

AQUECIMENTO GLOBAL E UM ESTUDO DA PRODUTIVIDADE POTENCIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA A REGIÃO DE SÃO PAULO

Stefeson Bezerra de Melo

Eng°. Agrônomo., Mestrando em Meteorologia Agrícola, UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, CEP 36570-000, Viçosa-MG, e-mail: stefeson@hotmail.com

Leandro Galon

Eng°. Agrônomo., MSc. Doutorando em Plantas Daninhas, UFV, Departamento de Fitotecnia, CEP 36570-000, Viçosa-MG, e-mail: galonleandro@ig.com.br

Emanuel Fernando Maia de Souza

Eng° Agrônomo, MSc. Doutorando em Fitotecnia, UFV, Departamento de Fitotecnia, CEP 36570-000, Viçosa-MG, e-mail: emanuelfms@yahoo.com.br

Max Lenine Rezende

Eng° Agrônomo, MSc. Doutorando em Fitotecnia, UFV, Departamento de Fitotecnia, CEP 36570-000, Viçosa-MG.

Natália dos Santos Renato

Bacharel em Física, Mestranda em Meteorologia Agrícola, UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, CEP 36570-000, Viçosa-MG, e-mail: natfisica@yahoo.com

RESUMO – A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) nos últimos tempos tem-se mostrado como uma nova alternativa de energia, principalmente como uma das possíveis substituintes do petróleo através do álcool combustível. O Estado de São Paulo destaca-se como sendo o maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil. Diante da eminência do aquecimento global, possíveis interferências, positivas ou negativas na produtividade da cana-de-açúcar podem ocorrer. Neste sentido objetivou-se com este trabalho estimar a produtividade da cana-de-açúcar utilizando-se um modelo que pode prever a produtividade potencial através de dados disponíveis do IPCC, utilizando-se o cenário A2 para o município de Barretos-SP no período de 2000 a 2099. De um modo geral as mudanças climática acarretaram em um efeito benéfico para a cana-de-açúcar, refletindo em uma maior produção de massa seca em colmos.

Palavras-chave: mudanças climáticas, produtividade, cana-de-açúcar

GLOBAL HEATING AND A STUDY OF THE POTENTIAL PRODUCTIVITY THE SUGAR CANE FOR SÃO PAULO REGION

ABSTRACT – The sugar cane (*Saccharum* spp.) has revealed as a new energy alternative, mainly as one of the possible substitutes of oil through the combustible alcohol, and São Paulo State is distinguished as being the producing greater of sugar cane, and thus studies are necessary for estimate your productivity, and for this a model was used to predict potential productivity through IPCC data scenarios, in this study was used the scenario A2 for Barretos city in São Paulo state in the period of 2000 the 2099. In a general way the changes climatic had caused a beneficial effect for the sugar cane, reflecting in a bigger production of dry mass in stalks.

Key Words: climatic changes, productivity, sugar cane

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar tem destaque hoje para a produção de açúcar e também de etanol, em decorrência disso tem-se a necessidade em aumentar a produção para suprir uma demanda cada vez maior tanto do produto para consumo humano ou mesmo para ser utilizado como combustível em moteres.

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) pertence a família botânica Poaceae, da classe Liliopsida e da ordem Ciperales a qual se caracteriza por apresentar flores pequenas, praticamente destituídas de perianto e protegidas por brácteas secas, reunidas em típicas inflorescências. O fruto é seco, tipo cariopse, e com semente de endosperma abundante. As folhas são simples, alternadas, estreito-lanceoladas de ápice longamente acuminado, com os bordos cerrados por pelos simples. A planta é ereta, perene, rizomatosa, formando touceiras, que podem ser classificados em “densa”, “média” ou “frouxa” em função da arquitetura e perfilamento (ARANHA & YAHN, 1987).

