

1 **MODELO DETERMINÍSTICO DE ESTIMAÇÃO DE PRODUTIVIDADE PARA A CULTURA DA**
2 **CANA-DE-AÇÚCAR PARA A REGIÃO DE CAMPINAS, SÃO PAULO**

3
4 Marcos Silveira Bernardes; Durval Dourado Neto; Thomas Newton Martin; Nilson Augusto Villa Nova;

5 Paulo Augusto Manfron

6
7 *Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de*
8 *São Paulo, E-mail: msbernar@esalq.usp.br e dourado@esalq.usp.br, Bolsista CNPq.*

9
10 **1 RESUMO**

11 Com o objetivo de apresentar um modelo determinístico para obtenção da produtividade potencial e
12 real de colmos de cana-de-açúcar, para a região de Campinas (SP), utilizaram-se dados meteorológicos de
13 Campinas (SP). O modelo determinístico tem como característica o acúmulo de carboidrato diário, para cana
14 planta, soca e ressoca, através de diferentes estimativas de áreas foliares para cada cultivo. Para a obtenção
15 dos valores de produtividades potenciais foram realizadas seis diferentes simulações (com e sem deficiência
16 hídrica e radiação solar máxima e real) para as condições de (i) cultivo de cana-de-ano (plantio realizado em
17 1/10/1996 e a colheita em 30/9/1997, 12 meses); (ii) cultivo-de-inverno, (plantio realizado em 1/7/1996 e a
18 colheita em 31/8/1997, 14 meses) e (iii) o cultivo de cana-de-ano e meio (plantio em 1/03/1996 e a colheita
19 para 31/8/1997, 18 meses). Como resultados o modelo para o cálculo da produtividade potencial e
20 produtividade real de cana-de-açúcar apresenta resultados coerentes com os obtidos na literatura e em
21 experimentos a campo e o potencial produtivo para a cana-de-açúcar pode chegar a $370 \text{ t.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ de colmos,
22 sendo que a produtividade média das lavouras comerciais pode ser dobrada pela correta utilização de
23 genótipos e manejo adequado.

24 **UNITERMOS:** Produtividade potencia e real, assimilação de dióxido de carbono, índice de área foliar.

25
26 **BERNARDES, M.S.; DOURADO NETO, D.; MARTIN, T.N.; VILA, N.A.V.; MANFRON, P.A.**

27 **DETERMINISTIC MODEL OF ESTIMATE OF PRODUCTIVITY FOR THE SUGAR CANE**

28 **CULTURE FOR CAMPINAS, STATE OF SÃO PAULO**

2 ABSTRACT

With the purpose of presenting a model deterministic for obtaining of the potential and real productivity of sugar cane stems, for the city of Campinas (SP), meteorological data of Campinas were used. The model deterministic has as characteristic the accumulation of daily carbohydrate, for first, second and third cane, through different estimates of areas foliate for each cultivation. For the obtaining of the values of potential productivities six different simulations were accomplished (with and without deficiency hydric and maximum and real solar radiation) for the conditions of (i) cane-of-year cultivation (planting accomplished in 1/10/1996 and the crop in 30/9/1997, 12 months); (ii) cultivation-of-winter, (planting accomplished in 1/7/1996 and the crop in 31/8/1997, 14 months) and (iii) the cane-of-year cultivation and half (planting in 1/03/1996 and the crop for 31/8/1997, 18 months). As results the model for the calculation of the potential productivity and real productivity of sugar cane presents coherent results with obtained them in the literature and in experiments to field and the productive potential for the sugar cane can arrive to 370 t.ha⁻¹.a⁻¹ of stems, and the medium productivity of the commercial farming can be bent by the correct genotypes use and appropriate handling.

KEYWORDS: Real and potential productivity, assimilation of carbon, leaf index area

3 INTRODUÇÃO

Dos cultivos agrícolas comerciais a cultura da cana-de-açúcar é o mais antigo desenvolvido no Brasil e continua como um dos mais importantes. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool. A produtividade da cultura de cana-de-açúcar é influenciada por diversos fatores. Inicialmente, há que se considerar a interação do genótipo com o ambiente. Adicionalmente, deve-se levar em consideração a época e a modalidade de colheita a serem adotadas. Entre os fatores do ambiente, os de clima, como radiação solar, umidade e temperatura, têm importância preponderante os são aqueles que afetam mais diretamente a produção e influenciam desde o preparo do solo, aplicação de herbicidas, até a colheita, o transporte e o armazenamento dos produtos (Pereira et al., 2002). Em seguida podem ser citados os de solo, com suas propriedades químicas, físicas e biológicas e os de manejo como controle da erosão, plantio, controle de plantas daninhas, descompactação do solo, controle de pragas e doenças e da colheita como o controle da

1 maturação, corte, carregamento e transporte e as prática da irrigação. Estudos que relacionam as
2 características climáticas (Doorembos & Kassan, 1994), físicas e químicas do solo são úteis para
3 determinação do potencial produtivo de determinada cultura (Bernardes et al., 2002, 2003; Teramoto, 2003),
4 sendo que as características de solo são mais tradicionais nessa determinação (MALAVOLTA, 1982;
5 Orlando Filho, 1983; Raij et al., 1985).

