

## **APLICAÇÃO DO MODELO CSM-CANEGRO EM ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA POR PIVÔ CENTRAL**

**LUCAS DA COSTA SANTOS<sup>1</sup>; DANIEL PHILIPPE VELOSO LEAL<sup>2</sup>; JEFFERSON VIEIRA JOSÉ<sup>3</sup>; RUBENS DUARTE COELHO<sup>4</sup> E TIMÓTEO HERCULINO DA SILVA BARROS<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, Pesquisador Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis/GO, Fone: (62) 3328-1156, lucas.cs21@gmail.com

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Faculdades Associadas de Uberaba, Uberaba/MG, daniel.pvelosoleal@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Eng. Agrícola, Pesquisador Doutor, Departamento de Engenharia de Biossistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ/USP, Piracicaba/SP, jfvieira@usp.br

<sup>4</sup>Eng. Agrônomo, Prof. Titular, Departamento de Engenharia de Biossistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ/USP, Piracicaba/SP, rdcoelho@usp.br

<sup>5</sup>Eng. Agrônomo, Doutorando, Departamento de Engenharia de Biossistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ/USP, Piracicaba/SP, timoteo@usp.br

### **1 RESUMO**

A irrigação quando bem manejada, pode minimizar os riscos econômicos da atividade sucroalcooleira, particularmente em safras em que ocorra restrição hídrica, podendo vir a reduzir a produtividade dos canaviais para níveis antieconômicos. Diante disso, objetivou-se analisar a viabilidade econômica da irrigação por pivô central em cultivo de cana-de-açúcar, no município de Piracicaba-SP. Para tanto, simulou-se o crescimento e desenvolvimento da variedade RB867515 em dezessete anos-safra (1997 a 2014) a partir do modelo CSM-Canegro, a fim de identificar os rendimentos de colmos potenciais para condições de cultivos com diferentes condições de depleção da umidade do solo proporcionadas por sistema de irrigação. Posteriormente, estudou-se a rentabilidade auferida em cada cenário, a fim de apontar as que apresentassem a melhor relação custo/benefício entre lâmina aplicada e produtividade alcançada. Os resultados encontrados apontaram que apenas os cenários com deplecionamentos permissíveis de 20 e 30% apresentaram-se economicamente viáveis. Quanto às demais estratégias de irrigação, estas não apresentaram incrementos de produtividade que justificasse o investimento na aquisição do equipamento de irrigação.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp., irrigação, DSSAT

**SANTOS, L. C.; LEAL, D. P. V.; JOSÉ J. V.; COELHO, R. D.; BARROS, T. H. S.**

**APPLICATION OF THE CSM-CANEGRO ECONOMIC FEASIBILITY MODEL STUDY OF SUGARCANE IRRIGATED BY CENTER PIVOT**

### **2 ABSTRACT**

Irrigation when well managed, can minimize the economic risks of sugarcane activity, particularly in crops where water stress occurs, and may reduce the productivity of sugarcane

fields to uneconomical levels. Therefore, the aim of this work was to analyze the economic viability of the irrigation pivot in the sugarcane cultivation in Piracicaba, São Paulo state. Thus, the growth and development simulated was the RB867515 variety in seventeen crop years (1997-2014) from the CSM-Canegro model, in order to identify potential stems income for crop conditions with different conditions of soil moisture depletion. Subsequently, the profitability gained in each scenario in order to point out to present the best cost/benefit ratio between applied blade and achieved productivity was studied. The findings showed that only scenarios with permissible percentage reductions of 20 and 30% had to be economically feasible. As for the other irrigation strategies, they did not show increases in productivity that justified the investment in the acquisition of irrigation equipment.

**Keywords:** Saccharum spp., irrigation, DSSAT

### 3 INTRODUÇÃO

A irrigação quando bem manejada, pode minimizar os riscos econômicos da atividade sucroalcooleira, particularmente em safras com presença de instabilidade climática onde a restrição hídrica, promovida pela diminuição no volume de chuvas, pode reduzir a produtividade dos canaviais.

