



# Dimensionamento econômico de sistemas de drenagem para a produção de cana-de-açúcar usando o modelo SISDRENA



Sergio N. Duarte<sup>1</sup>, Jarbas H. de Miranda<sup>2</sup> & Marcos V. Folegatti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ESALQ/USP. Av. Pádua Dias 11, CP 09, CEP 13418-900. Fone: (19) 3429-4217. E-mail: [snduarte@carpa.ciagri.usp.br](mailto:snduarte@carpa.ciagri.usp.br) (Foto) e [mvfolega@carpa.ciagri.usp.br](mailto:mvfolega@carpa.ciagri.usp.br)

<sup>2</sup> ESALQ/USP. Fone (19) 3429-4217. E-mail: [jhmirand@carpa.ciagri.usp.br](mailto:jhmirand@carpa.ciagri.usp.br)

Protocolo 067 - 11/5/2001

**Resumo:** Entre as culturas produzidas no Brasil, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) possui caráter relevante, econômico e social. Praticamente, toda a cana produzida no Estado de São Paulo é cultivada em condições de sequeiro e o aproveitamento de novas áreas para a sua produção, nas quais há necessidade de drenagem, torna-se importante. Com este trabalho, objetivou-se avaliar, por intermédio de um modelo de simulação de produtividades, diferentes espaçamentos entre drenos abertos, variando de 10 a 100 m com intervalo de 10 m implantados em três tipos de solo, com condutividade hidráulica saturada diferente (1,0, 0,5 e 0,1 m d<sup>-1</sup>). Os espaçamentos que propiciaram maiores rentabilidades econômicas foram 50, 40 e 20 m, respectivamente para os solos de textura franco-argilosa, argilosa e franco-argilo-siltosa.

**Palavras-chave:** drenagem, dimensionamento econômico, modelo de simulação

## Economic design of drainage systems for sugarcane production using SISDRENA model

**Abstract:** Among the crops produced in Brazil the sugarcane (*Saccharum spp*) assumes a position of economic and social prominence. Practically all the sugarcane produced in the São Paulo State is cultivated under rainfed conditions and the use of new areas for its production becomes important but these areas require drainage. The objective of this work was to evaluate by using a yield simulation model different open drain spacings, varying from 10 to 100 m with intervals of 10 m, implanted in three soil types with different saturated hydraulic conductivity (1,0, 0,5 and 0,1 m d<sup>-1</sup>). The spacings, which proportionated higher economic benefits were 50, 40 and 20 m, respectively for soils of clay loam, clay and silty clay loam textures.

**Key words:** drainage, economic design, simulation model

## INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar assume posição de destaque no Brasil, por se tratar de uma cultura que, além de um alto suporte econômico, possibilita fontes alternativas de energia, sendo ainda de grande importância social pela mão-de-obra empregada (Scardua, 1985). O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, atingindo uma área total cultivada que ultrapassa 4,2 milhões de hectares, com produção anual da ordem de 287 milhões de toneladas (cana colhida) (Matioli, 1998). No Brasil, os Estados que apresentam as maiores produções de cana são, em ordem de classificação, São Paulo, Paraná e Alagoas, ressaltando-se que o aproveitamento de áreas de várzea para a sua produção, nas quais há necessidade de drenagem, torna-se importante, fazendo-se necessária à análise econômica para a implantação de novos projetos.

Dentro desse contexto, o uso de instrumentos como a modelagem computacional, vem-se tornando uma técnica