6 Segundo Evans (1993), a produtividade potencial de grãos é a produção de uma cultivar em ambiente
7 ao qual ela esta adaptada, onde não existem limitações edafoclimáticas e nutricionais, livre da ação de pragas
8 e doenças, e com os demais estresses efetivamente controlados. Isso representa a produtividade máxima da
9 cultura quando todos os outros fatores limitantes da produtividade são removidos ou minimizados
10 independentes da viabilidade econômica do sistema. Segundo Cooper (2003), os objetivos de estudarem-se
11 as produtividades máximas são: (i) tentar repetir nos campos de multiplicação as produtividades encontradas
12 nas parcelas experimentais; (ii) detectar os fatores limitantes da produção de uma cultura e (iii) identificar as
13 produtividades máximas passíveis.

14 Atualmente, muitos estudiosos estão sugerindo que o potencial produtivo das culturas está sendo
15 atingido, e que aumentos nos rendimentos logo cessarão. As estimativas para o comportamento das
16 produções de cereais não são unânimes. Estimativas do Banco Mundial e da FAO, baseadas em tendências
17 de crescimento que se tem mantido praticamente constante desde 1950, apontam para um crescimento da
18 produção mundial de grãos (Coelho et al., 2003). Por outro lado, o Ministério da Agricultura do Japão indica
19 que as condições da agricultura mudaram durante os últimos anos e que os rendimentos que aumentaram
20 linearmente entre 1960 e 1990 não deverão continuar aumentando no futuro (Gasques & Villa Verde, 1998).

21 A cana-de-açúcar, sendo uma planta de metabolismo C4, cresce melhor quando exposição à radiação
22 solar direta em alta intensidade de radiação e não há restrições hídricas e nem nutricionais. Assim, altas
23 produtividades da cultura da cana-de-açúcar são obtidas quando se busca maximizar o crescimento em de
24 todas as fases do ciclo. Rosenfeld (1989), afirma que para cada tipo de planta e solo existe uma produção
25 máxima teórica, e este máximo somente será obtido sob condições ideais de clima e solo, estando às plantas
26 dispostas em espaçamentos ideais. Já para maximizar a rentabilidade devem-se otimizar, inicialmente, os
27 processos que acrescentem mínimo dispêndio econômico e somente após implementar tecnologias cujo
28 retorno econômico não seja óbvio, após criteriosa avaliação da relação benefício/custo.

1 O objetivo do presente trabalho é apresentar um modelo determinístico para obtenção da
2 produtividade potencial e real de colmos de cana-de-açúcar, para a região de Campinas (SP).

4 MATERIAL E MÉTODOS

5 Para o cálculo da produtividade potencial de cana-de-açúcar utilizaram-se os dados médios diários,
6 dos anos de 1996 e 1997, de temperatura mínima e máxima, insolação, precipitação, umidade relativa do ar e
7 velocidade do vento a 2 metros de altura da superfície do solo fornecidos pelo Instituto Agrônomo de
8 Campinas – IAC, de Campinas, SP, localizada a 22°53'S de latitude, 47°05'W de longitude e 669 metros de
9 altitude.

10 A produtividade potencial da cultura da cana-de-açúcar (P , t.ha⁻¹.dia⁻¹) de colmos foi estimada através
11 do modelo proposto por Villa Nova & Pilau (2004), definido pela equação (1), com algumas modificações. E
12 a produtividade final foi obtida através do somatório dos dias de acumulação de carboidratos.

$$P = 1,27 \times 10^{-4} \times Adc \times IAF \times N_{dia} \times CR \times CIAF \times IC \quad (1)$$

13 em que, Adc é volume médio de CO₂ fixado em μL.CO₂.cm⁻² de folha.hora⁻¹, em função da radiação
14 fotossinteticamente ativa (Q_{PAR} , valor médio diário de todo o ciclo em cal.cm⁻².min⁻¹); IAF é o índice de área
15 foliar do dia em questão (m².m⁻²); N_{dia} é a duração diária do período de assimilação de dióxido de carbono
16 (em horas); CR é a correção de respiração de manutenção e crescimento, assumindo os seguintes valores em
17 função da temperatura média do ar (\bar{T}) do ciclo:

$$CR = 0,6 \text{ para } \bar{T} < 20 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2) \quad CR = 0,5 \text{ para } \bar{T} > 20 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3)$$

18 A estimativa da assimilação do dióxido de carbono (CO₂), para plantas C4, em relação à temperatura
19 e a radiação solar foi realizada por Medeiros et al. (2003), com base nos dados descritos por Heemst (1986)
20 expresso pela equação:

$$Adc = a.e^{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{c} \left[\ln \left(\frac{q}{b} \right) \right]^2 + \frac{1}{f} \left[\ln \left(\frac{T}{d} \right) \right]^2 \right\}} \quad (4)$$

21 em que Adc se refere à assimilação de CO₂ (μL.cm⁻².h⁻¹), q à radiação solar absorvida
22 (cal.cm⁻².min⁻¹, 0 < q ≤ 0,4), T à temperatura média do ciclo (°C, 15 ≤ T ≤ 35), e a , b , c , d , f aos parâmetros

1 empíricos determinados através de análise de regressão múltipla ($a = 262,9636617 \mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$; $b =$
 2 $0,468547664 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$; $c = 1,230198161$; $d = 33,54420813 \text{ }^\circ\text{C}$; $f = 0,538660895$).

3 O valor \bar{q} (fração PAR da radiação solar) da equação (4) é calculado de acordo com ASSUNÇÃO
 4 (1994) pela equação (5):

$$\bar{q} = \frac{\bar{Q}g}{N \cdot 60} \left(0,5 - 0,1 \frac{n}{N} \right) \quad (5)$$

5 em que \bar{q} é a radiação PAR medida para o ciclo ($\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$); $\bar{Q}g$ é a radiação solar global média diária
 6 do ciclo ($\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$); N é o fotoperíodo médio do ciclo (horas), para um ano igual a 12 horas; n/N – razão
 7 de insolação média do período (ciclo inteiro).