O Estado de São Paulo explora mais da metade da área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil, e é uma região tradicional no cultivo da cultura (CONAB, 2015). Nesse Estado, e também nas demais regiões com tradição na exploração da cana, a produção é basicamente fundamentada no cultivo de sequeiro ou com irrigação de “salvação”. No entanto, o baixo volume de chuvas observado nas últimas safras e a já conhecida irregularidade na sua distribuição, tem levado mesmo essas regiões, a considerarem como de fundamental importância a adoção da tecnologia da irrigação para obtenção de produtividades econômicas.

De acordo com Dalri e Cruz (2002) a irrigação sempre esteve presente na agricultura tecnificada, pois é uma tecnologia que proporciona maiores produtividades. Contudo, para adoção desta técnica, faz-se necessário quantificar seus benefícios econômicos, mensurando o aumento esperado na produtividade em função do aumento da água aplicada.

Dentre os vários sistemas de irrigação atualmente disponíveis no mercado, o pivô central tem apresentado vantagens no rendimento operacional. No entanto, apresenta a desvantagem de possuir elevado custo de aquisição, o que requer um estudo aprofundado para verificar a viabilidade de implantação desse tipo de sistema e também da forma como manejá-lo, de maneira a garantir o uso racional dos recursos hídrico e financeiro.

Segundo Schirmer e Mattuella (1992), a realização de pesquisas de campo para determinar a viabilidade da irrigação é onerosa, uma vez que a cultura da cana-de-açúcar, é semi-perene. Contudo, modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento de culturas têm sido utilizados como ferramentas poderosas para auxiliar nesse tipo de investigação, sua praticidade e robustez dispensam a necessidade de realização de pesquisas de campo, o que reduz de sobremaneira o tempo para obtenção de informações que subsidiem a tomada de decisão (COELHO, LELIS NETO, BARROS, 2009; BARROS et al., 2012).

Entre os vários modelos utilizados para simulação da produção da cana-de-açúcar, o CSM-Canegro (INMAN-BAMBER, 1991; JONES e SINGELS, 2008) tem sido amplamente utilizado. Segundo Cheeroo-Nayamuth et al. (2000), estes programas permitem a quantificação da contribuição de vários processos fisiológicos e também de elementos climáticos, que podem

ajudar a aumentar a eficiência da pesquisa, permitindo a análise da performance das culturas em diferentes condições ambientais.

Diante do exposto, objetivou-se verificar a viabilidade econômica do uso de equipamento do tipo pivô central na irrigação da cana-de-açúcar a partir de quatro estratégias de manejo da irrigação, tendo como objeto de análise a região de Piracicaba, localizada no Centro-Sul do Estado de São Paulo.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado o modelo de simulação DSSAT/CSM-Canegro para simular o desenvolvimento e a produtividade da variedade de cana-de-açúcar RB-867515 em diferentes cenários de estratégias de irrigação, nas condições do município de Piracicaba-SP (22°43'30'' latitude sul e longitude oeste de 47°38'00''; altitude de 546 m). O solo representativo dessa região é o Latossolo Vermelho Amarelo de textura franco-arenosa (Tabela 1). Foram utilizadas variáveis meteorológicas para o período compreendido pelos anos de 1997 a 2014, as quais são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 1.** Caracterização químico-físico-hídrica representativa do Latossolo Vermelho Amarelo de textura franco-arenosa no município de Piracicaba-SP

Análise química												
pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S	CTC	V	m	S
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%		mg dm <sup>-3</sup>		
6,2	27	46	1,5	45	18	18	0	65	83	78	0	8
Análise físico-hídrica												
Camada (m)	$\theta_{cc}$	$\theta_{pmp}$	CAD (mm)	D <sub>s</sub>	D <sub>p</sub>	PT (%)	Frações granulométricas					
							Areia	Silte	Argila			
	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>			g cm <sup>-3</sup>			%					
0,00 - 0,20	0,227	0,106	24,2	1,53	2,65	42,3	75,1	7,8	17,1			
0,20 - 0,40	0,226	0,098	25,6	1,50	2,65	43,4	74,5	8,0	17,5			
0,40 - 0,60	0,241	0,132	21,8	1,69	2,64	36,0	74,4	8,6	17,0			