promissora por possibilitar prever-se o desempenho e propor a otimização de sistemas de drenagem agrícola (Gayle et al., 1987, Carter & Camp, 1994). O SISDRENA (Miranda, 1997) é um modelo de avaliação de desempenho de sistemas de drenagem semelhante ao modelo norte-americano DRAINMOD (Skaggs, 1990). Ambos os modelos são unidimensionais e contabilizam os principais componentes que afetam o balanço de água em um volume de solo homogêneo e de superfície unitária, equidistante entre dois drenos paralelos e que se estende desde a camada de impedimento até a superfície do solo. Visando-se superar a carência de dados horários de chuva no Brasil, o SISDRENA utiliza séries de dados diários de precipitação e evapotranspiração potencial de vários anos. O escoamento superficial é calculado por uma modificação do método Número da Curva, a movimentação do lençol freático (LF) é estimada pela equação proposta por De Zeeuw & Hellinga (Smedema & Rycroft, 1983) e a umidade na zona radicular da cultura é calculada por intermédio de um balanço hídrico. O SISDRENA

determina os índices  $SEW_{30}$  (somatório das alturas diárias do LF acima de um plano localizado a 30 cm de profundidade) e o déficit de evapotranspiração, a partir dos quais se estimam os efeitos do excesso e da falta de umidade, respectivamente, sobre a produtividade da cana-de-açúcar. Uma vez obtida a produtividade relativa esperada com determinada probabilidade de sucesso para a série de dados climáticos utilizados e para cada espaçamento entre drenos submetidos à simulação, é possível se obter o espaçamento mais viável, por intermédio de uma análise econômica.

O objetivo do trabalho é apresentar esta metodologia de dimensionamento de sistemas de drenagem subterrânea, baseada no uso de um modelo de simulação de desempenho de sistemas de drenagem.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas simulações utilizando-se 20 anos de dados diários de precipitação e evapotranspiração potencial (1975 a 1994) da Região de Piracicaba, SP (22°42'S, 47°38'W e altitude de 546 m). A evapotranspiração potencial foi determinada pelo método de Camargo (Pereira et al., 1997); utilizaram-se três tipos de solo de perfil homogêneo, apresentando condutividade hidráulica saturada de 1,0; 0,5 e 0,1 m d<sup>-1</sup>, cujas curvas de retenção são apresentadas por Miranda (1997) estando as umidades características resumidas na Tabela 1.

Tabela 1. Condutividade hidráulica saturada ( $K_o$ ), textura, umidade volumétrica do solo correspondente à saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente ( $\theta_{sat}$ ,  $\theta_{CC}$ ,  $\theta_{PMP}$ ) e água disponível ( $\theta_{CC-PMP}$ ) dos três tipos de solo utilizados na simulação

Parâmetros	Solo 1	Solo 2	Solo 3
	( $K_o = 1,0 \text{ m d}^{-1}$ ) Fr* -Argilosa	( $K_o = 0,5 \text{ m d}^{-1}$ ) Argilosa	( $K_o = 0,1 \text{ m d}^{-1}$ ) Fr* -Argiloso-Siltoso
$\theta_{sat}$ (%)	57,2	64,5	49,4
$\theta_{CC}$ (%)	43,4	57,7	44,3
$\theta_{PMP}$ (%)	18,9	44,4	32,9
$\theta_{CC-PMP}$ (%)	24,5	13,3	11,4

\* Fr - Franco

Os valores dos coeficientes CN aplicados para a estimativa do escoamento superficial, pela modificação do método do número da curva, foram 64, 85 e 90 para os solos 1, 2 e 3, respectivamente. Os espaçamentos entre drenos simulados foram variados de 10 a 100 m, com intervalos de 10 m, para se verificar a consequência desta variação na umidade do solo e na produtividade da cultura. Considerou-se uma cultura de cana-de-açúcar com ciclo de um ano, plantada em outubro e colhida em setembro, com três estádios de desenvolvimento, definidos por Scardua (1985): estabelecimento vegetativo (125 d), formação da produção (120 d) e maturação (120 d).

O sistema de drenagem proposto consistiu no uso de drenos abertos paralelos (valetas); os parâmetros geométricos do sistema, necessários à simulação, são apresentados na Tabela 2.