A brotação é ótima na temperatura de 32°C, e paralisa quando a temperatura é inferior a 20°C (BARBIERI, 1981). Com relação ao crescimento da cana de açúcar, segundo Falconnier & Bassereau (1975), nas temperaturas abaixo de 25°C é lento, entre 30 e 34°C é máximo, e acima de 35° torna-se também lento, sendo praticamente nulo nas temperaturas superiores a 38°C. Bacchi & Souza (1978) destacam que, em condições de cultura tanto irrigada quanto não irrigada o crescimento torna-se praticamente nulo nas temperaturas inferiores a 18 e 19°C, respectivamente. A cana-de-açúcar apresenta metabolismo C₄, tendo alta eficiência fotossintética e ponto de saturação luminosa elevada. Portanto, quanto maior for a intensidade luminosa, maior seu desenvolvimento e acúmulo de açúcar (BARBIERI, 1981).

A cana-de-açúcar é uma cultura bastante difundida no Brasil (FARIA, 1993), sendo industrialmente utilizada para produção de açúcar e álcool. A cana-de-açúcar que, embora tenha diminuído sua participação no valor total da produção agropecuária com 28,3%, expandiu em 5,4% sua produção e em 3,4% sua área plantada, estimulada pelo bom preço do açúcar no mercado internacional e do álcool no mercado interno nos últimos anos, assim como pela demanda externa. Sua contribuição na demanda por força de trabalho permaneceu praticamente inalterada, com 35,6%, mantendo ainda grande capacidade de gerar empregos (CONAB, 2006).

A produção brasileira de cana-de-açúcar na safra 2006/07 está estimada em 475,73 milhões de toneladas, superior em 10,3% à da safra passada, que foi de 431,41 milhões de toneladas (CONAB, 2006).

Do total produzido, 242,16 milhões de toneladas (50,9%) destinam-se à fabricação de açúcar, 183,82 milhões (38,6%) à produção de álcool e o restante, 49,74 milhões (10,5%), à fabricação de cachaça, alimentação animal, sementes, fabricação de rapadura, açúcar mascavo e outros fins (CONAB, 2006).

Atualmente a cana-de-açúcar ocupa uma área plantada de 6188,6 mil hectares e uma produtividade média de 73868 kg ha⁻¹ (CONAB, 2006). A agroindústria da cana-de-açúcar gera ao Brasil cerca de 1 milhão de empregos diretos e de 3 a 5 milhões de empregos indiretos. Somente no estado de São Paulo a “cadeia canavieira” responde por 40% do emprego rural e 35% da renda agrícola (CARVALHO, 1998).

No estado de São Paulo o cultivo da cana-de-açúcar pode ser separado em três grupos, segundo a época de plantio e número de cortes. A cana-de-açúcar plantada no final de cada ano se desenvolvera inicialmente sob condições de boa umidade e temperatura, e será colhida após um ano, sendo denominada de “cana plantada de ano”. Já a cana-de-açúcar plantada no início de cada ano se desenvolverá inicialmente sob condições de baixa umidade e baixas temperaturas, será colhida após dezoito meses, sendo denominada “cana planta de ano e meio”. Após, o primeiro corte (primeira colheitas), todas serão colhidas, aproximadamente, um ano após e são denominadas “cana soca” (KUVA, 1999).

Para os modelos de produção potencial de culturas considera-se que a planta cresce sob nenhuma restrição hídrica ou nutricional e que os fatores de produção aéreos definem o crescimento e a produção das plantas. O acúmulo de matéria seca na planta depende do balanço entre os processos de fotossíntese e respiração (TAIZ & ZEIGER, 1991).

Os processos fisiológicos da cana-de-açúcar, como fotossíntese e a assimilação de CO₂, taxas de manutenção da respiração e partição do carbono para as partes das plantas, podem ser agregados através de equações matemáticas, resultando em modelos que podem simular o crescimento e o rendimento das culturas (PENNING DE VRIES & LAAR, 1982). Entretanto, esse processo de modelagem do crescimento da cultura de cana é gradual e lenta, pois depende da coleta de muitos dados no decorrer dos anos e informações de vários órgãos de pesquisas.

