

Março e Abril de 1999

VOL. XLVI | Nº264

Viçosa – Gerais Minas

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**ESCOLHA ÓTIMA DE VARIEDADES DE
CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DA
PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA¹**

José Anísio Batistini Brunoro²
Carlos Antonio Moreira Leite³

1. INTRODUÇÃO

A passagem da quase estagnação da produtividade agrícola do setor canavieiro, desde os anos 40, para a significativa melhoria dos rendimentos por unidade de área, observada durante o período de 1974-80, foi possível graças aos investimentos em pesquisa do PLANALSUCAR e de diversas outras entidades (4). VIEIRA (8) reitera e destaca que 73% do aumento da produção de cana-de-açúcar, de 1975 a 1990, é justificado pela expansão de área, e 27% pela melhoria do rendimento. Não houve modificações significativas nesta última década, isto é, o aumento da produtividade ficou em 1% ao ano, enquanto a área cultivada aumentou cerca de 4,9% ao ano (2).

Da mesma forma que o aumento da produtividade é fator essencial para a sobrevivência da atividade, uma vez que traz como consequência redução nos custos unitários de produção, as despesas de transporte da

¹ Parte da tese apresentada, pelo primeiro autor, à Universidade Federal de Viçosa, para obtenção do título de “Magister Scientiae” em Economia Rural. Aceito para publicação em 15.05.1998.

² Caixa Postal 111, 89700-000 Concórdia, Santa Catarina.

³ Departamento de Economia Rural. Universidade Federal de Viçosa . 36571-000 Viçosa, MG.

cana-de-açúcar para as usinas constituem-se num dos itens mais importantes na composição do custo total de produção desta cultura posta na esteira da usina.

Já em 1977, MENELAU (6) observou que, em relação à permanência das empresas no mercado produtivo de cana-de-açúcar, tendo por base a relação valor absoluto da renda líquida/custo fixo total, se considerar o custo da cana posta na esteira da usina, somente as usinas e 23% dos fornecedores deveriam continuar produzindo no curto prazo. Por outro lado, considerando o custo da cana no campo, verificou-se que todas as empresas deveriam continuar produzindo no curto prazo, visto que suas receitas totais excederam seus custos variáveis totais.

Hoje, a situação não é diferente. Segundo a reportagem da GAZETA MERCANTIL, de 17 de março de 1997 (3), as usinas da região de Ribeirão Preto, maior produtora mundial de açúcar e álcool, com faturamento anual estimado em R\$1,5 bilhão - na busca de maior eficiência e produtividade estão redirecionando os investimentos para o campo e planejando um remapeamento logístico que deverá resultar em fusões, incorporações, troca de terras e até no fechamento de algumas empresas com maior dificuldade financeira.

Com essa mudança logística, os gastos do setor com o transporte de matéria-prima poderão ser reduzidos pela metade, ou seja, dos atuais R\$340 milhões por ano para algo em torno de R\$170 milhões.

Dessa forma, há que se concluir que a redução nos custos unitários de produção, via aumento da produtividade, e a redução nos custos unitários de transporte farão com que novas áreas mais distantes da usina receptora se tornem economicamente viáveis para a produção de cana-de-açúcar, a ser fornecida a esta usina receptora.

Além disso, o conhecimento de como se comportam os custos de produção da cana-de-açúcar, associado às informações de custos de transporte e aos preços do produto no mercado, pode auxiliar nas tomadas de decisões dos administradores.

O que se pretende neste trabalho é desenvolver um modelo de otimização que maximize o lucro dos produtores de cana-de-açúcar, com base nos rendimentos e nos custos de produção do produto posto na esteira da usina receptora.

2. METODOLOGIA

O estudo foi realizado na área administrada pela Agropecuária Monte Sereno S/A, localizada na Divisão Regional Agrícola (DIRA) de

Ribeirão Preto, situada no nordeste do Estado de São Paulo, utilizando-se dados da safra de 1993/94.