O modelo SISDRENA foi utilizado para simular as profundidades diárias do LF e determinar os valores do índice  $SEW_{30}$  (cm d) com vistas a se estimar a quebra de produção devido ao excesso de água. Para o cálculo deste índice, utiliza-se a seguinte expressão:

Tabela 2. Parâmetros geométricos do sistema de drenagem proposto

Parâmetros	Valores Adotados
Profundidade da valeta	1,4 m
Largura da base da valeta	0,4 m
Inclinação dos taludes	1,25:1- solo 1; 1,0:1- solo 2 e 0,75:1- solo 3
Profundidade da camada de impedimento	5,2 m

$$SEW_{30} = \sum_{i=1}^N (30 - h(i)) \quad (1)$$

em que  $h(i)$  é a profundidade média diária do lençol freático (cm), sendo os termos negativos desprezados, e  $N$  é o número de dias do ciclo da cultura. Valores de  $SEW_{30}$  menores que 100 cm d durante o ciclo da cultura, geralmente indicam uma drenagem adequada (Skaggs, 1990).

A produtividade relativa esperada, contabilizando-se apenas o efeito do excesso de água, foi calculada por uma relação experimental obtida por Carter et al. (1985) para a cultura da cana-de-açúcar, a qual é função do índice  $SEW_{30}$ , como se segue na Eq. 2.

$$YRW = 100 - 0,02771 SEW_{30} \quad (2)$$

em que:

YRW - produtividade relativa ao excesso de umidade, %

Para contabilizar o efeito da deficiência hídrica sobre a produtividade da cana-de-açúcar, utilizou-se a função de produção proposta por Scardua (1985). A função de produção apresenta coeficientes referentes a cada estágio de desenvolvimento da cultura e é representada pela Eq. 3.

$$Y = 0,0620 + 0,6610X_1 + 0,2762X_2 - 0,0306X_3 \quad (3)$$

em que:

Y - estimativa da quebra de produção, decimal

$X_1, X_2, X_3$  - variáveis da função de produção, em função do déficit de evapotranspiração no 1º, 2º e 3º estádios, respectivamente, adimensional

donde:

$$X_i = \left( 1 - \frac{\sum ETR_i}{\sum ETP_i} \right) \quad (4)$$

sendo:

$\sum ETR_i$  - somatório da evapotranspiração real, de acordo com cada estágio de desenvolvimento da cultura da cana, mm

$\sum ETP_i$  - somatório da evapotranspiração potencial, de acordo com cada estágio de desenvolvimento da cultura da cana, mm

Conhecendo-se a água disponível do solo e se realizando um balanço hídrico na zona radicular da cultura, utilizou-se o modelo SISDRENA para simular a evapotranspiração real e se calcular os valores dos déficits de evapotranspiração. A produtividade relativa esperada, contabilizando-se apenas o efeito da falta de umidade do solo, foi calculada pela Eq. 5.

$$YRD = (1 - Y)100 \quad (5)$$

em que:

- YRD - produtividade relativa ao déficit de umidade, %
- Y - estimativa da quebra de produção, decimal

Segundo a função de produção utilizada em uma situação de ausência total de déficit de água, a produtividade relativa alcançada será em torno de 93,8 e não 100%, como se esperava. Este fato se deve ao modelo de regressão múltipla adotado pelo autor, que não impôs a condição de se obter um coeficiente linear nulo.

De posse dos valores das produtividades relativas ao déficit e ao excesso de umidade, calculou-se a produtividade relativa total - YT(%), pela Eq. 6.

$$YT = \frac{YRD \ YRW}{100} \quad (6)$$

Para se definir a produtividade relativa representativa de cada espaçamento entre drenos, dentre as 20 produtividades relativas obtidas, correspondentes a cada ano, visando à análise dos efeitos do excesso e da falta de umidade sobre a cana-de-açúcar, optou-se por calcular as produtividades médias (YTm). De outra forma, para se realizar a análise econômica, preferiu-se calcular a produtividade com 80% de probabilidade de sucesso (YT<sub>80</sub>), ou seja, a produtividade mínima esperada com um período de retorno de 5 anos. Este critério visa garantir maior segurança na tomada de decisão quanto ao espaçamento entre drenos a ser adotado. Os valores de YT<sub>80</sub> foram estimados pela fórmula empírica de Kimball e, de posse desses valores, procedeu-se à análise econômica, para determinar o melhor espaçamento. Os dados utilizados para a análise econômica são apresentados na Tabela 3.

