁻¹ para cana irrigada, similar aos valores encontrados para os meses de JAN e NOV, no entanto, vale ressaltar que no experimento desenvolvido por Andrade Júnior et al. (2009) a cana precisou ser cortada antes do tempo devido ao acamamento.

Esse fato serve para concluir que em condições de boa disponibilidade de água no solo, condições irrigadas, o modelo apresenta bons resultados.

Para a discussão dos dados mais minuciosa foi feita a estatística dos mesmos, nessa estatística foi avaliada a interação entre os manejos (SEC1, IRR1, SEC1.5, IRR1.5) dentro de cada mês e a interação dos meses dentro de cada manejo (Tabela 22). Podemos notar que na produtividade de colmos não há diferenciação estatística nos meses que produziram sob irrigação, mostrando que sob irrigação poderia ser utilizada qualquer época de plantio. O sistema SEC1 também há diferenciação entre os meses de maior produtividade SET e NOV com os de menor JAN e MAR, comentário já feito anteriormente. Em SEC1.5 não há diferenciação entre os meses JAN, SET e NOV.

Analisando individualmente cada mês, podemos notar que em JAN e SET os manejos IRR1 e SEC1.5 não apresentaram diferença, assim, a utilização de um sistema de irrigação com colheita 1 ano depois teria a mesma renda bruta, diluída no período da cultura no campo, que adotar o sistema SEC1.5. No entanto a adoção de uma estratégia irá depender muito de outros fatores que não são levados aqui.

Nos meses de MAR e NOV há diferenciação total da produtividade em relação ao manejo adotado.

Tabela 22 - Análise estatística dos dados de produtividade média em relação aos meses dentro dos manejos adotado e dos manejos dentro de cada mês de plantio para a cidade de Teresina – PI

Teresina-PI				
meses	Manejo			
	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
	Mg.Colmos.ha ⁻¹			
JAN	86,49 a	138,63 a	140,90 ab	170,92 a
MAR	96,32 a	149,38 a	128,94 a	170,13 a
SET	125,33 b	150,79 a	150,97 b	173,48 a
NOV	111,92 b	140,56 a	154,07 b	174,58 a
	JAN	MAR	SET	NOV
	Mg.Colmos.ha ⁻¹			
	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
SEC1	86,49 a	96,32 a	125,33 a	111,92 a
IRR1	138,63 b	149,38 c	150,79 b	140,56 c
SEC1.5	140,90 b	128,94 b	150,97 b	154,07 b
IRR1.5	170,92 c	170,13 d	173,48 c	174,58 d
	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
	Mg.Açúcar.ha ⁻¹			
	JAN	MAR	SET	NOV
JAN	7,70 a	14,58 a	14,74 b	19,41 a
MAR	6,71 a	15,12 a	12,95 a	19,66 a
SET	12,32 c	17,52 b	15,98 b	20,83 a
NOV	10,19 b	15,94 a	16,59 c	20,23 a
	JAN	MAR	SET	NOV
	Mg.Açúcar.ha ⁻¹			
	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
SEC1	7,70 a	6,71 a	12,32 a	10,19 a
IRR1	14,58 b	15,12 c	17,52 b	15,94 c
SEC1.5	14,74 b	12,95 b	15,98 b	16,59 b
IRR1.5	19,41 c	19,66 d	20,83 c	20,23 d

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade

Nas produtividades de açúcar percebe-se que, diferentemente da de colmos, o sistema IRR1, para o mês de SER apresentou maior valor que os outros meses. O aumento do ciclo x irrigação proporcionou aumento do coeficiente de variação em relação à produtividade ou SEC1.5, para JAN e MAR na produtividade de colmos, e para todos os meses na produtividade açúcar; apesar de sua produtividade média ser superior a qualquer outro cenário, chegando a estabelecer um valor próximo a 20 toneladas de açúcar por hectare para todas as épocas de plantio. Comparado ao sistema IRR1, os CVs apresentaram valores inferiores nos meses de JAN e NOV, para colmos e JAN e MAR, para açúcar.

As produtividades máximas alcançadas geralmente foram obtidas quando a cana-de-açúcar foi plantada no fim do ano, o mesmo que ocorre em Gurupi, a mesma situação ocorre para as produtividades mínimas. Isso pode ser explicado por Vazquez (1970).

Assim como ocorre em Gurupi, a sensibilidade do aumento de produtividade de colmos foi menor que o de açúcar em todos os casos avaliados (Tabela 23). A utilização da irrigação, aumento do ciclo e a utilização das duas técnicas juntas possibilitaram aumento de produtividade.

Tabela 23 - Aumento na produtividade de colmo e açúcar (%) devido ao aumento da irrigação e/ou do aumento do ciclo, para Teresina - PI

Plantio	Irrigação		Aumento do tempo da cultura no campo		Irrigação e Aumento do tempo	
	Colmos (%)	Açúcar (%)	Colmos (%)	Açúcar (%)	Colmos (%)	Açúcar (%)
JAN	60,29	89,47	62,92	91,61	97,63	149,11
MAR	56,71	125,32	35,26	92,63	78,47	190,02
SET	20,31	42,13	20,46	29,32	38,42	65,72
NOV	25,59	56,49	37,66	62,55	55,99	94,74

O maior aumento de produtividade de colmo e açúcar, devido à irrigação, foi para JAN e MAR, sendo esse último o que apresentou melhor aumento de produtividade de açúcar. Os menos sensíveis foram SET e NOV, cujos aumentos de colmos foram inferiores a 26%. Um fato interessante é que, para algumas épocas de plantio, o aumento de irrigação foi menor do que o aumento do período no campo, para açúcar e colmo, ou seja, manter a cultura no campo possibilitou aumento de produtividade superior ou igual, dependendo do ciclo, ao aumento devido o uso da irrigação. Essas informações não são válidas MAR.

Assim como ocorre em Gurupi, o aumento de produtividade devido à irrigação x aumento da época no campo foi o que apresentou os melhores valores.

O mês menos sensível a adoção de novas técnicas é SET, cujos aumentos de produtividade de colmo só ultrapassam a casa dos 21% quando são empregadas as duas técnicas, mesmo assim, o aumento de produtividade não supera os 40%.

Análise Econômica

Para a realização de uma análise econômica mais detalhada seria necessária uma série de outros fatores para chegar a uma conclusão, tais como: custo da terra, custo da água, custo do sistema de irrigação, custo da mão-de-obra, dentre outros, no entanto, a análise da renda mensal bruta, juntamente ao número de irrigações e quantidade de lâminas aplicadas serve para dar uma noção do aspecto econômico da região e por esse motivo são apresentados os dados a seguir.

Considerando o preço de venda do açúcar de R\$ 45,00 a tonelada, foram confeccionados os gráficos a seguir (Figura 10). Nota-se que o sistema IRR1 é o que apresenta os maiores valores, mostrando uma maior renda em função das técnicas empregadas. Seguido pelo IRR1, o IRR1.5 foi o que apresentou os melhores valores, vale ressaltar que para SET, a diferença entre o SEC1 e IRR1.5 foi de apenas R\$ 4,48 por mês, correspondendo a 10,48%, sendo estes valores muito próximos. O sistema SEC1.5, para SET, é o único dos tratamentos que possibilitou renda inferior a SEC1, com redução de 13,79%.

Apesar da produtividade do IRR1 possa ser alcançada pelo SEC1.5, na análise da renda mensal em todas as situações os sistemas irrigados, não importando a quantidade de tempo que a cultura é mantida em campo, foram os que apresentaram os melhores resultados, proporcionando um aumento de 89,5; 125,3; 42,1 e 56,5 % em relação ao SEC1.

Assim como ocorre em Gurupi, a diferença entre o sistema SEC1.5 e IRR1.5 não é tão superior quanto à diferença entre o SEC1 e IRR1, assim, a tomada de decisão de irrigar e aumentar o período da cultura no campo precisa passar por uma análise econômica mais detalhada, levando em consideração outros fatores que não foram levados aqui.

Figura 10 - Renda bruta pelo número de meses da cultura no campo da produtividade de açúcar (R\$) para cada cenário avaliado, na região de Teresina

A maior variabilidade estatística está no SEC1 e IRR1, nos manejos SEC1.5 e IRR1.5 não há variabilidade, com exceção do mês de MAR em SEC1.5. Considerando os meses em relação aos manejos, ocorre grande variabilidade, demonstrando que os manejos interferiram de forma diferente na renda. Em SET, os valores de renda atingidos em SEC1 são iguais estatisticamente aos atingidos em IRR1.5, demonstrando que o investimento que seria utilizado para a adoção do manejo IRR1.5, teria a mesma renda que a utilização do manejo mais econômico.

Para complementar melhor a análise foi confeccionada a Tabela 24, esta informando o número de irrigações e a quantidade total de lâminas aplicadas no desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar para os diferentes cenários na região de Teresina – PI.

Tabela 24 - Quantidade total de lâminas aplicadas e número de irrigações utilizadas para cada mês e época de plantio na região de Teresina - PI

Manejo	Lâminas (mm)			
	JAN	MAR	SET	NOV
IRR1	601,07	662,13	447,47	511,93
IRR1.5	708,50	892,21	740,36	634,00
	Número de irrigações			
	JAN	MAR	SET	NOV
IRR1	16	18	12	14
IRR1.5	20	24	20	17

Como visto acima, a utilização da irrigação, para o mês de março, possibilitou, de SEC1 para IRR1, o aumento de produtividade de açúcar de 8,41 Mg.ha⁻¹, no entanto, para isso foi gasto uma quantidade de água de 662,13 mm e realizadas 18 irrigações, esse número é similar ao visto em setembro, para um aumento de produtividade de 6,88 Mg.ha⁻¹.

Andrade Júnior et al. (2009) viu que para atingir uma produtividade de colmos de 137,9 Mg.ha⁻¹ foi necessário a aplicação de uma lâmina de 306 mm, com o plantio realizado no final de setembro com colheita 9 meses depois, valores aproximados com os de setembro, em que com a aplicação de uma lâmina de 447,47 mm, foi atingida uma produtividade de 150, 79 Mg.ha⁻¹, com a colheita um ano depois.

Dividindo a lâmina aplicada pela produtividade é possível encontrar os valores de 2,21 mm para cada tonelada produzida para o experimento de Andrade Júnior et al. (2009), em Teresina, esse valor sobe para 2,96 mm. Essa pequena variação deve ser devido a três fatos: 1- número de meses do ciclo diferente; 2- o modelo, como já comentado acima, não corta a irrigação para promover o estresse hídrico da cultura; e 3- o modelo não leva em consideração os dias faltantes para a colheita. Apesar disso, os valores alcançados são bastante similares.

Desconsiderando essa falha do modelo, se optada pela decisão de irrigar, a diferença entre a renda bruta mensal obtida pelo IRR1 em relação ao IRR1.5 é superior, além disso, a diferença entre a quantidade de água aplicada e número de irrigações é superior, em todos os cenários, no IRR1.5, fazendo com que a opção mais vantajosa seja para o IRR1.