A Agropecuária Monte Sereno S/A é responsável pelo setor agrícola da Usina São Martinho, sendo esta a maior empresa do País ligada ao setor canavieiro (1997).

Na safra de 1993/94, a Usina São Martinho processou 5.685.049 toneladas de cana-de-açúcar, sendo sua capacidade total de moagem de 36.000 t/24 h. Esta usina completou o processamento desta safra em 158 dias, com as moegas ligadas ininterruptamente.

A área total cultivada pela própria usina, na safra 93/94, foi de 61.680 ha, sendo ainda adquirida de fornecedores a produção de cana-de-açúcar proveniente de 18.590 ha.

O sistema de pagamento da cana-de-açúcar adotado desde a safra 1983/84, no Estado de São Paulo, é baseado no teor de sacarose, que premia pela qualidade da cana-de-açúcar fornecida.

Para aferição do nível de qualidade, levam-se em consideração os resultados das análises tecnológicas (peso do bolo úmido – PBU, Brix e Pol), obtidos a partir de amostragem.

Assim, se o produtor fornecer à indústria uma matéria-prima (cana-de-açúcar) de qualidade superior a um nível considerado padrão, receberá um ágio sobre o valor básico e, se a qualidade for inferior, receberá um preço inferior ao valor básico (deságio).

O preço básico da cana na safra 1993/94, adotado pela Agropecuária Monte Sereno S/A, foi de US\$10,141/t.

Neste estudo, consideraram-se nove variedades de cana-de-açúcar que representaram, na safra de 1993/94, 85,15% da área total cultivada com cana pela Usina São Martinho e seus fornecedores. São estas: NA 56-79, SP 70-1143, SP 70-1284, SP 70-3370, SP 71-1406, SP 71-6163, RB 72-454, SP 79-1011 e RB 80-6043.

Uma série de características difere essas variedades. No entanto, neste trabalho são relevantes as diferenças no teor de sacarose e na produtividade, uma vez que afetam, significativamente, os custos e as receitas a serem obtidos por tonelada de cana entregue à usina e, conseqüentemente, a lucratividade do produtor.

Não se dispõe do teor médio de sacarose de cada uma das variedades de cana analisadas e fornecidas à Usina São Martinho, na safra de 1993/94.

A produtividade média anual (em t/ha) das variedades de cana-de-açúcar analisadas, cultivadas pela Agropecuária Monte Sereno S/A, em virtude do local da área de produção em relação à usina receptora (Usina São Martinho), na safra 1993/94, é mostrada no Quadro 1.

QUADRO 1 - Produtividade média anual (em t/ha) das principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas pela Agropecuária Monte Sereno S/A, de acordo com a localização da área de produção em relação à usina receptora (Usina São Martinho) -safra 93/94

Distância (km)	Variedade								
	NA56- 79	SP70- 1143	SP70- 1284	SP70- 3370	SP71- 1406	SP71- 6163	RB72-454	SP79- 1011	RB80- 6043
0 a 5	102,2	75,98	75,53	61,90	46,63	92,72	88,40	-	-
5 a 10	68,54	73,81	84,80	61,78	68,21	103,51	103,55	140	172,69
10 a 15	58,01	90,69	57,10	52,63	71,13	91,16	103,19	136,31	105,97
15 a 20	55,26	78,25	63,46	51,10	66,58	77,22	101,05	-	126,81
20 a 25	45,05	78,80	61,33	61,81	75,02	78,77	106,22	99,06	133,38
25 a 30	55,99	74,99	109,30	71,08	71,15	95,03	105,73	-	-
30 a 35	55,12	92,00	58,99	53,29	87,68	90,36	-	-	-
35 a 40	-	106,72	-	-	-	66,00	94,65	83,93	117,27
40 a 45	-	94,19	-	-	-	106,91	120,09	-	-
45 a 50	55,85	94,59	-	48,78	-	108,20	106,54	-	-
50 a 55	55,85	94,59	-	48,78	-	108,20	106,54	-	-
55 a 60	55,85	94,59	-	48,78	-	108,20	106,54	-	-
Média geral	55,87	84,91	74,88	58,38	70,03	92,08	106,17	120,15	131,98

Fonte: Dados básicos da Agropecuária Monte Sereno S/A (1994).