A metodologia empregada também contemplou o fato de que, para cada espaçamento utilizado, haveria uma área perdida, que representa a área não utilizável devido à abertura das

Tabela 3. Dados utilizados na análise econômica

Item	Valor Utilizado
Produção potencial máxima para a cana-de-açúcar (PPmax)	200 t ha <sup>-1</sup>
Preço de venda da cana-de-açúcar (PV)*	R\$ 15,00 t <sup>-1</sup>
Custo de produção da cultura (Ci)	R\$ 11,00 t <sup>-1</sup>
Custos de saneamento e abertura dos drenos coletores (CS)	R\$ 350,00 ha <sup>-1</sup>
Custo da abertura de valetas de campo (CAV)	R\$ 1,10 m <sup>-3</sup>
Vida útil do projeto (i)	25 anos
Taxa de juros anual (r)	12 % a.a
Preço da terra valorizada (PVTB)	R\$ 4.000,00 ha <sup>-1</sup>
Preço da terra desvalorizada (PVTD)	R\$ 2.000,00 ha <sup>-1</sup>
Preço do arrendamento da terra (CARR)	R\$ 62,00 ha <sup>-1</sup>

\* Fonte: Agrarianal - Anuário da Agricultura Brasileira - 2001

valetas de campo. Esta área perdida foi considerada tanto no cálculo da produtividade obtida quanto na análise econômica. Para se calcular a fração da área realmente utilizada, aplicou-se uma relação entre a área perdida e a área plantada, conforme Eq. 7.

$$FR = \frac{(10000 - AP)}{10000} \quad (7)$$

em que:

- FR - fração de área efetivamente plantada, decimal
- AP - área perdida devido à abertura de valetas, m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>

A área perdida foi obtida pelo produto entre o comprimento linear total de valetas por hectare pela base superior da valeta, considerando-se ainda uma folga de 0,5 m em cada um dos lados da base, conforme Eqs. 8, 9 e 10.

$$AP = CI \ B \quad (8)$$

em que:

$$CI = \left( \frac{100}{\text{Espaçamento}} \right) 100 \quad (9)$$

sendo:

- CI - comprimento linear total das valetas, considerando-se uma área de 1 ha, m
- B - base superior da valeta acrescida de uma folga de 0,5 m de cada lado, m

assim:

$$B = b + 2 \ h \ \lambda + 1,0 \quad (10)$$

em que:

- b - base inferior da valeta, m
- h - profundidade da valeta, m
- λ - inclinação do talude, adimensional

A receita bruta anual foi obtida pela Eq. 11.

$$R(i) = PV \ PP_{\text{máx}} \ YT_{80} \ FR \quad (11)$$

em que:

- R(i) - receita bruta anual, R\$ ha<sup>-1</sup>
- PV - preço de venda da cana-de-açúcar, R\$ t<sup>-1</sup>
- PP<sub>máx</sub> - produção potencial máxima para a cana-de-açúcar, t ha<sup>-1</sup>
- YT<sub>80</sub> - produtividade com 80% de probabilidade de sucesso, %

O custo de implantação do sistema de drenagem foi obtido pela Eq. 12:

$$CI = CAV + CS \quad (12)$$

donde:

- CI - custo de implantação, R\$ ha<sup>-1</sup>
- CAV - custo de abertura de valetas no campo, R\$ ha<sup>-1</sup>
- CS - custo de saneamento, R\$ ha<sup>-1</sup>

O custo do saneamento refere-se àquele relativo à retirada da água superficial da área para permitir que se faça o levantamento topográfico.

