

### Modelos de Maturação da Cana-de-Açúcar Adubada com Composto de Lixo Urbano

Alessandra Fabíola Bergamasco<sup>1</sup>Fábio Cesar da Silva<sup>2</sup>Ariovaldo Faustino Soares da Silva<sup>3</sup>Marco Antonio Azeredo Cesar<sup>4</sup>

Foto: Maria Augusta Garcia

O crescimento e a modernização do setor agrícola canavieiro trouxeram problemas de esgotamento das reservas orgânicas naturais do solo. Os resíduos orgânicos, como o composto de lixo urbano (CL) são mais abundantes, baratos e podem repor a fertilidade do solo (Polo et al., 1988). Além disso, deve ser salientado a ausência de microrganismos patogênicos, o que o torna recomendável para o uso agrícola (Melo et al., 1997).

Possuir um adequado conhecimento do comportamento agrícola e tecnológico das variedades comerciais exploradas é de importância vital para permitir um manejo varietal direcionado. O uso de banco de dados possibilita o armazenamento estável de vários indicadores (produtividade/hectare, curva média de maturação, fibra, umidade e outros) que permitem conhecer com precisão e agilidade as complexas interações dos diversos fatores responsáveis pela maturação da cana-de-açúcar: variedade, solo, clima, nível de adubação, época de corte, manejo, estado de sanidade da cultura, etc. A análise precisa e ágil

desses dados auxilia a alocação de variedades de conformidade com suas exigências edafo-climáticas locais, explorando todo o seu potencial de desempenho econômico.

Com um sistema de informação apoiado em banco de dados relacional, e com a utilização de modelos matemáticos como apoio às decisões, tem-se total controle do manejo e crescimento produtivo e econômico da cana-de-açúcar.

O objetivo desse estudo foi descrever modelos matemáticos que expliquem o comportamento dos teores de sacarose durante a maturação da cana-de-açúcar adubada com composto de lixo urbano em combinação com suplementos P e K, para se obter a curva que melhor se ajusta aos dados reais e assim, através desses modelos, predizer as melhores épocas para se realizar o corte da cana (ponto máximo de sacarose), melhor dose de CL e melhor suplementação PK a ser aplicada para se atingir o ponto máximo na época desejada e ainda, minimizar custos de produção e melhorar a fertilidade dos solos.

<sup>1</sup> Zootecnista, Bolsista Fapesp, Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo – 13083-970 – Campinas, SP. (afb@cnptia.embrapa.br)

<sup>2</sup> Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária. (fcesar@cnptia.embrapa.br)

<sup>3</sup> M.Sc., Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-970 – Piracicaba, SP. (afssilva@zipmail.com.br)

<sup>4</sup> Prof. Dr., Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-970 – Piracicaba, SP. (maacesar@carpa.ciagri.usp.br)

## Material e Métodos

### Instalação do Experimento

Para o estudo da maturação da cana-de-açúcar sob adubação do composto de lixo foi conduzido um experimento envolvendo aplicação de doses crescentes de composto de lixo (0, 30, 60 e 90 t.ha<sup>-1</sup>) combinado a suplementação P, K e PK, instalado no município de Piracicaba, SP, na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), em Terra Roxa Estruturada (projeto CNPq no. 520150/96-1 e Fapesp no. 98/06439-2).

O delineamento experimental foi um fatorial 4X2X2 com tratamento adicional, de acordo com Gomes (1985), com 16 tratamentos e 3 repetições, totalizando 48 parcelas. A parcela foi constituída de 5 linhas de 8 metros de comprimento, espaçadas nas entrelinhas em 1,30m. A área útil da parcela compreendeu as três linhas centrais com 6m de comprimento, descontado a bordadura (1m de cada lado), ou seja, uma área efetiva de amostragem de 23,4m<sup>2</sup>.

Os tratamentos foram:

- T<sub>01</sub> = Testemunha
- T<sub>02</sub> = P (120 Kg.ha<sup>-1</sup>)
- T<sub>03</sub> = K (120 Kg.ha<sup>-1</sup>)
- T<sub>04</sub> = PK (120 Kg.ha<sup>-1</sup> de cada um)
- T<sub>05</sub> = 30t.ha<sup>-1</sup> de composto de lixo
- T<sub>06</sub> = 60t.ha<sup>-1</sup> de composto de lixo
- T<sub>07</sub> = 90t.ha<sup>-1</sup> de composto de lixo
- T<sub>08</sub> = 30t.ha<sup>-1</sup> de composto de lixo + P
- T<sub>09</sub> = 60t.ha<sup>-1</sup> de composto de lixo + P
- T<sub>10</sub> = 90t.ha<sup>-1</sup> de composto de lixo + P
- T<sub>11</sub> = 30t.ha<sup>-1</sup> de composto de lixo + K
- T<sub>12</sub> = 60t.ha<sup>-1</sup> de composto de lixo + K
- T<sub>13</sub> = 90t.ha<sup>-1</sup> de composto de lixo + K
- T<sub>14</sub> = 30t.ha<sup>-1</sup> de composto de lixo + PK
- T<sub>15</sub> = 60t.ha<sup>-1</sup> de composto de lixo + PK
- T<sub>16</sub> = 90t.ha<sup>-1</sup> de composto de lixo + PK

As fontes dos fertilizantes empregadas foram: sulfato de amônio, superfosfato triplo e cloreto de potássio, tendo suas dosagens calculadas de acordo com recomendações do Instituto Agrônomo de Campinas (Raij et al., 1985). Tanto os fertilizantes químicos como o CL foram aplicados de uma só vez no sulco de plantio.