Visando atender ao objetivo deste trabalho, pretendeu-se, mediante o uso da Programação Linear, estudar a alocação da produção de cada uma das variedades de cana analisadas na presente pesquisa, entre as diversas sub-regiões, dada a demanda da usina e com base no princípio da vantagem comparativa.

A Programação Linear é um instrumento matemático da Pesquisa Operacional, para formulação e solução de problemas de otimização de uma função objetivo linear, condicionada a uma série de restrições lineares (5).

Mais especificamente na administração e no planejamento da empresa rural, utiliza-se a Programação Linear para maximização da renda ou minimização de custos.

Na presente análise de otimização, as sub-regiões são consideradas variáveis, nas quais são alocados os valores dentro de limites especificados de produção. A demanda da usina foi tratada como a quantidade máxima demandada de cana-de-açúcar, admitindo o período máximo possível de moagem por ano. Dessa forma, a alocação das variedades de cana entre as diversas sub-regiões é feita com base nos critérios da maximização da renda econômica.

Como exemplo, formulou-se um modelo que determina a quantidade a ser produzida de cada variedade de cana-de-açúcar disponível, em cada sub-região ao redor da usina receptora, visando maximizar a renda líquida total do produto.

O modelo pode se resumir em

$$\text{Max} \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{12} (P_{ij} - C_{ij} - T_{ij}) X_{ij} \quad (\text{i})$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^9 X_{ij} \leq K_j, \quad j = 1, \dots, 12 \quad (\text{produção máxima possível de ser obtida em cada sub-região}) \quad (\text{ii})$$

$$\sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{12} X_{ij} = D \quad (\text{demanda máxima da usina receptora}) \quad (\text{iii})$$

$$X_{ij} \leq K_{ij}, \quad i = 1, \dots, 9 \quad \text{e} \quad j = 1, \dots, 12 \quad (\text{produção máxima possível oriunda de uma única variedade}) \quad (\text{iv})$$

$$X_{ij} \leq 0, \quad i = 1, \dots, 9 \quad \text{e} \quad j = 1, \dots, 12, \quad (\text{v})$$

em que i indica as nove variedades estudadas (NA 56-79, SP 70-1143, SP 70-1284, SP 70-3370, SP 71-1406, SP 71-6163, RB 72-454, SP 79-1011 e RB 80-6043); j as 12 sub-regiões estudadas (Quadro 2); X_{ij} é a quantidade da variedade i produzida na sub-região j , em toneladas; P_{ij} é o preço pago pela usina receptora pela variedade i produzida na sub-região j , em US\$/tonelada; C_{ij} é o custo total de produção da variedade i produzida na sub-região j , em US\$/tonelada (incluindo custo total de plantio, de tratos da cana-soca e de colheita); T_{ij} é o custo total de transporte da variedade i produzida na sub-região j até a usina receptora, em US\$/tonelada; K_j é a produção máxima de cana-de-açúcar possível de ser obtida na sub-região j , em toneladas; Y_{ij} é a produção máxima possível de ser obtida com a variedade i , na sub-região j , em toneladas; e D é a quantidade total de cana-

de-açúcar demandada pela usina receptora no período de moagem, em toneladas.