Objetivou-se com este trabalho avaliar possíveis incrementos na concentração de carbono na atmosfera pelo efeito das mudanças climáticas num período de 100 anos para o cenário A2, e os possíveis reflexos na produtividade da cultura da cana-de-açúcar, analisando para isso quantidade de matéria seca dos colmos, já que não existem trabalhos na literatura avaliando os possíveis impactos decorrentes do aumento do CO₂ na cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média e radiação solar global, do período de 2000 a 2009 no cenário A2 do IPCC, para estimativa de produção de matéria seca para colmo, raiz e folhas da cana-de-açúcar, considerando que o solo sempre estivesse em capacidade de campo.

O modelo de crescimento e desenvolvimento da cana foi estruturado baseado do modelo France & Thornley (1984) e Thornley & Johnson (2000) em que a assimilação bruta diária de CO₂ pelo dossel das plantas é calculada da seguinte forma

$$P_d = \frac{P_m h}{K} \ln \left[\frac{\left(\Omega + \beta + \left(2\beta\Omega + \beta^2 \right)^{1/2} \right)}{\left(\Omega \exp^{-KIAF} + \beta + \left(2\beta\Omega \exp^{-KIAF} + \beta^2 \right)^{1/2} \right)} \right] \quad (1)$$

em que P_d é a fotossíntese bruta diária (kg m⁻² d⁻¹ de CO₂); $\Omega = \alpha k \text{ RFA}/Dd$; $\beta = (1 - \tau)P_m$; τ é o coeficiente de transmissividade da radiação no dossel; $P_m = P_{m20} \Psi$; P_m = fotossíntese bruta máxima (kg m⁻² s⁻¹ de CO₂); $\Psi = (t_{med} - t_b)/(t_r - t_b)$; P_{m20} é a fotossíntese máxima a 20 °C (kg m⁻² s⁻¹ de CO₂); t_r é a temperatura de referência fixada a 20 °C; t_b é a temperatura basal da cultura foi de 18°C; t_{med} é a temperatura média do ar (°C); Dd é a duração do dia (s); RFA é a radiação fotossinteticamente ativa (J m⁻² d⁻¹); k é o coeficiente de extinção da radiação no dossel (adimensional); α é a eficiência fotossintética inicial da cultura (kg J⁻¹ de CO₂); IAF é o índice de área foliar (adimensional) e h = horas de brilho solar. Para os parâmetros de fotossíntese máxima (P_{m20}) e eficiência fotossintética inicial da cultura da cana utilizaram-se os valores sugeridos por de Vries et al. (1989) e Barros (1998): 1,4.10⁻⁶ kg m⁻² s⁻¹ de CO₂ e

1,9.10⁻⁸ kg J⁻¹ de CO₂, respectivamente. Os valores dos parâmetros coeficiente de extinção de luz (k) e coeficiente de transmissividade (τ) adaptado, para a cultura da cana, foram considerados iguais a 0,55 e 0,10, respectivamente. Adaptou-se para este trabalho o modelo existente para a cultura do milho em virtude da inexistência na literatura de um modelo exclusivo para cana-de-açúcar. Entretanto como estas duas espécies são culturas com metabolismo fotossintético C₄, apresentam muitas semelhanças, como exemplo o porte, a estrutura e características morfofisiológicas semelhantes, justifica-se o uso do referido modelo em estudo.