### Análises químicas para obtenção dos dados

Das amostras de canas já desintegradas retiraram-se subamostras de 500g para a extração do caldo,

através da prensa hidráulica, conforme descrito por Tanimoto (1964). Obtiveram-se então o caldo extraído (CE) e o bagaço fibroso da prensa, que foram empregados nas determinações dos parâmetros tecnológicos (Brix, Pol, P, K e N), ao longo de 1999 e 2000. Com os resultados procederam-se os cálculos, baseados em Cesar & Silva (1993).

Para ajuste dos modelos de maturação da cana-de-açúcar, neste estudo, foram utilizados os dados de Pol% da cana, dosado pelo método de Schmitz sem diluição, descrito por Scheneider (1979).

### Análises estatísticas dos dados

Os dados foram submetidos a análises estatísticas como:

1. análise de variância e teste F para dose de CL, suplemento PK, e interação CL x suplemento PK;
2. teste de Tukey para a variável qualitativa suplemento PK isoladamente e dentro de dosagem de CL;
3. análise de regressão para a variável quantitativa dose de CL, isoladamente e dentro de cada suplementação PK, onde Y= Pol% cana e X= dose de CL em t.ha<sup>-1</sup>;
4. análise de regressão para a variável dias após plantio, dentro de cada tratamento (dosagem de CL combinada com suplemento PK) e dentro de cada dosagem, onde Y= Pol% cana e X= dias após plantio, fornecendo-se assim, a curva de maturação da cana-de-açúcar, de acordo com o primeiro modelo (Modelo Quadrático);
5. análise de resíduos (teor de Pol% cana observado menos o Pol% cana predito pelos modelos) e construção de gráficos de suas distribuições para os três modelos;
6. cálculo dos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) para os modelos ajustados para avaliação da adequacidade destes em relação ao fenômeno observado (Sampaio, 1998), através da equação:

$$R^2 = \frac{SQ \text{ modelo}}{SQ \text{ total}}$$

### Modelagem matemática

Foram utilizados três modelos para descrever o processo de maturação da cana-de-açúcar adubada com composto de lixo urbano: o Modelo Quadrático, obtido através da análise de regressão dos dados, conforme dito anteriormente; o Modelo de Mitscherlich, já existente na literatura (Udo, 1983), e o Modelo de crescimento descrito por Teruel (1996).

No Modelo Quadrático, a porcentagem em peso de sacarose de cana-de-açúcar tem crescimento e decréscimo iguais em torno de seu ponto máximo, ou seja:

$$Y = a + b.X + c.X^2$$

Onde

Y= valor de Pol% cana;

X= época de determinação (dias);

A, b e c = parâmetros do modelo.

Realizou-se uma análise estatística de regressão através do procedimento PROC RSREG do software SAS, primeiro para todos os tratamentos e depois para as dosagens de CL.

O Modelo de Mitscherlich apresenta crescimento rápido da porcentagem em peso de sacarose da cana-de-açúcar (Pol% cana), seguido de um decréscimo mais lento. Esse modelo foi escolhido por ser bastante utilizado por técnicos, e por seu comportamento explicar muito bem as curvas de maturação da cana-de-açúcar.

A representação matemática do modelo é:

$$Y = A.[1 - 10^{-C(X+B)}]10^{-K(X+B)^2}$$

Onde

Y = porcentagem de sacarose contida na cana-de-açúcar (Pol % da cana);

X = época de determinação do Pol % da cana (mês);

K = fator de prejuízo;

A, B e C = parâmetros da função.

O Modelo de Teruel foi adaptado à maturação (Modelo 3):

$$Y = \exp(a) \cdot t^b \cdot \exp(ct)$$

Onde

Y= Pol% cana;

a, b e c = parâmetros do modelo;

t= época de determinação do Pol% cana.

Para cálculo de estimativa dos parâmetros desses dois últimos modelos, também usou-se o procedimento de regressão não linear PROC NLIN do SAS Institute (1990), fornecendo-se valores iniciais aos parâmetros, retirados da literatura (Udo, 1983; Teruel, 1996), para iniciar o processo de iterações e se chegar a convergência do modelo com os valores finais de a, b, c e k para o Modelo de Mitscherlich a, b e c para o Modelo de Teruel, para cada tratamento e para cada dosagem de composto de lixo em solo Terra Roxa Estruturada. Os métodos utilizados foram o

método de Gauss-Newton, que apresentou melhor ajuste, e o método de DUD (SAS Institute, 1990) o qual não requer derivadas.

### Determinação dos pontos críticos dos modelos

Para cálculo do máximo das funções, utilizou-se, para o Modelo de Mitscherlich (Udo, 1983) e para o Modelo de Teruel, o teorema de Rolle, onde verifica-se em que ponto a função muda de crescente para decrescente. Para isso, inicia-se o processo tomando-se um valor arbitrário ( $\Delta X$ ) de distanciamento de ponto. A partir do valor inicial X, acrescemos a ele o valor  $\Delta X$ , verificando em cada ponto o sinal de  $\Delta Y$ . Quando há uma mudança de sinal, repete-se o processo tomando-se como  $\Delta X$  o valor  $\Delta X/2$  e como X inicial o X anterior à mudança de sinal. Repete-se esse processo até obter  $|Y_{i+1} - Y_i| < 10^{-7}$  (Udo, 1993).