Finalmente, considerando o menor número de irrigações, a menor lâmina aplicada e o maior aumento de renda bruta mensal devido a irrigação é possível indicar, de forma simplificada, que a época de plantio em Setembro e Novembro, dentre os cenários com IRR1, são as melhores para que seja utilizada a irrigação, no entanto, vale salientar que trata-se de uma análise simplificada, e para uma análise mais completa seria necessário uma série de outros dados, como pode ser visto em Santos e Frizzone (2006).

4.4 Petrolina

Análise das produtividades

Na Figura 11A e 9B, estão as curvas de produtividade média de colmos por hectare, em condições não irrigadas, para 1 ano e 1,5 anos de plantio na cidade de Petrolina – PE (PE). Assim como ocorreu com as cidades discutidas anteriormente, SET foi a época de plantio onde houve um maior desenvolvimento, no entanto, a diferença, em termos de produtividade, é notada para Petrolina, motivada diretamente pela deficiência hídrica acentuada. Outra diferença, comparada a Gurupi e Teresina, está nas variações do crescimento de SET em que a curva de JAN cresce, quase que em forma linear, ao contrário de Petrolina onde esse crescimento fica alterado logo após o mês de janeiro, já que a partir desse inicia-se o período mais chuvoso, onde ocorrerá redução da radiação e conseqüentemente das temperaturas.

Com o final do período mais chuvoso não há desenvolvimento da cultura, e esse patamar foi mantido constante quando visualizamos o gráfico com 1,5 anos, em que durante o DJ150 até o DJ350 não há aumento de produtividade. Período correspondente a aos meses de junho a novembro, aproximadamente, em que o déficit hídrico ultrapassa 100 mm em mais de 4 meses, e a quantidade de chuvas média total é de 22,77mm para os meses de junho a outubro.

A cana-de-açúcar cortada com 1,5 anos teve maior produtividade quando plantada em NOV (DJ 319), onde seu desenvolvimento final supera JAN.

Para 1 ano de plantio, a cana-de-açúcar plantada em JAN e MAR teria seu corte realizado bem na época de desenvolvimento, por isso, o mesmo ficou muito limitado devido a disponibilidade hídrica, notada pela estabilização das curvas. Quando o corte foi feito com 1,5 anos, o corte seria realizado numa época onde o desenvolvimento estaria estabilizado, com JAN obtendo mais desenvolvimento que MAR. Apesar disso, em regime de sequeiro, essas duas épocas de plantio apresentaram produtividades menores que SET e NOV.

Baseado no sistema de colheita em épocas mais secas, com exceção dos meses de fevereiro e março, onde a precipitação é superior a 100 mm, assim, apenas o plantio em SET de 1 ano e meio e MAR 1 ano poderiam ter algum impedimento para a realização da colheita.

Observando o gráfico de balanço hídrico percebe-se que devido a localização de Petrolina no semi-árido nordestino, que a potencialidade da agricultura de sequeiro nessa área é baixa, no entanto, culturas como o feijão caupi ainda são cultivadas nessas áreas, principalmente no primeiro semestre (Santos, Araújo e Menezes, 2000), obrigando o uso da irrigação nas outras épocas do ano.

Através dessa observação podemos crer que o plantio da cana nessa época seria impróprio, por isso as curvas de produtividade de colmos tenham atingido valores muito baixos. Além disso, como discutido em Gurupi e Teresina, esse excesso de estresse hídrico coloca em dúvida as curvas de produtividade, já que devido a baixa precipitação durante todo o ano, ocasionando um elevado estresse hídrico, percebe-se que em nenhum momento o modelo reduziu a produtividade.

Para o plantio realizado em setembro, a precipitação média nos meses seguintes não atinge 4 mm, esse seria, portanto, o mês mais afetado, já que segundo Ramesh e Mahadevaswamy (2000), a seca durante a fase formativa resulta na redução da produção, já que ocorre a mortalidade de perfilhos, após um estresse hídrico de 30 dias, a mortalidade pode atingir aproximadamente 42%, e entre 30 – 60 dias pode atingir valores próximos a 82%, consequentemente, reduzindo a produtividade, no entanto, esse fato não é reconhecido pelo modelo.

Figura 11 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha-1, em condições não irrigadas, para 1 ano (A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Petrolina – PE

Os estudos de Ramadesh (2000) também discordam dos dados apresentados pela curva. Nesse trabalho, desenvolvido na Índia, o autor determinou que durante um período de seca severa durante a fase formativa (60 – 150 DAP), com a irrigação atendendo apenas 20% da reposição de água no solo, ocorre a redução de 60,8% da matéria seca da planta.

Baseado nesses comentários é possível afirmar que o DSSAT/CANEGRO não possui as ferramentas necessárias para reduzir a produtividade, nem matar as plantas, assim, já que segundo Barbosa (2011), após um estresse hídrico tão elevado como esse visto em Petrolina, as plantas iriam reduzir suas touceiras ou até morrer, fazendo com que se possa concluir que as curvas de produtividade de sequeiro estão

superestimadas ou inválidas, o mesmo que ocorreu para os plantios em Gurupi e Teresina.

Nos plantios irrigados, Figura 12A e 12B as curvas apresentaram desenvolvimento melhor do que em período de sequeiro, com destaque para JAN e MAR, com grande recuperação comparado ao sistema de sequeiro. No plantio com um ano, o crescimento não sofre uma limitação no crescimento tão notada como no plantio de 1,5 anos. Essa limitação é ocasionada pela diminuição da radiação solar a partir do DJ 100, em que a radiação cai de $19,22 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em janeiro, para $15,59 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em abril. Sendo este o fator mais limitante ao desenvolvimento, neste momento.

Figura 12 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha^{-1} , em condições irrigadas, para 1 ano (A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Petrolina - PE

Assim como ocorreu em Gurupi e Teresina, o efeito da irrigação é mais significativo em JAN e MAR, por isso estes apresentaram melhor desenvolvimento que nos tratamentos sem irrigação.

Na Tabela 25 são apresentados as produtividades máximas, mínimas e médias simuladas de produtividade de colmos e açúcar e seus respectivos coeficientes de variação (CV), no município de Petrolina – PE, em diferentes épocas de plantio e tempo de colheita. Esses valores de produtividade nas condições de simulação são para uma produção potencial.

Os valores de CV servem para ver o risco de quebra de produtividade, já que ele demonstra a variação da produtividade nos diferentes anos analisados. Assim, nos plantios em sequeiro os coeficientes de variação (CV) variaram de 21,35 a 36,51% e 22,15 a 27,47%, para produtividade de colmo e de 26,73 a 52,47% e 21,44 a 28,91% para açúcar, alterando apenas a época de colheita. Valores bem superiores aos encontrados em Gurupi e Teresina, principalmente para açúcar onde dois dos CVs, MAR e NOV, obtiveram valores superiores a 50%.

As produtividades em sequeiro são muito inferiores as produtividades encontradas em Gurupi e Teresina. No entanto, com a utilização da irrigação, as produtividades médias ficaram mais próximas as atingidas em Teresina, em sistema irrigado. Assim, a irrigação possibilitou o aumento da produtividade e a diminuição do risco da quebra de produtividade.

Com o plantio durante 1,5 anos é possível reduzir a variação entre as produtividades ano a ano. SET apresentou a melhor média e CV, para SEC1, tanto para produtividade de colmos, quanto para açúcar. Para 1,5 anos, as melhores médias foram para NOV, no entanto, os melhores CVs foram para JAN.

Em IRR1 ocorre redução dos valores de CV – colmo e CV - açúcar, essa redução é de quase 50%, acompanhada de um aumento de produtividade de colmo e de açúcar. Essa redução dos CVs, diferentemente de Gurupi e Teresina, foram superiores a redução ocasionada pelo aumento do ciclo. Além disso, o aumento do ciclo não proporcionou redução do CV para SET.

As produtividades de colmo e açúcar produzidas com sistema IRR1 foram superiores as atingidas por SEC1.5 em todas as épocas de plantio.

Tabela 25 - Produtividade de colmos (Mg.ha^{-1}) e de açúcar (Mg.ha^{-1}) simuladas para as quatro épocas de plantio, sob condições irrigadas e de sequeiro para o município de Petrolina - PE

Petrolina- PE								
Plantio	Mg.Colmos. ha^{-1} para 1 ano de plantio							
	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	43,15	65,73	27,623	29,44	141,28	185,79	118,24	16,17
MAR	43,93	75,10	24,29	34,00	146,53	189,33	121,62	12,87
SET	64,74	96,31	47,57	21,35	138,33	172,90	118,62	11,75
NOV	61,31	126,80	37,64	36,51	135,66	183,23	112,83	15,65

Plantio	Mg.Colmos. ha^{-1} para 1,5 anos de plantio							
	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	81,41	133,61	60,12	22,15	166,53	209,32	139,21	12,59
MAR	70,21	122,31	48,09	27,47	164,81	206,01	141,55	11,96
SET	86,45	149,21	58,49	26,52	156,35	206,00	119,95	14,04
NOV	98,45	158,33	78,84	26,50	163,10	215,43	137,52	12,81

Plantio	Mg.Açúcar. ha^{-1} para 1 ano de plantio							
	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	3,63	6,32	1,55	48,30	17,31	25,03	12,66	23,71
MAR	3,56	6,37	1,04	52,47	17,55	24,34	12,93	17,42
SET	7,05	11,78	4,84	26,73	17,84	24,13	13,66	17,03
NOV	6,40	15,96	2,86	50,50	17,09	25,64	13,03	22,22

Plantio	Mg.Açúcar. ha^{-1} para 1,5 anos de plantio							
	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	9,20	13,66	6,45	21,44	21,37	29,58	16,28	16,89
MAR	7,53	11,91	4,93	26,96	21,16	28,39	16,63	16,73
SET	10,16	16,10	6,10	27,63	21,21	29,66	14,72	18,07
NOV	11,63	20,21	8,96	28,91	21,29	30,49	16,09	17,05

A utilização da irrigação junto com o aumento do ciclo proporcionou aumento de produtividade e redução do coeficiente de variação em relação à produtividade SEC1, tanto para produtividade açúcar, quanto para colmo, e sua produtividade média foi superior a qualquer outro cenário. Com exceção de SET, houve redução de CV no IRR1.5, comparado ao IRR1. Demonstrando que, para Petrolina, a interação época de plantio x irrigação não foi benéfica na maioria dos meses, em relação ao CV.

As produtividades máximas alcançadas foram encontradas em: Nov, para colmo SEC1, SEC1.5 e IRR1.5, açúcar SEC1, IRR1, SEC1.5 e IRR1.5; MAR, para colmo IRR1. Demonstrando que no mês de NOV ocorre um maior número de produtividades

máximas, comparada aos outros meses. As mínimas foram em: JAN, para colmo IRR1, açúcar IRR1; MAR, para colmo SEC1, SEC1.5; SET, para colmo IRR1.5, para açúcar IRR1.5; e NOV, para colmo IRR1.