A demanda da respiração de manutenção foi calculada multiplicando-se a matéria seca diária total acumulada individualmente em cada órgão da planta pelo coeficiente de respiração de manutenção, corrigido para a temperatura média diária do ar, o qual é estimado por (De Vries et al., 1989):

$$R_{m_{tmed}} = R_{m_{tr}} * Q_{10}^{(t_{med} - t_r)/10} \quad (2)$$

em que $R_{m_{tmed}}$ é o coeficiente de respiração de manutenção corrigido; $R_{m_{tr}}$ é o coeficiente de respiração de manutenção a temperatura de referência; Q_{10} é o coeficiente de temperatura; t_r é a temperatura de referência, fixada a 25 °C; t_{med} é a temperatura média diária do ar (°C); Os valores dos coeficientes de respiração de manutenção a temperatura de referência ($R_{m_{25}}$), expressos em massa de CH₂O por massa de matéria seca, usados no modelo, foram: 0,015 para caule, 0,01 para raiz, grãos e sabugo e 0,03

kg kg⁻¹ d⁻¹ para folhas e palha (Bonato et al., 1999; Arora & Gajri, 2000). O carboidrato líquido foi fracionado entre os órgãos da planta, em função da taxa de desenvolvimento da cultura. Adotou-se, nas simulações, o racionamento de carboidrato para os diferentes órgãos da planta observado experimentalmente (Wolschick, 2004).

O acúmulo de matéria seca de determinado órgão da planta ao longo do tempo foi estimado por (De Vries et al., 1989):

$$\frac{dMS}{dt} = (P_d - R_{m_{tmed}} MS) E_g \quad (3)$$

em que dMS/dt é a variação de matéria seca ($kg\ m^{-2}\ d^{-1}$) e Eg é a eficiência de conversão de carboidrato em matéria seca ($kg\ kg^{-1}$). Os valores de eficiência de conversão de carboidrato em matéria seca, utilizados no modelo para as simulações, foram: 0,72, 0,69, 0,72

$kg\ MS\ kg^{-1}$ de CH_2O para colmo, folha, raiz respectivamente (Arora & Gajri, 2000).

Os Graus dias foi calculado usando-se a equação de Villa Nova et al., (1972)

$$GD_n = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{t_{max_i} + t_{min_i}}{2} \right) - t_b \right] \quad (4)$$

em que t_{max_i} é a temperatura máxima do ar no i -ésimo dia após a emergência ($^{\circ}C$); t_{min_i} é a temperatura mínima do ar no i -ésimo dia após a emergência ($^{\circ}C$) e t_b é a temperatura basal da cultura ($^{\circ}C$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que a produção de matéria seca de colmos aumentou com o passar dos anos (Figura 1). Isso pode decorrer em função do aumento previsto da concentração de CO_2 que atualmente é de 360 ppm e poderá atingir a cifra de aproximadamente 1000

ppm no ano de 2099. Aumentando a concentração de CO_2 na atmosfera poderá ocasionar o aumento da temperatura, devido o efeito estufa provocado pelo gás e há possibilidade da cultura da cana-de-açúcar ser expandida para regiões que na atualidade estão inviabilizadas a produção, em função de temperaturas baixas que inibem um bom crescimento da cultura. Esse aumento da temperatura também proporcionará alguns efeitos benéficos como o plantio da cana-de-açúcar em outras regiões e um aumento na produtividade, visto que a temperatura do ar estará mais próxima aos valores ideais para a cultura.