8 O índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$) foi calculado para cada um dos dias do ciclo conforme
 9 metodologia descrita por Teruel et al. (2003) para cana-planta (IAF_{pl}) e cana soca (IAF_{pc}) e ressoça
 10 (IAF_s) respectivamente.

$$IAF_{pl} = e^{-13,521} * \left(\sum GDD_{st} \right)^{2,784} * e^{-0,004023 * \sum GDD_{st}} \quad (6)$$

$$IAF_{pc} = e^{-17,7071} * \left(\sum GDD_{st} \right)^{3,373} * e^{-0,004265 * \sum GDD_{st}} \quad (7)$$

$$IAF_{sc} = e^{-20,207} * \left(\sum GDD_{st} \right)^{3,832} * e^{-0,004936 * \sum GDD_{st}} \quad (8)$$

11 O cálculo do GDD é realizado segundo o seguinte critério:

Quando $T_m > T_b$, então:

(9) Quando $T_m \leq T_b$, então:

(10)

$$GDD = \left(\frac{TM + Tm}{2} \right) - Tb$$

$$GDD = \frac{(TM + Tb)^2}{2(TM + Tm)}$$

12 em que GDD é o acúmulo de graus dias; TM é temperatura máxima diária; Tm é a mínima temperatura
 13 diária; Tb é a temperatura basal. Segundo Bachi & Souza (1978) a temperatura basal para o crescimento da
 14 cultura da cana-de-açúcar é de 18°C . Os valores de GDD para cada dia devem ser corrigidos com a taxa entre
 15 o comprimento do dia em horas e às 12 horas da seguinte forma:

$$GDD_{st} = GDD * N/12 \quad (11)$$

1 CIAF é a correção de índice de área foliar proposto por Villa Nova et al. (2001) determinado pela
2 equação (12):

$$CIAF = \frac{1 - e^{-0,8IAF}}{2} \quad (12)$$

3 O índice de colheita (IC) representado pela fração de colmos secos (FCS) colhidos em relação à
4 fitomassa seca total elaborada (P). De acordo com Larcher (2000) o índice de colheita torna-se de acordo
5 com a equação (13):

$$IC = 0,85 \quad (13)$$

6 O cálculo da evapotranspiração utilizado foi o de Penman-Monteith (Padrão FAO – 1998), sendo um
7 método micrometeorológico, descrito por Monteith (1965), e adaptado por Allen et al. (1989), para
8 estimativa da evapotranspiração de referência na escala diária. Considerou-se como capacidade de água
9 disponível (CAD) para todo o ciclo como sendo 45 em média.

10 O balanço hídrico utilizado foi baseado na metodologia descrita por Thornthwaite & Mather (1955) e
11 o fator de depleção (*fd*) foi calculado com base na seguinte equação:

$$fd = \frac{ETR}{ETP} \quad (14)$$

12 Onde ETR é a evatranspiração de referência e a ETP é a evatranspiração potencial. O fator de depleção foi
13 aplicado sobre a estimativa dos índices de área foliar (cana planta, soca e ressoca) e sobre o índice de
14 colheita, reduzindo assim os valores da equação (1). Nesse caso o ciclo da cana soca e ressoca será de 12
15 meses.

16 Para a obtenção dos valores de produtividades potenciais foram realizadas as seguintes simulações:

17 (i) radiação solar máxima possível no local (insolação igual ao comprimento do dia), ausência de déficit
18 hídrico (solo em capacidade de campo durante todo o ciclo) e manejo cultural ótimo (ótima condição
19 nutricional, ausência de pragas, doenças e plantas daninhas); (ii) radiação solar real possível no local
20 (insolação real), ausência de déficit hídrico (solo em capacidade de campo durante todo o ciclo) e manejo
21 cultural ótimo (ótima condição nutricional, ausência de pragas, doenças e plantas daninhas); (iii) radiação
22 solar máxima possível no local (insolação igual ao comprimento do dia), com déficit hídrico e manejo
23 cultural ótimo (ótima condição nutricional, ausência de pragas, doenças e plantas daninhas); e (iv) radiação

1 solar real possível no local (insolação real), com déficit hídrico e manejo cultural ótimo (ótima condição
2 nutricional, ausência de pragas, doenças e plantas daninhas).

3 Foram utilizadas como condições de plantio as seguintes situações: (i) cultivo de cana-de-ano foi
4 realizado de modo que a data de plantio realizou-se no dia 1/10/1996 e a colheita em 30/9/1997 (12 meses);
5 (ii) para o cultivo-de-inverno, a simulação do plantio foi realizada para o dia 1/7/1996 e a colheita em
6 31/8/1997 (14 meses) e; (iii) o cultivo de cana-de-ano e meio simulou-se o plantio para 1/03/1996 e a
7 colheita para 31/8/1997 (18 meses).