Para a discussão mais minuciosa dos dados foi feita a estatística dos mesmos, nessa estatística foi avaliada a interação entre os manejos (SEC1, IRR1,...) dentro de cada mês e a interação dos meses dentro de cada manejo (Tabela 26). Podemos notar que na produtividade de colmos, não há diferenciação estatística nos meses que produziram sob irrigação, mostrando que sob irrigação poderia ser utilizada qualquer época de plantio.

Tabela 26 - Análise estatística dos dados de produtividade média em relação aos meses dentro dos manejos adotado e dos manejos dentro de cada mês de plantio para a cidade de Petrolina – PE

Petrolina - E				
meses	Manejo			
	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
	Mg.Colmos.ha ⁻¹			
JAN	43,15 a	141,28 a	81,41 ab	166,53 a
MAR	43,93 a	146,53 a	70,21 a	164,81 a
SET	64,74 b	138,33 a	86,45 ab	156,35 a
NOV	61,31 ab	135,66 a	98,45 b	163,10 a
	JAN	MAR	SET	NOV
	Mg.Colmos.ha ⁻¹			
	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
SEC1	43,15 a	43,93 a	64,74 a	61,31 a
IRR1	141,28 c	146,53 c	138,33 b	135,66 c
SEC1.5	81,41 b	70,21 b	86,45 a	98,45 b
IRR1.5	166,53 d	164,81 c	156,35 b	163,10 d
	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
	Mg.Açúcar.ha ⁻¹			
	JAN	MAR	SET	NOV
JAN	3,63 a	17,31 a	9,20 ab	21,37 a
MAR	3,56 a	17,55 a	7,53 a	21,16 a
SET	7,05 b	17,84 a	10,16 ab	21,21 a
NOV	6,40 ab	17,09 a	11,63 b	21,29 a
	JAN	MAR	SET	NOV
	Mg.Açúcar.ha ⁻¹			
	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
SEC1	3,63 a	3,56 a	7,05 a	6,40 a
IRR1	17,31 c	17,55 c	17,84 b	17,09 c
SEC1.5	9,20 b	7,53 b	10,16 a	11,63 b
IRR1.5	21,37 d	21,16 d	21,21 c	21,29 d

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade

Analisando individualmente cada mês, podemos notar que em JAN e NOV há diferenciação na produtividade mudando o manejo adotado, em MAR os manejos IRR1 e IRR1.5 não apresentaram diferença, assim, seria mais vantagem utilizar o manejo IRR1 que o com 1,5 anos, já que a mesma produtividade seria atingida com um período da cultura no campo menor. Em SET, ocorre o mesmo, além disso, a mesma produtividade do SEC1 poderia ser atingida com o SEC1.5.

Os comentários acima feitos para produtividade de colmos também servem para açúcar.

Como ocorre em Gurupi e Teresina, a sensibilidade do aumento de produtividade de colmos foi menor que o de açúcar, em todos os casos avaliados (Tabela 27). A utilização da irrigação, aumento do ciclo e a utilização das duas técnicas juntas possibilitaram aumento de produtividade.

Tabela 27 - Aumento na produtividade de colmo e açúcar (%) devido ao aumento da irrigação e/ou do aumento do ciclo, para Petrolina - PE

Plantio	Irrigação		Aumento do tempo da cultura no campo		Irrigação e Aumento do tempo	
	Colmos (%)	Açúcar (%)	Colmos (%)	Açúcar (%)	Colmos (%)	Açúcar (%)
JAN	227,42	376,77	88,67	153,32	285,94	488,68
MAR	233,58	392,57	59,84	111,31	275,18	493,98
SET	113,66	152,91	33,53	44,00	141,49	200,62
NOV	121,28	167,16	60,58	81,75	166,04	232,78

O maior aumento de produtividade de colmo e açúcar, devido à irrigação, foi para JAN e MAR, sendo esse último o que apresentou os melhores aumentos. Esses aumentos foram bem superiores aos atingidos por Gurupi e Teresina, mostrando que a cana-de-açúcar produzida na cidade de Petrolina responderia bem melhor a irrigação que as outras cidades analisadas anteriormente. Os menos sensíveis foram SET e NOV, no entanto seus aumentos de produtividade superaram o valor de 110% para colmos e 150% para açúcar.

Diferentemente do que ocorre com as cidades discutidas anteriormente, em Petrolina o aumento da época da cultura no campo, apesar de possibilitar aumento de produtividade, não supera, nem se quer iguala-se à produtividade obtida através da

irrigação. O aumento de produtividade devido à irrigação x aumento da época no campo foi o que apresentou os melhores valores.

Análise Econômica

Para a realização de uma análise econômica mais detalhada seria necessária uma série de outros fatores para chegar a uma conclusão, tais como: custo da terra, custo da água, custo do sistema de irrigação, custo da mão-de-obra, dentre outros, no entanto, a análise da renda mensal bruta, juntamente ao número de irrigações e quantidade de lâminas aplicadas serve para dar uma noção do aspecto econômico da região e por esse motivo são apresentados os dados a seguir.

Considerando o preço de venda do açúcar de R\$ 45,00 a tonelada, foram confeccionados os gráficos a seguir (Figura 13). Nota-se que o sistema IRR1 é o que apresenta os maiores valores, mostrando uma maior renda em função das técnicas empregadas. Diferentemente do que foi visto nas cidades discutidas anteriormente, em Petrolina, a utilização dos sistemas de sequeiro não proporciona uma renda bruta mensal similar/próxima as encontradas pelos sistemas irrigados.

Os valores encontrados em SEC1 para JAN e MAR são abaixo de R\$ 15,00 por mês e para SET e MAR foram abaixo de R\$ 27,00. Para SEC1.5, nenhuma época de plantio superou R\$ 30,00, valores muito baixos, em que, provavelmente, o plantio sem irrigação para Petrolina não seja viável, mesmo que essa avaliação seja baseada em dados brutos.

Considerando apenas os sistemas de sequeiro, SET foi o único mês em que o SEC1 apresentou maior renda bruta que o SEC1.5.

Em todas as situações, os sistemas irrigados, não importando a quantidade de tempo que a cultura é mantida em campo, foram os que apresentaram os melhores resultados, IRR1 proporcionou um aumento de 376,77; 392,57; 152,91 e 167,16% em relação ao SEC1, e IRR1.5, 292,45; 295,99; 100,41 e 121,81%. Mostrando, ainda, que o IRR1 proporciona maior renda bruta que o IRR1.5.

Figura 13 - Renda bruta pelo número de meses da cultura no campo da produtividade de açúcar (R\$) para cada cenário avaliado, nas cidades de Petrolina

Diferentemente do que foi visto nas regiões anteriores, a maior variabilidade estatística da renda não está no SEC1, e sim no SEC1.5.

Para complementar melhor a análise foi confeccionada a Tabela 28, esta informando o número de irrigações e a quantidade total de lâminas aplicadas no desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar para os diferentes cenários na região de Petrolina – PE. Nota-se que, comparada as outras regiões analisadas, a de Petrolina, foi a que apresentou a maior quantidade de lâminas e número de irrigações, reflexo do balanço hídrico.

Tabela 28 - Quantidade total de lâminas aplicas e número de irrigações utilizadas para cada mês e época de plantio na região de Petrolina – PE

Manejo	Lâminas (mm)			
	JAN	MAR	SET	NOV
IRR1	834,46	875,00	639,54	783,08
IRR1.5	1208,13	1304,67	996,47	1090,53
	Número de irrigações			
	JAN	MAR	SET	NOV
IRR1	26	27	20	24
IRR1.5	38	41	31	34

Correlacionando a produtividade de açúcar (Tabela 26) com a quantidade de lâminas aplicadas para suprir a deficiência hídrica do solo, percebe-se que com a aplicação de uma lâmina de 639 mm, para setembro, o aumento de açúcar foi de 10,79 (Mg.ha⁻¹) consequentemente aumentando a renda bruta, no entanto, foram necessárias aproximadamente 20 irrigações para que essa produtividade fosse atingida.

O mês de março foi o que necessitou o maior número de irrigações e a maior quantidade de água aplicada, seguido por janeiro, fazendo com que o açúcar aumentasse 376,77 e 392,57 % (Tabela 27), respectivamente, possibilitando estes meses atingirem valores estatisticamente iguais de renda bruta. Vale ressaltar que apesar de possuírem a mesma renda bruta, os meses de janeiro e março necessitaram de uma maior quantidade de água aplicada e operações agrícolas, fazendo com que o custo por hectare fosse aumentado.

4.4 Paranavaí

Análise das produtividades

Na Figura 14A e 12B, estão as curvas de produtividade média de colmos por hectare, em condições não irrigadas, para 1 ano e 1,5 anos de plantio na cidade de Paranavaí – PA. Nota-se que a cidade de Paranavaí apresenta comportamento mais diferenciado das cidades discutidas nesse trabalho. Nessa cidade, para 1 ano de plantio em sequeiro, MAR apresenta desenvolvimento constante e por isso foi o mês que apresentou melhor desenvolvimento, seguido por JAN. SET apresenta, a partir do DJ 90, redução no desenvolvimento motivada diretamente pelo período de redução da radiação solar que decresce de 20,67 MJ.m⁻².dia⁻¹ em fevereiro para 13,03 MJ.m⁻².dia⁻¹ em maio, outra diferença significativa em relação às outras cidades analisadas, já que a disponibilidade hídrica em Paranavaí é bem atendida durante quase todo o ano.

Quando a cultura passa a ser cortada com 1,5 anos, ocorre uma mudança no cenário, nessa situação, os plantios em SET e NOV apresentam melhor desenvolvimento, apesar de sofrerem com o período de menor desenvolvimento da

cana-de-açúcar (entre os DJ 90 a 250). JAN e MAR provavelmente serão colhidas na época de menor desenvolvimento, o contrário do ocorrido para 1 ano de plantio.

Figura 14 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha-1, em condições não irrigadas, para 1 ano (A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Paranavaí - PR

Nos plantios irrigados, Figura 15A e 13B as curvas apresentaram desenvolvimento semelhante ao do período de sequeiro. Há uma grande semelhança entre os gráficos, as diferenças estão na altura atingida pelas curvas e numa maior linearização na curva de JAN e MAR, mostrando que apesar da boa disponibilidade hídrica a irrigação ainda conseguiu proporcionar um aumento nas curvas de desenvolvimento, nas curvas de SET e NOV as mudanças são imperceptíveis.

Assim como ocorre para o plantio de sequeiro, JAN e MAR apresentam melhor desenvolvimento no plantio de 1 ano e SET e NOV para o plantio de 1,5 anos.

As maiores diferenças entre os desenvolvimentos estão relacionadas à época do período da cultura no campo, sendo a influência da irrigação quase insensível.