Para estudo dos pontos críticos do Modelo Quadrático no estudo de maturação da cana-de-açúcar, tem-se os seguintes pontos críticos a partir da primeira e segunda derivada respectivamente:

1) Mês em que a cana-de-açúcar fornecerá a maior porcentagem de sacarose:

$$x = -\frac{b}{2.c}$$

2) No mês de maior produção de sacarose a produção máxima será:

$$Y = a - \frac{b^2}{4.c}$$

## Resultados e Discussão

### Análises estatísticas

Realizando-se análises estatísticas, através do Teste F, concluiu-se que o fator CL não apresentou valor significativo para as doses empregadas isoladamente, mas quando complementado com a adubação P e/ou K, houve significância ao nível de 1% de probabilidade. Foi aplicando o teste de Tukey, para estudo do efeito da adição combinada de doses de composto de lixo e de suplementação P, K e PK na Pol% da cana (média de julho a outubro).

A partir dessa primeira conclusão estatística, foi realizada análise de regressão para estudo do comportamento do teor de sacarose da cana-de-açúcar sob efeito da adubação de CL sem adição de suplementação e com adição de P, K e PK, e as crescentes dosagens dentro de época não causaram redução da Pol na cana, não prejudicando sua industrialização.

### Modelos matemáticos

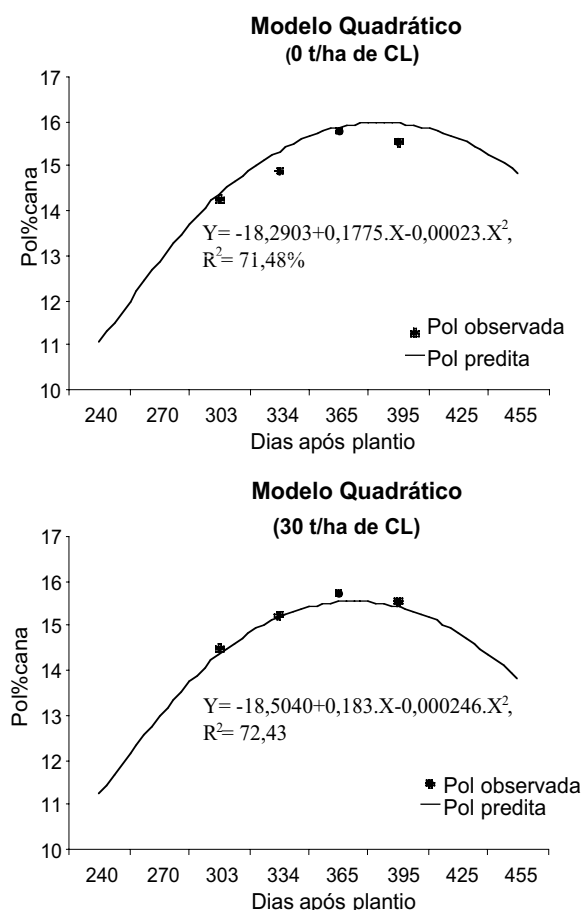
Foi realizada análise de regressão para estudo do comportamento do teor de sacarose da cana-de-açúcar (Pol%) para as doses de CL (Tabela 1), obtendo-se modelos quadráticos das curvas de maturação, onde a variável X é a época, em dias, e Y é o teor de Pol da cana em porcentagem.

**Tabela 1.** Modelos Quadráticos para estudar o efeito do teor de sacarose da cana-de-açúcar (Y) no decorrer da época de maturação (X) em cada dose de CL.

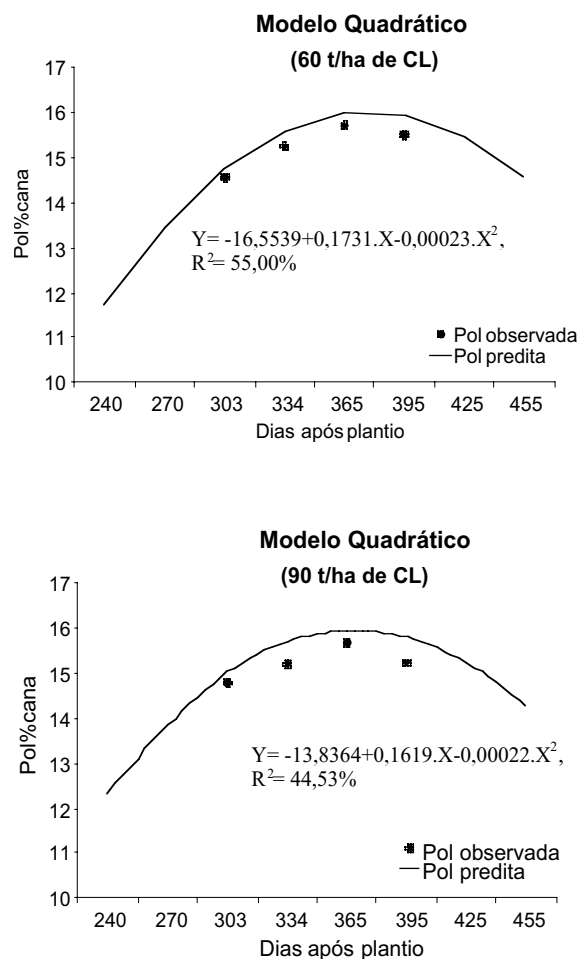
Dose de CL t.ha <sup>-1</sup>	Modelo	R <sup>2</sup> (%)
00	$Y = -18.2903 + 0.1775.X - 0.00023.X^2$	71,48**
30	$Y = -18.5040 + 0.183.X - 0.000246.X^2$	72,43**
60	$Y = -16.5539 + 0.1731.X - 0.00023.X^2$	55,00**
90	$Y = -13.8364 + 0.1619.X - 0.00022.X^2$	44,53*

\*e \*\*significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Estão apresentados a seguir as curvas de maturação para as doses de CL (Fig. 1 e 2) resultantes dos modelos Quadráticos que obtiveram coeficientes de determinação significativos, indicando que podem ser usados na predição de teores de sacarose na cana-de-açúcar cultivada sob essas condições.