8 9 **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

10 A Figura 1, apresenta os valores da partição da fitomassa seca de cana-de-açúcar em $t.ha^{-1}$, para cana
11 de ano (12 meses), considerando radiação máxima e sem deficiência hídrica. Na Figura 1a, a fitomassa seca
12 total da planta atinge $191 t.ha^{-1}$, formado pelo pendão ($94 t.ha^{-1}$), palha remanescente sobre o solo ($47 t.ha^{-1}$),
13 raízes e soca ($33 t.ha^{-1}$) e o pendão que são as folhas e o palmito ($17 t.ha^{-1}$). A redução de rendimento
14 (fitomassa seca total) devido a radiação real em relação à radiação máxima (sem déficit hídrico) é de $22 t.ha^{-1}$.
15 ¹. Com relação a radiação, o controle dessa não é possível, mas somente pode-se selecionar o local de cultivo
16 para maximizar esse fator. Considerando-se o cultivo de ano (radiação real e com déficit hídrico) Figura 1d,
17 verifica-se que a fitomassa seca total chega a $76 t.ha^{-1}$. Esse valor considera que as práticas de manejo
18 juntamente com o genótipo maximizem a produtividade, que é deplecionada somente pela condição de
19 radiação solar e a deficiência hídrica reduzem a produtividade. Na comparação entre a condição irrigada e
20 sem irrigação verifica-se que em condição de radiação solar máxima a produtividade potencial é
21 aproximadamente 2,7 vezes superior condição não irrigada. No caso da condição de radiação real esse valor
22 fica reduzido para 2,2. Essa redução deve-se a potencialização da radiação solar através do uso da água.

23 Através da Figura 1a e Figura 1c, verifica-se que o existe um crescimento muito baixo até o
24 desenvolvimento relativo da cultura de 12% aproximadamente. A partir deste ponto, o crescimento passa a
25 ser muito intenso até aproximadamente 50% do desenvolvimento relativo da cultura. E a partir daí, o
26 crescimento passa a ser mais acentuado. Isso quer dizer que para um correto crescimento e desenvolvimento
27 da cultura condições como nutrição, irrigação e outras práticas culturais devem ser realizadas, ou estar
28 presentes, no início do período de cultivo para que as plantas possam aproveitar ao máximo essa condição.

1 No caso da Figura 1b e Figura 1d, a partir de 35%, aproximadamente, do desenvolvimento relativo da cultura
2 o incremento de fitomassa seca da cultura é reduzido devido ao estresse hídrico.

3 Considerando os casos apresentados na Figura 2, verifica-se que os menores rendimentos foram os
4 obtidos para fitomassa seca e verde de colmos quando se simulou os cultivos de cana-de-ano (12 meses).
5 Nesse caso (Figura 2a), a produção foi de 37 t.ha⁻¹ para cana planta, 32 t.ha⁻¹ para cana-soca e 31 t.ha⁻¹ para
6 cana-ressoca, considerando condições reais de campo com a radiação e precipitações ocorridas no período.

7 Observando nos gráficos que apresentam a restrição hídrica, verifica-se que os rendimentos obtidos
8 pela cana-planta, cana-soca e cana-ressoca, tendem-se a ser semelhantes, sendo rendimentos baixos, quando
9 comparados com o rendimento da cana planta. Os valores próximos entre cana-soca e cana-ressoca devem-se
10 ao modelo de cálculo que somente leva em consideração o índice de área foliar. Porém, diversas fontes, Fnp
11 (2004) e Crane et al., (1982) relatam que a redução média de produtividade de 22% (cana-soca para cana-
12 planta), 19% (cana-ressoca para cana-soca), 15% (4º corte para ressoca). Essa redução entre os cortes ainda
13 não está totalmente elucidada pela pesquisa, já que conforme a evolução dos cortes aumenta a quantidade de
14 adubação mineral e outros cuidados que deveriam ao menos manter as produtividades em níveis próximos ao
15 da cana-planta.

16 Os rendimentos potenciais podem ser observados na Figura 2 e Tabela 1, onde se verifica que o
17 potencial de cultivo para cana de 18 meses é de 530 t.ha⁻¹ de fitomassa verde de colmos. Isso seria possível
18 se nenhum fator pudesse interferir o desempenho da cultura. Porém como não se pode controlar o clima,
19 existem muitos dias em que a radiação solar não é igual ao comprimento do dia e isso reduz a produtividade
20 para 463 t.ha⁻¹ (sem deficiência hídrica).

21 Larcher (2000) considera que o máximo rendimento (kg.ha⁻¹.ano⁻¹) para a cultura da cana-de-açúcar é
22 de 6-8 de fitomassa seca total. Aplicando o índice de colheita de 0,85 para obter-se em quantidade de colmos
23 obtém-se 5,1-6,8. Esses valores representam aproximadamente
24 60 t.ha⁻¹.ano⁻¹ de massa seca (267 t.ha⁻¹.ano⁻¹ de colmos verdes). Esses valores estão entre os valores obtidos
25 para cultivo de 12 meses com e sem deficiência hídrica obtidos nesse estudo. Outros autores têm encontrado
26 valores de produtividade potencial na mesma ordem de grandeza, como por exemplo, Castro (2000)
27 encontrou 81 t.ha⁻¹.ano⁻¹ de matéria seca de parte aérea. Já Cock (2000) calculou um potencial de produção
28 de 38 t.ha⁻¹ de sacarose. Isso representa para ambos os autores 306 t.ha⁻¹.a⁻¹ e 334 t.ha⁻¹.a⁻¹ de colmos frescos,

1 respectivamente. O maior potencial de produtividade descrito pela literatura é aquele obtido por Moore
2 (2000), que calculou o limite teórico de produtividade de colmos industrializáveis em peso fresco de 435
3 t.ha⁻¹.a⁻¹.