Para o cálculo do custo de manutenção do sistema, assumiu-se que o mesmo representaria, em cada ano, 3% do custo de implantação (Eq. 13).

$$CM = 0,03 CI \quad (13)$$

em que:

- CM - custo de manutenção, R\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>

O cálculo do valor residual, que representa o que o produtor ganha em relação à valorização da terra devido à implantação do sistema de drenagem, foi baseado no produto do preço de venda médio de uma terra valorizada (R\$ 4.000,00 ha<sup>-1</sup>) pela fração de área efetivamente plantada, menos o preço de venda médio de uma terra desvalorizada na região (R\$ 2.000,00 ha<sup>-1</sup>) conforme Eq. 14.

$$RF = PVTB.FR - PVID \quad (14)$$

sendo:

- RF - incremento no preço de venda da terra devido à drenagem, valor residual, R\$ ha<sup>-1</sup>
- PVIB - preço de venda de uma terra valorizada, R\$ ha<sup>-1</sup>
- PVID - preço de venda de uma terra desvalorizada, R\$ ha<sup>-1</sup>

Os valores de preço da terra foram obtidos em uma cooperativa de produtores de cana-de-açúcar, na região de Piracicaba, SP. O fato da ordem de grandeza de uma terra valorizada apresentar-se como o dobro do valor de uma terra desvalorizada, está em concordância com o procedimento para se estimar o valor de terras agrícolas, apresentado por Prado (1998).

Os custos anuais foram obtidos somando-se o custo de produção da cana-de-açúcar com relação à área efetivamente plantada, o custo de arrendamento da terra e o custo de manutenção, como se segue na Eq. 15.

$$C(i) = CP FR + CARR + CM \quad (15)$$

tendo-se:

- C(i) - custo anual, R\$ ha<sup>-1</sup>
- CP - custo de produção da cultura, R\$ ha<sup>-1</sup>
- CARR - custo de arrendamento, R\$ ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>
- CM - custo de manutenção, R\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>

Ante os valores de receitas e custos, pode-se determinar o valor presente líquido, que foi o índice utilizado para se definir que espaçamento entre drenos se apresentou mais econômico. Este índice pode ser definido como a diferença entre benefícios e custos, obtida por meio da transformação das séries de custos e benefícios, correspondentes à vida útil do projeto, para um

ano de referência. Valores presentes líquidos positivos indicam lucratividade, e negativos representam prejuízo. As análises econômicas realizadas revelaram que, algumas vezes, a receita anual assumia valores negativos, nessas condições em que a taxa interna de retorno não pode ser calculada e a relação benefício custo não fornece resultados que evidenciem a alternativa mais econômica. Por esta razão, utilizou-se o valor presente líquido como indicativo do espaçamento mais econômico. Este índice é obtido pela Eq. 16.

$$VP = \sum_{i=1}^{i=n} \left( \frac{R(i) - C(i)}{(1+r)^i} \right) - CI + \frac{RF}{(1+r)^n} \quad (16)$$

em que:

- VP - valor presente líquido, R\$ ha<sup>-1</sup>
- r - taxa de juros anual, decimal
- n - vida útil do projeto, ano

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta os valores médios de 20 anos da produtividade relativa ao excesso de umidade (YRW), produtividade relativa ao déficit de umidade (YRD) e produtividade relativa total (YTm) revelando os efeitos relacionados ao excesso de água, à falta de água e ao efeito conjunto desses dois fatores sobre a produtividade relativa da cana-de-açúcar.

Nota-se que a quebra de produtividade devido ao excesso de umidade, foi de 25, 40 e 90%, nos solos 1, 2 e 3, respectivamente, para o espaçamento de 100 m. Este resultado está relacionado ao efeito da condutividade hidráulica, pois esta é um parâmetro que tem grande influência no movimento da água em direção aos drenos. Observa-se, também, que, para não haver qualquer estresse por excesso, os espaçamentos a serem adotados seriam de 30, 20 e 10 m para os solos 1, 2 e 3, respectivamente.