QUADRO 2 - Sub-regiões de análise e distância (km) da usina receptora (Usina São Martinho)	
Sub-região	Distância da usina receptora (km)
1	0 a 5
2	5 a 10
3	10 a 15
4	15 a 20
5	20 a 25
6	25 a 30
7	30 a 35
8	35 a 40
9	40 a 45
10	45 a 50
11	50 a 55
12	55 a 60

No modelo estudado, foram utilizados os seguintes dados:

P_{ij} = US\$ 11,66215/tonelada de cana. Este valor refere-se ao preço médio pago pela Usina São Martinho, na safra de 93/94, que é a estudada, porque, nesta safra, a qualidade das canas colhidas proporcionou um ágio médio de cerca de 15%. Dessa forma, optou-se por utilizar, como preço para todas as variedades de cana produzidas nas diversas sub-regiões, o ágio de 15%.

C_{ij} inclui o custo total médio de plantio, tratos da cana-soca e de colheita. Para se obter o custo total de plantio de cada variedade em cada sub-região, em US\$/tonelada, dividiu-se o custo total de plantio em US\$/ha, referente a cinco safras (5 anos), pela produção obtida com cada uma dessas variedades em cada sub-região, nessas cinco safras. Na ausência de certa variedade, utilizaram-se, como dado básico, a produtividade média dessa variedade e o custo total de plantio-padrão em US\$/ha. O mesmo raciocínio foi empregado na determinação do custo total de tratamento da soca, em US\$/tonelada, nesse caso referindo-se à produção de quatro safras (4 anos), uma vez que o tratamento da soca é feito a partir da realização do primeiro corte.

Quanto ao custo total da colheita, optou-se pelo estudo da mecânica, uma vez que corresponde a 80% da colheita hoje realizada pela empresa

estudada. O custo total da colheita mecânica está em torno de US\$ 1,9035/tonelada (Quadro 3).

QUADRO 3 - Custo total de produção da variedade <i>i</i> , produzida na sub-região <i>j</i> (C_{ij}), em US\$/t, admitindo o uso da colheita mecânica									
Sub-região	Variedade								
	NA56-79	SP70-1143	SP70-1284	SP70-3370	SP71-1406	SP71-6163	RB72-454	SP79-1011	RB80-6043
1	6,81	8,50	8,54	10,00	12,66	7,31	7,58	6,08	5,70
2	9,22	8,70	7,82	10,02	9,26	6,75	6,75	5,49	4,81
3	10,55	7,43	10,69	11,43	8,95	7,40	6,76	5,58	6,64
4	11,44	8,64	10,21	12,21	9,82	8,73	7,12	6,29	6,06
5	13,60	8,59	10,49	10,43	8,93	8,59	6,86	7,22	5,85
6	11,31	8,93	6,72	9,32	9,31	7,45	6,89	6,29	5,90
7	11,46	7,63	10,84	11,79	7,91	7,73	6,87	6,29	5,90
8	11,33	6,84	8,94	10,93	9,43	9,89	7,47	8,18	6,40
9	11,33	7,50	8,94	10,93	9,43	6,83	6,29	6,29	5,90
10	11,34	7,47	8,94	12,70	9,43	6,77	6,85	6,29	5,90
11	11,34	7,47	8,94	12,70	9,43	6,77	6,85	6,29	5,90
12	11,34	7,47	8,94	12,70	9,43	6,77	6,85	6,29	5,90

Fonte: Dados básicos da Agropecuária Monte Sereno S/A (1994).

T_{ij} é o custo total de transporte, usando o caminhão MB 2220, por ser este utilizado quando a colheita é mecânica e, neste exemplo, optou-se por este tipo de colheita (Quadro 4).

Para determinação de K_j , ou seja, da produção máxima possível a ser obtida em cada sub-região, admitiu-se que cada uma está disposta de forma concêntrica em relação à usina receptora. Assim, calculou-se a área de cada sub-região, considerando a proporcionalidade em relação à área total disponível da usina (área própria e de fornecedores), que é de 80.270 ha. Admitindo-se que a produtividade média geral da Usina São Martinho é de 90 toneladas de cana-de-açúcar, por hectare, pode-se estimar K_j (Quadro 5).