**Fig. 1.** Modelo Quadrático da Curva de Maturação da cana-de-açúcar adubada com 0 e 30 t.ha<sup>-1</sup> de CL.



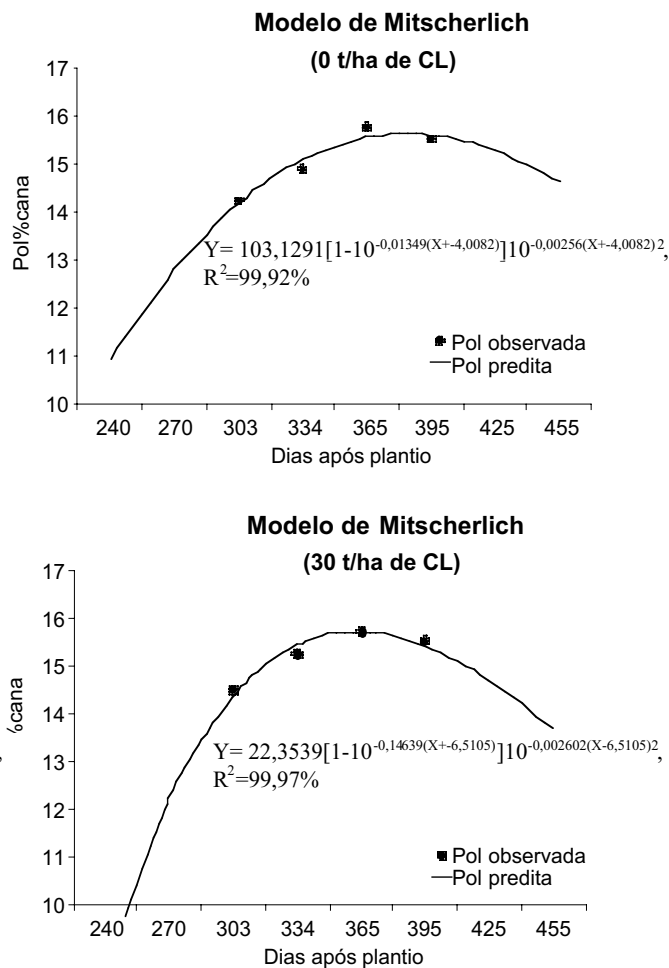
**Fig. 2.** Modelo Quadrático da Curva de Maturação da cana-de-açúcar adubada com 60 e 90 t.ha<sup>-1</sup> de CL.

No estudo da distribuição dos resíduos (Pol observada - Pol predita), observou-se que os resíduos possuem comportamento não desejável, pois possuem sinais (positivo ou negativo) iguais em cada modelo, indicando uma heterogeneidade de variância.

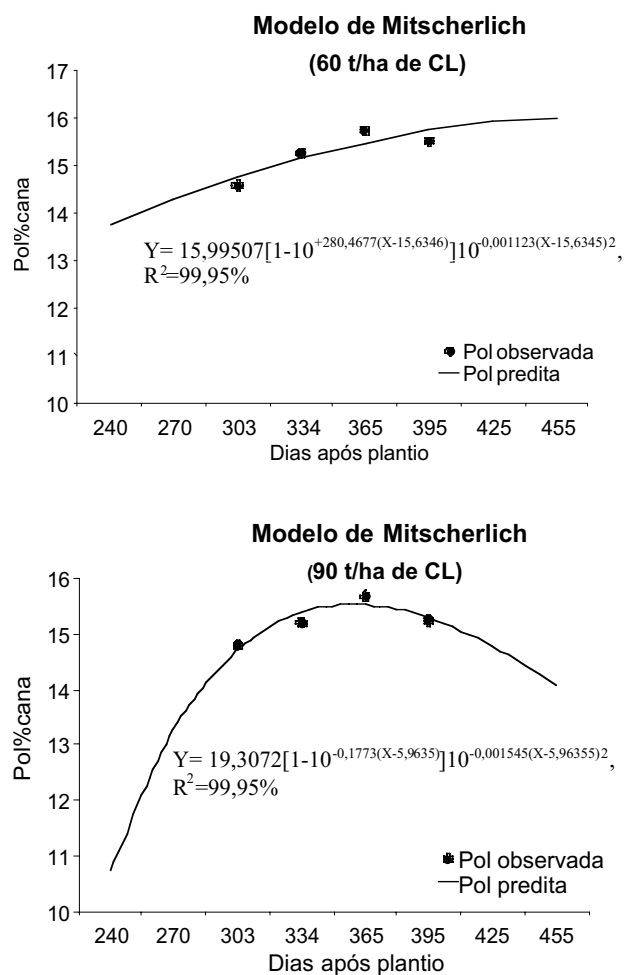
Os modelos de Mitscherlich e de Teruel foram ajustados pelo processo não linear (PROC NLIN) do software SAS (Statistical Analysis System), que é um processo iterativo, e para tal é muito importante a seleção de bons valores iniciais, pois da escolha destes valores pode depender a convergência ou não do modelo, bem como a rapidez da convergência. Para os modelos aqui apresentados, os valores iniciais dos parâmetros *a*, *b*, *c* e *k*, para o Modelo de Mitscherlich, *a*, *b* e *c* para o Modelo de Teruel, foram retirados da literatura, onde esses modelos foram utilizados para descrever a curva de maturação da cana-de-açúcar. Os resultados foram satisfatórios, pois os dois modelos tiveram convergência.