M.O. – matéria orgânica; S – soma das Bases; CTC – capacidade de troca catiônica; V – saturação de bases; m – saturação por alumínio; S – enxofre;  $\theta_{cc}$  – umidade na capacidade de campo;  $\theta_{PMP}$  – umidade no ponto de murcha permanente; CAD – capacidade de água disponível; D<sub>s</sub> – densidade do solo; densidade das partículas; e PT – porosidade total

**Tabela 2.** Valores de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, precipitação e evapotranspiração de referência para as condições climáticas do município de Piracicaba-SP para o período de 1997 a 2014

Meses	Temperatura (°C)		Umidade Relativa (%)		Radiação Solar (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	Precipitação (mm)	ETo* (mm mês <sup>-1</sup> )
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima			
Janeiro	34,2	16,8	100	35,6	19,7	247	130,3
Fevereiro	34,4	17,2	100	35,6	20,7	143	124,1
Março	34,1	15,5	100	38,1	19,2	136	123,8
Abril	32,5	12,2	100	33,7	17,1	66	99,2
Mai	30,7	7,5	100	31,6	14,1	58	76,4
Junho	29,5	5,8	100	31,2	12,8	46	64,8
Julho	30,6	5,6	100	27,1	13,4	36	73,6
Agosto	33,0	7,3	100	20,1	16,7	22	100,5
Setembro	35,4	9,3	100	20,4	18,0	58	115,4
Outubro	35,9	12,6	100	22,9	20,1	98	136,1
Novembro	34,9	13,6	100	27,3	21,2	129	138,8
Dezembro	34,7	15,7	100	32,3	21,6	188	144,2

**Fonte:** Posto meteorológico ESALQ/USP; \* Evapotranspiração de Referência (ETo) calculada a partir da equação de Penman-Monteith – Allen et al. (1998)

As simulações para este estudo foram definidas a partir de cinco estratégias de irrigação da cana-de-açúcar onde determinou-se diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo: com 20, 30, 40 e 50% do total de água disponível e uma condição de sequeiro. Foram simulados os ciclos da cana-planta de 12 meses, com plantio em maio.

Foram utilizados os custos de produção agrícola médio de usinas do Estado de São Paulo para a safra 2014/2015 (FNP, 2015). Os custos da atividade foram agrupados por estágio de produção e podem ser encontrados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Descrição dos itens formadores do custo de produção da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, 2015 (região tradicional de cultivo)

Descrição	Fundação Plantio	1° Corte	2° Corte	3° Corte	4° Corte	5° Corte
Formação do canavial (R\$ ha <sup>-1</sup> )	3.900,00	-	-	-	-	-
Tratos culturais cana-planta (R\$ ha <sup>-1</sup> )	513,12	-	-	-	-	-
Tratos culturais Cana-soca (R\$ ha <sup>-1</sup> )	-	1.005,43	971,43	1.070,43	916,43	916,43
Colheita (R\$ ton <sup>-1</sup> )	-	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Remuneração da terra (R\$ ha <sup>-1</sup> )	679,69	679,69	679,69	679,69	679,69	679,69
Custos administrativos (R\$ ha <sup>-1</sup> )	405,42	601,00	561,00	545,00	528,00	512,00

Para os custos com o sistema de irrigação, considerou-se uma área hipotética de 100 hectares, a qual era irrigada por um equipamento do tipo pivô central acionado por motor elétrico, com vazão de 384,7 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> e eficiência de aplicação de 85%. A sumarização dos itens envolvidos na composição do custo total do sistema de irrigação, obtidos a partir da simulação com o programa Otimização de Sistemas Elevatórios - OSE (ZOCOLER, 2003), pode ser encontrada na Tabela 4. Informações adicionais para esse mesmo programa, tais como dados de entrada, podem ser verificadas na referência supracitada.

**Tabela 4.** Custos com investimento e manutenção para o sistema de irrigação por pivô central

Composição do custo total	Valor (R\$ ha <sup>-1</sup> )
Investimento Inicial	5.906,57
Custo Anual Fixo	467,32
Custo Anual de Manutenção e Reparos	66,58
Custo Anual de Bombeamento*	609,73
Custo Anual com Água*	111,98
Custo Anual com Mão de Obra	102,00
<b>Custo Anual Total</b>	<b>1.255,61</b>

\*Custo para o cenário com 20% de depleção da água do solo

A análise da viabilidade econômica foi realizada a partir do Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Utilizou-se também o Payback descontado, o qual busca apresentar a quantidade de safras necessárias para que o somatório dos fluxos de caixa futuros se iguale ao investimento inicial.

