

## AGRICULTURA E PRODUÇÃO DE ENERGIA: AVALIAÇÃO DO CUSTO DA MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL<sup>1</sup>

JOSÉ ROBERTO MENDONÇA DE BARROS<sup>2</sup>, LÉO DA ROCHA FERREIRA<sup>3</sup>,  
CAIO T. YAMAGUSHI<sup>2</sup>, LUIZ MORICOCCHI<sup>2</sup> e GABRIELA TOSCANO<sup>2</sup>

**RESUMO** - Procurou-se neste trabalho, através de modelos de programação linear, estimar o custo de oportunidade associado à expansão da cana-de-açúcar para a produção de álcool, visando a substituição de petróleo importado. Esses custos apresentam dois componentes básicos, ou seja, o custo de produção propriamente dito da cana-de-açúcar e o custo de oportunidade de expansão da cultura, medido como a renda líquida das culturas que se deixa de produzir, deslocadas pela atividade canavieira.

O estudo abrangeu os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e Mato Grosso do Sul, para os quais foi derivada uma curva de oferta para a cana-de-açúcar e hierarquizados os custos entre as diversas regiões de produção.

O modelo ajustado sugere uma grande variação de custos de oportunidade por região, sendo os custos mais baixos encontrados nas regiões já tradicionais de cana-de-açúcar, os custos intermediários nas regiões em que há predominância da atividade pecuária e os custos mais elevados associados às regiões de alta competitividade agrícola.

Termos para indexação: energia alternativa - Brasil; álcool - produção.

## AGRICULTURE AND ENERGY PRODUCTION: ESTIMATION OF FEEDSTOCK COST FOR PRODUCTION OF ALCOHOL

**ABSTRACT** - The objective of this paper was to estimate the opportunity cost of sugarcane expansion to produce alcohol in substitution for imported oil, using linear programming models. These cost estimates have two basic components, i.e., the cost of producing sugarcane itself and the opportunity cost associated with the expansion of this crop, measured as the net income of those crops not cultivated as a result of the sugarcane activity.

The study comprises the states of São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro and Mato Grosso do Sul, for which was derived a supply curve for sugarcane and cost were ranked among several production regions.

The adjusted model suggests a great variation of opportunity costs by region,

<sup>1</sup> Recebido em 25 de junho de 1982.  
Aceito para publicação em 11 de agosto de 1983.

<sup>2</sup> Do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A (IPT/CEFEP) - Caixa Postal 7141 - CEP 01000 - São Paulo, SP.

<sup>3</sup> Do Instituto de Pesquisas do IPEA e Professor-Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (IPEA) - Av. Pres. Antonio Carlos, 51 - 17 andar - CEP 20020 - Rio de Janeiro, RJ.

where lower costs were found in the traditional sugarcane regions, medium costs in regions with cattle predominance and higher costs in regions with great agricultural diversification.

Index terms: alternative energy - Brazil; Alcohol production.

## INTRODUÇÃO

A crise do petróleo, iniciada em 1973 vem impondo a necessidade de uma nova orientação para o problema geral de energia, fazendo com que o planejamento atenda a uma nova realidade, de forma a buscar soluções mais compatíveis com a nossa dotação de recursos, ou seja, baseada em fontes renováveis de energia.

Em relação à crise energética, uma das preocupações do setor agrícola é a de contribuir para a substituição dos derivados do petróleo - através da produção de matéria-prima para produção de fontes não convencionais de energia (biomassa) - destinados principalmente aos setores de transporte, à indústria e à própria agricultura. Os principais produtos petrolíferos consumidos por esses três setores são a gasolina, o óleo combustível e o óleo diesel, que somados representam cerca de 85% do consumo total de derivados do petróleo.

Entre os diversos métodos existentes de avaliação de custos, optamos por modelos de programação em decorrência da necessidade de mudanças muito grandes nos níveis e sistemas de produção agropecuária para atingir qualquer programa expressivo de substituição dos derivados do petróleo.

Diversas razões nos levaram a adotar, como principal instrumento de análise, a programação matemática, que é uma técnica bem desenvolvida, tanto em seus aspectos teóricos como aplicados, incorporando, simultaneamente, preços de insumos e produtos, disponibilidade de recursos e tecnologia, ao mesmo tempo que permite um alto grau de desagregação, assim como a análise paramétrica e a simulação, baseadas em tecnologia potencial e em diferentes funções objetivas, como mudanças nos níveis de preços.

O caso específico a ser aqui tratado é o de avaliar a cana-de-açúcar, principal matéria-prima do álcool, como insumo na substituição da gasolina e de outros derivados do petróleo.

Nesta avaliação, um dos principais pontos de análise consiste na estimativa do custo de oferta da cana-de-açúcar, visando a atender às metas do programa de produção de álcool nos próximos anos, porque admite-se que num curto horizonte de tempo, ou seja, o ano de 1985 como primeira meta fixada pelo PROÁLCOOL, apenas o álcool da cana-de-açúcar seria capaz de responder às necessidades imediatas.

O modelo escolhido permite estimar o custo em termos de produção alternativa para atender à demanda de álcool, bem como especificar o impacto deste programa em variáveis cruciais como a produção de alimentos, de exportáveis, alocação de recursos, etc.

O modelo utilizado para as diversas regiões dos Estados considerados incorpora o melhor conhecimento econômico e agrônômico sobre o assunto disponível na literatura especializada e nas principais fontes estatísticas brasileiras, ao mesmo tempo em que leva em consideração limitações de computação e de dados. Deve-se observar que técnicas quantitativas como a programação somente se tornam úteis na medida em que são complementadas por conhecimentos factuais da questão em estudo.

Os Estados considerados foram São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Paraná, os quais, no conjunto, foram responsáveis por 60% da produção brasileira de cana-de-açúcar, que em 1978, segundo a FIBGE, correspondeu a 129 milhões de toneladas.<sup>4</sup>

#### METODOLOGIA

A essência deste trabalho consiste na aplicação de um modelo simples de programação linear onde se buscou saber qual o custo associado à expansão da cana-de-açúcar em cada região dos Estados considerados. Este custo possui dois componentes básicos: o custo de produção da cana-de-açúcar propriamente dito e o custo de oportunidade de sua expansão, medido como a renda líquida das culturas que se deixa de produzir pela expansão da atividade canavieira.

Estabeleceram-se modelos de programação linear de período único para as diversas regiões de cada Estado, elaborados de modo a incluir o sistema de produção existente e suas mudanças potenciais dentro do horizonte da análise, a tecnologia usual e as limitações de terras aptas para a cana-de-açúcar. Supôs-se que os mercados de produto e insumo são perfeitamente competitivos e que os preços e expectativas de rendimento são valores específicos, correspondentes ao ano de 1978, consi-

---

<sup>4</sup> Os Estados de Pernambuco e Alagoas, embora considerados no estudo, não foram incluídos neste artigo, em decorrência do tratamento diferenciado adotado em relação aos Estados do Sul, tendo em vista suas peculiaridades regionais. Para maiores detalhes, ver o trabalho original (3).

derado um ano "normal".<sup>5</sup>

O modelo utilizado representa um sistema de produção composto por  $n + 1$  produtos, produzidos por  $m$  fatores de produção mais a terra, em condições de custos constantes.<sup>6</sup> O objetivo é maximizar a renda líquida da agricultura em cada região dos Estados considerados, sujeita a restrições específicas.

Dado o horizonte da análise, ao se delimitar as áreas aptas para a cana-de-açúcar excluiu-se as áreas com culturas permanentes (café e laranja, especificamente). O preço da cana-de-açúcar foi omitido no modelo, ou seja, considerou-se igual a zero, em decorrência do fato de o principal objetivo da pesquisa ser o de avaliar o custo de oportunidade da expansão da lavoura canavieira. Outras restrições foram consideradas de forma a fixar-se uma produção mínima de cana-de-açúcar, de alimentos e de pecuária.