Figura 15 - Curvas de produtividade de massa fresca em Mg.ha-1, em condições irrigadas, para 1 ano (A) e 1,5 anos (B) de plantio na cidade de Paranavaí - PR

Devido a essa semelhança e a boa disponibilidade hídrica da região pode-se prever que o modelo obteve melhor desempenho, já que os problemas relatados nas regiões anteriores não ocorreram aqui, ou seja, o período de estresse hídrico elevado. Por isso, confeccionou-se a Figura a seguir (Figura 16), nela pode-se ver que o IAF,

apesar de variar durante o ciclo agrícola, não chega a diminuir tão intensamente como visto nas outras regiões.

Figura 16 – Índice de Área Foliar (IAF) e Produtividade de Colmos (Mg.ha⁻¹) para o mês de janeiro de 2000, com colheita um ano depois

Na Tabela 29 são apresentados as produtividades máximas, mínimas e médias simuladas de produtividade de colmos e açúcar e seus respectivos coeficientes de variação (CV), no município de Paranavaí, em diferentes épocas de plantio e tempo de colheita. Esses valores de produtividade nas condições de simulação são para uma produção potencial.

Nos plantios em sequeiro os coeficientes de variação (CV) variaram de 10,90 a 14,36% e 8,76 a 11,35%, para produtividade de massa fresca e de 13,58 a 18,28% e 8,93 a 12,39% para açúcar, alterando apenas a época de colheita. Valores bem inferiores aos encontrados nas outras cidades, principalmente para colmo onde na maioria dos casos o CV foi próximo de 11%, para 1 ano. Mesmo com valores tão baixos de CV, o mesmo foi reduzido com o plantio durante 1,5 anos. MAR apresentou a melhor média para SEC1, tanto para produtividade de colmos, quanto para açúcar. Para 1,5 anos, as melhores médias foram para SET.

Em IRR1 ocorre redução dos valores de CV – colmo e CV – açúcar, em relação ao SEC1, acompanhada de um aumento de produtividade de colmo e de açúcar, no entanto, a redução de CV – açúcar só foi menor em NOV, comparado ao SEC1.5, e, comparada, ainda ao sistema SEC1.5, IRR1 só apresentou produtividade média superior em MAR, para colmos; para açúcar, nenhum mês obteve produtividade média superior. Mostrando, mais uma vez, que a influência na produtividade da cana-de-açúcar é mais sentida pelo aumento da época da cultura no campo do que com o uso da técnica da irrigação.

Tabela 29 - Produtividade de colmos (Mg.ha⁻¹) e de açúcar (Mg.ha⁻¹) simuladas para as quatro épocas de plantio, sob condições irrigadas e de sequeiro para o município de Paranaíba - PR

Paranaíba-PA								
Plantio	Mg.Colmos.ha ⁻¹ para 1 ano de plantio							
	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	106,27	125,43	85,26	11,18	132,58	145,79	117,80	6,34
MAR	116,08	131,16	91,66	12,32	140,18	170,89	124,62	8,20
SET	99,35	111,38	76,96	10,90	118,02	147,25	102,32	8,67
NOV	103,92	130,73	84,38	14,36	124,32	146,17	111,18	8,22

Plantio	Mg.Colmos.ha ⁻¹ para 1,5 anos de plantio							
	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	136,76	157,36	116,01	8,76	158,46	192,32	142,60	7,22
MAR	131,90	147,97	110,24	8,95	154,64	194,67	142,07	7,90
SET	152,19	181,38	134,04	9,54	171,38	201,83	159,35	7,43
NOV	147,76	175,02	122,93	11,35	166,58	192,75	149,73	7,91

Plantio	Mg.Açúcar.ha ⁻¹ para 1 ano de plantio							
	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	12,57	15,44	9,46	16,54	16,57	21,56	14,27	12,79
MAR	13,08	16,02	8,93	15,96	16,80	23,07	13,53	13,22
SET	12,83	14,95	9,77	13,58	15,89	21,76	13,16	12,70
NOV	12,93	17,38	9,77	18,28	16,18	19,14	13,88	9,53

Plantio	Mg.Açúcar.ha ⁻¹ para 1,5 anos de plantio							
	Produtividade Sequeiro				Produtividade Irrigada			
	Média	Máxima	Mínima	CV (%)	Média	Máxima	Mínima	CV (%)
JAN	17,72	20,59	15,43	8,93	20,97	28,54	18,56	11,11
MAR	17,41	21,04	14,98	8,95	20,96	29,63	18,50	12,28
SET	20,04	23,52	16,84	9,69	23,32	28,73	19,56	9,25
NOV	19,51	23,61	16,51	12,39	22,57	27,81	19,33	9,72

A utilização da irrigação junto com o aumento do ciclo proporcionou aumento de produtividade e redução do coeficiente de variação em relação à produtividade SEC1, SEC1.5 e IRR1, tanto para produtividade açúcar, quanto para colmo, e sua produtividade média foi superior a qualquer outro cenário. Demonstrando que para Paranavaí, a interação época de plantio x irrigação foi benéfica.

As produtividades máximas alcançadas foram encontradas em: MAR, para colmo SEC1 e IRR1, para açúcar: IRR1 e IRR1.5; SET, colmo: SEC1.5 e IRR1.5; NOV, para açúcar: SEC1 e SEC1.5. As mínimas foram em: MAR, para colmo SEC1.5 e IRR1.5, para açúcar SEC1, SEC1.5 e IRR1.5; e SET, para colmo SEC1 e IRR1, açúcar IRR1. Diferentemente do que foi visto nas cidades estudadas anteriormente, existe uma maior variação entre os meses que possuem as maiores produtividades, e dessa vez, o MAR possuiu a maior quantidade de produtividade em diferentes cenários e JAN não apresenta nenhum das menores produtividades.

As produtividades de colmo em Paranavaí, em regime SEC1, são maiores que Gurupi e Teresina, em dois dos quatro meses, e na produtividade de açúcar os valores são semelhantes aos encontrados em Gurupi; comparado aos dados de Teresina, os dados de Paranavaí são superiores em todos os casos.

Para a discussão dos dados mais minuciosa foi feita a estatística dos mesmos, nessa estatística foi avaliada a interação entre os manejos (SEC1, IRR1,...) dentro de cada mês e a interação dos meses dentro de cada manejo (Tabela 30). Diferentemente do que foi visto nas outras regiões podemos notar que na produtividade de colmos houve diferenciação estatística nos meses que produziram sob irrigação.

Na produtividade de açúcar, os manejos SEC1 e IRR1 não apresentaram diferenciação, dentro dos meses.

Oliveira, et al. (2007) avaliou a produtividade da cana-de-açúcar na região de Paranavaí, em sistema de sequeiro no mesmo tipo de solo do utilizado nesse trabalho, com o plantio realizado em março e colheita 377 DAP, utilizando a cultivar RB85-5113 e obteve produtividade de 116,5 Mg.ha⁻¹, valor quase idêntico ao encontrado para a média dos plantios realizados em março no sistema de SEC1 (sequeiro, com colheita um ano depois).

Os mesmos autores realizaram a colheita do experimento em outras duas datas e obtiveram as produtividades de 131,7 Mg.ha⁻¹ e 133,1 Mg.ha⁻¹, para 428 DAP e 497 DAP, valores também quase idênticos aos encontrados para os plantios em janeiro e, principalmente, março. Mostrando a grande acurácia do modelo para regiões com boa disponibilidade hídrica, quando se produz a cana em esquema de sequeiro.

Tabela 30 - Análise estatística dos dados de produtividade média em relação aos meses dentro dos manejos adotado e dos manejos dentro de cada mês de plantio para a cidade de Paranavaí – PR

Teresina-PI				
meses	Manejo			
	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
	Mg,Colmos,ha ⁻¹			
JAN	106,27 a	132,58 bc	136,76 ab	158,46 a
MAR	116,08 ab	140,18 a	131,90 a	154,64 a
SET	99,35 a	118,02 a	152,19 c	171,38 b
NOV	103,92ab	124,32 ab	147,76 bc	166,58 ab
	JAN	MAR	SET	NOV
	Mg,Colmos,ha ⁻¹			
	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
SEC1	106,27 a	116,08 a	99,35 a	103,92 a
IRR1	132,58 b	140,18 b	118,02 b	124,32 b
SEC1.5	136,76 b	131,9 b	152,19 c	147,76 c
IRR1.5	158,46 c	154,64 c	171,38 d	166,58 d
	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
	Mg,Açúcar,ha ⁻¹			
	JAN	MAR	SET	NOV
JAN	12,57 a	16,57 a	17,72 ab	20,97 a
MAR	13,08 a	16,80 a	17,41 a	20,96 a
SET	12,83 a	15,89 a	20,04 c	23,32 b
NOV	12,93 a	16,18 a	19,51 bc	22,57 ab
	JAN	MAR	SET	NOV
	Mg,Açúcar,ha ⁻¹			
	SEC1	IRR1	SEC1.5	IRR1.5
SEC1	12,57 a	13,08 a	12,83 a	12,93 a
IRR1	16,57 b	16,8 b	15,89 b	16,18 b
SEC1.5	17,72 b	17,41 b	20,04 c	19,51 c
IRR1.5	20,97 c	20,96 c	23,32 d	22,57 d

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade

A sensibilidade do aumento de açúcar foi maior que o de colmo (Tabela 31). A utilização da irrigação, aumento do ciclo e a utilização das duas técnicas juntas possibilitaram aumento de produtividade.

Tabela 31 - Aumento na produtividade de colmo e açúcar (%) devido ao aumento da irrigação e/ou do aumento do ciclo, para Paranavaí - PR

Plantio	Irrigação		Aumento do tempo da cultura no campo		Irrigação e Aumento do tempo	
	Colmos (%)	Açúcar (%)	Colmos (%)	Açúcar (%)	Colmos (%)	Açúcar (%)
JAN	24,76	31,77	28,69	40,92	49,11	66,77
MAR	20,76	28,48	13,63	33,10	33,22	60,23
SET	18,79	23,83	53,18	56,24	72,50	81,77
NOV	19,63	25,10	42,19	50,86	60,30	74,50

O maior aumento de produtividade de colmo e açúcar foi devido ao aumento da cultura no campo do que a utilização somente da irrigação, para todos os meses analisados, sendo SET o que apresentou os melhores aumentos. Mostrando que a cana-de-açúcar produzida na cidade de Paranavaí, ao contrário do que ocorreu em Petrolina, responderia bem melhor ao aumento da cultura no campo do que a irrigação. Apesar da baixa influência da irrigação na produtividade de colmos seu aumento variou de 18,79 a 24,78%, para colmo e 23,83 a 31,77% para açúcar, e SET foi o menos sensível.

O aumento de produtividade devido à irrigação x aumento da época no campo foi o que apresentou os melhores valores.

Análise Econômica

Para a realização de uma análise econômica mais detalhada seria necessária uma série de outros fatores para chegar a uma conclusão, tais como: custo da terra, custo da água, custo do sistema de irrigação, custo da mão-de-obra, dentre outros, no entanto, a análise da renda mensal bruta, juntamente ao número de irrigações e quantidade de lâminas aplicadas serve para dar uma noção do aspecto econômico da região e por esse motivo são apresentados os dados a seguir.