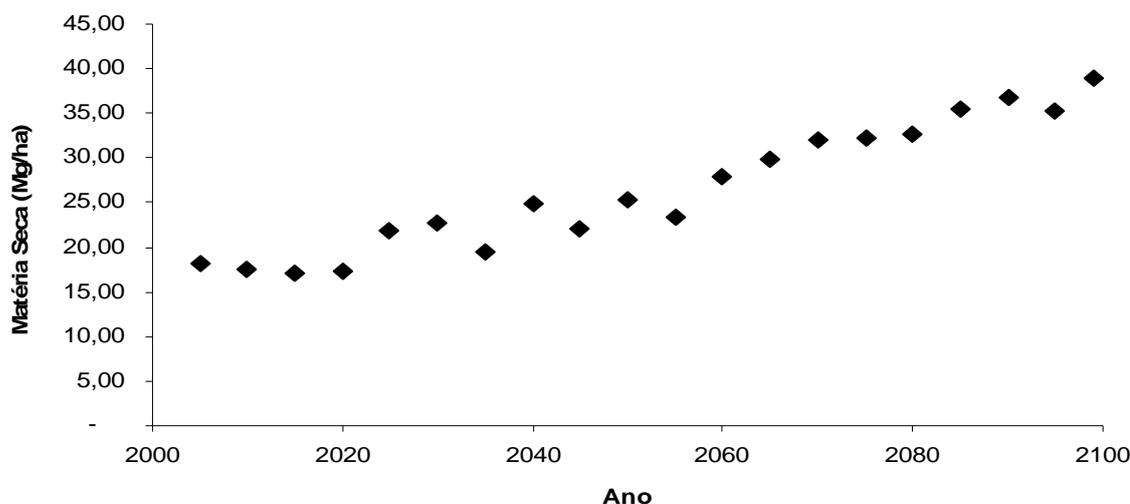


Figura 1: Produção de matéria seca de colmos de cana-de-açúcar por hectare no período compreendido entre 2000 a 2099, para a cidade de Barretos – SP, considerando o ciclo de um ano e o plantio realizado em outubro.

Quanto ao acúmulo de graus dias durante o período compreendido entre os anos de 2000 a 2099 observou-se que houve um incremento com o passar dos anos (Figura 2). Desde modo pode-se dizer que haverá aquecimento da atmosfera no decorrer dos

anos, principalmente por elevar a média de temperatura mínima, efeito que pode ser ocasionado pelo maior acúmulo de CO_2 . Assim a cana-de-açúcar poderá reduzir o ciclo produtivo e ser colhida em um período menor do que o efetuado nos dias atuais.

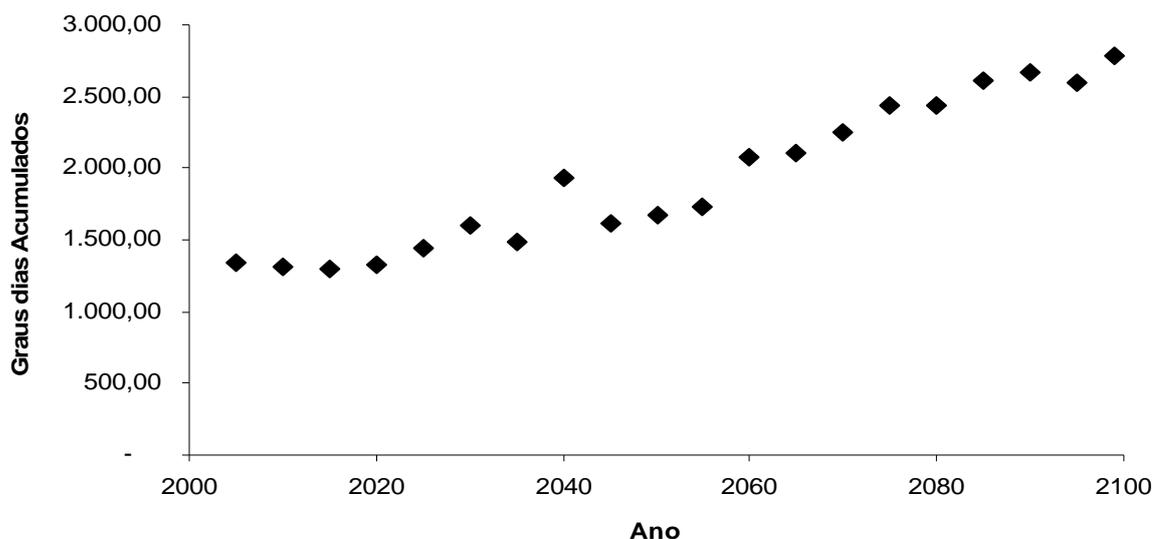


Figura 2: Graus dias acumulados, para o período compreendido entre 2000 a 2099, adotando o período de 12 meses para o plantio da cana-de-açúcar, para a cidade de Barretos – SP.