QUADRO 4 - Custo de transporte da variedade <i>i</i> , produzida na sub-região <i>j</i> , até a usina receptora (Usina São Martinho) (T_{ij}), em US\$/t, admitindo-se o uso do caminhão MB 2220	
Sub-região	T_{ij} (US\$/t)
1	1,6115
2	1,6115
3	1,9065
4	2,2025
5	2,5215
6	2,8415
7	3,1455
8	3,4495
9	3,7635
10	4,0775
11	4,3905
12	4,7045

Fonte: Dados básicos da Agropecuária Monte Sereno S/A (1994).

Para determinar K_{ij} supôs-se que no máximo 30% da produção total de cana-de-açúcar fornecida à usina possa vir de uma única variedade. Esse é o critério adotado pela Agropecuária Monte Sereno S/A, para reduzir os riscos quando algum problema de ordem fitossanitária acontece em algumas das variedades cultivadas. Para estimar K_{ij} , utilizou-se a produtividade média de 90 toneladas de cana, por hectare, em cada sub-região (Quadro 5).

QUADRO 5 - Área de cada sub-região; produção máxima de cana-de-açúcar possível em cada sub-região (K_j); e produção máxima possível com a variedade i em cada sub-região j (K_{ij})

Sub-região	Área (ha)	K_j	Y_{ij}
1	562	50.580	15.174
2	1.670	150.300	45.090
3	2.785	250.650	75.195
4	3.901	351.090	105.327
5	5.017	451.530	135.459
6	6.133	551.970	165.591
7	7.248	652.320	195.696
8	8.364	752.760	225.828
9	9.480	853.200	255.960
10	10.588	952.920	285.876
11	11.703	1.053.270	351.981
12	12.812	1.153.710	346.113
Total	80.270	7.224.300	

Fonte: Dados básicos da Agropecuária Monte Sereno S/A (1994).

$D = 7.200.000$ toneladas de cana. Obteve-se este total a partir da informação de que o período máximo possível de moagem, na região, é de 200 dias, e a capacidade de moagem da Usina São Martinho é de 36.000 t de cana/24 horas.

Por fim, vale lembrar que o presente modelo pode ser utilizado em diversas outras situações, como na maximização da margem bruta total, considerando o uso da colheita manual etc., bastando, para isso, usar os valores das variáveis adequadas para cada situação estudada.

Para obtenção da solução ótima do modelo de Programação Linear, foi utilizado o software LINDO (Linear Interactive and Discrete Optimiser), versão reduzida, de domínio público para instituições de ensino.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelo modelo de programação linear proposto, que visa maximizar a Renda Líquida Total dos produtores de cana-de-açúcar, encontram-se no Quadro 6.

Seguindo as recomendações do Quadro 6, obter-se-á uma Renda Líquida Total de US\$ 11.450.400,00.

QUADRO 6 - Quantidade, em toneladas, de cada variedade produzida nas diversas sub-regiões, que maximizam a renda líquida total dos produtores de cana-de-açúcar

Sub-Regiões	Variedade								
	NA 56-79	SP 70-1143	SP 70-1284	SP 70-3370	SP 71-1406	SP 71-6163	RB 72-454	SP 79-1011	RB 80-6043
1	15.174	0	0	0	0	5.058	0	15.174	15.174
2	0	0	0	0	0	45.090	15.030	45.090	45.090
3	0	0	0	0	0	25.065	75.195	75.195	75.195
4	0	35.109	0	0	0	0	105.327	105.327	105.327
5	0	0	0	0	0	45.153	135.459	135.459	135.459
6	0	0	165.591	0	0	0	55.197	165.591	165.591
7	0	65.232	0	0	0	0	195.696	195.696	195.696
8	0	225.828	0	0	0	0	225.828	50.976	225.828
9	0	0	0	0	0	85.320	255.960	255.960	255.960
10	0	0	0	0	0	285.876	95.292	285.876	285.876
11	0	0	0	0	0	315.981	105.327	315.981	315.981
12	0	0	0	0	0	346.113	115.371	346.113	346.113
TOTAL	15.174	326.169	165.591	0	0	1.153.656	1.379.682	1.992.438	2.167.290
% ¹	0,21	4,53	2,30	0	0	16,03	19,16	27,67	30,10

Obs.: ¹ Porcentagem em relação à demanda total da usina: 7.200.000 toneladas de cana por ano.