Considerando o preço de venda do açúcar de R\$ 45,00 a tonelada, foram confeccionados os gráficos a seguir (Figura 17). Nota-se que o sistema IRR1 é o que apresenta os maiores valores, mostrando uma maior renda em função das técnicas empregadas. Diferentemente do que foi visto nas cidades discutidas anteriormente, em Paranavaí, ocorre menor diferença entre o sistema irrigado e de sequeiro.

A utilização do sistema SEC1.5 é uma das mais desvantajosas técnicas para aumentar a produtividade em relação a SEC1, já que para JAN e MAR ocorre redução da renda, para NOV o aumento é menor que 1% e SET não foi superior a 4,5%. A variação entre os meses de plantio é menor para SEC1.

Figura 17 - Renda bruta pelo número de meses da cultura no campo da produtividade de açúcar (R\$) para cada cenário avaliado, nas cidades de Paranavaí

A uniformidade estatística é quase que padronizada obtendo apenas 3 médias diferentes entre todos os cenários.

Para complementar melhor a análise foi confeccionada a Tabela 32, esta informando o número de irrigações e a quantidade total de lâminas aplicadas no desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar para os diferentes cenários na região de Paranavaí – PR. Nota-se que, comparada as outras regiões analisadas, a de Paranavaí, foi a que apresentou a menor quantidade de lâminas e número de irrigações.

A pouca diferença entre o número de irrigações e as lâminas aplicadas entre os meses de plantio é devido à boa disponibilidade hídrica da região, fazendo com que esse critério não seja decisivo na tomada de decisão econômica. Apenas quando for correlacionado com o aumento da produtividade em função da irrigação.

Tabela 32 - Quantidade total de lâminas aplicas e número de irrigações utilizadas para cada mês e época de plantio na região de Paranavaí - PA.

Manejo	Lâminas (mm)			
	JAN	MAR	SET	NOV
IRR1	227,93	206,33	227,73	229,27
IRR1.5	364,14	370,86	343,93	359,21
	Número de irrigações			
	7	7	7	7
IRR1	7	7	7	7
IRR1.5	12	12	11	11

Assim, correlacionando com o aumento de produção obtido para o açúcar (Tabela 31), notamos que além da pouca variação das lâminas e quantidades de irrigações, comentada anteriormente, há pouca variação no aumento da produtividade, mesmo assim, baseado nesses dois critérios, se fosse escolhida uma época para irrigar a cana, a data economicamente mais rentável seria janeiro, com ciclo de um ano.

Após a análise entre os períodos de irrigação, analisando isoladamente o mês de janeiro observa-se que a aplicação de uma lâmina de 227,93 mm só iria aumentar a produtividade de açúcar em 4 Mg.ha⁻¹, tornando o aumento e conseqüentemente o lucro devido a irrigação muito baixo, assim, tornando a decisão de irrigar economicamente desvantajosa para a região de Paranavaí, no entanto, vale salientar que essa é uma análise econômica simples.

5 RESUMO DAS SIMULAÇÕES

Em Gurupi – TO, as produtividades de colmo para SEC1 ficaram entre 102 a 127 Mg.ha⁻¹; SEC1.5 foram entre 141 a 174 Mg.ha⁻¹; IRR1 foram entre 169 a 181 Mg.ha⁻¹ e IRR1.5 foram entre 196 a 208 Mg.ha⁻¹. Em que os meses de SET e NOV apresentaram o maior número de produtividades máximas. O aumento de produtividade devido à irrigação pode atingir aproximadamente 76% no mês de janeiro, o mais sensível. Sendo este aumento superior ao aumento do ciclo da cultura. Além disso, baseado na análise econômica dos dados pode-se inferir que o sistema IRR1 apresenta os maiores valores em relação aos outros sistemas, sendo março e setembro os meses mais recomendados para irrigar; e caso o produtor opte pela produção em sistema de sequeiro, visando a maior renda, a cana-de-açúcar deve ser colhida com 1,5 anos, com exceção de SET e MAR.

Na cidade de Teresina – PI, as produtividades de colmo para SEC1 ficaram entre 86,49 a 125 Mg.ha⁻¹; SEC1.5 foram entre 128 a 154 Mg.ha⁻¹; IRR1 foram entre 138 a 150 Mg.ha⁻¹ e IRR1.5 foram entre 170 a 174 Mg.ha⁻¹. Demonstrando menores produtividades que Gurupi, no entanto, assim como ocorre em Gurupi, os meses de SET e NOV apresentaram o maior número de produtividades máximas. O aumento de produtividade devido à irrigação pode atingir aproximadamente 61%, podendo ser superado pelo aumento do tempo da cultura no campo. Baseado na análise econômica dos dados pode-se inferir que o sistema IRR1 apresenta os maiores valores em relação aos outros sistemas, optando pela produção em sequeiro, o mês indicado seria SET, sendo a renda gerada no manejo SEC1 igual a gerada em SEC1.5 e IRR1.5, e se optada pela irrigação, os meses com melhor desempenho seriam setembro e março.

Petrolina – PE apresenta as mais baixas produtividades das cidades analisadas. As produtividades de colmo para SEC1 ficaram entre 43 a 64 Mg.ha⁻¹; SEC1.5 foram entre 70 a 98 Mg.ha⁻¹; IRR1 foram entre 135 a 146 Mg.ha⁻¹ e IRR1.5 foram entre 156 a 166 Mg.ha⁻¹. O mês de NOV apresentou o maior número de produtividades máximas. O incremento de produtividade devido à irrigação, no mês menos sensível, SET, atingiu 113%, aumento muito superior aos encontrados nas outras cidades. Além disso, é

notório que sem o uso da irrigação a renda gerada pelo plantio da cana-de-açúcar é bastante limitada.

A cidade com comportamento mais diferenciado com relação a necessidade de irrigação foi a cidade de Paranavaí – PR. As produtividades de colmo para SEC1 ficaram entre 99 a 116 Mg.ha⁻¹; SEC1.5 foram entre 131 a 152 Mg.ha⁻¹; IRR1 foram entre 118 a 140 Mg.ha⁻¹ e IRR1.5 foram entre 154 a 171 Mg.ha⁻¹. Os meses de MAR e SET apresentaram o maior número de produtividades máximas. O aumento de produtividade devido à irrigação não ultrapassa 25%, sendo superado, em quase todos os casos, pelo aumento do tempo da cultura no campo. Baseado na análise econômica simplificada dos dados, a irrigação proporcionou aumento de renda, no entanto, o aumento de produção para o mês mais sensível ao uso da irrigação de apenas 4 Mg.ha⁻¹ de açúcar, não cobriria, provavelmente, o custo com a compra e manutenção do sistema, tornando a decisão de irrigar inviável.

O modelo DSSAT/CANEGRO possui ferramentas para simular a produtividade da cultura, alcançando valores muito próximos/idênticos aos encontrados na prática nas regiões de Piauí e Paranavaí, além disso, percebe-se que o mesmo possui mecanismos de detectar acontecimentos climatológicos que ocorrem. O modelo é bastante sensível para resposta de crescimento da planta em função da disponibilidade de água no solo, porém precisa ser aprimorado nos seguintes aspectos: 1- O modelo não reduz a biomassa verde produzida pela planta quando ocorre um período intenso de deficiência hídrica no solo conforme observado na prática; 2- O modelo não reduz o stand de plantas quando o estresse hídrico é muito elevado (morte de perfilhos); e, 3- Apesar das irrigações serem feitas corretamente, o modelo não possui nenhum mecanismo no modo automático de irrigação para que as mesmas sejam suspensas, como a proximidade da data de colheita, visando promover a maturação dos colmos (concentração de açúcares).

6 CONCLUSÕES

Nas condições em que as simulações de produção de cana-de-açúcar foram conduzidas no modelo DSSAT/CANEGRO, pôde-se chegar às seguintes conclusões:

A produtividade atingida em Gurupi variou entre os valores extremos de 102 a 208 Mg.ha⁻¹, em Teresina de 86 a 174 Mg.ha⁻¹, em Petrolina de 43 a 166 Mg.ha⁻¹ e em Paranaíba de 99 a 171 Mg.ha⁻¹, no entanto, estas foram superestimadas nos plantios em sequeiro para as regiões de Gurupi, Teresina e Petrolina;

A quantidade de lâminas de água e número de irrigações variaram de: 457 a 940 mm e 11 a 23 irrigações para Gurupi; 447 a 892 mm e 12 a 24 irrigações para Teresina; 639 a 1304 mm e 20 a 41 irrigações para Petrolina; e 206 a 370 mm e 7 a 12 irrigações para Paranaíba.

A irrigação possibilitou o plantio em diferentes épocas do ano, principalmente nas cidades com maior déficit hídrico, embora não seja economicamente viável em Paranaíba.

O sistema de plantio com irrigação e colheita após 12 meses de crescimento (IRR1) foi o que apresentou maior renda bruta, para todas as cidades e datas de plantio analisadas;

O modelo DSSAT/CANEGRO simula com ótima precisão as produtividades de cana-de-açúcar, em áreas úmidas ou irrigadas, sem a ocorrência de déficit hídrico acentuado ao longo do ano, em áreas com déficit hídrico mais acentuado, o modelo superestima a produtividade.

No modo automático de irrigação o modelo não possibilita o corte da irrigação na etapa final para maturação dos colmos.

REFERÊNCIAS

- ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 42-55.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D; SMITH, M. **Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)**. Rome: FAO, 1998. 328 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; DUARTE, J.A.L.; MOTA, P.R.D.; MOURA, J.F.L.; RIBEIRO, V.Q. Níveis de irrigação e fertirrigação por gotejamento subsuperficial na produção de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38., 2009, Juazeiro; Petrolina. **Anais...** Juazeiro; Petrolina: SBEA; UNIVASF, 2009. 1 CD-ROM.
- BARBIERI, V. **Medidas e estimativas de consumo hídricos em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1981. 82 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.
- _____. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa**. 1993. 142 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.
- BARBOSA, F.S. **Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo**. 2010. 81 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- BASSOI, L.H.; RESENDE, G.M.; FLORI, J.E.; SILVA, J.A.M.; ALENCAR, C.M. Distribuição radicular de cultivares de aspargo em áreas irrigadas de Petrolina - PE. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 17-24, mar. 2.001.
- BEAUCLAIR, E.G.F. ; PENTEADO, C.R. Cronograma de corte da cana de açúcar através da programação linear. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 2., 1984, Piracicaba. São Paulo: COPERSUCAR, 1984. v. 1, p. 424-433.
- BERNARDO, S. Manejo da irrigação na cana- de- açúcar. **Alcoolbrás**, São Paulo, n. 106, p. 72-80, 2007.
- BEZUIDENHOUT, C.N. **A model review and proposed mechanistic tiller model for the CANEGRO sugarcane crop model**. 2000. 78 p. MTech Technikon Natal, Durban, 2000.