As Fig. 3 e 4 demonstram bem o comportamento da sacarose durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar, através do Modelo de Mitscherlich, para cada adubação com CL, em solo Terra Roxa Estruturada. No estudo dos resíduos desse modelo, observou-se um comportamento adequado, confirmando a condição ideal que requer sinais alternados em curtos intervalos de tempo, mostrando uma homogeneidade de variância e ausência de pontos discrepantes.

Para o Modelo de Teruel (Modelo 3), foi observado um ótimo ajuste, e convergência rápida. As Fig. 5 e 6, demonstram o comportamento da sacarose, durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar, através do Modelo de Teruel para adubação com cada dose de CL, em solo Terra Roxa Estruturada. O comportamento dos resíduos obtidos através do ajuste desse modelo, também confirmaram a condição ideal, mostrando uma homogeneidade de variância e ausência de pontos discrepantes.

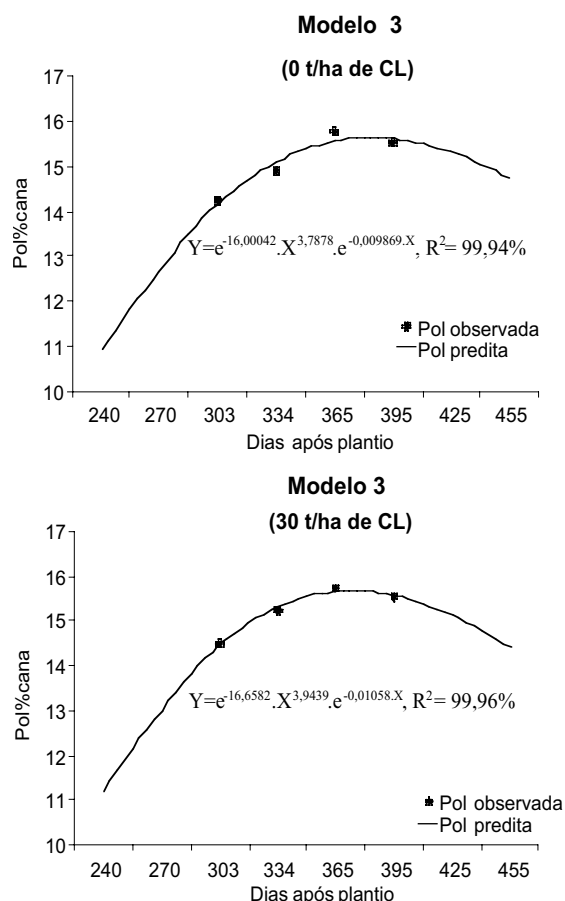


**Fig. 3.** Modelo de Mitscherlich de maturação da cana-de-açúcar adubada com 0 e 30 t.ha<sup>-1</sup> de CL.

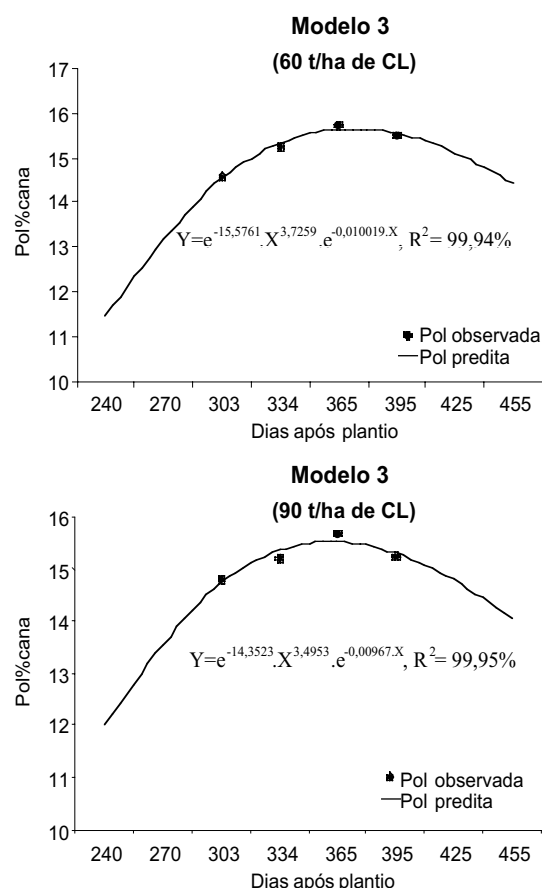


**Fig. 4.** Modelo de Mitscherlich de maturação da cana-de-açúcar adubada com 60 e 90 t.ha<sup>-1</sup> de CL.





**Fig. 5.** Modelo de Crescimento para maturação da cana-de-açúcar adubada com 0 e 30 t.ha<sup>-1</sup> de CL.



**Fig. 6.** Modelo de Crescimento para maturação da cana-de-açúcar adubada com 60 e 90 t.ha<sup>-1</sup> de CL.

### Comparações dos modelos

Foram determinados os pontos críticos dos modelos Quadrático, de Mitscherlich e de Teruel, descritos para as dosagens de composto de lixo a fim de se comparar o comportamento destes. Esses pontos críticos são os teores máximos que serão atingidos de Pol% cana, e a época em que isso irá ocorrer para cada dose de CL. Esses dados são muito importan-

tes pois permitem ao produtor, técnico, etc. escolher a melhor época para o corte da cana com base no teor máximo de sacarose no caldo, e sabendo-se que a partir desse ponto, o teor de sacarose irá começar a decrescer, reduzindo lucros.

Os pontos críticos dos modelos Quadráticos para os Modelos de Mitscherlich e de Teruel, foram calculados e estão descritos na Tabela 2, para as doses de CL.