Ressaltando essas considerações, o modelo foi especificado com a seguinte formulação:

$$\text{Max } \sum_{j=1}^{n+1} p_j r_j - \sum_{i=1}^m q_i y_{ij} \quad x_j \quad (1)$$

sujeita a:

$$\sum_{j=1}^{n+1} x_j \leq L \quad (2)$$

$$\begin{aligned} x_j &\geq \bar{A}_j \quad \text{para } j = n + 1, \bar{A}_j \geq \bar{C} \\ & \quad j = 5, \bar{A}_j \geq \bar{P} \\ & \quad j \geq 6, \bar{A}_j \geq 0 \\ & \quad \bar{A}_j \geq 0, \forall j \end{aligned} \quad (3)$$

<sup>5</sup> Tomou-se como referência básica o ano agrícola de 1977/78, devido à disponibilidade de dados já publicados e criticados e justamente pelo fato de essa grande disponibilidade de informações existir para o Estado de São Paulo, que foi tomado como modelo para a fixação de critérios e metodologia de uso de informações para todo o estudo. Entretanto, para cada Estado posteriormente estudado foram feitos os ajustes necessários, seguindo-se as especificidades regionais e adequando-se os dados disponíveis.

<sup>6</sup> Para a determinação dos custos de oportunidade com o plantio da cana-de-açúcar, foram analisadas as áreas de produção e produtividade de cada cultura, no Estado, nos últimos anos. A partir daí pôde-se definir sistemas de produção que incluíam as principais atividades da lavoura que competiam em área com a cultura de cana-de-açúcar.

onde:

$x = (x_1, \dots, x_{n+1})$  é um vetor de produção em hectares e a coordenada  $x_1$  denota a quantidade de arroz,  $x_2$  a quantidade de feijão,  $x_3$  a quantidade de mandioca,  $x_4$  a quantidade de milho,  $x_5$  a quantidade de pastagem e  $x_{n+1}$  a quantidade de cana-de-açúcar;

$p = (p_1, \dots, p_{n+1})$  é um vetor de preços medidos em cruzeiros associados a todos os produtos, sendo o preço da cana-de-açúcar igual a zero ( $p_{n+1} = 0$ );

$r = (r_1, \dots, r_{n+1})$  é um vetor de produtividade por hectare associada a todos os produtos;

$y =$  é uma matriz com elemento geral  $y_{ij}$ , que denota o insumo  $i$  utilizado por hectare associado ao produto  $j$ ;

$q = (q_1, \dots, q_m)$  é um vetor de preços medidos em cruzeiros associados a todos os insumos;

$L =$  é a disponibilidade de terras em hectares, ecologicamente aptas para o cultivo da cana-de-açúcar e das demais culturas consideradas;

$\bar{C} =$  é a área mínima de cana-de-açúcar em hectares;

$\bar{A} = (\bar{A}_1, \dots, \bar{A}_4)$  é um vetor de área mínima de alimentos em hectares (arroz, feijão, mandioca e milho); e

$\bar{P} =$  é a área mínima de pastagem em hectares.

Os estudos que utilizam técnicas de programação geram uma grande quantidade de informações que podem ser úteis na tomada de decisões sobre diferentes aspectos da política econômica. Entretanto, como qualquer outra metodologia, a programação matemática tem limitações, bem examinadas na literatura (1, 5, 6 e 7) que precisam ser reconhecidas, devendo-se atentar especialmente para os dados e o processo de elaboração do modelo.

Os dados utilizados para medir os coeficientes técnicos e as limitações de recursos foram obtidos das mais variadas fontes, dentre as quais podemos citar principalmente os órgãos de pesquisas agrônômicas ligados às Secretarias Estaduais de Agricultura, o Serviço de Extensão Agrícola dos Estados, as Comissões Estaduais de Planejamento Agrícola, o Instituto do Açúcar e do Alcool, as Associações de Plantadores de Cana-de-açúcar, a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (FIBGE) e outras. Contudo, dada a natureza dos objetivos deste estudo, fizeram-se necessários alguns ajustamentos, como, por exemplo, as restrições de capital e mão-de-obra, que foram praticamente ignoradas. Por

outro lado, os sistemas de produção em várias regiões foram enriquecidos pela consideração explícita de novas atividades que, ainda que inexistentes ou pouco expressivas em 1978, são potencialmente comerciais. A razão desta inclusão é que ao longo do período de expansão da cana-de-açúcar novas formas de competição poderão ser estabelecidas, tais como as culturas de algodão, soja e amendoim.

Nenhuma tentativa foi feita para introduzir interações entre regiões em um Estado, ou inter-relações entre Estados, que permitiriam a determinação endógena da situação de equilíbrio.

Com referência às restrições em cada região, estabeleceu-se um limite inferior para a produção de alimentos devido ao autoconsumo e outras considerações de ordem não econômica. Também considerou-se no modelo uma imposição mínima de produção de cana-de-açúcar, bem como um limite na possível redução da pecuária, em decorrência dos investimentos existentes e o horizonte da análise. Finalmente, a aptidão ecológica de todas as culturas dos diversos sistemas de produção foi explicitamente considerada, introduzindo-se limites à sua expansão, quando necessário.

## RESULTADOS<sup>7</sup>

### Considerações preliminares

Antes de se passar à discussão dos resultados obtidos, alguns esclarecimentos se fazem necessários:

- a. a pesquisa foi desenvolvida por Estados e, dentro de cada um deles, por regiões, para obtenção de resultados desagregados;
- b. os resultados referem-se a custos de oportunidade da produção adicional de cana-de-açúcar, tendo como base o ano de 1978; e
- c. os parâmetros considerados no trabalho foram:
  - rendimento agrícola de cana-de-açúcar - média dos últimos anos em cada Estado;
  - conversão de cana-de-açúcar em açúcar - 90 quilos de açúcar por tonelada de cana;

---

<sup>7</sup> O leitor interessado no processo de obtenção dos dados e procedimentos adotados deverá consultar o Capítulo 3 do trabalho original (3).

- conversão de cana-de-açúcar em álcool - 65 litros por tonelada de cana; e
- equivalente barril de álcool - admitiu-se um rendimento inferior a 20% para o álcool em relação à gasolina, trabalhando-se assim com um equivalente de 191 litros de álcool para 1 barril de 159 litros de gasolina.

Para se ter uma idéia da evolução do PROÁLCOOL nos últimos anos, a Tabela 1 apresenta as estatísticas básicas, tendo como marco de referência a situação observada em 1978. Na primeira coluna registra-se a área cultivada com cana-de-açúcar (ano agrícola de 1977/78) por Estado, totalizando 1,56 milhão de hectares para os cinco Estados da região Centro-Sul do País, enquanto na coluna seguinte o  $\bar{C}$  representa a área "imposta" com cultivo de cana-de-açúcar visando à consecução da meta do PROÁLCOOL em 1985.<sup>8</sup>

A rigor, os 3,7 milhões de hectares adicionais de cultivo de cana-de-açúcar seriam mais que suficientes para ultrapassar a meta de 10,7 bilhões de litros de álcool. Contudo, impôs-se um patamar de custos de oportunidade mais elevado em cada Estado, de modo a melhor caracterizar os problemas de regionalização de cultura de cana-de-açúcar.

Prevalendo os níveis de produção de açúcar da safra açucareira de 1978/79 e, em conseqüência, a produção de álcool (colunas 3 e 4), a adição de 11 a 13 bilhões de litros de álcool (dependendo do rendimento agrícola e industrial), provenientes dos 3,7 milhões de hectares, possibilitará uma oferta total superior ao limite preestabelecido pelo PROÁLCOOL para 1985.

Dada uma idéia do que seja a dimensão do PROÁLCOOL e admitindo que a participação dos cinco Estados considerados seja a mais relevante, passaremos a discutir os resultados, Estado por Estado.

#### São Paulo

A participação do Estado de São Paulo na produção total de álcool está estipulada entre 50 e 70% do PROÁLCOOL. Para uma produção de 1,8 bilhão de litros obtidos na safra comercial de 1978/79 seria necessária, portanto, uma produção adicional de 3,35 a 5,69 bilhões de litros,

<sup>8</sup> Um eventual atraso nas metas do PROÁLCOOL não afetará os resultados obtidos.

TABELA 1. Área atual com cana-de-açúcar,  $\bar{C}$ , e produção de açúcar e álcool para os Estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro.