BULL, T.; TOVEY, D.A. Aspects of modelling sugarcane growth by computer simulation. In: INTERNATIONAL SOCIETY SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15., 1974, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: Sugar Journal, 1974. p. 1021–1032.

BRONSON, R. **Pesquisa operacional**. São Paulo: McGraw-Hill, 1985. 318 p. (Coleção Schaum).

CAMBELL, R.B. The economics of supplementary irrigation in sugar cane. **International Sugar Journal**, Mauritius, v. 70, n. 830, p. 43-45, 1968.

CHANG, H.; WANG, J.S.; HO, F.W. The effect of different pan ratio for controlling irrigation of sugarcane in Taiwan. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 13., 1968, Formosa. **Proceedings...** Formosa: Lianjing, 1968. p. 652-663.

CHEEROO-NAYAMUTH, F.C.; ROBERTSON, M.J.; WEGENER, M.K.; NAYAMUTH, A.RH. Using a simulation model to assess potential and attainable sugar cane yield in Mauritius. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 66, p. 225-243, 2000.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Estudo de sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar**: subsídios técnicos para a agenda brasileira de bioetanol. Relatório final. Brasília, 2009. 337 p.

DARLI, A.B.; RAIMUNDO, L.C.; GARCIA, C.J.B.; DUENHAS, L.H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008.

DEMÉTRIO, V.A. **Efeito da água do solo e temperatura ambiente no rendimento agrícola e industrial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1978. 98 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.

DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.K. **Efectos del agua sobre el rendimiento los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (FAO. Riego y Drenaje, 33).

_____. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de G.H.R. et al. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1975. 179 p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 24).

_____. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 24).

FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008

FERNANDEZ, A.C. Produção e produtividade da cana-de-açúcar no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6., 1996, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1996. p. 602-612.

FERREIRA R. R.; OLIVEIRA, F. T. R. O.; DELITE, F. S.; AZEVEDO, R. A.; NICOLAI, M.; CARVALHO S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; FIGUEIRA, A. V. O. Tolerância diferencial de variedades de cana-de-açúcar a estresse por herbicidas. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.2, p.395-404, 2010

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. Cana irrigada produz mais, mas custo de produção aumenta. In: _____. **AGRIANUAL 2009: anuário da agricultura brasileira**. São Paulo, 2005. p. 262-277.

GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. Sugarcane. In: TEARE, I.D.; PEET, M.M. (Ed.). **Crop water relations**. New York: John Wiley, 1983. p. 445-479.

GIACOMINI, M.A.N.; APELFELIER, A.; ROSENFELD, U. A irrigação de cana-de-açúcar na usina Sapucaia. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 14, n. 3, p. 10-12, jan./fev. 1996.

GODOY, A.P. **Modelagem de processos de acumulação de biomassa e de açúcar da cana-de-açúcar via sistemas nebulosos**. 2007. 254 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

GUAZZELLI, M.A.N.; PAES, L.A.D. Irrigação de cana-de-açúcar comercial. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: COPERSUCAR, 1997. p. 11.

HARDING, R.J.; HALL, R.L.; SWAMINATH, M.H.; MURTHY, S.K.V. The soil moisture regimes beneath forest and agricultural crop in Southern India-measurements and modeling. In: CALDER, I.R.; HALL, R.L.; ADLARD, P.G. (Ed.). **Growth and water use of forest plantations**. Chichester: John Wiley, 1992. p. 74-99.

HARTT, C.E. Effects of moisture supply upon translocation and storage of C14 in sugarcane. **Plant Physiology**, Rockville, v. 42, p. 338-346, 1967.

HEINEMANN, A.B.; SILVA, S.C. da; LOPES JUNIOR, S.; AMORIM, A.O.; ANDRADE, C.L.T.; BASTOS, E.A.; PAZ, R.L.F. da. **Características climáticas dos municípios de Santo Antônio de Goiás (GO), Porangatu (GO), Janaúba (MG), Sete Lagoas (MG), Parnaíba (PI) e Teresina (PI)**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2007. 36 p. (Documentos, 214).

HEXEM, R.W.; HEADY, E.O. **Water productions fuctions for irrigated agriculture**. Ames: The Iowa State University Press, 1978. 215 p.

HILLER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Operations research**. San Francisco: Holden-Day, 1974. 800 p.

HISÃO, T.C. Plant response to water stress. **Plant Physiology**, Rockville, v. 24, p. 519-570, 1973.

HOWELL, T.A.; CUENCA, R.H.; SOLOMON, K.H. Crop yield response. In: HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H. (Org.). **Management at farm irrigations systems**. St. Joseph: The American Society of Agricultural Engineers, 1990. p. 93-122.

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**, Bethlehem, v. 8, p. 93-99, 1991.

_____. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 36, p. 41-51, 1994.

_____. CANEGRO: its history, conceptual basis, present and future uses. In: ROBERTSON, M.J. (Ed.). **Research and modelling approaches to assess sugarcane production opportunities and constraints**. St. Lucia: University of Queensland, 1995. p. 31-34.

_____. Opportunities for increased radiation utilization by sugarcane in South Africa. In: WILSON, J.R.; HOGART, D.M.; CAMBELL, J.A.; GARSIDE, A.L. (Ed.). **Sugarcane: research towards efficient and sustainable production**. Brisbane: CSIRO, Division of Tropical Crops and Pastures, 1996. p. 162-165.

INMAN-BAMBER, N.G.; KIKER, G. **CANEGRO 3.10. DSSAT version 3.1 1998 distribution software**. Honolulu: University of Hawaii, 1997. 78 p.

INMAN-BAMBER, N.; MCGLINCHEY, M.G. Crop coefficients and water-use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 83, p. 125-138, 2003.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, n. 76, p. 71-84, 2005.

INMAN-BAMBER, N.; CULVERWELL, T.L.; MCGLINCHEY, M. Predicting yield responses to irrigation of sugarcane using a growth model and yield records. In: INTERNATIONAL SOCIETY SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 67., 1993, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: Sugar Journal, 1993. p. 66-72.

INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J. Dry matter partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, p. 71–84, 2002.

INMAN-BAMBER, N.G.; SINGELS, A.; MUCHOW, R.C. A systems approach to benchmarking for sugarcane production in Australia and South Africa. In: INTERNATIONAL SOCIETY SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 72., 1998, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: Sugar Journal, 1998. p. 3-9.

INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SPILLMAN, M.F.; HEWITT, M.L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 59, n. 1, p. 13-26, 2008.

JONES, C.A.; WEGENER, M.K.; RUSSELL, J.S.; MCLEOD, I.M.; WILLIAMS, J.R. **AUSCANE D**: simulation of Australian sugarcane with EPIC. Brisbane: CSIRO, Division of Tropical Crops & Pastures, 1989. 99 p. (Technical Paper, 29).

JONES, J.W.; KINIRY, J.R. **Ceres-maize**: a simulation model of maize growth and development. College Station: Texas A&M University Press, 1986. 56 p.

KEATING, B.A.; HUTH, N. APSIM: a framework for modelling sugarcane production systems. In: ROBERTSON, M.J. (Ed.). **Research and modelling approaches to assess sugarcane production opportunities and constraints**. St. Lucia: University of Queensland, 1995. p. 71-79.

KEATING, B.A.; LIU, D.L.; INMAN-BAMBER, N.G.; ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; KINGSTON, G. Comparison of levels of approach in modelling sugarcane potential yield. In: ROBERTSON, M.J. (Ed.). **Research and modelling approaches to assess sugarcane production opportunities and constraints**. St. Lucia: University of Queensland, 1995. p. 43-51.

KORNDÔRFER, G.H.; PRIMAVESI, O.; DEUBER, R. Crescimento e distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em solo LVA. **Boletim Técnico Copersucar**, Piracicaba, v. 1, n. 47, p. 32-36, 1989.

LEME, E.J.A. **Otimização da irrigação da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) via coeficientes culturais, função de produção e programação dinâmica**. 1991. 399 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

LIMA, A.A.C.; OLIVEIRA, F.N.S.; AQUINO, A.R.L. de. **Solos e aptidão agrícola das terras do Estado do Tocantins**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. 27 p.

LIU, D.L.; BULL, T.A. Simulation of biomass and sugar accumulation in sugarcane using a process-based model. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 144, p. 181–211, 2001.

LIU, D.L.; KINGSTON, G. A simulation model of sugarcane growth and sugar accumulation: QCANE. In: ROBERTSON, M.J. (Ed.). **Research and modelling approaches to assess sugarcane production opportunities and constraints**. St Lucia: University of Queensland, 1995. p. 25-30.

LUCCHESI, A.A. Cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*). In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. **Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira**. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. p. 13-45.

MACHADO, E.C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 56-87.

MAGALHÃES, A.C.N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; TSUIOSHI, Y. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 249.

MARIN, F.R.; SUGUITANI, C.; PALLONE FILHO, W.J. ; POLZER, D.L. ; VIANA, M.S. Avaliação do modelo canegro/dssat para quatro cultivares de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Anais...** Campinas: SBAGRO, 2009. v. 1, p. 1-5.

MARIN, F.R.; JONES, J. W.; ROYCE, F.; SUGUITANI, C.; DONZELI, J.L.; PALLONE FILHO, W.J.; NASSIF, D.S.P. Parameterization and evaluation of predictions of DSSAT/CANEGRO for sugarcane Brazilian productions systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, p. 100-110, 2011.

MARUN, F. Propriedades físicas e biológicas de um latossolo vermelho-escuro do arenito caiuá sob pastagem e culturas anuais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 8, p. 593-597, 1996.

MATIOLI, C.S. **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*) ciclo cana soca: um modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**. 1998. 98 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

MCCOWN, R.L.; HAMMER, G.L. HARGREAVES, J.N.G.; HOLWORTH, D.P.; FREEBAIRN, D.M. APSIM: a model software system for model development, model testing and simulation systems research. **Agricultural Systems**, Essex, v. 50, p. 255-271, 1996.

MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J. Relating crop nitrogen uptake to sugarcane yield. In: AUSTRALIAN SOCIETY SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONFERENCE, nº ???, 1994, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: Sugar Journal, 1994. p. 122-130.

MUCHOW, R.C.; EVENSON, C.; OSGOOD, R.V.; ROBERTSON, M.J. Yield accumulation in irrigated sugarcane. II. Utilization of intercepted radiation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 646-652, 1997.

NASSIF, D.S.P. **Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/CANEGRO para variedades brasileiras de cana-de-açúcar**. 2010. 92 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

NORSYS Netica™ Application: a complete software package to solve problems using Bayesian belief networks and influence diagrams. Disponível em: <<http://www.norsys.com/netica.html>>. Acesso em: 15 jun. 2004.

O’LEARY, G.J. A review of three sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 68, p. 97-111, 2000.

OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; WEBER, H.; BESPALHOK-FILHO, J.C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; SILVA, D.K.T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, p. 71-76, jun. 2007

OMETTO, J.C. **Uma equação para estimativa de evapotranspiração potencial; sua aplicação no cálculo das necessidades hídricas e do rendimento agroindustrial da cana-de-açúcar na região de Piracicaba- SP**. 1974. 129 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1974.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. Um simulador dinâmico do crescimento de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 45, p. 107-122, 1986.

PERES, F.C. **Determinação dos coeficientes de cultura (Kc) da cana-de-açúcar: ciclo de cana soca**. 1988. 94 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

_____. **Confinamento de gado de corte: um modelo de análise de decisão**. 1990. 74 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

PERES, J.G.; SCÁRDUA, R.; VILLA NOVA, N.A. Coeficiente de cultura (Kc) para cana-de-açúcar: ciclo de cana-soca. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, n. 62, p. 1-2, maio/jun. 1992.

PROBERT, M.E.; DIMES, J.P.; KEATING, B.A.; DALAL, R.C.; STRONG, W.M. APSIMs water and nitrogen modules and simulation of the dynamics of water and nitrogen in fallow systems. **Agricultural Systems**, Essex, v. 56, p. 1-28, 1998.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal Agronomy & Crop Science**, Madison, v. 185, p. 83-89, 2000.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot, mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal Agronomy & Crop Science**, Madison, v. 185, p. 249-258, 2000.

RAMOS, F.A.P. **Comportamento da cana-de-açúcar SP791011, submetida a diferentes épocas de plantio em duas condições edafoclimáticas**. 2006. 51 p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

ROBERTSON, M.J.; WOOD, A.W.; MUCHOW, R.C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. I. Radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 11-25, 1996.

ROBERTSON, M.J.; INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C.; WOOD, A.W. Physiology and productivity with early and mid-season water deficit. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 64, p. 211-227, 1999.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. 100 p.

ROSENFELD, U. **Determinação do período crítico de deficiência hídrica para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1989. 88 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

ROSENFELD, U.; LEME, F.J.A. Produtividade da cana-de-açúcar irrigada por aspersão: estudo de épocas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3., 1984, São Paulo, **Anais...** São Paulo: STAB, 1984. p. 77-84.

SAFRASNET. **A produção de açúcar no Estado de Alagoas**. Disponível em: <www.safrasnet.com.br>. Acesso em: 25 nov. 2003.

SANTOS, M.A.L. **Irrigação suplementar em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): Um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas**. 2005. 101 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SCARDUA, R. **O clima e a irrigação na produção agro-industrial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1985. 122 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 373-431.

SCARDUA, R.; SOUZA, J.A.G.C. Comportamento da cultura de cana-de-açúcar irrigação por gotejamento. In: SEMINÁRIO NACIONAL DA IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., 1975, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABID, 1975. p. 27.

SCARPARI, M.S. **PREDPOL: um modelo de previsão da maturação da cana-de-açúcar visando planejamento otimizado**. 2007. 120 p. (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SINCLAIR, T.R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, Madison, v. 29, p. 90–98, 1989.

SINCLAIR, T.R.; MUCHOW, R.C. Radiation use efficiency. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 65, p. 215–265, 1999.

SINGELS, A.; BEZUIDENHOUT, C.N. A new method of simulating dry matter partitioning in the Canegro sugarcane model. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 78, p. 151–164, 2002.

SINGELS, A.; INMAN-BAMBER, N.G. The responses of sugarcane to water stress: preliminary results from a collaborative project. **Proceedings South African Sugar Technologists Association**, Durban, v. 76, p. 240–244, 2002.

SINGELS, A.; SMIT, M.A. The effect of row spacing on an irrigated plant crop of sugarcane variety NCo376. **Proceedings South African Sugar Technologists Association**, Durban, v. 76, p. 94–105, 2002.

SOUSA, E.F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J.A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 28-42, set. 1999.

SOUSA, I.C. de; LEME, E.J.A.; ROSENFELD, U.; BATISTELLS, J.R.; BARBBIERI, V. Irrigação da cana-de-açúcar na região Norte Fluminense: Viabilidade Técnico-econômica. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 1-34, maio 1980.

SOUZA, Z.M. ; PAIXÃO, A.C.S.; PRADO, R.M.; CESARIN, L.G. ; SOUZA, S.R. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1062-1068, 2005.

SUGUITANI, C. **Fenologia da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sob efeito do fósforo**. 2001. 79 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

THOMPSON, G.D. Water use by sugarcane. **The South African Sugar Journal**, Durban, v. 60, n. 11, p. 592-600, 1976.

TROPPEMAIR, H. **Biogeografia e meio ambiente**. Rio Claro: Edição Própria, 1987. 275 p.

TURBAN, E. **Decision support and expert system: management support systems**. New York: Macmillan, 1993. 833 p.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA. Disponível em: Disponível em: <<http://www.udop.com.br>>. Acesso em: 04 out. 2010.

USINA CORURIBE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A. **Demonstrativo agrícola**. 2004. Disponível em: <<http://www.usinacoruripe.com.br/>>. Acesso em: 23 de dezembro de 2010.

VAZQUEZ, R. **Water requirements of sugarcane under irrigation in Lajas Valley**, Puerto Rico: University of Puerto Rico, Agricultural Experiment Station, 1970. 38 p. (Bulletin, 224).

WALLACE, J.S. Calculating evaporation: resistance to factors. **Agricultural and Forest Meteorology**, Wallingford, v. 73, n. 3, p. 353-366, 1995.

WIEDENFELD, R.P. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilizer. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 43, p. 173–182, 2000.

YARRI, M.E. Some remarks on measures of risk aversion and their uses. **Journal of Economic Theory**, Ithaca, v. 1, n. 3, p. 315-329, Oct. 1969.

YOON, K.P., HWANG, C. **Multiple attribute decision making: an introduction**. Thousand Oaks: SAGE, 1995. 75 p. (University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 7-104).

ZHANG, M.Q.; CHEN, R.K. Diurnal variation of gas exchange and photochemical efficiency, and their response to light and temperature in sugarcane. **Sugar Cane International**, Mount Edgecombe, v. 92, n. 3, p. 5–12, 2000.

ANEXO

1. Manuseio do DSSAT - CANEGRO

Muitos detalhes sobre o manuseio sobre o DSSAT foram retirados de “DSSAT v4.5 - Canegro Sugarcane Plant Module - User Documentation” (Jones e Singels, 2008).

1.1 Criação dos Arquivos de Clima

Antes da criação dos arquivos de clima, os dados obtidos das estações meteorológicas eram processados e corrigidos as falhas, naqueles casos em que as falhas correspondiam a um grande número de dias, esses anos eram descartados e selecionados outros. Para a correção de falhas simples (intervalo pequeno de dias), utilizou-se a metodologia proposta por Heinemann et al. (2007). Essas correções são importantes já que o modelo considera os dados meteorológicos faltantes como erro, impedindo que a simulação seja realizada. Vale ressaltar que em outras opções, como exemplo dados de solo, o modelo permite preencher os dados faltantes com o número/código “-99”, isso também é válido para os dados meteorológicos, no entanto, no momento da simulação o programa irá acusar um erro e a simulação não será realizada.

A criação dos arquivos foi feita através do ícone “Weather data”, localizado na tela principal do programa, esse ícone dá acesso ao programa “Weatherman”.

No “Weatherman” seguiu-se os seguintes procedimentos para criação das estações, consequentemente nos arquivos de clima:

File > New Station, em seguida foi selecionada a opção “Input or import raw weather data and then save as a new station” (Figura 18). Ao clicar essa opção abriu-se uma caixa de texto para que os dados das estações fossem digitados, ou importados de algum arquivo (.exe ou .txt).

Figura 18 - Visualização do programa Weatherman

Após a importação dos dados, os mesmos foram correlacionados com as variáveis, isso foi feito clicando, com o botão direito do mouse, nas células em azul (Figura 19). Nas propriedades da coluna foi informada a variável e a unidade utilizada.

Figura 19 - Importação dos dados (esquerda) e seleção das variáveis e unidades correspondente a cada coluna

Após informado todas as propriedades das colunas, deletou-se os textos, e clicou-se no botão “Import Data into Wm” (o oitavo ícone da esquerda para a direita), a partir dessa ação o programa solicitou que fosse criado um código para a estação, esse deve conter 4 dígitos (exemplos: PETR, GURU, TERE). Em seguida, outros detalhes

sobre a estação são requisitados como: Latitude, Longitude e Altitude. Se já houver alguma estação cadastrada com essas coordenadas o programa acusará um erro. Para finalizar o seguinte procedimento foi realizada a ação: Save station> Write files.

No nome das estações não foi utilizado alguns caracteres como acentos e cedilhas, já que o programa reconhece como erro e impossibilita que o arquivo seja salvo.

Esse procedimento foi realizado para todas as estações.

Após a criação das estações, os detalhes sobre estas podiam ser vistos em C:/DSSAT/TOOLS/WEATHERMAN/DATA e para visualizar cada ano de dado individualmente: C:/DSSAT/WEATHER. Nesses arquivos são possíveis modificar os dados, caso haja a necessidade de corrigir algum dado.

1.2 Criação dos Arquivos de Solo

Cada solo no DSSAT é definido como um perfil do solo e armazenado em um arquivo de solo. Os solos são nomeados e codificados. O código de solo é utilizado no experimento de arquivo para se referir a informação sobre ele. Cada perfil tem um número de camadas. Cada camada é associada com determinadas características físicas e químicas. O DSSAT-Canegro utiliza apenas aspectos físicos.

A criação dos arquivos de solo é feita através do DSSAT Sbuild que é acessado através do link “Soil Data” no menu principal.

No menu principal selecione a opção “NEW”. Depois, insira os dados gerais do solo. Após ter preenchido todos os dados do solo, clique em Profile > Save, em seguida, File > Save.

1.3 Criação de uma Nova Variedade no CANEGRO

O tipo de experimento utilizado para gerar todos os dados necessários a criação/calibração de uma nova cultivar no modelo ainda não é definido, ou seja, não há uma padronização de como ele deve ser conduzido.

Os parâmetros genéticos são usados para representar o controle genético de como a cana-de-açúcar responde aos fatores ambientais e de manejo. Estes são normalmente agrupados em três categorias: espécies (valores idênticos para todas as cultivares), ecótipo (valores idênticos para os grupos de cultivares semelhantes) e parâmetros da cultivar (específico para cultivares). Maiores detalhes sobre calibração de novas cultivares pode ser encontrado em Jones e Singels (2008) e seguindo os mesmos autores, os seguintes passos foram usados para cadastrar uma nova cultivar (SP83-2847):

Na pasta C: \ DSSAT4 \ Genótipo, o arquivo SCCAN045.cul foi aberto utilizando o bloco de notas. Uma das cultivares já cadastradas no modelo foi copiada e colada no final do arquivo (Figura 20).