Com relação ao efeito da falta d'água, verifica-se que, mesmo com espaçamentos de 100 m, houve déficit de umidade na zona radicular da cultura; este resultado se deve ao fato do modelo não prever irrigações. Os maiores déficits foram obtidos para espaçamentos menores, pois neste caso o lençol freático é rebaixado mais rapidamente e o efeito benéfico do fluxo ascendente sobre a disponibilidade de água para a cultura, diminui. Outro fato a ser observado refere-se aos valores de YRD para dado espaçamento, por exemplo, de 10 m. Verifica-se que YRD diminui do solo 1 em relação aos solos 2 e 3, porque a água disponível no solo 1 é maior que nos solos 2 e 3 (Tabela 1).

Os espaçamentos que propiciaram as maiores produtividades médias foram 60, 30 e 10 m, para os solos tipo 1, 2 e 3, respectivamente; assim, percebe-se que, na avaliação do desempenho de sistemas de drenagem, é importante contabilizar-se o efeito da falta de água, o que geralmente não é feito nas metodologias tradicionais de dimensionamento. Caso fosse considerado apenas o efeito do excesso de água para os solos 1 e 2, os espaçamentos mais favoráveis seriam 30 e 20 m, respectivamente. No solo 3, o efeito da falta de água foi sobrepujado pelo efeito do excesso que, neste solo, é muito severo, de forma que o espaçamento que permitiu maior produtividade se manteve por volta de 10 m, para este solo.

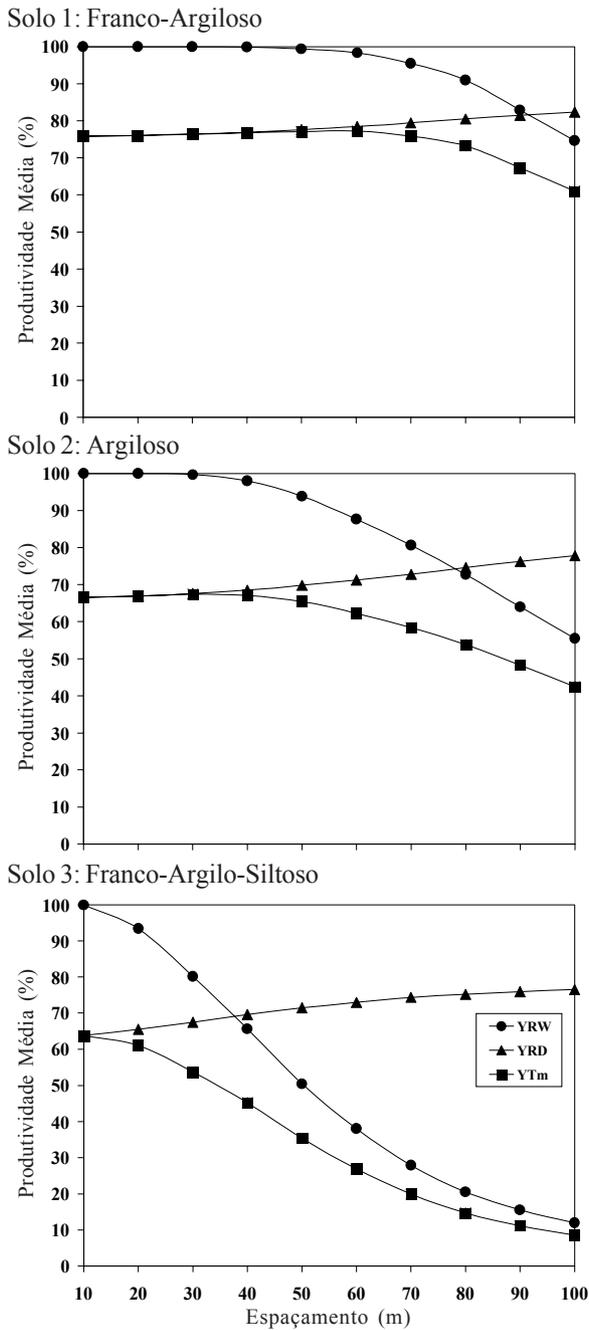


Figura 1. Representação esquemática dos valores médios de produtividade relativa ao excesso de água (YRW), produtividade relativa ao déficit de água (YRD) e produtividade relativa média total (YTM) para os solos 1, 2 e 3 e os respectivos espaçamentos