A produção de colmos de cana-de-açúcar aumentou com o passar dos anos, ou seja, ao comparar-se a produção no ano de 2005 com o ano de 2090 observou-se que este terá um incremento na produção (Figura 3), fato já discutido anteriormente. Atualmente observa-se que nos meses mais frios, no

caso a partir do sétimo mês após o plantio, há uma estabilização da produção de matéria seca. Todavia, com o passar dos anos este período menos favorável ao crescimento da planta é reduzido, logo observa-se maior acúmulo de matéria seca a partir da década de 2030.

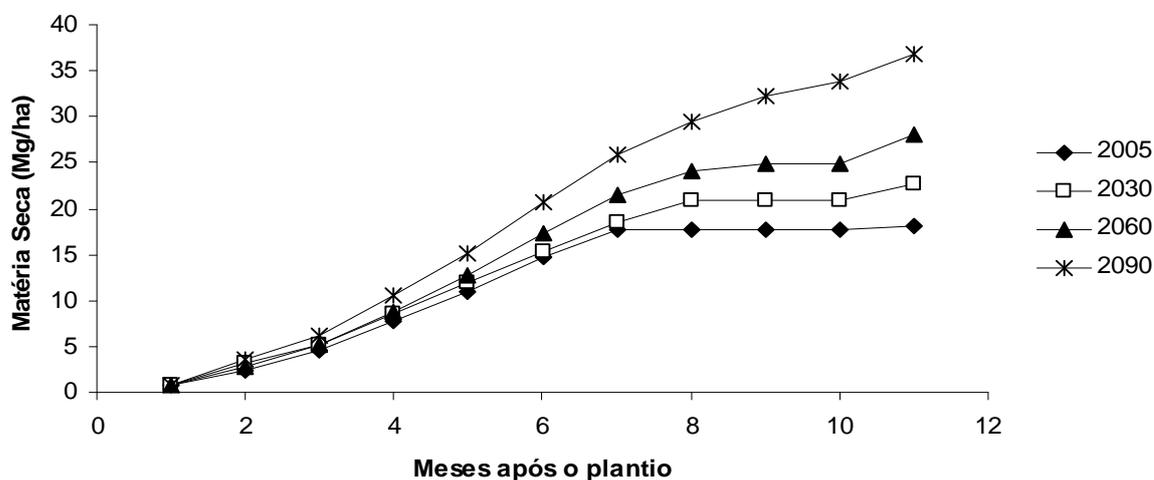


Figura 3: Previsão do acúmulo de matéria seca em colmos de cana-de-açúcar por hectare nos anos de 2005, 2030, 2060, 2090 para a cidade de Barretos – SP, adotando o ciclo de um ano e o plantio realizado em outubro.

Quando o acúmulo de graus dias mensais adotando-se o mês de outubro como referência observou-se que nos meses de inverno tem-se um menor acúmulo de graus dias em virtude da menor

radiação solar (Figura 4). Deste modo há menor produção de cana e assim, nessa estação, a cultura terá uma menor produção de matéria seca.