Estados	Área atual com cana-de-açúcar - ano agrícola de 1977/78 (1.000 ha)	$\bar{C}$ (1.000 ha)	Produção de açúcar - safra comercial de 1978/79 (1.000 t)	Produção de álcool - safra comercial de 1978/79 (1.000.000 ℓ)
São Paulo	1 146,5	1 856	3 194,3	1 812,4
Paraná	45,2	432	204,1	67,7
Minas Gerais	180,8	620	396,4	47,8
Mato Grosso do Sul	3,7	500	...	...
Rio de Janeiro	187,8	301	568,2	132,9
Total	1 564,0	3 709	4 363,1	2 060,8

Fonte: FIBGE e IAA.

faixa esta que se deve à possibilidade de variação dos rendimentos agrícolas e industriais.<sup>9</sup>

Para o Estado de São Paulo trabalhou-se com um  $\bar{C}$  total de 1,856 milhão de hectares, o que proporcionaria uma produção adicional de 5,74 bilhões de litros de álcool. Esse dimensionamento de área de cana-de-açúcar no modelo ( $\bar{C}$ ) resultou em custos de oportunidade que variaram de US\$ 20,82 até US\$ 35,67 por barril conforme a região (Tabela 2).<sup>10</sup> A partir de 29 regiões analisadas, obtiveram-se 47 custos de oportunidade, em consequência de se ter conseguido mais de um custo de oportunidade em algumas regiões, identificando-se através de I, II ou III os distintos segmentos encontrados em cada região. Como a restrição  $\bar{C}$  pode substituir uma ou mais atividades do sistema em competição, neste caso ter-se-ia um ou mais custos de oportunidade, pois este é resultante do custo da própria cana-de-açúcar mais a renda líquida que se perderia com a atividade substituída.

Considerando os parâmetros já especificados anteriormente, os 1,856 milhão de hectares - somatória do  $\bar{C}$  para o Estado -, ter-se-ia uma produção correspondente a 5,74 bilhões de litros de álcool (Tabela 2).

O total de 5,74 bilhões de litros ou 30 milhões de barris equivalentes teria um custo médio ponderado de US\$ 27,05 por barril. O primeiro bilhão de litros seria produzido a um custo de oportunidade ponderado de US\$ 21,99 o barril, o segundo a US\$ 23,47, o terceiro a aproximadamente US\$ 24,65, e o quarto a US\$ 25,43.

Numa hierarquização dos custos de oportunidade, observa-se que os mais baixos estão localizados em regiões onde hoje se tem uma canavieira desenvolvida, sendo razoável que com a tecnologia agrícola mais ou menos dominada essa expansão de cana-de-açúcar esteja associada a custos unitários mais baixos. Segue-se uma nítida faixa de regiões onde se tem a substituição de pastagem e, por último, associadas a custos bastante elevados, as regiões onde o grau de competitividade com atividades mais rentáveis é mais elevado.

#### Paraná

Apesar de posicionamentos diferentes de especialistas de diversas

<sup>9</sup> Essa variação pode ser explicada pela obtenção de 2.800 a 3.400 litros de álcool por hectare de cana-de-açúcar, o que é facilmente justificável com variações nos rendimentos agrícolas tomados de 45 a 50 toneladas por hectare/ano e rendimentos industriais de 62 a 68 litros de álcool por tonelada de cana.

<sup>10</sup> Todos os resultados estão dados em dólares de 1978.

áreas, o Estado do Paraná poderá ter como participação na meta do PROÁLCOOL um volume entre 1,0 a 1,3 bilhão de litros de álcool. O grau de incerteza torna-se maior ainda se considerar-se que na safra comercial de 1978/79 produziu-se naquele Estado somente 68 milhões de litros de álcool.

TABELA 2. Área adicional de cana-de-açúcar, produção adicional de álcool e custo em equivalente barril no Estado de São Paulo, 1978.

Regiões	Área adicional de cana-de-açúcar		Produção adicional de álcool		Custo da cana-de-açúcar em equivalente barril*	
	Região	Acumulado	Região	Acumulado	Região	Acumulado
	(ha)		(1.000 l )		(US\$/barril)	
Jaú	44 012	44 012	144 300	144 300	20,82	20,82
Bauru I	78 761	122 773	236 796	381 095	21,45	21,22
Jaboticabal :	25 480	148 253	74 165	455 260	21,69	21,29
Catanduva	76 268	224 521	288 925	744 135	22,03	21,58
Araraquara I	75 328	299 849	264 940	1 009 125	23,14	21,99
São Joaquim da Barra	43 766	343 615	165 685	1 174 810	23,48	22,20
São Carlos	25 245	368 860	78 520	1 253 330	23,78	22,30
Ribeirão Preto :	1 993	370 853	7 280	1 260 610	23,95	22,31
Bauru II	16 731	387 584	50 310	1 310 900	24,35	22,38
Marília I	20 000	407 584	67 340	1 378 260	24,43	22,45
Ituverava I	40 633	448 217	128 700	1 506 960	24,63	22,67
Assis I	27 390	475 607	88 010	1 594 970	24,66	22,78
Marília II	35 141	510 748	118 365	1 713 335	24,86	22,92
Assis II	33 930	544 678	109 005	1 822 340	25,33	23,07
Assis III	37 830	582 508	121 550	1 943 890	26,30	23,27
Jaboticabal :	41 490	623 998	120 770	2 064 660	26,67	23,47
Lins	67 212	691 210	210 730	2 275 390	26,67	23,76
Araraquara :	6 302	697 512	22 165	2 297 555	26,80	23,79
São José do Rio Preto	104 000	801 512	303 680	2 601 235	26,83	24,15
Ourinhos	62 985	864 497	214 565	2 815 800	26,99	24,36
Araçatuba	104 000	968 497	303 615	3 119 415	27,31	24,65
Votuporanga :	16 500	984 997	48 165	3 167 580	27,39	24,69
Botucatu I	4 982	989 979	15 925	3 183 505	27,81	24,71
Adamantina :	20 000	1 009 979	58 370	3 241 875	27,81	24,76

TABELA 2. Continuação

Regiões	Área adicional de cana-de-açúcar		Produção adicional de álcool		Custo da cana-de-açúcar em equivalente barril *	
	Região (ha)	Acumulado	Região (1.000 l )	Acumulado	Região (US\$/barril)	Acumulado
Jales	80 751	1 090 730	235 690	3 477 565	27,82	24,97
Presidente Prudente I	58 510	1 149 240	170 495	3 648 060	28,01	25,11
Adamantina II	22 620	1 171 860	66 040	3 714 100	28,25	25,17
Presidente Prudente II	45 490	1 217 350	132 795	3 846 895	28,35	25,28
Limeira I	20 000	2 237 350	66 365	3 913 260	28,48	25,33
Andradina I	15 655	1 253 005	45 695	3 958 955	28,61	25,37
Oswaldo Cruz I	20 000	1 273 005	58 370	4 017 325	29,07	25,43
Botucatu II	1 385	1 274 390	4 420	4 021 745	29,61	25,43
Presidente Venceslau I	20 000	1 294 390	58 370	4 080 115	29,58	25,49
Votuporanga II	55 652	1 350 042	162 500	4 242 615	29,62	25,65
Adamantina III	20 171	1 370 213	58 890	4 301 505	29,79	25,70
Barretos	45 206	1 415 419	131 950	4 433 455	29,82	25,83
Oswaldo Cruz II	14 413	1 429 832	42 055	4 475 510	29,87	25,87
Rio Claro	6 644	1 436 476	21 580	4 497 090	29,88	25,88
Presidente Venceslau II	84 000	1 520 476	245 180	4 742 270	30,18	26,11
Andradina II	88 345	1 608 821	257 920	5 000 190	30,22	26,32
Fernandópolis	64 771	1 673 592	189 085	5 189 275	30,28	26,46
Dracena	63 838	1 737 430	186 420	5 375 695	30,31	26,60
Ribeirão Preto II	1 397	1 738 827	5 135	5 380 830	31,00	26,60
Tupã	30 742	1 769 569	81 770	5 462 600	32,15	26,68
Ituverava II	19 651	1 789 220	82 205	5 524 805	32,28	26,75
Limeira II	48 525	1 837 745	161 005	5 685 810	34,50	26,97
Jaboticabal III	18 286	1 856 031	53 235	5 739 045	35,67	27,05

\* Equivalente barril: 159 x 1,2 = 191 l de álcool; US\$ = Cr\$ 18,063 (média de 1978).