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
TBFT	25	Sucrose accumulatio	stalk (t/t) Sucrose partitioning: Temperature at which partitioning of unstressed stalk mass increments to sucrose is 50% of the maximum value	"1"
Tthalf	250	Canopy - CANESIM	Thermal time to half canopy (ocd)	
Tbase	16	Canopy - CANESIM	Base temperature for canopy development (ocd)	
LFMAX	12	Canopy - leaves	Maximum number of green leaves a healthy, adequately-watered plant will have after it is old enough to lose some leaves.	
MXLFAREA	360	Canopy - leaves	Max leaf area assigned to all leaves above leaf number MXLFARNO (cm2)	Ir
MXLFARNO	14	Canopy - leaves	Leaf number above which leaf area is limited to MXLFAREA	Ir
PI1	69	Leaf phenology	Phyllocron interval 1 (for leaf numbers below Pswitch, oc.d (base TTBASELFEF))	Ir
PI2	169	Leaf phenology	Phyllocron interval 2 (for leaf numbers above Pswitch, oc.d (base TTBASELFEF))	Ir
PSWITCH	18	Leaf phenology	Leaf number at which the phyllocron changes.	Ir
MAX_POP	30	Tiller phenology	Maximum tiller population (stalks/m2)	
POPTT16	13.3	Tiller phenology	Stalk population at/after 1600 degree days (/m2)	
TTPLNTEM	428	Phenology	Thermal time to emergence for a plant crop (degree C days, base TTBASEEM)	
TTTRATNEM	203	Phenology	Thermal time to emergence for a ratoon crop (degree C days, base TTBASEEM)	
CHUPIBASE	1050	Phenology	Thermal time (baseTTBASEEM) from emergence to start of stalk growth	
TT_POPGROWTH	600	Phenology	Thermal time to peak tiller population (deg C days, TTBASEPOP)	
LG_AMBASE	220	Lodging	Aerial mass (fresh mass of stalks, leaves, and water attached to them) at which lodging starts; t/ha	
.....				
!<NUM>	!<NAME>	!<ECO#>	!<MaxPARCE>	!<APFMX>
@VAR#	VAR-NAME.....	ECO#	MaxPARCE	APFMX
IB0001	NCo376-NO_LODGE	SC0001	9.90	0.88
IB0002	NCo376	SC0001	9.90	0.88
IB0003	NCo376-CANESIM	SC0001	9.90	0.88
IB0004	N31	SC0002	9.90	0.90
IB0005	N37	SC0003	9.90	0.88
IB0006	CG1	SC0004	9.90	0.88
IB0007	CG2	SC0005	9.90	0.88
IB0008	CG3	SC0006	9.90	0.88
IB0010	NCo376-Unsafe	SC0001	9.90	0.88
IB0002	NCo376	SC0001	9.90	0.88

Figura 20- Visualização do arquivo SCCAN045.cul e inserção de nova cultivar

A nova linha adicionada foi editada, primeiro mudando-se a coluna da @VAR#, mudando o valor de IB0002 para IB0011, caso fosse adicionada um outra cultivar o código seria IB0012 e assim por diante, depois os outros dados também foram modificados, um a um, baseados na calibração comentada anteriormente.

1.4 Criação dos Cenários e Tratamentos

O programa DSSAT permite que vários tratamentos sejam criados de uma só vez, não necessitando criar tratamentos individualmente, para isso cadastra-se separadamente dados de local; época de plantio, época de colheita, manejo da área, cultivar utilizada, após isso pode-se configurar as diversas opções. Para a criação dos cenários e tratamentos os seguintes passos foram adotados:

Primeiramente, no menu principal, clicar em NEW> EXPERIMENT, essa ação abre o programa “XBUILD”, nele a opção “File type” utilizada foi a “Experimental”; no “Experiment Identifier” foram colocados os dados que iriam dar nome ao arquivo utilizado na simulação e a opção “Sugarcane” foi selecionada em “CROP”, outras informações gerais são preenchidas, no entanto, os dados localizados na área PLOT não foram preenchidos, após isso foi clicado no botão “NEXT” (Figura 21).

The screenshot shows the SBuild software interface. At the top is a menu bar with 'File', 'Environment', 'Management', 'Treatments', 'Simulation Options', 'Refresh', and 'Help'. Below the menu bar is a 'General Information' section. It contains a 'File Type' dropdown menu set to 'Experimental'. Below this is an 'Experiment Identifier (file name)' section with fields for 'Institute Code', 'Site Code', 'Year', 'Experiment Number', and 'Crop' (set to 'Sugarcane'). To the right of these fields is a 'General Information' section with fields for 'People', 'Address', and 'Site'. Further down is a 'Plot' section. It contains two sub-sections: 'Plot Information' with fields for 'Gross Plot Area per rep, m2', 'Rows per Plot', 'Plot Length, m', 'Plots Relative to Drains, degrees', 'Plot Spacing, cm', and 'Plot Layout'; and 'Harvest Information' with fields for 'Harvest Area, m-2', 'Harvest Row Number', 'Harvest Row Length, m', and 'Harvest Method'. At the bottom right of the interface is a 'Next >' button.

Figura 21 - Visualização da página principal do SBuild, local inicial para confecção dos cenários

O próximo passo foi selecionar a cultivar utilizada (Figura 22). Após o cadastro da nova cultivar essa já está disponibilizada para a sua seleção nesse menu.

Level	Crop	Cultivar
1	Sugarcane	SP832847

Add Delete

Figura 22 - Visualização da Cultivar SP83-2847 cadastrada no CANEGRO

Em seguida fez-se a caracterização da área experimental com os dados de clima e solo conforme Figura 23. Antes de iniciarmos a escolha da estação, foi clicado no botão “REFRESH”, para que o modelo reconhecesse e disponibilizasse as novas estações e as cultivares cadastradas. Para adicionar outra condição de campo, basta clicar no botão “Add” e refazer as escolhas. Ao final, foi clicado no botão OK/next.

Level	Description
1	PARANAVAI

Add Delete

Field Details Additional Information

Level 1 Field ID (8 characters) ALLAN001

Weather Station

Name: Paranavai IAPA

Soil

Name: LAMERCY (SA. SOL) SALA900001

Surface Texture: Clay loam

Depth, cm Surface stones

Drainage

Drainage Type: No drainage

Drain Depth, cm Drain Spacing, m

Cancel

Figura 23 - Local no SBuild onde são selecionadas as estações e escolhido o tipo de solo

A próxima opção foi cadastrar a época de plantio e colheita. Para escolher a época de plantio clicou-se na opção Management> Planting (Figura 24). Nessa opção é selecionada a época de plantio, método de plantio, a população de sementes, a

profundidade de plantio e o espaçamento. Há a possibilidade de ter mais de uma opção de época de plantio, para isso basta clicar na opção “Add”, como já dito anteriormente.

Planting

Level	Description
1	Plantio em JAN
2	Plantio em SET

Buttons: Add, Delete

Level 2

Year: 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005

Planting Date (MM/dd/yyyy): 09/15/2000

Emergence Date (MM/dd/yyyy):

Planting Method: Ratoon

Planting Distribution: Rows

Row Spacing, cm: 140

Plant Population at Seeding, plants m-2: 14

Row Direction, degrees from North:

Plant Population at emergence, plants m-2:

Planting Depth, cm: 20

Figura 24 - Determinação do ciclo, método de plantio, distribuição do plantio, espaçamento, população de plantas e profundidade de plantio

Procedimento semelhante foi feito para a escolha da época de colheita, para acessar essa opção fez-se: Management> Harvest. Nesta tela foi preenchida a data que a colheita seria realizada.

O programa ainda permite selecionar algumas opções de simulação, isso foi realizado na opção “Simulation options”, localizado na barra de Menu. Dentro do “Simulation options” na opção “GENERAL” foi colocada a data que a simulação deveria ser iniciada, na opção seguinte “OPTIONS” apenas a simulação para a água é habilitada; na opção “Methods” há a possibilidade de selecionar qual o método de evapotranspiração deverá ser utilizado, baseado nos dados cadastrados das estações; na opção “Management” há uma série de sub-itens dentre eles “Planting” e “Harvest” que devem ser mantidos como “On reported date”, outro sub-item é o “Irrigation and water management”, nesse pode-se diferenciar os tratamentos não irrigados “not irrigated” e em irrigados “Automatic when required” (Figura 25).

Management

Level 2

Irrigation and Water Management

Automatic when required

Management depth, cm: 70

Threshold, % of max available: 50

End point, % of max. available: 100

Method: Sprinkler, mm

End of application, growth stage: GS000

Amount, mm: 10

Efficiency fraction: 1

Figura 25 - Visualização das Opções de Manejo para os cenários do SBuild

Após a série de opções habilitadas partiu-se para a confecção dos cenários/tratamentos isso foi feito através da opção “Treatments”, localizado na barra de menu. Como para cada etapa foi criada mais de uma opção de: local de plantio (solo e clima), épocas de plantio, épocas de colheita e opções de simulação (irrigado e não irrigado), nos tratamentos correlacionou-se cada opção e criou-se os tratamentos (Figura 26).

	Level	Description	Cultivar	Field	Soil. Anal.	Init. Cond.	Plant.	Irrigat.	Fertil.	Resid.	Chem. App.	Tillage	Env. Mod.	Harv.	Sim. Contr.
▶	1	J/04/S	1	1			1								1
	2	J/04/I	1	1			1				1 - jan05				2
	3	M/04/S	1	1			2				2 - mar05				1
	4	M/04/I	1	1			2				3 - set05				2
	5	S/04/S	1	1			3				4 - nov05				1
	6	S/04/I	1	1			3				NONE				2
	7	N/04/S	1	1			4							4	1
	8	N/04/I	1	1			4							4	2

Figura 26 - Confecção dos tratamentos no SBuild

Finaliza-se a construção dos cenários salvando as alterações feitas em File>Save.

1.5 Rodando o modelo

Após a criação dos cenários o modelo foi rodado na tela principal do DSSAT. Primeiramente selecionou-se o tipo de cultura utilizada na simulação (ponto 1), essa ação abre os experimentos confeccionados, em seguida clicou-se no botão atualizar (ponto 2), para que o modelo atualize as alterações/criações feitas (Figura 27). Em

seguida selecionou-se o experimento que seria simulado e clicou-se em RUN (Figura 28), e assim foi aberta outra tela.

Figura 27 - Visualização da Tela principal do DSSAT e seleção do tipo de cultura que será simulada (1) e local para atualizar os experimentos (2)

Figura 28 - Seleção do experimento que será simulado e destaque do botão utilizado para rodar a simulação

1.7 Visualização dos resultados

O DSSAT possibilita a visualização dos resultados na forma de arquivo de texto e alguns em forma de gráfico. Na mesma janela que foi aberta para rodar as simulações, na aba “Analysis”, foi possível visualizar os resultados (Figura 29). Outra forma de visualizar os resultados foi através de C: \DSSAT4\ SUGARCANE, no entanto, a cada nova simulação os arquivos são substituídos pelas novas simulações.

Figura 29 - Seleção dos resultados que desejam ser visualizados