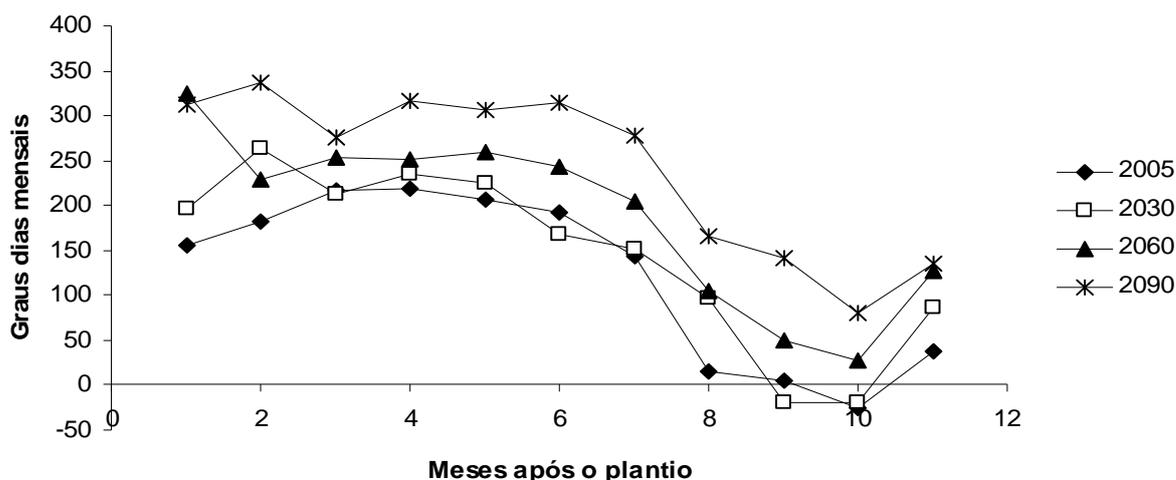


Figura 4: Graus dias mensais em °C para a cidade de Barretos – SP, adotando o mês de outubro como o mês de plantio.

Da mesma maneira ocorrido para a produção de colmos de cana-de-açúcar que aumentou com o passar dos anos (Figura 3), os graus dias tiveram um comportamento semelhante (Figura 5). Observou-se que nos meses com menores temperaturas, no decorrer dos anos, houve um acréscimo nos acúmulo dos graus dias, reduzindo a diferença de temperatura

média entre as estações, fato este decorrente da previsão de aumento da concentração de CO₂ e conseqüentemente do aquecimento global. Logo este fato repercute em uma antecipação da colheita da cana-de-açúcar, principalmente para os cultivares mais precoces.

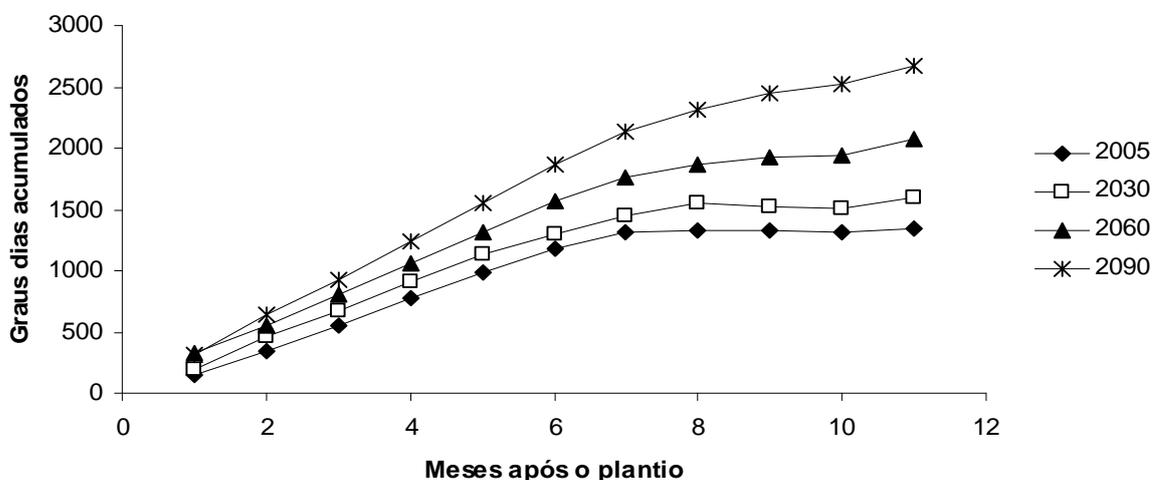


Figura 5: Graus dias acumulados mensalmente nos anos de 2005, 2030, 2060, 2090 para a cidade de Barretos – SP, considerando o ciclo de um ano e o plantio realizado em outubro.