A exemplo do Estado de São Paulo, o custo de oportunidade estimado variou bastante - desde US\$ 22,70 até US\$ 43,13 por barril. É importante registrar que os patamares mais altos dos custos de oportunidade foram alcançados no Estado do Paraná e que estes resultados estão fortemente associados ao grau de competitividade da agricultura

praticada nas regiões de Assaí, Maringá, Campo Mourão e Apucarana (Tabela 3).

Ao se trabalhar com um total de  $\bar{C}$  de 432 mil hectares, obter-se-ia 1,365 bilhão de litros de álcool adicionais. Contudo, vale observar que, ao se situar uma meta estadual de 1,0 bilhão de litros, obter-se-ia matéria-prima a um custo de oportunidade médio ponderado próximo dos US\$ 28 por equivalente barril de álcool.

No custo médio de oportunidade abaixo de US\$ 25 o barril equivalente, seria possível produzir cerca de 372 milhões de litros de álcool, localizados primordialmente nas regiões canavieiras tradicionais de Jacarezinho e Londrina. Entre US\$ 30 e US\$ 40 de custo marginal situar-se-iam as regiões localizadas a noroeste do Estado e as regiões menos competitivas do Norte Velho.

#### Minas Gerais

A área cultivada com cana-de-açúcar no ano agrícola de 1977/78 foi de 180,8 mil hectares, o que resultou numa produção de 396 toneladas de açúcar e 47,8 milhões de litros de álcool.

A participação de Minas Gerais no PROÁLCOOL para 1985 seria da ordem de 1,5 bilhão de litros, que para ser atingida necessitaria de um razoável incremento na produção do Estado em todas as regiões aptas ao cultivo de cana-de-açúcar. Nesse sentido, a somatória do  $\bar{C}$  foi dimensionada em 620 mil hectares, o que possibilitaria a produção de 1,83 bilhão de litros de álcool distribuídos no Triângulo Mineiro, Sul de Minas e Zona da Mata.

Uma vez mais, a amplitude de variação dos custos de oportunidade encontrada para as diversas regiões do Estado foi relativamente grande, em função das características de cada uma delas. Os custos de oportunidade mais baixos foram encontrados nas regiões localizadas no sul de Minas, vindo a seguir as tradicionais regiões produtoras da Zona da Mata, as pertencentes ao Triângulo Mineiro, que se situam numa posição intermediária, e por fim as da Zona da Mata, que ainda não têm a tradição do cultivo da cana-de-açúcar, conforme mostra a Tabela 4.

Uma análise dos resultados apresentados na Tabela 4 mostra que para os primeiros 500 milhões de litros de álcool ter-se-ia um custo médio de oportunidade de matéria-prima de, aproximadamente, US\$ 21,26 por barril equivalente de álcool, enquanto o primeiro bilhão equivaleria a US\$ 22,44 e a meta de 1,5 bilhão de litros de álcool seria alcançada com o custo médio de oportunidade de matéria-prima de US\$ 23,07. Porém na última unidade produzida representativa do custo

TABELA 3. Área adicional de cana-de-açúcar, produção adicional de álcool e custo em equivalente barril no Estado do Paraná, 1978.

Regiões	Área adicional de cana-de-açúcar		Produção adicional de álcool		Custo de cana-de-açúcar ou equivalente barril	
	Região (ha)	Acumulado	Região (1 000 l)	Acumulado	Região (US\$/barril)	Acumulado
Londrina I	56 157	56 157	182 520	182 520	22.70	22.70
Jacarezinho I	8 976	65 133	35 035	217 555	23.38	22.81
Londrina II	9 843	74 976	31 980	249 535	25.26	23.12
Umuarama I	42 017	116 993	122 915	372 450	27.30	24.50
Jacarezinho II	39 024	156 017	152 165	524 615	27.48	25.36
Paranavaí I	46 551	202 568	136 175	660 790	27.59	25.82
Paranavaí II	31 449	234 017	91 975	752 765	30.14	26.35
Umuarama II	35 983	270 000	105 235	858 000	30.44	26.85
Campo Mourão I	25 739	295 739	75 270	933 270	32.62	27.32
Assaí I	23 758	319 497	77 220	1 010 490	35.79	27.96
Maringá	72 000	391 407	234 000	1 244 490	36.81	29.63
Assaí II	6 242	397 739	20 280	1 264 770	40.69	29.80
Campo Mourão II	4 261	402 000	12 480	1 277 250	42.40	29.93
Apucarana	30 000	432 000	87 750	1 365 000	43.13	30.77

\*Equivalente barril:  $159 \times 1,2 = 191$  l de álcool; US\$ = Cr\$ 18,063 (média de 1978).

marginal da região de Patrocínio já se teria um custo de oportunidade de US\$ 24,74 por barril equivalente.

TABELA 4. Área de cana-de-açúcar, produção adicional de álcool e custo em equivalente barril no Estado de Minas Gerais, 1978.

Regiões	Área adicional de cana-de-açúcar		Produção adicional de álcool		Custo da cana-de-açúcar em equivalente barril*	
	Região	Acumulado	Região	Acumulado	Região	Acumulado
	(ha)		(1.000 ℓ )		(US\$/barril)	
Formiga	16 000	16 000	46 800	46 800	20.59	20.59
Passos	50 000	66 000	164 775	211 575	20.67	20.65
Bom Despacho	33 000	99 000	96 525	308 100	21.52	20.92
São Sebastião do Paraíso I	7 549	106 549	24 895	332 995	21.58	20.97
Patos de Minas	16 000	122 549	46 800	379 795	21.77	21.07
Ubá I	7 560	130 109	23 660	403 455	22.19	21.14
Ponte Nova	16 000	146 109	49 270	452 725	22.32	21.26
Uberaba	60 000	206 109	175 500	628 225	23.46	21.87
Frutal	120 000	326 109	351 000	979 225	23.47	22.44
Araxá I	28 323	354 432	82 810	1 062 035	23.63	22.54
Araxá II	4 677	359 109	13 650	1 075 685	23.87	22.56
Uberlândia I	79 908	439 017	233 740	1 309 425	23.96	22.80
Governador Valadares	14 144	453 161	39 520	1 348 945	24.29	22.85
Patrocínio	60 000	513 161	175 500	1 524 445	24.74	23.07
São Sebastião do Paraíso II	451	513 612	1 495	1 525 940	25.12	23.07
Uberlândia II	40 092	553 704	117 260	1 643 200	25.25	23.23
Viçosa	16 000	569 704	44 720	1 687 920	26.00	23.30
Ubá II	8 440	578 144	26 455	1 714 375	26.22	23.34
Caratinga	16 000	594 144	44 720	1 759 095	26.57	23.43
Governador Valadares II	1 865	595 999	5 200	1 764 295	27.26	23.44
Muriae	8 000	603 999	22 360	1 786 655	29.36	23.51
Aimorés	16 000	619 999	44 720	1 831 375	33.00	23.74

\* Equivalente barril: 159 x 1,2 = 191 ℓ de álcool; US\$ = Cr\$ 18,063 (média de 1978).

### Mato Grosso do Sul

Como é sabido, o Estado de Mato Grosso do Sul não tem tradição na produção de cana-de-açúcar, uma vez que no ano agrícola de 1977/78 apenas 3.700 hectares eram cultivados com essa cultura. Porém, dadas as características de sua recente expansão agrícola, como, por exemplo, o espetacular incremento nas produções de arroz e soja, é de se esperar que haja uma participação efetiva no PROÁLCOOL.

As grandes dimensões territoriais de cada região considerada no Estado levaram a se trabalhar com um C de 100 mil hectares por região, o que totaliza 500 mil nas cinco regiões consideradas naquele Estado, proporcionando resultados para a produção acima de 1 bilhão de litros de álcool.<sup>11</sup>

Uma vez que existe certa homogeneidade no sistema de produção e que os custos envolvidos na implantação de cana-de-açúcar são semelhantes para as diversas regiões, obtiveram-se pequenas variações nos custos de oportunidades, que se situaram entre US\$ 26,53 e US\$ 27,71 por barril (Tabela 5).