**Tabela 2.** Pontos Críticos para os três modelos - valores de produção máxima de sacarose (Y<sub>máx</sub>) e a respectiva época (X<sub>máx</sub>), em dias após plantio.

Dose de CL (t.ha <sup>-1</sup> )	Modelos					
	$Y = a + b.X + c.X^2$		$Y = A.[1-10^{-C(X+B)}].10^{-K(X+B)^2}$		$Y = \exp(a) \cdot t^b \cdot \exp(ct)$	
	X <sub>máx</sub>	Y <sub>máx</sub>	X <sub>máx</sub>	Y <sub>máx</sub>	X <sub>máx</sub>	Y <sub>máx</sub>
0	382	15,64	396	15,56	395	15,61
30	373	15,68	366	15,71	373	15,66
60	372	15,65	468	15,99	395	15,54
90	362	15,53	363	15,51	365	15,52

Através do estudo dos pontos críticos desses modelos, pode-se observar que com o aumento da dose de CL, há a redução do tempo para se atingir o ponto máximo, ficando mais precoce a cana-de-açúcar tratada com altas dosagens de CL, mas, o teor de sacarose reduz com o aumento do CL. Assim, os modelos são importantes ferramentas para se chegar a valores de sacarose e datas ideais de corte, de acordo com o interesse do produtor e disponibilidade de adubos e fertilizantes.

Não houve grande diferença na produção máxima entre os três modelos. Entretanto, a obtenção desses pontos máximos dá-se, quase sempre, antes no Modelo Quadrático, da mesma forma que foi observado por Udo

(1983). Nos modelos 1 e 3, a máxima produção de sacarose é maior quando se aduba a cana-de-açúcar com 30 t.ha<sup>-1</sup> de CL, e no modelo 2, quando se aduba com 60 t.ha<sup>-1</sup> de CL, sendo assim, os extremos, sem aplicação de CL, ou aplicação de alta dosagem (90 t.ha<sup>-1</sup>), obtiveram menores teores de Pol máximo.

Foram calculados, também, os Coeficientes de Determinação (R<sup>2</sup>) dos Modelos estudados, importante fator na avaliação de adequacidade do modelo em relação ao fenômeno observado (Sampaio, 1998). Os valores de R<sup>2</sup> são, portanto, importantes para a comparação e escolha do modelo mais confiável. Esses valores estão descritos na Tabela 3, para os três Modelos, em cada dose de CL.

**Tabela 3.** Valores dos Coeficientes de Determinação (R<sup>2</sup>) dos modelos estudados, para cada dose de CL.

Dose de CL (t.ha <sup>-1</sup> )	Modelos		
	$Y = a + b.X + c.X^2$ R <sup>2</sup> (%)	$Y = A.[1-10^{-C(X+B)}].10^{-K(X+B)^2}$ R <sup>2</sup> (%)	$Y = \exp(a) . t^b . \exp(ct)$ R <sup>2</sup> (%)
0	71,48	99,92	99,94
30	72,43	99,97	99,96
60	55,00	99,95	99,94
90	44,53	99,95	99,95

A partir desses valores de R<sup>2</sup> pode-se concluir que o Modelo Quadrático apresentou-se menos adequado aos valores de Pol observados, isto é, é o modelo menos confiável em estimativas de teores de sacarose em diferentes épocas de maturação da cana-de-açúcar sob essas condições.

Analizando-se os modelos de acordo com a data em que atingem a linha base do gráfico, que é o teor de sacarose em Pol% da cana adequado a industrialização, verifica-se que quanto mais tempo a cana permanecer com seu teor de sacarose acima dessa linha base, isto é, quanto maior seu PUI (período útil de industrialização), mais rica a variedade da cana. Os três modelos estudados apresentaram PUI acima de 150 dias.