4 Com restrição hídrica o potencial da cana-planta é balizado por baixo e assim acaba sendo próximo
5 aos valores da cana-soca e cana-ressoca. Em condições reais de cultivo (radiação solar real) a utilização da
6 irrigação na cultura canavieira possibilita um aumento de rendimento de até 2,24, 1,91 e 1,85 para cana-
7 planta, cana-soca e cana-ressoca, respectivamente (cultivo de 12 meses). Para o cultivo de inverno (14
8 meses) esse aumento no rendimento passa a ser de 1,91, 1,68 e 1,60. E no caso do cultivo de 18 meses esse
9 aumento foi de 2,85, 1,95 e 1,91 para cana-planta, cana-soca e cana-ressoca, respectivamente.

10 O cultivo de inverno, apesar de possuir dois meses a mais para o crescimento e desenvolvimento da
11 cultura não apresentou rendimentos muito superiores aos encontrados no cultivo de 12 meses. Esse fato pode
12 ser justificado devido ao período de dois meses de cultivo anterior da cana (14 meses) ser realizado com
13 temperaturas mais baixas onde o acúmulo de carboidrato é menor. Além disso, colheita da cana de 14 meses
14 ser realizada um mês antes a cana de 12 meses, o que também influencia no resultado. Porém esse cultivo é
15 utilizado para a otimização de maquinários, pessoal e da indústria principalmente no que diz respeito a
16 operações de plantio que é otimizada. Assim, podem-se economizar recursos e principalmente pode-se ter
17 um melhor planejamento da safra.

18 Em condições de radiação máxima (insolação igual ao comprimento do dia) a utilização da irrigação
19 na cultura canavieira possibilita um aumento de rendimento de até 2,70, 2,05 e 1,98 para cana-planta, cana-
20 soca e cana-ressoca, respectivamente (cultivo de 12 meses). Para o cultivo de inverno (14 meses) esse
21 aumento no rendimento passa a ser de 2,22, 1,65 e 1,58. E no caso do cultivo de 18 meses esse aumento foi
22 de 3,26, 2,27 e 2,22 para cana-planta, cana-soca e cana-ressoca, respectivamente.

23 A relação entre produtividade da cultura sem estresse hídrico em relação à condição com estresse
24 hídrico tende a aumentar à medida que o período de cultivo é aumentado quando se consideram a os cultivos
25 de 12 e 18 meses. Porém, essa relação para o cultivo de 14 meses mostrou-se inferior ao cultivo de 12 meses,
26 certamente devido às condições climáticas apresentadas durante o período de cultivo.

27 O maior rendimento de fitomassa viva foi obtido em cultivo aos 18 meses de ciclo da cultura (544
28 t.ha⁻¹). Porém para que esse resultado fosse possível seriam necessários que durante todos os dias do ciclo o

1 sol brilhasse durante todo o dia e que a chuva fosse bem distribuída ocorrendo somente à noite. Essa
2 condição deve então ser considerada como modelo para Campinas nessas condições de cultivo, bem como os
3 da Figura 2b, d e f, (radiação máxima e sem restrição hídrica). Como a probabilidade de ocorrência desse
4 tipo de situação é remota, considera-se como razoável a condição da Figura 2e, que utiliza os valores reais de
5 insolação diária onde se obteve uma produção de 475 t.ha⁻¹. Certamente esses resultados teóricos causam
6 impacto pelos seus elevados valores. Contudo os valores simulados são valores teóricos ótimos que levam
7 em considerações condições ótimas para a cultura e que em níveis de campo não serão obtidos
8 principalmente pelos fatores de produção não estarem totalmente elucidados.

9 Dentro da tentativa de alcançar a produtividade potencial o manejo da água é o primeiro passo. Isso
10 pode ser demonstrado através dos resultados obtidos de campo. Segundo Magro (2000), relatou o incremento
11 de produtividade proporcional ao atendimento crescente da evapotranspiração. Com o fornecimento de água
12 via irrigação (gotejamento) de 30%, 60% e 100% do déficit de evapotranspiração o rendimento foi de 137
13 t.ha⁻¹.a⁻¹, 171 t.ha⁻¹.a⁻¹ e 192 t.ha⁻¹.a⁻¹, respectivamente. Esses resultados também indicam que a adoção de ao
14 menos uma das práticas otimizadas já eleva a produtividade a valores em torno de 52% da produtividade
15 potencial calculada que é de 370 t.ha⁻¹.a⁻¹ (Figura 2a). Os genótipos utilizados nesse experimento estão entre
16 os mais produtivos, considerando que o clima no estado de Alagoas, local do experimento, oferece ampla
17 disponibilidade de radiação combinada com uma deficiência hídrica acentuada. Vertuan (2005) relataram
18 resultados de experimentos de irrigação no estado de São Paulo, onde a resposta evidente de produtividade à
19 irrigação ocorre nas variedades precoces e médias, uma vez que as suas soqueiras brotam no período de
20 maior deficiência hídrica natural, e quando irrigadas tem ampla disponibilidade de água nessa fase de maior
21 demanda relativa. No entanto, as variedades tardias não apresentaram regularmente diferença entre área
22 irrigada e não irrigada, uma vez que a brotação coincide com o início do período de chuvas.