Mesmo com sistemas de produção relativamente simples e homogêneos os resultados obtidos indicam que haveria a substituição de mais de uma atividade em cada região pela imposição de 100 mil hectares de cana-de-açúcar. Assim, os primeiros 500 milhões de litros seriam obtidos a um custo médio de oportunidade de US\$ 26,71 por barril equivalente, substituindo a atividade menos rentável de cada região. Por sua vez, o primeiro bilhão de litros seria obtido a um nível de custo ponderado mais elevado, ou seja, de US\$ 26,98 por barril equivalente de 191 litros de álcool, sendo que a última unidade produzida estaria por volta de US\$ 27,40.

### Rio de Janeiro

A expansão da cana-de-açúcar no Estado do Rio de Janeiro praticamente só seria possível pela ocupação das terras de Campos e regiões circunvizinhas. Mesmo trabalhando com dois modelos de custos de produção para a cana-de-açúcar - um para baixada e outro para região montanhosa -, os resultados de custos de oportunidade mostraram uma variação relativamente pequena. Como era esperado, os custos de oportu-

---

<sup>11</sup> As referências e as metas do PROÁLCOOL, tanto aqui quanto nas seções anteriores, são apenas indicativas, e não essenciais às conclusões do trabalho, dadas as hipóteses de custos constantes. Veja-se a Seção 2 a respeito.

TABELA 5. Área de cana-de-açúcar, produção adicional de álcool e custo em equivalente barril no Estado de Mato Grosso do Sul, 1978.

Regiões	Área adicional de cana-de-açúcar		Produção adicional de álcool		Custo da cana-de-açúcar em equivalente barril*	
	Região (ha)	Acumulado	Região (1.000 ℓ)	Acumulado	Região (US\$/barril)	Acumulado
Açucareira de Campos I	19 660	19 660	57 980	57 980	19.80	19.80
Açucareira de Campos II	1 290	20 950	3 770	61 750	19.90	19.81
Açucareira de Campos III	261 500	282 450	771 030	832 780	20.13	20.10
Cabo Frio	3 218	285 668	8 385	841 165	21.18	20.11
Itaperuna	3 556	289 224	9 750	850 915	21.41	20.13
Bacia de São João e Macacu	1 865	291 089	3 965	854 880	22.33	20.14
Miracema I	6 662	297 751	14 170	869 050	23.27	20.19
Miracema II	1 697	299 448	3 575	872 625	24.84	20.21
Cantagalo	1 725	301 173	3 770	876 395	25.00	20.23

\* Equivalente barril:  $159 \times 1,2 = 191 \ell$  de álcool; US\$ = Cr\$ 18,063 (média de 1978).

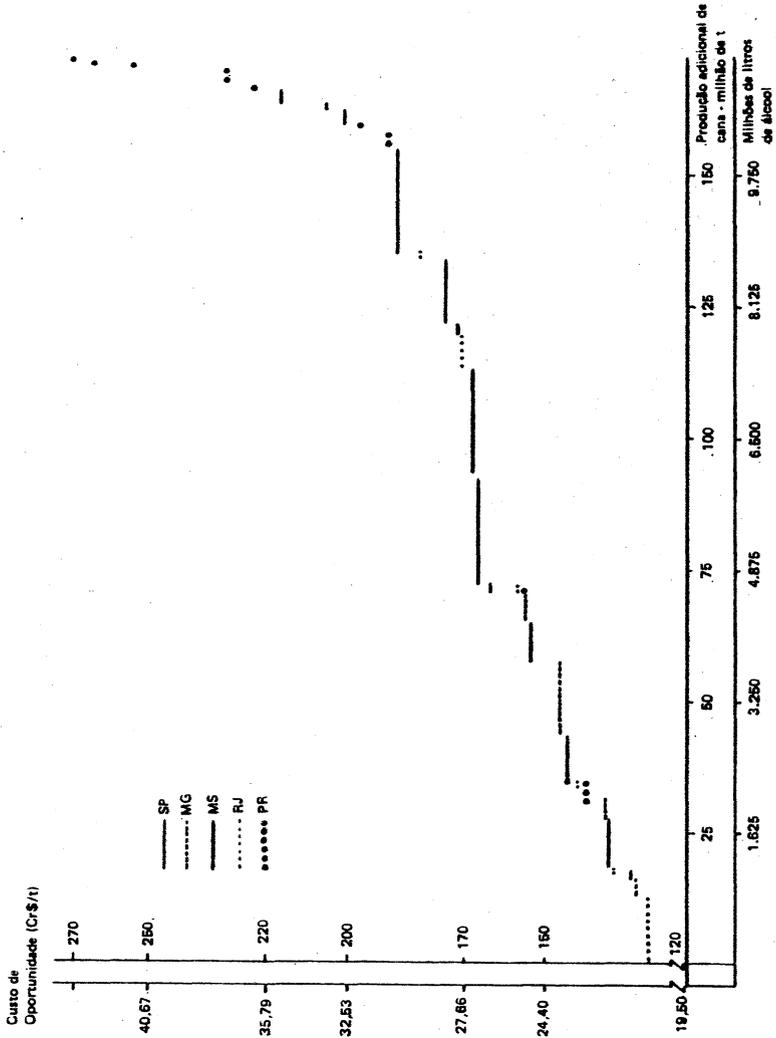
nidade mais baixos estavam associados à própria região de Campos, onde já é dominada a tecnologia de produção, enquanto nas áreas não tradicionais eles são substancialmente mais elevados. Entretanto, como a maior parte da disponibilidade de terras aptas para a cana-de-açúcar está na região tradicional, o custo médio do Estado como um todo aproxima-se muito daquele obtido para a região de Campos.

A capacidade de expansão da cana-de-açúcar ( $\bar{C}$ ) estaria limitada a aproximadamente 300 mil hectares, o que daria para produzir adicionalmente cerca de 876 milhões de litros de álcool (Tabela 6), sendo que o último barril equivalente de álcool seria obtido a um custo de oportunidade de US\$ 25,00, que é razoavelmente mais baixo que o de alguns outros Estados. Talvez isso possa ser explicado pela pequena remuneração auferida nas atividades consideradas competitivas nos sistemas de produção vigentes naquele Estado, além de uma tradição na produção de cana-de-açúcar, com grande apoio da pesquisa agrônômica, principalmente na região de Campos, o que certamente contribui para o melhor desempenho da atividade canavieira. Obteve-se uma média US\$ 20,23 para o custo de oportunidade na produção de matéria-prima por barril equivalente de álcool.

#### **Região Centro-Sul**

A agregação dos resultados para a região Centro-Sul do País, considerando os cinco Estados estudados, fez-se pela junção de intervalos de custos de oportunidade observados em cada Estado. A Tabela 7 apresenta esses resultados, mostrando custos de oportunidade ponderados para intervalos de 10 em 10 cruzeiros por toneladas e a correspondente produção de cana-de-açúcar, bem como as expansões dessa cultura nas regiões tradicionalmente canavieiras, em geral associadas aos segmentos de custos de oportunidades mais baixos. Assim, o custo de oportunidade até Cr\$ 140,00/t aparece nos segmentos dos Estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais, São Paulo e Paraná, com ofertas acumuladas de 34,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Agregando sucessivamente os segmentos dos diversos Estados, tem-se a representação na Figura 1 (curva de oferta de álcool para a região Centro-Sul), em que se localizam, numa situação intermediária da curva, as regiões onde hoje há predominância de pecuária e, no terço superior da curva, aquelas que registram tipicamente uma agricultura praticada com altos níveis de rendimento. A correspondência desses dados transformados em dólares por barril e as respectivas quantidades em barris-equivalentes são mostradas na Tabela 8.

FIG. 1. Curvas de oferta de álcool para a região sudeste.