Para a análise do fluxo de caixa dos diferentes cenários simulados, considerou-se dois períodos de longevidade do canal. Para o cenário de sequeiro, assumiu-se ciclos com período de cinco safras, e para os demais cenários (níveis de depleção de umidade no solo), adotou-se ciclos com período de sete safras. Dessa forma, de modo a explorar da melhor maneira o período de depreciação contábil do sistema de irrigação, a diferenciação de longevidade dos canais permitiu trabalhar com quatro ciclos para o cultivo de sequeiro, e aproximadamente três ciclos para os outros cenários simulados; totalizando assim, 20 anos para composição do fluxo de caixa. A taxa de juros adotada foi de 6,5% a.a.

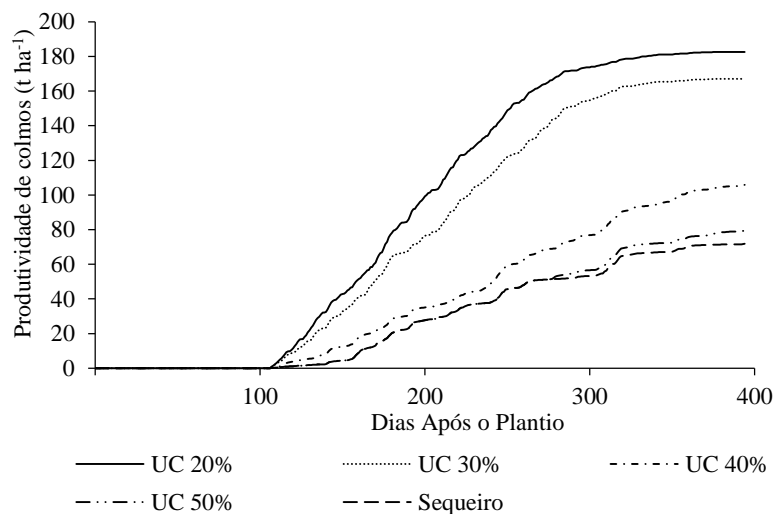
A receita utilizada na elaboração dos fluxos de caixa foi obtida a partir do produto entre a produtividade de colmos em cada cenário, pelo rendimento de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) obtidos em cada condição e o preço de venda deste último. Para o ATR, assumiu-se rendimento de 136 kg de ATR por tonelada de cana, valor esse estimado para a safra 2014/2015 no Estado de São Paulo (FNP, 2015).

O preço médio do quilograma de ATR adotado foi o R\$ 0,4909, que foi o valor publicado no relatório da União dos Produtores de Bioenergia (UDOP) e referente ao mês de abril de 2015, tendo como fonte o Conselho de Produtores de Cana-de-açúcar (CONSECANA).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo CSM-Canegro utilizado para simulação do crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, apresentou desempenho satisfatório para simulações desta cultura na região de Piracicaba-SP, exibindo resultados de rendimento de colmos condizentes com os observados na literatura para a região; os valores de produtividade variaram entre 72 e 182 t ha<sup>-1</sup> para os cenários com diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo (Figura 1).

**Figura 1.** Produtividade de colmos para os diferentes cenários com disponibilidade hídrica no solo (Umidade Crítica - UC)



A variação produtiva obtida a partir da simulação dos 17 anos-safra estudados (Figura 1), demonstra a potencialidade produtiva da cana-de-açúcar irrigada para a região de Piracicaba, tendo sido obtido para o período rendimento máximo de 182 t ha<sup>-1</sup>, produtividade essa superior em 150% a do cultivo de sequeiro. Produtividades elevadas de colmos sob condições irrigadas, em comparação ao cultivo de sequeiro, também foram obtidas em diferentes ambientes de produção por Farias et al. (2008), Dalri e Cruz (2008) e Carvalho et al. (2008).