Observa-se que a variedade RB 80-6043 é a que apresentou melhores resultados, enquanto SP 70-3370 e SP 71-1406 mostraram os piores, não sendo recomendado o plantio destas duas últimas em nenhuma das sub-regiões. No entanto, é preciso lembrar que existem outros fatores agrônômicos, como resistência a doenças, época de maturação, qualidade da cana colhida, período de colheita, entre outros, que não foram considerados na presente análise, em virtude da falta de informações disponíveis na Agropecuária Monte Sereno S/A, e que afetam na decisão de quanto e onde produzir cada variedade. Na operacionalização do modelo, devem-se levar em consideração esses parâmetros importantes para o sucesso da atividade. Sugere-se, para futuros trabalhos nesta área, a inclusão de alguns dos parâmetros que afetam a decisão de quanto e onde produzir cada variedade de cana-de-açúcar, como o período ótimo para colheita (meses do ano) de cada uma destas variedades; o intervalo entre o plantio e o primeiro corte (se é cana de “ano” ou de “ano e meio”) etc.

Seguem-se alguns comentários mais significativos em relação aos resultados da análise de sensibilidade da solução ótima do modelo, bem como do modelo. Os resultados podem ser encontrados em BRUNORO (1).

A análise de Custo Reduzido (*Reduced Cost*) permite verificar a variação da solução da função objetivo, quando se força a produção de uma variedade não recomendada pela solução do modelo para uma dada sub-região. Por exemplo, se a empresa optar pela produção da variedade SP 71-1406 na sub-região 1, verifica-se pela análise de custo reduzido que, para cada tonelada produzida, a empresa terá uma redução na sua Renda Líquida Total de US\$ 5,35. Esta análise é muito importante, dada a necessidade de se cultivarem variedades, com vistas a reduzir o risco de perdas pelo insucesso de uma destas, por causa de ataque de doenças ou pragas, fatores climáticos etc.

De modo geral, a presente análise de custo reduzido mostra que as menores reduções na Renda Líquida Total seriam observadas quando se força a produção das variedades SP 70-1143; SP 70-1284; SP 71-1406; SP 71-6163 e RB 72-454, nas seguintes sub-regiões:

Variedades	Sub-regiões
SP 70-1143	3, 9, 10, 11, 12
SP 70-1284	8
SP 71-1406	5, 7
SP 71-6163	4, 6, 7
RB 72-454	1

Essas reduções estão abaixo de US\$ 1,00 por tonelada produzida de cada uma destas variedades, nas sub-regiões especificadas. Por outro lado, as maiores reduções na solução da função objetivo foram observadas nas seguintes situações:

Variedades	Sub-regiões
NA 56-79	5, 6, 9, 10, 11 e 12
SP 70-3370	3, 7, 9, 10, 11 e 12
SP 71-1406	1

Essas reduções estão acima de US\$ 4,00, por tonelada produzida de cada uma destas variedades, nas sub-regiões determinadas.

Ainda com relação à análise de sensibilidade das variáveis, é possível verificar, por intermédio do intervalo em que as bases não se alteram (*ranges in which the basis is unchanged*), as variações dos coeficientes das variáveis da função objetivo, que não alteram a solução ótima obtida. Assim, conhece-se a amplitude de variação permitida, ou seja, o “aumento

permitido” (*allowable increase*) e a “redução permitida” (*allowable decrease*) que podem sofrer os coeficientes de cada variável na função objetivo, de tal forma que não se altere a solução ótima obtida. Em certos casos, qualquer aumento no coeficiente da função objetivo, correspondente à variedade SP 70-1143, plantada na sub-região 5 (variável X_{25}), leva a modificações na solução ótima a ser obtida; por outro lado, este coeficiente pode ser reduzido de um valor infinito que nada alterará na solução ótima recomendada. O importante é lembrar quais fatores podem alterar o valor destes coeficientes:

- Introdução de nova tecnologia
- Mudança no preço do produto
- Mudança no custo dos insumos
- Mudança no custo total unitário de transporte

Em face desses fatores, pode-se concluir que é muito importante a qualidade da cana-de-açúcar colhida no planejamento da atividade e, conseqüentemente, sua rentabilidade econômica.

Na operacionalização desse modelo, os parâmetros de custo total unitário e de preço do produto devem ser utilizados com base na qualidade da cana colhida e não simplesmente em razão da produtividade física obtida. Neste estudo, isso não foi possível, porque a Agropecuária Monte Sereno S/A não possuía os dados necessários.

O importante é analisar, em conjunto, os fatores que podem levar a alterações dos coeficientes da função objetivo, observando a magnitude de variação de cada um deles, de forma a verificar se no final o coeficiente terá o seu valor aumentado ou diminuído e se em magnitude suficiente para alterar a solução ótima.

No que se refere à análise de sensibilidade das restrições, o preço-sombra mostra qual seria o aumento da renda líquida total, em relação à solução ótima estabelecida, quando aumenta de uma unidade a disponibilidade de dado recurso limitado (determinado nas restrições do modelo). O parâmetro sobra ou excedente (*slack* ou *surplus*), no caso da maximização de renda, mostra quanto sobra de cada recurso na implementação da solução ótima. Logo, quando dado recurso está sobrando, evidentemente seu preço-sombra será zero. Por outro lado, o preço-sombra positivo indica a falta de dado recurso. Por exemplo, podendo-se obter 50.581 toneladas de cana na sub-região 1 (1 tonelada a mais que o possível), a renda líquida total na solução ótima aumentaria US\$ 2,71. Observa-se, pela análise da sobra ou do excedente, que a sub-região 8 (sub-região localizada de 35 a 40 km da Usina São Martinho) foi a única

onde não se cultivou toda a área possível, estando a produção nesta sub-região com capacidade ociosa de produção de 24.300 toneladas de cana. Nota-se, ainda, que os maiores aumentos na renda líquida total seriam obtidos se aumentasse a capacidade máxima de produção de cana-de-açúcar nas sub-regiões 1, 2 e 3, que são justamente as mais próximas da usina receptora.

Outra observação importante é que, se fosse possível aumentar a produção de certas variedades em dadas sub-regiões, a renda líquida total sofreria um aumento significativo. Por exemplo, se fosse aumentada a produção da variedade RB 80-6043 na sub-região 5 (variável X_{95}), para cada tonelada a mais obtida, a renda líquida total aumentaria US\$ 2,74.

Seguindo o mesmo raciocínio da análise do intervalo, em que as bases não se alteram para as variáveis, esta análise para as restrições mostra as variações permitidas para a disponibilidade dos recursos (lado direito da desigualdade nas restrições) que não alteram a solução ótima obtida. Assim, o aumento (*allowable increase*) e a redução permitidos (*allowable decrease*) fornecem também o aumento e a redução permitidos para estes valores, de forma que a solução ótima não seja alterada. A alteração desses valores só ocorre quando varia a produtividade física das variedades.

Os aspectos considerados até o presente momento servem como indicadores de política de produção para as sub-regiões supridoras de cana-de-açúcar da Usina São Martinho, permitindo aos técnicos e aos produtores explorarem as vantagens oferecidas por este tipo de análise. Dessa forma, além de poderem planejar a quantidade e a distribuição das variedades de cana-de-açúcar a serem cultivadas nas diversas sub-regiões em volta da usina receptora, baseando-se em dados de uma série histórica de cada variedade, que informa sobre a qualidade e a produtividade desta, podem verificar a magnitude necessária da redução do custo total unitário de produção de dada variedade posta na Usina, de forma a compensar o cultivo desta em dada sub-região e, a partir disso, buscar a tecnologia adequada para atingir este objetivo.