23 Na Tabela 1, verifica-se que o aumento de produtividade quando comparado à relação da
24 produtividade potencial sem déficit hídrico e com déficit hídrico, é maior na cana planta, intermediária na
25 cana soca e menor na cana-ressoca. Quando considerado a relação de cana soca e cana planta é superior à
26 cana-soca e cana-ressoca com a cana planta, tanto nas condições de estresse hídrico como sem esse estresse.
27 Porém, quando foram consideradas as produtividades potenciais que sofreram o estresse verificou-se que a
28 diferença entre produtividades potenciais entre cana planta, cana-soca e cana-ressoca foram reduzidas. Ou

1 seja, a redução de produtividade é menor na situação de déficit hídrico, porém a produtividade potencial
2 também é baixa.

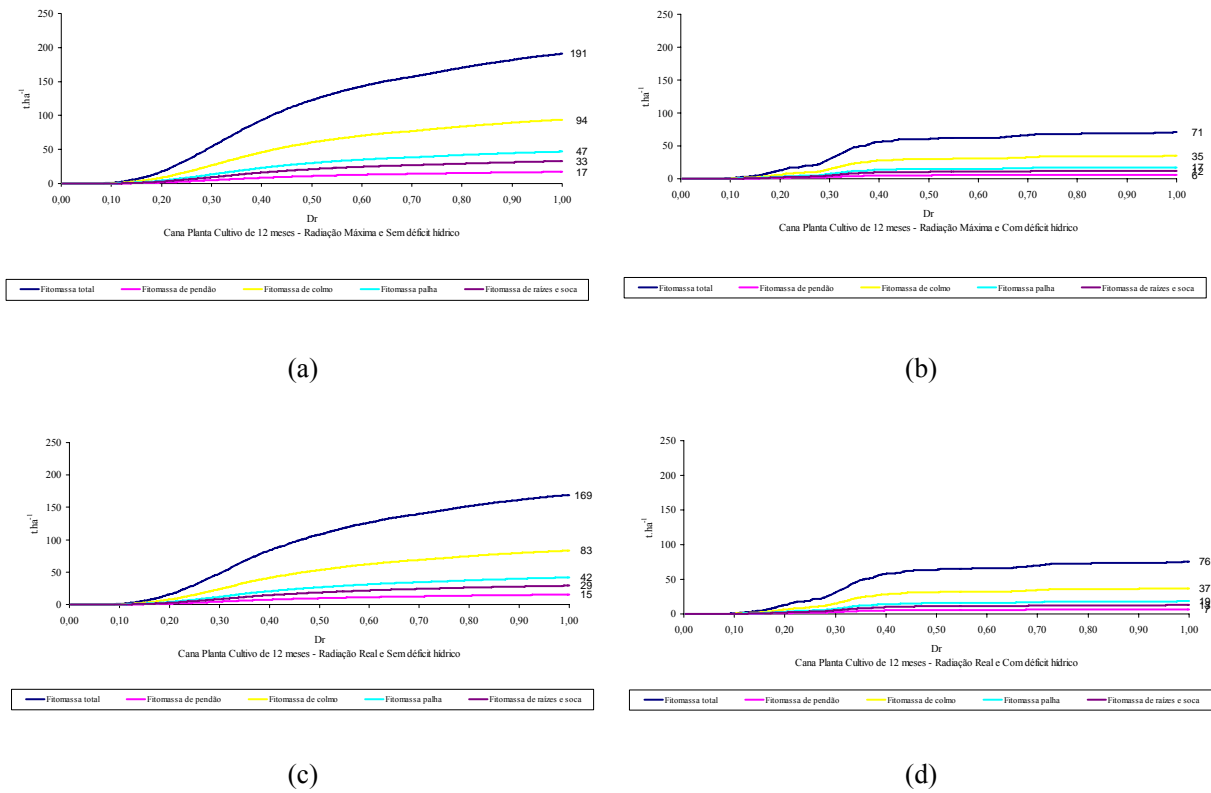
3

4

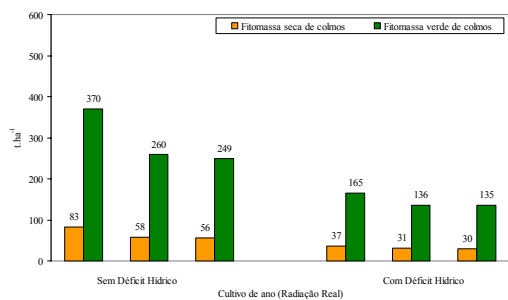
6 CONCLUSÕES

5 (i) o modelo para o cálculo da produtividade potencial e produtividade real de cana-de-açúcar apresenta
6 resultados coerentes com os obtidos na literatura e em experimentos a campo, e (ii) o potencial produtivo
7 para a cana-de-açúcar pode chegar a $370 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ de colmos, sendo que a produtividade média das lavouras
8 comerciais pode ser dobrada pela correta utilização de genótipos e manejo adequado.

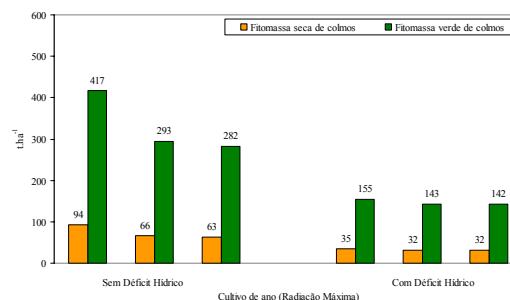
1



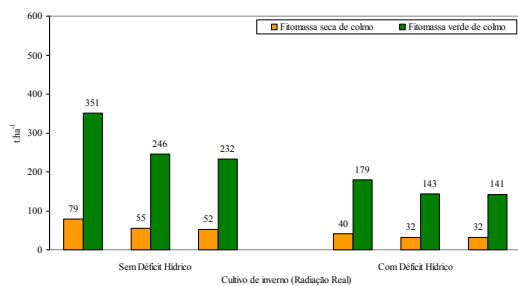
2 Figura 1. Partição de fitomassa seca para a cultura da cana-de-açúcar cultivado de ano (12 meses) com radiação
 3 máxima e deficiência hídrica ausente (a) e presente (b), radiação real e deficiência hídrica ausente (c) e
 4 presente (d) conforme o desenvolvimento relativo da cultura (Dr).