Para safra de 2014/2015, especificamente, a produtividade da região apresentou queda expressiva em relação à safra anterior, com redução da ordem de 11%, passando de 81,9 para 72,9 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015). Estes resultados reforçam a importância da irrigação da cana-de-açúcar, como uma alternativa viável para a produção e melhoria da produtividade da cultura, assegurando assim a rentabilidade do produtor.

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 5), observa-se que a manutenção de maiores disponibilidades hídricas no solo contribuiu com um incremento na produtividade de colmos de até 58,7% quando comparado com o cultivo de sequeiro. Em contrapartida, a medida que houve imposição do déficit de água no solo, a produtividade reduziu até que, com o deplecionamento de água para níveis de 50%, a produtividade se equiparou ao rendimento obtido em condições de sequeiro.

**Tabela 5.** Lâminas e produtividades de colmos máximas, mínimas e médias para os diferentes cenários de disponibilidade hídrica no solo estudados em Piracicaba-SP

Cenários	Lâmina (mm)			Produtividade de colmos (t ha <sup>-1</sup> )			Diferença Relativa Produtividade (%)
	máxima	mínima	média	máxima	mínima	média	
Depleção de 20%	1169,9	633,9	806,6	182,6	151,2	163,5	58,7
Depleção de 30%	783,9	340,7	477,8	167,1	117,6	145,6	41,3
Depleção de 40%	312,9	78,1	144,1	132,1	87,4	113,7	10,3
Depleção de 50%	94,9	47,4	52,9	129,4	78,3	104,0	1,0
Cultivo de Sequeiro	-	-	-	129,4	72,0	103,0	-

Na comparação entre lâmina aplicada versus produtividade alcançada, percebe-se que os manejos realizados com depleções da água no solo de 20 e 30% foram os únicos que

possibilitaram incrementos de produtividade que justificam a implantação de um sistema de irrigação, os ganhos verificados nas demais estratégias, proporcionaram apenas margens de retorno de rendimentos que são tangíveis em anos em que a precipitação fique dentro da média da região de Piracicaba, sendo, portanto, dispensável o investimento em sistemas de irrigação quando se pleiteia produtividades da ordem de 100 t ha<sup>-1</sup>, valor médio obtido para a condição de sequeiro na região.

Ainda com relação às estratégias de manejo onde foram impostos os menores déficits hídricos, observou-se que para se obter ganhos de 17% de rendimento entre às estratégias de 30 e 20% de depleção, teve-se que incrementar a lâmina de irrigação em cerca de 70%.

Os valores de produtividades obtidos com as simulações deste estudo, só levaram em consideração o fator água, tendo sido negligenciada a contribuição advinda da adoção da fertirrigação. No entanto, considerando-se que o sistema de irrigação via pivô central se presta a isso, pode-se inferir que as produtividades obtidas nas simulações podem ainda ser aumentadas, quando for considerada a prática da fertirrigação, possibilitando inclusive, a aplicação da vinhaça produzida nas usinas.

A partir dos critérios adotados, o custo de implantação total da cana-de-açúcar para este estudo foi de R\$ 5.498,23 por hectare, superando em 14,0% o custo médio para o Estado de São Paulo na safra 2014/2015 (FNP, 2015). O acréscimo fez-se necessário devido ao cômputo do item remuneração da terra. Adicionalmente a este valor, soma-se a despesa com a implantação do sistema de irrigação do tipo pivô central, com valor estimado em R\$ 5.906,57 por hectare.

Diante das condições assumidas, dois dos quatro cenários de irrigação por pivô central simulados apresentaram viabilidade econômica, como pode ser observado na Tabela 6.