Por fim, cabe mencionar que o modelo atual foi processado considerando algumas hipóteses simplificadoras, o que ocorre em situações semelhantes, como em MORGADO (7). Nesta pesquisa, considerou-se que a qualidade da cana-de-açúcar colhida foi a mesma para todas as variedades em todas as sub-regiões, implicando a padronização dos preços pagos por este par. Sabe-se que esses preços, na verdade, em grande parte das usinas, são variáveis, dependendo das características do produto nelas entregue. Havendo disponibilidade de dados reais de campo para cada variedade e em cada sub-região, esses poderão, facilmente, ser incorporados no modelo apresentado.

4. RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal desenvolver um modelo de otimização que maximize o lucro dos produtores de cana-de-açúcar, com base nos rendimentos e custos de produção da cana-de-açúcar posta na esteira da usina receptora. Buscou-se suporte nos modelos de programação linear e foram utilizadas informações da Agropecuária Monte Sereno S/A, localizada na Divisão Regional Agrícola (DIRA) de Ribeirão Preto, situada no nordeste do Estado de São Paulo, empregando-se dados da safra de 1993/94. Os resultados das análises mostraram-se adequados para elaboração de política de produção para as sub-regiões supridoras de cana-de-açúcar da usina analisada, considerando-se os custos de transporte. Este modelo, além de permitir planejar a quantidade e a distribuição das variedades de cana-de-açúcar a serem cultivadas nas diversas sub-regiões próximas à usina receptora, pode mensurar a redução do custo total unitário de produção, que é resultado de tecnologia usada para tal fim.

5. SUMMARY

(APPLYING MATHEMATICAL PROGRAMMING FOR SELECTING OPTIMAL SUGAR CANE VARIETIES IN INDUSTRIAL AREAS)

The objective of this paper was to develop an optimization model to maximize producer's profits, based on sugar cane yield and production costs at plant industry. Linear programming method was used in this research. The study was carried out at Monte Sereno S/A, in Ribeirão Preto, SP., based on harvest data of 1993-1994. The results were found adequate to design sugar cane production policy, taking into account the transportation cost. The model seems to be appropriate to allocate sugar cane varieties in farms nearby industry as well as to indicate the required production cost reduction, associated to some technology use.

6. LITERATURA CITADA

1. BRUNORO, J. A. B. *Distância máxima economicamente viável para o transporte de cana-de-açúcar da área de produção para a usina receptora: um estudo de caso*. Viçosa, UFV, 1996. 174 p. (Tese de M.S.).
2. GAZETA MERCANTIL. Balanço anual - 1993. 10/10/93. p. 150-156.
3. GAZETA MERCANTIL. O novo mapa da cana-de-açúcar paulista. 17/03/97. p. B-19.
4. HOMEM DE MELO, F. & FONSECA, E.G. *Proálcool, energia e transportes*. São Paulo, Pioneira, 1981. 163 p.
5. MAGALHÃES, C.A. de. *Planejamento da empresa rural (métodos de planejamento e processos de avaliação)*. Viçosa, UFV, 1992. 99 p.

6. MENELAU, A.S. *Análise dos custos de produção da cultura de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas - safra 1973/74*. Viçosa, UFV, 1977. 75 p. (Tese de M.S.).
7. MORGADO, I.F. *Qualidade da cana-de-açúcar e receita dos fornecedores na Região Norte Fluminense - safra 1987/88*. Viçosa, UFV, 1991. 68 p. (Tese de M.S.).
8. VIEIRA, J.R. *Evolução da cultura da cana-de-açúcar: Brasil - 1960 a 1990*. Viçosa, UFV, 1992. 44 p. (Trabalho não-publicado).