A análise econômica foi realizada para se verificar que espaçamentos apresentaram maior valor presente líquido, para os respectivos tipos de solo. Para a quebra de produtividade da cultura foi utilizada a sua produtividade média durante o período de 20 anos, enquanto que, para se avaliar economicamente o sistema de drenagem foi aplicado o valor de produtividades esperadas com 80% de probabilidade de sucesso (YT<sub>80</sub>). Este valor é menor que a produtividade média, pelo fato de se exigir maior certeza de produção. A Figura 2 apresenta os valores de YT<sub>80</sub> e do índice valor presente líquido, em função do espaçamento entre drenos.

Os maiores valores de YT<sub>80</sub> foram obtidos para os espaçamentos de 40, 30 e 10 m, para os solos 1, 2 e 3, respectivamente, enquanto os espaçamentos que apresentaram maiores valores presentes

líquidos foram 50, 40 e 20 m (Tabela 4) pelo fato de que, quando se analisa economicamente o projeto, os custos e as receitas são contabilizados, influenciando diretamente no valor presente líquido.

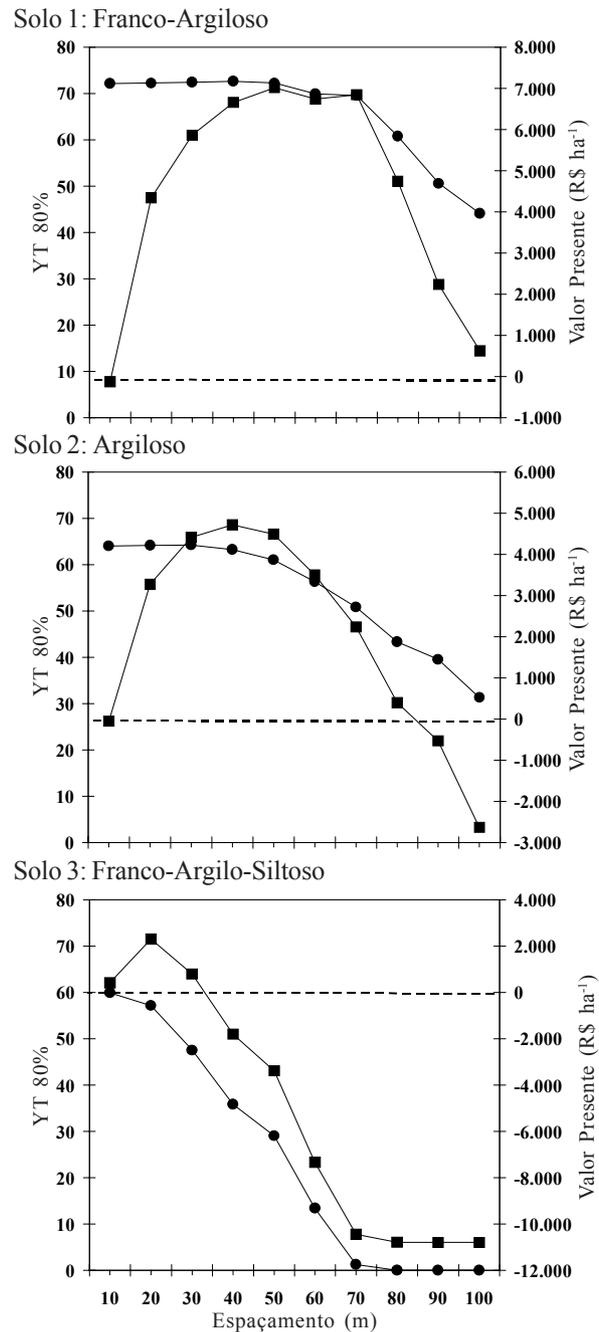


Figura 2. Representação esquemática dos valores médios de produtividade relativa total a 80% de probabilidade (YT<sub>80</sub>) e valor presente líquido (VP) para os solos 1, 2 e 3 e os respectivos espaçamentos