**Tabela 6.** Indicadores de viabilidade econômica para diferentes estratégias de manejo da irrigação com pivô central e cultivo em condições de sequeiro

Cenários de Irrigação	Indicador Econômico		
	VPL <sup>1</sup> (R\$)	TIR <sup>2</sup> (%)	PayBack
Depleção de 20%	10.237,15	17,2	8
Depleção de 30%	6.519,25	13,7	10
Depleção de 40%	-2.416,92	3,4	-
Depleção de 50%	-12.443,42	-12,5	-
Sequeiro	5.305,24	22,8	7

<sup>1</sup>Valor Presente Líquido (VPL) e <sup>2</sup>Taxa Interna de Retorno (TIR)

Os resultados demonstram que utilizando a taxa de retorno de 6,5% o investimento apresenta retornos positivos a partir do oitavo e décimo ano, para as depleções de 20 e 30%, respectivamente. Para os cenários com percentuais de esgotamento da água no solo de 40 e 50%, não houve indicativo de viabilidade. No tocante ao cenário de cultivo de sequeiro, este apresentou-se viável, mas análise adicional não será dispensada para esta condição, tendo esta sido relacionada apenas a título de comparação.

Quanto aos indicadores VPL e TIR, considerando-se apenas as estratégias de manejo de irrigação menos restritivas, os dois índices tornaram igualmente atraentes o investimento no equipamento de irrigação, tendo em vista a possibilidade de retorno econômico satisfatório. No entanto, apesar destes terem apresentado viabilidade econômica, a mesma só ocorreu dentro de um horizonte relativamente longo, para o qual, dificilmente, o produtor consideraria como opção de investimento.

É conveniente informar que, apesar de modesta a taxa de juros de 6,5%, a opção se deu em função dessa ser a alíquota praticada pelo Programa de Incentivo a Irrigação

(MODERINFRA), que é a linha de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) que assiste ao produtor irrigante. Entretanto, optou-se por simular um cenário econômico alternativo, onde considerou-se uma taxa de juros com menor grau de risco, tendo sido considerada como adequada uma taxa de 10%. Complementarmente, e de maneira a tornar mais fidedigna a simulação, definiu-se também produtividades de ATR maiores do que as auferidas no cultivo de sequeiro, tendo em vista que a manutenção de condições adequadas de disponibilidade de água no solo favorece o rendimento de açúcar (WIEDENFELD, 1995). Vieira et al. (2014), por exemplo, corroboram essa assertiva, uma vez que, após estudarem os efeitos de lâminas de irrigação sobre o rendimento industrial da variedade RB867515, também sob condições de irrigação por pivô central, estes verificaram produtividades de ATR de até 157 kg t<sup>-1</sup>. Assim sendo, admitiu-se para efeito de simulação, valores de produtividade de ATR de 145 kg t<sup>-1</sup>. O resultado para o cenário econômico alternativo pode ser verificado na Tabela 7.

**Tabela 7.** Indicadores de viabilidade para análise econômica com duas taxas de juros (6,5 e 10%) para os cenários com níveis de 20 e 30% de depleção da umidade do solo

Umidade do Solo	Taxa de Juros de 6,5%			Taxa de Juros de 10%		
	VPL (R\$)	TIR (%)	Payback	VPL (R\$)	TIR (%)	Payback
Depleção de 20%	10.237,15	17,2	8	10838,42	23,5	5
Depleção de 30%	6.519,25	13,7	10	7.412,78	19,7	6

Apesar do aumento na taxa de retorno aplicada ao cenário alternativo, todos os indicadores econômicos apresentaram melhoria, isso em virtude do incremento de ATR em 9 kg t<sup>-1</sup> de colmo produzido. O principal destaque neste novo cenário é a redução no período de retorno no capital imobilizado no investimento, que apesar de não ser o principal indicador econômico utilizado para a tomada de decisão, especificamente quanto à aplicação de capital, certamente é um bom norteador por abarcar os riscos envolvidos com a atividade (BRASIL, 2008).

Como forma de tornar mais vantajoso o investimento em irrigação da cana-de-açúcar, pode-se estudar a adoção, por parte das usinas produtoras de energia por meio de cogeração, do seu excedente energético para o acionamento dos motores elétricos utilizados nos sistemas de irrigação; esta prática poderia reduzir de sobremaneira os custos variáveis com a irrigação, que são relativamente altos quando se trata de motores de razoáveis potências, como são os utilizados em pivô central. Este fato, associado ao elevado número de horas de funcionamento do equipamento, contribui de forma significativa na composição do custo total anual para manutenção do pivô.