**TABELA 6. Área adicional de cana-de-açúcar, produção adicional de álcool e custo em equivalente barril no Estado do Rio de Janeiro, 1978.**

Regiões	Área adicional de cana-de-açúcar		Produção adicional de álcool		Custo da cana-de-açúcar em equivalente barril *	
	Região (ha)	Acumulado	Região (1.000 l )	Acumulado	Região (US\$/barril)	Acumulado
Campo Grande I	45 800	45 800	133 965	133 965	26.53	26,53
Aquidauana I	21 100	66 900	61 685	195 650	26.60	26,55
Casilândia I	12 400	79 300	36 270	231 920	26.63	26,56
Nova Andradina I	22 100	101 400	64 610	296 530	26.78	26,61
Pedro Gomes I	75 800	177 200	221 715	518 245	26.85	26,71
Campo Grande II	54 200	231 400	158 535	676 780	27.05	26,79
Pedro Gomes II	24 200	255 600	70 785	747 565	27.26	26,84
Casilândia II	87 600	343 200	256 230	1 003 795	27.40	26,98
Nova Andradina II	22 900	366 100	66 950	1 070 745	27.47	27,01
Aquidauana II	78 900	445 000	230 750	1 301 495	27.47	27,09
Nova Andradina III	55 000	500 000	160 875	1 462 370	27.71	27,15

\* Equivalente barril:  $159 \times 1,2 = 191$  l de álcool; US\$ = Cr\$ 18,063 (média de 1978).

TABELA 7. Oferta de cana-de-açúcar para a região Centro-Sul.

(em cruzeiros de 1978)

Custo de oportunidade (Cr\$/t)	Estados	Quantidade (1.000 t)	Quantidade Acumulada (1.000 t)
123,58	RJ	12 812	12 812
126,98	MG	3 255	16 067
127,93	SP	2 220	18 287
132,36	RJ	340	18 627
133,76	SP	9 229	27 856
133,90	MG	3 710	31 566
139,59	PR	2 808	34 374
141,52	RJ	218	34 592
143,52	PR	539	35 131
144,07	SP	8 719	43 850
145,48	MG	13 788	57 638
152,61	SP	7 868	65 506
154,20	MG	5 215	70 721
154,83	PR	492	71 213
155,07	RJ	113	71 326
162,59	MG	1 175	72 501
165,37	SP	20 941	93 442
166,44	MS	20 023	113 465
168,91	PR	6 327	119 792
170,29	MS	2 475	122 267
173,07	SP	12 828	135 095
179,11	MG	344	135 439
184,85	SP	20 898	156 337
186,21	PR	3 034	159 371
193,78	PR	1 158	160 529
197,84	SP	2 294	162 823
202,76	MG	688	163 511
213,96	SP	3 296	166 807
219,95	PR	1 188	167 995
226,24	PR	3 600	171 595
249,59	PR	312	171 907
259,64	PR	192	172 099
264,87	PR	1 350	173 449

TABELA 8. Oferta de cana-de-açúcar para a região Centro-Sul.

Custo de oportunidade (US\$/barril)	Estados	Quantidade (1.000 barris)	Quantidade acumulada (1.000 barris)
20,10	RJ	4 360	4 360
20,66	MG	1 108	5 468
20,81	SP	755	6 223
21,53	RJ	116	6 339
21,76	SP	3 141	9 480
21,78	MG	1 263	10 743
22,71	PR	956	11 699
23,02	RJ	74	11 773
23,35	PR	183	11 956
23,43	SP	2 967	14 923
23,67	MG	4 692	19 615
24,83	SP	2 678	22 293
25,08	MG	1 775	24 068
25,19	PR	167	24 235
25,23	RJ	38	24 273
26,45	MG	400	24 673
26,90	SP	7 126	31 799
27,08	MS	6 814	38 613
27,48	PR	2 153	40 766
27,70	MS	842	41 608
28,15	SP	4 365	45 973
29,14	MG	117	46 090
30,07	SP	7 112	53 202
30,29	PR	1 033	54 235
31,52	PR	394	54 629
32,18	SP	781	55 410
32,98	MG	234	55 644
34,81	SP	1 122	56 766
35,78	PR	404	57 170
36,80	PR	1 225	58 395
40,60	PR	106	58 501
42,24	PR	65	58 566
43,09	PR	459	59 025

Equivalência: US\$ 1,00 = Cr\$ 18 063;

t = 65 litros de álcool;

barril = 191 litros de álcool.

## IMPLICAÇÕES

1. Uma análise cuidadosa dos resultados relatados na seção anterior sugere que se poderia produzir 4,64 bilhões de litros/ano (ou 66 mil barris/dia)<sup>12</sup> ao equivalente de US\$ 42 o barril (na margem) e, alternativamente, 7,95 bilhões de litros (114 mil barris/dia) por US\$ 46 o barril (na margem).<sup>13</sup>

Esses resultados entretanto têm que ser interpretados com bastante cuidado, não podendo ser feita uma comparação simplista com o custo da gasolina importada hoje, pelas seguintes razões:

- a. em primeiro lugar, conforme foi visto na metodologia de custos, não foram considerados itens importantes tais como custos de manutenção, remuneração ao capital, capital de giro e depreciação de instalação;
- b. em segundo lugar, como o trabalho foi com base nas informações de 1978, os dados devem ser atualizados para corrigir a inflação observada no período. De 1978 até 1981 há indicações de que o custo de produção da cana-de-açúcar tenha superado a variação cambial ocorrida no período, o que sem dúvida afeta os resultados obtidos;
- c. ademais considerou-se na época que o rendimento do álcool em relação à gasolina era 20% inferior. No entanto, diversos testes realizados recentemente pela Secretaria de Tecnologia Industrial - STI, do Ministério da Indústria e Comércio têm indicado como mais razoável rendimento 25% inferior para o álcool.

Considerando-se todos esses fatores, pode-se afirmar que os custos agrícolas, devidamente ajustados para efeito de comparação com o petróleo importado, deveriam ser multiplicados por um fator de correção de pelo menos 1,4 já no final de 1981.

Há que se considerar ainda que estes resultados são obtidos quando se trabalha com um horizonte de 1985. Na verdade, muitas das nossas regiões de análise poderão eventualmente produzir quantidades maiores

---

<sup>12</sup> Como já apontado, admite-se que para fins automotivos é preciso 1,2 litro de álcool para substituir um litro de gasolina. Assim, o "barril de álcool" calculado tem 191 litros. A produção de álcool referida no texto é adicional àquela observada em 1978.

<sup>13</sup> Evidentemente, este resultado depende da estrutura de alocação de áreas adicionais para cana-de-açúcar (C) adotadas neste trabalho.

nos anos seguintes, uma vez que a prazo mais longo será possível superar limitações na oferta de fatores e chegar a uma área de cana-de-açúcar maior que aquelas descritas pelos C. Este fato é especialmente verdadeiro para as regiões tradicionalmente de pecuária, onde, em geral, a disponibilidade de terras aptas para a cana-de-açúcar supera em muito os limites impostos no trabalho (em geral, equivalente à instalação de 12 a 13 destilarias de 120.000 litros/dia no horizonte de análise). Observa-se, ademais, que os custos calculados consideram o efeito de substituição de culturas.

Uma limitação dos resultados é que se omite a possibilidade de utilizar a cana-de-açúcar produzida na fabricação de açúcar para exportação, quando então as divisas obtidas seriam empregadas na importação de petróleo. É fácil perceber que esta segunda avaliação exigiria a montagem de um modelo completo do mercado mundial de açúcar, de sorte a avaliar qual o impacto no mercado de grandes exportações adicionais do produto.

Embora não se tenha empreendido este segundo caminho e, portanto, não se possa sugerir qual a quantidade adicional de cana-de-açúcar que seria mais econômica para a venda sob a forma de açúcar, vale observar que, dadas as dimensões das metas de substituição da gasolina, parece razoável esperar que a rota das exportações tenha dimensões relativamente limitadas. Em primeiro lugar, deve-se considerar que os acréscimos de produção de cana-de-açúcar aqui avaliados não são marginais, o que implica dizer que as atuais cotações externas são um indicador muito limitado para fins de comparação ou, dito de outra forma, que os preços aos quais o adicional de açúcar poderia ser colocado no mercado certamente seriam muito inferiores aos atuais.

Ainda com relação aos preços externos, há que se considerar o fato de o mercado de açúcar apresentar um comportamento cíclico de preços (típico de produtos agrícolas perenes e semiperenes). Nestas condições, o preço do açúcar relevante para comparações seria o atual ou aquele de 1976/77?