Tabela 4. Espaçamentos entre drenos abertos mais econômicos (E), fração de área útil (FR), valores de produtividade relativa com probabilidade de sucesso de 80% (YT<sub>80</sub>), renda bruta (RB) e valor presente líquido (VP) obtidos para os diferentes tipos de solo

Solos	E (m)	FR	YT <sub>80</sub> (%)	RB (R\$ ha <sup>-1</sup> )	VP (R\$ ha <sup>-1</sup> )
1	50	0,902	72,25	2.261,38	7.014,21
2	40	0,877	63,26	1.964,63	4.717,55
3	20	0,755	57,16	1.636,35	2.307,80

Verifica-se pela Figura 2 que, para os solos 1 e 2, houve viabilidade econômica para implantação do sistema de drenagem para uma ampla faixa de espaçamentos; já para o solo 3, por se tratar de um solo com  $K_o$  ( $0,1 \text{ m d}^{-1}$ ), a maioria dos espaçamentos analisados não apresentou viabilidade econômica, com exceção daqueles que variaram de 10 a 30 m.

## CONCLUSÕES

1. A metodologia adotada apresentou-se promissora, contabilizando fatores que, geralmente, não são considerados nas metodologias tradicionais de dimensionamento de drenos, como o escoamento superficial, o efeito do déficit de umidade, a área perdida devido à abertura de valetas e o aspecto econômico.

2. Os valores de espaçamento obtidos apresentaram ordem de grandeza coerente, mas se revelaram ainda relativamente pequenos, quando comparados com os valores que vêm sendo utilizados na prática, que chegam a atingir 100 m, entre valetas no Estado de São Paulo.

3. Os resultados obtidos revelaram a viabilidade econômica para implantação de sistemas de drenagem, com drenos abertos, para os solos 1 e 2.

4. Para o solo 3, com exceção dos espaçamentos de 10 a 30 m, não se verificou viabilidade de execução da obra.

## LITERATURA CITADA

- Carter, C.E.; Camp, C.R. Drain spacing on water table control and cane sugar yields. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.37, n.5, p.1509-1513, 1994.
- Carter, C.E.; Irvine, J.E; McDaniel, V.; Dunckelman, J. Yield response of sugarcane to stalk density and subsurface drainage treatments. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.28, n.1, p.172-177, 1985.
- Gayle, G.A.; Skaggs, R.W.; Carter, C.E. Effects of excessive soil water conditions on sugarcane yields. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.30, n.4, p.993-997, 1987.
- Matioli, C.S. Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo. Piracicaba: ESALQ, 1998. 122p. Tese Doutorado
- Miranda, J.H. Modelo para simulação da dinâmica da água em sistemas de drenagem subterrânea e cálculo do espaçamento econômico entre drenos. Piracicaba: ESALQ, 1997. 89p. Dissertação Mestrado
- Pereira, A.R.; Villa Nova, N.A.; Sedyama, G.C. Evapo(transpi)ração - Piracicaba : FEALQ, 1997, 183p.
- Prado, H. Solo tropicais - potencialidades, limitações, manejo e capacidade de uso. 2 ed. São Paulo: Funep, 1998, 231p.
- Scardua, R. O clima e a irrigação na produção agroindustrial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Piracicaba: ESALQ, 1985. 122p. Tese Livre-Docência
- Smedema, L.K.; Rycroft, D.W. Land drainage. Ithaca: Cornell University Press, 1983. 377p.
- Skaggs, R.W. DRAINMOD: user's manual. Raleigh: North Carolina State University, 1990. 101p.