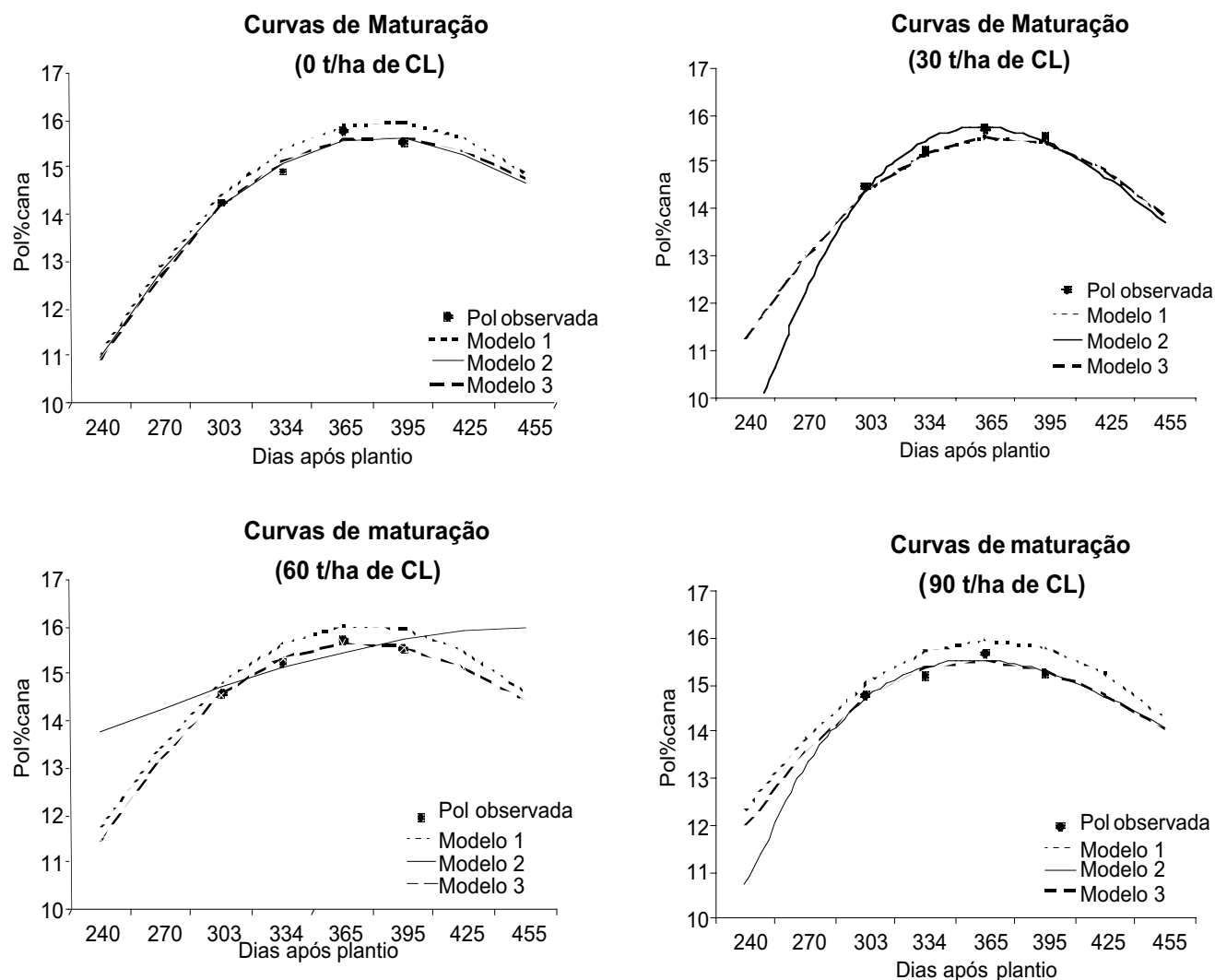
Na Tabela 4 pode ser observada a data aproximada que cada modelo atinge o teor de sacarose de 13%, indicando uma influência da dose de CL nesse tempo, com o coeficiente de correlação entre as dosagens e os dias de -83,93%, indicando uma alta correlação negativa, isto é, quanto maior a dose de CL aplicado na cana-de-açúcar, menor o tempo para se atingir esse valor desejável de sacarose.

Na Fig. 7 pode-se visualizar o comportamento de cada modelo para cada dosagem de CL usada, onde observa-se um comportamento semelhante dos modelos 2 e 3 (com exceção da dose de 60 t.ha<sup>-1</sup> de CL), e comprova-se o resultado dos coeficientes de determinação.

**Tabela 4.** Época aproximada onde cada modelo atinge o teor de 13% de sacarose (teor mínimo para industrialização), para cada dose de CL.

Dose de CL (t.ha <sup>-1</sup> )	Modelos		
	$Y = a + b.X + c.X^2$ X (Y=13% Pol)	$Y = A.[1-10^{-C(X+B)}].10^{-K(X+B)^2}$ X (Y=13% Pol)	$Y = \exp(a) . t^b . \exp(ct)$ X (Y=13% Pol)
0	255 dap*	260 dap	260 dap
30	255 dap	265 dap	255 dap
60	245 dap	Nd**	255 dap
90	235 dap	245 dap	245 dap

\*Dias após plantio e \*\*não determinado.



**Fig. 7.** Comparação dos 3 modelos: Modelo Quadrático (1), Modelo de Mitscherlich (2) e Modelo de Crescimento (3) e valores de Pol observados, em cana adubada com 0, 30, 60 e 90 t.ha<sup>-1</sup> de CL.

Analisando-se os gráficos, conclui-se que o Modelo Quadrático apresentou o pior ajuste, superestimando os dados de Pol observado, com exceção da dosagem 30 onde ele subestimou esses valores, não demonstrando, assim, uma distribuição adequada de resíduos (Fig. 1 e 2). Seus coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram baixos (Tabela 3), em relação aos outros modelos. Quanto aos seus pontos críticos, não houve grandes diferenças em relação aos demais modelos (Tabela 2).

O Modelo de Mitscherlich teve um bom ajuste (Fig. 7), com exceção da dosagem de 60 t.ha<sup>-1</sup> (Fig. 4), onde sua convergência foi difícil, exigindo a fixação de um dos parâmetros ( $k$ ) para convergência do modelo com apenas 3 deles ( $a$ ,  $b$  e  $c$ ). Esse modelo apresentou altos coeficientes de determinação (Tabela 3), e pon-

tos críticos semelhantes aos demais (Tabela 2), com exceção da dose de 60 t.ha<sup>-1</sup> onde o tempo estimado para atingir a produção máxima foi muito elevado, chegando a quase 16 meses, conforme se observa nos gráficos de comparação dos modelos (Fig. 7).

O Modelo de Teruel (Modelo 3), mostrou um ótimo ajuste em todas as dosagens testadas, com altos coeficientes de determinação (Tabela 3) e pontos críticos adequados (Tabela 2). Esse modelo possui o comportamento desejável da maturação da cana-de-açúcar, pois demonstra uma queda lenta do teor de sacarose, mantendo-se mais tempo com altos índices e portanto, maior período útil de industrialização (PUI), que é desejável que seja maior que 150 dias com teor de sacarose entre 13 e 16%.