Finalmente, a escolha entre açúcar e álcool é relevante para as usinas que possuam destilarias anexas, dada a flexibilidade na composição do produto, que, se mantida para o futuro, implicará em elevar-se sobremaneira os custos de capital associados à expansão da cana-de-açúcar, o que não é desprezível nas condições brasileiras de hoje.

Contudo, embora estas observações não invalidem a utilidade de um exercício nos moldes acima sugeridos, parece (mais uma vez devido às dimensões da substituição proposta) que se trata mais de saber qual seria a quota ótima de açúcar (dada uma grande produção de álcool) do que estudar uma alternativa - açúcar ou álcool.

2. A curva de oferta da matéria-prima pode ser usada num modelo mais completo do sistema cana/álcool, que incorpora industrialização, armazenagem, transporte e consumo, pois apenas um sistema desta natureza é que permitirá uma elaboração mais refinada acerca de problemas de custos e localização.

3. Como o modelo ajustado sugere que há uma grande variação de custos por região, uma análise cuidadosa dos resultados apresentados na Seção 3 oferece a oportunidade de que o conjunto das regiões possa ser agrupado, na ordem crescente de custos, em três categorias:

- a. os custos mais baixos de matéria-prima estão em regiões já tradicionais de cana-de-açúcar, essencialmente devido à existência de infra-estrutura e de tecnologia apropriada já desenvolvida. Nestas condições, a capacidade de resposta a estímulos de crescimento da produção é muito grande, não sendo de surpreender que o primeiro impulso ao PROÁLCOOL se tenha observado exatamente nestas regiões, apesar de sua limitada capacidade total de expansão;
- b. a faixa intermediária de custos corresponde em geral às regiões de predominância da atividade pecuária, nas quais o custo de oportunidade da terra é relativamente pequeno (dada a estrutura do sistema de produção), embora os custos de expansão (abertura) sejam, evidentemente, mais elevados que os das regiões tradicionalmente canavieiras; e
- c. os custos mais elevados na expansão da atividade canvieira estão associados às regiões de alto potencial agrícola onde a cana-de-açúcar não é atividade tradicional. Em termos das novas regiões, o Paraná é o caso mais típico: a produção e a produtividade das culturas de alimentos e exportáveis determinam um elevado custo de oportunidade da terra.

4. Conforme descrito na Seção 2 deste trabalho, o modelo utilizado foi desenhado para captar, ao nível de cada região, a estrutura da substituição (esperada) de cultivo associada à expansão da atividade canvieira. Na medida em que cada unidade de análise (região) é suposta fechada, ou seja, é analisada isoladamente, o custo de oportunidade do uso de terra tem dois componentes: a eventual redução na área dedicada a uma particular cultura, relativamente ao ano base e à expansão da área da mesma cultura que se deveria observar para que o atendimento da demanda ficasse inalterado (em termos de quantidades e preços) à medida que crescem a população e a renda. A consideração deste efeito pode parecer estranha na medida em que o nosso modelo é estático,

mas deve ser lembrado que a nossa unidade implícita de tempo de análise é de sete anos (1979/85), conforme já apontado na introdução deste trabalho. Ao nível operacional, este segundo componente foi tratado com a previsão de que as culturas preexistentes pudessem se expandir dentro do sistema de produção.

O segundo componente do custo de substituição é, na verdade, um limite superior daquele que deveria ser efetivamente observado, porque na agregação do conjunto das regiões é perfeitamente possível que a área reduzida de um certo produto possa ser, pelo menos em parte, compensada pela expansão daquela atividade em outras regiões ou em áreas não definidas pelo nosso L dentro da mesma região. Em outras palavras, parte do milho que eventualmente deixe de ser produzido em Ribeirão Preto pode vir a ser plantada em outra região ou em áreas ecológicamente não adaptadas à produção de cana. Nestas condições, o resultado da substituição por cana-de-açúcar em relação à situação inicial define um limite superior ao nível de cada região. O custo total líquido não pode ser calculado nos limites de nosso modelo, o que só poderia ser feito explicitando-se a estrutura da demanda e considerando-se todas as regiões produtoras num sistema simultâneo.<sup>14</sup>

As Tabelas 9 e 10 estimam o custo de substituição, em termos de área de culturas abandonadas, calculado pelo modelo, e contém informações que parecem bastante ricas, mesmo tendo-se em mente as ressalvas acima mencionadas.<sup>15</sup>

Em primeiro lugar, considere-se que, para atingir as metas de produção de álcool em 1985, a cana-de-açúcar deverá ocupar algo como até 3,7 milhões de hectares anteriormente destinados a outras atividades, o que é, por si só, uma cifra respeitável, justificando um certo cuidado na programação da localização da atividade canavieira.<sup>16</sup>

A nível de Estados, o modelo sugere (Tabela 9 e 10) que a redução na área dedicada a alimentos seria apreciável nos Estados de Minas Gerais e do Paraná, variando sua contribuição entre 20 e 40% no Paraná e entre 45 e 88% em Minas Gerais, enquanto em São Paulo e, mais uma vez, no Paraná, as perdas seriam grandes em termos de produtos exportáveis.

<sup>14</sup> Tal interação está sendo considerada num trabalho em andamento, mais amplo, de âmbito nacional.

<sup>15</sup> Mais uma vez, os dados constantes das Tabelas 9 e 10 dão pelo menos o custo de substituição dentro das regiões analisadas.

<sup>16</sup> Apenas a título de comparação, a área atualmente dedicada (safra 1980/91) à produção de arroz no País é de 6,2 milhões de hectares.

Em outras palavras, uma expansão da produção de álcool nas regiões e nos moldes considerados resultaria numa redução apreciável de culturas de alimentos e de exportação, embora grandes áreas devam ser retiradas da atividade pecuária.

Na verdade, se a expansão da cana-de-açúcar seguir o padrão sugerido pelas nossas curvas de oferta (isto é, das regiões com menor custo para as de maior), a perda em termos de culturas será ainda mais importante a curto prazo, dado que as regiões predominantemente pecuárias só seriam ocupadas numa segunda etapa. Em outras palavras, mesmo que o ajuste final fosse aproximadamente aquele sugerido pelas Tabelas 9 e 10, observaríamos uma perda relativa maior das culturas nas fases iniciais do programa. Este pelo menos é, nitidamente, o caso do Estado de São Paulo, como pode ser visto na Tabela 11.

5. Como é fácil perceber, os resultados do modelo estimado dependem da estrutura de preços relativos de produtos e fatores que se utilize. Entretanto o que se quer observar aqui é o fato de o modelo precisar ser reestimado sempre que se evidencie uma alteração (estável) na estrutura de preços relativos vigentes na economia. Por exemplo, entre 1978 e 1980 os principais insumos comprados subiram em termos da taxa de salário; embora não seja claro, a priori, qual seria o resultado final sugerido pelo modelo, é fácil perceber que a nova curva de oferta seria diversa daquela relatada na Seção 3, bem como a estrutura de substituição entre culturas.

6. Os resultados a que se chega neste estudo dependem crucialmente

**TABELA 9. Estimativa da área ocupada com cana-de-açúcar pela imposição do  $\bar{C}$  (não considerando a expansão das atividades competitivas) - Estados da Região Centro-Sul.**

Estados	$\bar{C}$	Culturas* alimentares	Culturas** comerciais	Pastagem***
São Paulo	1 856 041	10,5	10,4	79,1
Paraná	432 000	20,8	13,5	65,7
Minas Gerais	620 000	44,3	-	55,7
Mato Grosso do Sul	500 000	13,3	-	86,7
Rio de Janeiro	301 173	6,0	-	94,0

\* Inclui arroz, feijão, milho e mandioca.

\*\* Inclui soja, trigo, algodão, amendoim, mamona, etc.

\*\*\* Para pecuária de corte e de leite.

**TABELA 10.** Perdas sofridas em áreas por cada grupo de cultura, pela imposição do C, e expansão das culturas competitivas - Estados da Região Centro-Sul.