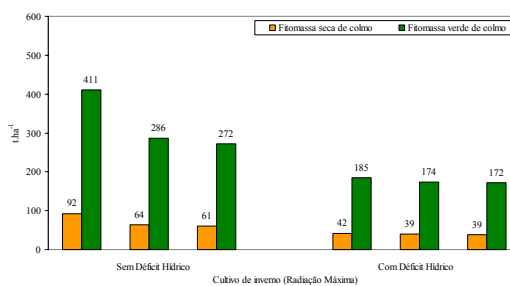
(a)



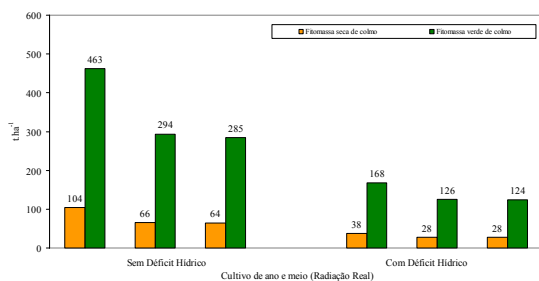
(b)



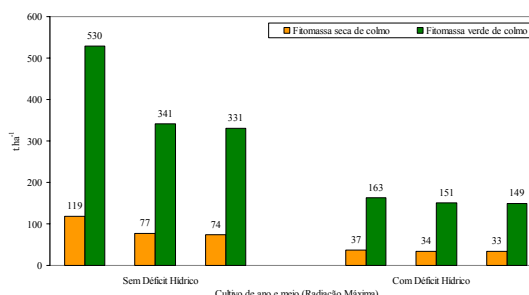
(c)



(d)



(e)



(f)

2 Figura 2. Simulações de produtividades potenciais e deplecionadas conforme o déficit hídrico e radiação
 3 solar para a cultura de cana-de-açúcar (cana planta, cana soca, e cana rressoca, na seqüência) em cultivo de
 4 ano (12 meses, gráficos a e b), cultivo de inverno (14 meses, gráficos c e d) e cana de um ano e meio (18
 5 meses, gráficos e e f), para o município de Campinas (SP).

Tabela 1. Produtividade potencial de cana-de-açúcar em fitomassa seca e fitomassa fresca, relação entre produtividade potencial sem déficit e com déficit hídrico, relação à cana soca (Sc) e cana planta (Pl), relação entre cana-soca e cana-ressoca (Rsc) e cana-planta, redução de produtividade entre a cana-planta com cana-soca e cana-soca com cana-ressoca.

Sem def. hídrica			Com def. hídrica			Sem def. / Com def. hídrica			Sem def. hídrica		Com def. hídrica		Redução de produtividade entre cortes			
Plant a	Soc a	Ressoc a	Plant a	Soc a	Ressoc a	Planta	Soca	Ressoca	Sc/Pl	Sc-Rsc/Pl	Sc/Pl	Sc-Rsc/Pl	Sem def. hídrica Pl-Sc	Com def. hídrica Sc-Rsc	Sem def. hídrica Pl-Sc	Com def. hídrica Sc-Rsc
Radiação Real (12 meses)																
83	58	56	37	31	30	2,24	1,91	1,85	0,70	0,69	0,82	0,82	30	3,9	17,7	0,8
370	260	249	165	136	135											
Radiação Máxima (12 meses)																
94	66	63	35	32	32	2,70	2,05	1,98	0,70	0,69	0,93	0,92	30	3,9	7,3	0,8
417	293	282	155	143	142											
Radiação Real (14 meses)																
79	55	52	40	32	32	1,96	1,73	1,65	0,70	0,68	0,80	0,79	30	5,5	20,4	0,9
351	246	232	179	143	141											
Radiação Máxima (14 meses)																
92	64	61	42	39	39	2,22	1,65	1,58	0,70	0,68	0,94	0,94	30	4,9	6,1	0,7
411	286	272	185	174	172											
Radiação Real (18 meses)																
104	66	64	37	34	33	2,85	1,95	1,91	0,63	0,63	0,93	0,92	37	3,1	7,4	1,2
463	294	285	163	151	149											
Radiação Máxima (18 meses)																
119	77	74	37	34	33	3,26	2,27	2,22	0,64	0,63	0,93	0,92	36	3,1	7,4	1,2
530	341	331	163	151	149											