Comparando-se os anos de 2005 a 2099 houve uma maior fixação de carbono pela planta refletido pelo aumento da produção de biomassa total (raízes, colmo e folhas). Estas mudanças climáticas proporcionaram alteração no balanço de carbono da cultura da cana-de-açúcar, pois esta retira mais CO₂ da atmosfera fixando-o em maior proporção, em anos mais quentes do que os atuais.

CONCLUSÕES

As mudanças climáticas previstas pelo cenário A2, para o período entre 2005 e 2099, acarretaram efeito benéfico para a cana-de-açúcar, refletindo na maior produção de massa seca em raízes, colmos e folhas.

Com a elevação da concentração de CO₂ na atmosfera há um aumento do acúmulo de graus dias e deste modo uma redução do ciclo da cana-de-açúcar.

Nos meses de inverno ocorre menor acúmulo de graus dias e assim a produção da cana-de-açúcar é afetada negativamente, ou seja, menor produção..

As mudanças climáticas proporcionam maior acúmulo de biomassa na cultura da cana-de-açúcar devido a maiores taxas de fixação de CO₂, principalmente nos períodos mais quentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, Capes e a Fapemig pela concessão das bolsas de pós-graduação de Mestrado e Doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANHA, C.; YAHN, C.A. **Botânica da cana-de-açúcar**, In: PARANHOS, S.B. Cana-de-açúcar: cultivo e utilização, Campinas: Fundação Cargill, 1987, p.3-14.

ARORA, V. K.; GAJRI, P. R. **Assessment of a crop growth-water balance model for predicting maize growth and yield in a subtropical environment**. Agricultural Water Management, Amsterdam v.46, n. 2, p.157-166, 2000.

BACCHI, O.O.S.; SOUZA, J.A.G.C. Minimum threshold temperature for sugar cane growth. In: CONGRESS OF THE SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 1, 1978, London. **Proceedings...**London: ISSCT, 1978, v.2, p.1733-1741.

BARBIERI, V. **Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**.1981. 142p. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.

BARROS, A.H.C. **Análise do crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura do milho (*Zea Mays L.*): Experimentos e modelos**. Viçosa: UFV, 1998. 85p. Dissertação Mestrado.

CARVALHO, L.C.C. Cenário-sucroalcooleiro – após a transição. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.17, n.3, p.12-13, 1998.

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento. **Cana-de-açúcar, levantamento de produção, SAFRA 2006/2007**. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br> > Acesso em: 21 junho de 2007.

FRANCE, J.; THORNLEY, J. H. M. **Mathematical models in agriculture. The quantitative approach to problems in agriculture and related sciences**. London: Butterworth, 1984. 334p.

KUVA, M.A. **efeitos de períodos de convivência e de controle das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) no estado de São Paulo**. 1999. 74p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

PENNING DE VRIES, F.W.T.; LAAR, H.H. VAN (Ed). **Simulation of plant growth and crop production**. Wageningen: Pudoc, 1982. 309p. (Simulation monographs).

VILLA NOVA, N. A.; PEDRO JR., M. J.; PEREIRA, A. R.; OMETTO, J. C. **Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima**. São Paulo: USP, 1972. 8p. Caderno de Ciência da Terra

DE VRIES, F. W. T. P.; JANSEN, D. M.; TEN BERGE, H. F. M.; BAKEMA, A. **Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops**. Simulation Monographs, Pudoc: Wageningen, 1989. 271p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. California: Cummings Publishing, 1991. 565p.

THORNLEY, J. H. M.; JOHNSON, I. R. **Plant and crop modelling**. New Jersey: Blackburn Press, 2000. 669p.

WOLSCHICK, D.; MARTINEZ, M.A.; FONTES, P.C.R.; MATOS, A.T.. Implementação e teste de um modelo mecanístico de simulação do crescimento e

desenvolvimento de plantas de milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.271–278, 2007.