Marques, Marques e Frizzone (2006) estudaram a viabilidade econômica da irrigação em Piracicaba, e encontraram para equipamento tipo pivô central, uma participação de 38,36% do custo com bombeamento no custo variável anual. No presente trabalho, a participação deste item apresentou valores de 77, 75, 65 e 59% para as estratégias com depleção de 20, 30, 40 e 50%, respectivamente. Estes aumentos ocorreram em função dos sucessivos ajustes promovidos recentemente nas tarifas de energia elétrica em todo país.

Por fim, apesar da região de Piracicaba apresentar um volume satisfatório de precipitação total anual, a variabilidade climática observada nas últimas safras, pode comprometer de sobremaneira os rendimentos com a atividade, isto, associado aos baixos preços recebidos pela cana e os constantes aumentos dos custos de produção, pode reduzir a margem de ganho do produtor e colocar em risco a atividade. Dessa forma, a irrigação pode se tornar imprescindível para amenizar a situação, promover a verticalização da lavoura e fomentar melhorias econômicas na atividade canavieira.



## 6 CONCLUSÕES

O modelo CSM-Canegro é capaz de simular os rendimentos da cana-de-açúcar, sob diferentes disponibilidades de água no solo;

A irrigação da cana-de-açúcar por pivô central na região de Piracicaba/SP, tem potencial para ser economicamente vantajosa, quando se admite depleções de água no solo situadas entre 20 e 30% da capacidade de água disponível.

## 7 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos ao primeiro autor e à Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro a pesquisa.

## 8 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**, FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56. Food and Agriculture Organization, Land and Water. Rome, Italy. 1998.

BARROS, A. C.; COELHO, R. D. ; MARIN, F. R.; POLZER, D. L.; NETTO, A. O. A. Utilização do modelo Canegro para estimativa de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada para as regiões de Gurupi/TO e Teresina/PI. **Irriga**, Botucatu, v. 17, p. 10-18, 2012.

BRASIL, H. G. **Avaliação moderna de investimentos**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2008. 228p.

CARVALHO, C. M.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J.; MELO, E. P.; SILVA, C. T. S.; GOMES FILHO, R. R. Resposta dos parâmetros tecnológicos da terceira folha de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.3, n.4, p.337-342, 2008.

CHEEROO-NAYAMUTH, F. C.; ROBERTSON, M. J.; WEGENER, M. K.; NAYAMUTH, A. R. H. Using a simulation model to assess potential and attainable sugar cane yield in Mauritius. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.66, n.3, p.225-243, 2000.

COELHO, R. D.; LELIS NETO, J. A.; BARROS, A. C. Cana irrigada produz mais, mas custo de produção aumenta. **AGRIANUAL**. São Paulo, v. 1, p.240-242, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - **CONAB**. Cana-de-Açúcar, Safra 2015/2016. Primeiro Levantamento, Brasília, p.25, 2015.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Irriga**, Botucatu, v.7, n.1, p.29-34, 2002.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.516-524, 2008.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H. R. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.494-506, 2008.

FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. Cana-de-açúcar. In: \_\_\_\_\_. **AGRIANUAL 2015: Anuário estatístico da agricultura**. São Paulo, Informa Economics, 2015. p.

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

JONES, M.; SINGELS, A. **DSSAT v4.5 Canegro Sugarcane Plant Module: User documentation**. Report to the ICSM. p.53, 2008.

MARQUES, P. A. A.; MARQUES, T. A.; FRIZZONE, J. A. Viabilidade econômica sob condições de risco econômico para a irrigação da cana-de-açúcar na região de Piracicaba - SP. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n.1, p. 55-65, 2006.

SCHIRMER, L. M.; MATTUELLA, J. L. Análise da viabilidade econômica da irrigação da cultura do milho pelo sistema pivô-central no Rio Grande do Sul. **Análise Econômica**, Porto Alegre, v.10, n.17, p. 127-139, 1992.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; DELAZARI, F. T. Produtividade e rendimento industrial da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n.1, p.55-64, 2014.

WIEDENFELD, R. P. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugarcane yield and quality. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.43, n.2, p.101-108, 1995.

ZOCOLER, J. L. **Modelo matemático para cálculo dos custos e otimização de sistemas de bombeamento**. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho, 2003.189p. Tese Livre-Docência.