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1
2
3 ALEXANDER, A.G. **The energy cane alternative**. Amsterdam, 1985.
- 4 ALLEN, R.G. et al., Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, n.81,
5 p.650-662, 1989.
- 6 ASSUNÇÃO, H.F. **Relações entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar global em**
7 **Piracicaba/SP**. Piracicaba, 1994. Dissertação (Mestrado), 58p. Escola Superior de Agricultura
8 "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- 9 BACCHI, O.O.S.; SOUZA, J.A.G.C. Minimum threshold temperature for sugarcane growth. In.
10 **Congress of the international society of sugar cane technologists**, 16, 1978, São Paulo.
11 Proceedings. São Paulo: ISSCT. p.1733-1741. 1978.
- 12 BERNARDES, M.S. et al. Comparação entre a produtividade real e simulada através de modelo
13 matemático, avaliada em cinco variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). **STAB Açúcar,**
14 **Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, n.2, v.1, p.44. 2002.
- 15 BERNARDES, M.S. et al. Potencial produtivo dos solos avaliado através de modelo de estimativa de
16 produção de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DOS SOLO, 23,
17 2003. Ribeirão Preto. **Anais CD-ROM**, Ribeirão Prêto, SBCS, 4 p., 2003.
- 18 CASTRO, P.R.C, Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In.
19 **Seminário Internacional de Fisiologia da cana-de-açúcar. 2000**, Piracicaba, SP. CD-ROM
20 das paletas. STAB. 2000. 9p.
- 21 COCK, J.H. Sugarcane growth and development. In. **Seminário Internacional de Fisiologia da**
22 **cana-de-açúcar. 2000**, Piracicaba, SP. CD-ROM das paletas. STAB. 2000. 14p.
- 23 COELHO, A. M. et al. Rendimento do milho no Brasil: chegamos ao máximo? **Informações**
24 **Agronômicas** (encarte técnico). Piracicaba, SP: POTAFOS. n.101, 2003.12 p.
- 25 COOPER, R.L. A delayed flowering barrier to higher soubean yields. *Field Crops Research*, v.82,
26 p.27-35, 2003.
- 27 CRANE D.R. et al., Am analysis of the stubble replacement decision for Florida sugarcane growers.
28 p.1-74, 1982.

1 DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de
2 GHEYI, H. et al. Campina Grande: UFPB, 1994 (Estudos FAO: irrigação e Drenagem, 33).
3 306p.

4 EVANS, L.T. **Crop evolution, adaptation and yield**. Cambridge, Cambridge University Press, 1993,
5 500p.

6 FNP. **Agriannual 2005**; Anuário da agricultura brasileira. São Paulo, FNP Consultoria & Comércio,
7 2004. 520p.

8 GASQUES, J.G.; VILLA VERDE, C.M. Grãos. In: GASQUES, J.G. et al. **Competitividade de grãos**
9 **e de cadeias selecionadas do agribusiness**. IPEA, 1998. p.8-18. (IPEA. Texto para discussão,
10 538).

11 HEEMST, H.D.J, van. Physiological principles. In: KEULEN, H. van; WOLF, J. **Modelling of**
12 **agricultural production: Weather soils and crops**. Wageningen, Pudoc, 1986. P.13-26.

13 LARCHER, W. Ecofisiologia Vegetal. Tradução Carlos Enrique B. A. Prado, São Carlos Rima, SP,
14 2000.

15 MAGRO, J.A. **Irrigação da cana-de-açúcar**: sistema de gotejamento, custo de implantação, impacto
16 sobre a produtividade, sistematização de talhões. In. Grupo fitotécnico de cana-de-açúcar. **2000**,
17 Ribeirão Preto, SP. CD-ROM das palestras. IAC. 2000. 6p.

18 MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. Piracicaba: Ed.** Ultrafertil
19 Departamento de serviços técnicos agrônômicos, 1982. 80p.

20 MEDEIROS, L.G.F.JR. et al. Estimativa de assimilação de dióxido de carbono em plantas de ciclo C-
21 4. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Santa Maria/RS. 3-7 de agosto
22 de 2003, v.2, p. 851-853.

23 MOORE, P.H. Basic biology: a key for increasing productivity of sugarcane. In. **Seminário**
24 **Internacional de Fisiologia da cana-de-açúcar. 2000**, Piracicaba, SP. CD-ROM das palestras.
25 STAB. 2000. 13p.

26 ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação de cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do
27 Açúcar e do Alcool, 1983. 369p.

- 1 PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e**
2 **aplicações práticas**, Guaíba: Ed. Agropecuária, 2002. 478p.
- 3 RAIJ, B. van. et al., **Recomendações para adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed.
4 Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1985. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- 5 ROSENFELD, U. **Determinação do período crítico de deficiência hídrica para a cultura da cana-**
6 **de-açúcar (*Saccharum spp.*), ciclo da cana planta**. Piracicaba, 1989. 89p. Dissertação
7 (Mestrado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- 8 TERAMOTO, E.R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-**
9 **açúcar (*Saccharum spp*) baseados em parâmetros do solo e do clima**. Piracicaba, 2003. 86p.
10 Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São
11 Paulo.
- 12 TERUEL, D.A. et al., Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions.
13 **Scientia Agricola**, v.54. Número especial. p.39-44, 1997.
- 14 THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. **Drexel Institute of Technology**, v.8,
15 n.1, p.1-14, 1955.
- 16 VERTUAN, A.L. Estágio na usina Catanduva Açúcar e Álcool S/A. Piracicaba, 2005. 57p. Relatório
17 de estágio profissionalizante em engenharia agrônômica Escola Superior de Agricultura “Luiz
18 de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- 19 VILLA NOVA, N.A. et al. **Energia Solar. Aspectos físicos de captura pela biomassa**. Publicação
20 do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, 2001.
- 21 VILLA NOVA, N.A.; PILAU, F.A. Modelo de estimativa da produtividade de cana-de-açúcar baseado
22 na radiação solar e temperatura do ar. In. Anais da X Reunion Latino Americana de
23 Agrometeorologia (2004), Mar del Plata, 2004. CD-ROM.