## Conclusões

1. Não houve atraso na maturação da cana-de-açúcar pela adição de composto de lixo urbano, pelo contrário, houve uma influência da dose de CL no tempo em que a cana atinge o teor mínimo para industrialização que é de 13% de Pol. Ou seja, quanto maior a dose de CL aplicado na cana-de-açúcar, menor o tempo para se atingir esse valor desejável de sacarose.
2. A resposta ótima da cultura em acumulação de açúcar dos colmos ocorreu na combinação do composto com fertilizante (P ou K).
3. O Modelo de Mitscherlich foi o que apresentou o maior número de iterações e assim o maior tempo para convergir pelo Método de Gauss-Newton no software SAS, problema este que pode estar associado ao método utilizado na obtenção dos valores iniciais dos parâmetros ou ainda, por esse ser um modelo mais complexo, com o maior número de parâmetros.
4. De acordo com o resultado dos modelos, com a dose de 90 t.ha<sup>-1</sup> de CL, há a redução do tempo para se atingir o ponto máximo, antecipando a maturação da cana-de-açúcar tratada com altas dosagens de CL, mas, o teor de sacarose reduz com esse aumento.
5. Não houve grande diferença no teores máximos de sacarose e época em que ocorrem entre os três modelos estudados, com exceção do Modelo de Mitscherlich para a dosagem de 60 t.ha<sup>-1</sup>, apresentando uma época de produção máxima de 15,5 meses, que é muito elevada.
6. O Modelo de Mitscherlich apresentou bom ajuste em todas as dosagens de CL testadas, com exceção da dosagem de 60 t.ha<sup>-1</sup>, onde esse modelo não convergiu com os 4 parâmetros, sendo necessário a fixação de um deles para haver a convergência.
7. O Modelo de Teruel explicou bem o processo de maturação da cana-de-açúcar, pois demonstra uma queda lenta do teor de sacarose, mantendo-se mais tempo com altos índices e portanto, maior período útil de industrialização (PUI), que é desejável que seja maior que 150 dias com teor de sacarose entre 13 e 16%.
8. O Modelo Quadrático superestimou todos os dados de Pol% da cana observados nas dosagens

de 0, 60 e 90 t.ha<sup>-1</sup> de CL, e subestimou todos os dados na dosagem de 30 t.ha<sup>-1</sup> de CL, não sendo, portanto, muito confiável na predição de teores de sacarose na cana-de-açúcar em épocas não determinadas, pontos máximos, e para planejamento do corte.

9. Avaliando-se o Coeficiente de Determinação (R<sup>2</sup>) dos modelos, pode-se concluir e comprovar a conclusão anterior de que o Modelo Quadrático foi o que se apresentou menos adequado para descrever o comportamento da sacarose na maturação da cana-de-açúcar sob essas condições, e assim, menos confiável para estimativas.
10. Assim, devido aos vários fatores analisados, podemos concluir que o Modelo de Teruel, foi o melhor modelo para se prever respostas em sacarose na cana-de-açúcar adubada ou não com CL.

## Agradecimento

À Fapesp pelo auxílio aos projetos com processos nos. 98/06439-2 e 99/07341-9.

## Referências Bibliográficas

- CESAR, M. A. A.; SILVA, F. C. da. **A cana-de-açúcar como matéria prima para a indústria sucroalcooleira**. Piracicaba: CALQ, 1993. 107 p.
- GOMES, J. P. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. 466 p.
- MELO, W. J.; SILVA, F. C.; MARQUES, M. O.; SILVA, F. C. da; BOARETTO, A. E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Informação de solo na globalização do conhecimento sobre o uso das terras**: anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM. Conferências – Seção 9.
- POLO, A.; ANDREUX, F.; CERRI, C. C.; LOBO, M. de C. Resíduos orgânicos da agroindústria canavieira. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 6, n. 4/5, p. 53-56, mar./jun., 1988.

RAIJ, B. van; SILVA, N. M. da; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JUNIOR, R.; DECHEN, A. R.; TRANI, P. E. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1985. 107 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. Belo Horizonte: Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 1998. 221 p.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide**: statistics version 6. 4<sup>th</sup> ed. Cary, 1990. 168 p.

SCHENEIDER, F. (Ed.). **Sugar analysis methods**. Peterborough: ICUMSA, 1979. 256 p.

TANIMOTO, T. **The press method of cane analysis**. Honolulu: Hawaii Pers., 1964. p. 133-150.

TERUEL, D. A. **Modelagem do índice de área foliar de cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos**. 93 f. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1996.

UDO, M. C. T. **Estudo de funções que se ajustam à maturação da cana-de-açúcar**. 74 f. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1983.

## Comunicado Técnico, 8

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,  
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO



## Embrapa Informática Agropecuária Área de Comunicação e Negócios

Av. Dr. André Tosello s/nº  
Cidade Universitária - “Zeferino Vaz”  
Barão Geraldo - Caixa Postal 6041  
13083-970 - Campinas, SP  
Telefone/Fax: (19) 3789-5743  
E-mail: sac@cnptia.embrapa.br

1ª edição

© Embrapa 2001

## Comitê de Publicações

**Presidente:** Francisco Xavier Hemerly

**Membros efetivos:** Amarindo Fausto Soares, Ivanilde Dispatto, Marcia Izabel Fugisawa Souza, José Ruy Porto de Carvalho, Suzilei Almeida Carneiro

**Suplentes:** Fábio Cesar da Silva, João Francisco Gonçalves Antunes, Luciana Alvim Santos Romani, Maria Angélica de Andrade Leite, Moacir Pedrosa Júnior

## Expediente

**Supervisor editorial:** Ivanilde Dispatto

**Normalização bibliográfica:** Marcia Izabel Fugisawa Souza

**Foto capa:** Maria Augusta Garcia

**Editoração eletrônica:** Intermídia Publicações Científicas