Estados	C	Percentual das áreas cedidas por tipo de cultura		
		Culturas* alimentares (%)	Culturas** comerciais (%)	Pastagem*** (%)
São Paulo	1 856 041	21,0	31,2	47,8
Paraná	432 000	41,5	40,6	17,9
Minas Gerais	620 000	88,6	-	11,4
Mato Grosso do Sul	500 000	40,0	-	60,0
Rio de Janeiro	301 173	12,0	-	88,0

\* Inclui arroz, feijão, milho e mandioca.

\*\* Inclui soja, mamona, algodão, trigo, amendoim, etc.

\*\*\* Para pecuária de corte e de leite.

**TABELA 11.** Área de expansão da cana-de-açúcar entre 1977/78 e 1979/80 - Estado de São Paulo.

DIRA	Custo de oportunidade médio (Cr\$/t)	Área de expansão	
		Absoluta (ha)	%
Bauru	142,82	10 000	8
Ribeirão Preto	158,03	14 000	12
Marília	162,30	19 150	16
São José do Rio Preto	164,84	31 030	26
Sorocaba	171,66	20 700	17
Araçatuba	176,09	1 750	1
Presidente Prudente	179,85	10 100	8
Campinas	199,74	14 300	12
Total	-	121 030	100

Fonte: IEA.

do horizonte de análise considerado, o que fica bastante claro quando se observa que uma série de parâmetros do modelo, básicos para as estimativas, só podem ser tomados como dados num horizonte de 1985. A prazo mais longo, todos estes parâmetros podem se alterar, quer por flexibilidade de restrições de oferta ou institucionais, quer por mudanças na tecnologia disponível. Os coeficientes a seguir alinhados são aqueles passíveis de reconsideração, desde que se trabalhe com um horizonte de tempo mais longo:

- **Oferta de terras aptas para cana-de-açúcar (L):** de acordo com o exposto na Seção 2, as culturas perenes (especialmente laranja e café) não foram incluídas no sistema de produção, mas a prazo mais longo é perfeitamente possível que razões de mercado ou moléstias (cancro cítrico, por exemplo) permitam a sua substituição por outras culturas, viabilizando, pelo menos num sentido físico, maiores (potencialmente) áreas de cana-de-açúcar em regiões tradicionais, com o que se obteria uma curva de oferta de cana-de-açúcar diferente daquela apresentada na Seção 3.

- **Áreas de expansão de cana-de-açúcar em regiões novas (C̄):** esta restrição já foi apontada no item 1 anterior. A prazo mais longo as regiões pecuárias poderiam receber uma área de cana-de-açúcar muito maior do que as que foram consideradas, o que, mais uma vez, viria a alterar o perfil da oferta da cana-de-açúcar.

- **Produtividade da terra:** como já apontado na Seção 3, considerou-se que a produtividade da terra nas áreas não tradicionais de cana-de-açúcar deve ser menor do que a observada em áreas tradicionais. Esta hipótese supõe uma tecnologia constante a curto prazo, situação que evidentemente pode ser alterada pelo trabalho dos centros de pesquisa, que se for adequadamente realizado pode perfeitamente tornar possível que a produção por unidade de área aumente, deslocando a curva de oferta para a direita (na hipótese de progresso técnico neutro). Observe-se, por outro lado, que sempre permanece o risco de estagnação ou até redução da produtividade da terra numa situação de franca expansão da cultura, desde que o adequado suporte agrônômico não seja conseguido.<sup>17</sup>

- **Produtividade da cana-de-açúcar em termos de álcool:** o índice de

<sup>17</sup> Esta observação é particularmente relevante se se levar em conta que as grandes inovações genéticas em cana-de-açúcar no Brasil já datam de algumas décadas.

65 litros de álcool por tonelada de cana-de-açúcar foi tomado como representando uma média de hoje. A prazo longo é perfeitamente possível uma elevação na taxa de extração, quer por alterações no tipo de variedade cultivada, quer por variações na operação industrial.

- **Rendimento do álcool relativamente à gasolina:** embora não seja crucial ao modelo, os resultados obtidos foram transformados em dólares por barril para facilitar a comparação do custo da cana-de-açúcar com o do petróleo que se pretende substituir. Como apontado em várias partes do estudo, considerou-se um "barril" de álcool de 191 litros, refletindo a hipótese de um gasto adicional de 20% do produto. Embora esta perda de rendimento esteja efetivamente sendo observada (em alguns casos tem sido até maior), é razoável admitir-se que ela venha a ser reduzida no futuro, em decorrência da maior experiência que se acumulará na fabricação de motores a álcool, caso em que a posição relativa do álcool frente ao petróleo importado deve melhorar.

7. O modelo ajustado permite uma aplicação ao nível do mercado de insumos, que é a avaliação (a preços constantes) das alterações na demanda de fatores propiciada pela expansão da atividade canavieira. Embora este exercício não tenha sido realizado, é possível, por exemplo, estimar as variações que se pode esperar no consumo de fertilizantes, calcário, combustível, etc.

8. As intensas variações no custo de produção entre regiões, apontadas na Seção 3 do trabalho original (3), sugerem que a localização da atividade alcooleira não é neutra do ponto de vista do custo de produção de matérias-primas, o qual representa, em termos de substituição entre culturas, uma parte da variância observada.

Este tipo de resultado, calculado de um ponto de vista social, é que está na base das idéias de regionalização discutida atualmente. Entretanto existem argumentos que seriam dispensáveis. Tal regionalização se deve ao fato de que o próprio mercado de terras tenderá a refletir as diferentes posições regionais em termos de qualidade, produtividade e infra-estrutura, orientando a localização dos projetos. Embora este argumento tenha alguns méritos,<sup>18</sup> não se pode esquecer que o mercado de terras reflete também outros fenômenos, como o da inflação, bem como o fato de que a rentabilidade relativa dos projetos do álcool depende muito das condições de crédito para outras

<sup>18</sup> Basta considerar o diferencial de preços de terra entre Ribeirão Preto e o oeste paulista, por exemplo.

atividades agrícolas (para a cana-de-açúcar em particular) e da magnitude dos subsídios concedidos via empréstimos agrícolas. Em outras palavras, a inflação e a situação no mercado de crédito podem, de um ponto de vista particular, levar a resultados muito diversos daqueles sugeridos por critérios sociais. Concluindo, parece razoável falar-se na regionalização da produção, visto que o próprio controle do sistema de cana-de-açúcar/álcool sugere a necessidade de ajustamentos em decorrência de limitações nos mecanismos de mercado.

Os resultados relatados na Seção 3 já sugerem por si um critério de localização, a partir dos custos de matéria-prima e com a consideração explícita da questão de substituição de culturas, na seguinte ordenação: regiões tradicionalmente canavieiras e regiões pecuárias e agrícolas modernas não canavieiras (ver a Seção 3 e o item 3 anterior). Estes resultados já são compatíveis com limites impostos, em cada região, à excessiva especialização (traduzida pelos  $\bar{C}$ ,  $\bar{A}$  e  $\bar{P}$ ), ou seja, o modelo ordena as regiões por custo, levando em conta a substituição de culturas e colocando limites à excessiva especialização em cana-de-açúcar. Observe-se mais uma vez que a consideração de transporte, industrialização e distribuição (não realizada neste estudo) pode alterar parcialmente a ordenação de regiões obtida. Neste sentido, o critério que se extrai deste trabalho é parcial e deveria ser completado.<sup>19</sup>

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio e a colaboração de Luiz Paulo Rosemberg, Ibrahim Eris, Ricardo Luis Santiago e Sérgio Margulis (do IPEA), Aloísio P. Araújo, Jack Schechtman, José A. Scheickman e Sérgio Granville (do IMPA) e Augusto Cesar M. Soares (do IPT). Também agradecemos a Félix Caputo (do IPEA) e Celia Regina Costa (do IPT), pela boa vontade de colaboração com a coleta de dados e os cálculos estatísticos. Contudo, a responsabilidade do conteúdo é, evidentemente, de inteira responsabilidade dos autores.

#### REFERÊNCIAS

- BAUMOL, William J. *Economic theory and operations analysis*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1972.

<sup>19</sup> Embora não mencionado no texto, é óbvio que o modelo ajustado não dá critérios de localização final, que só pode ser decidido ao nível de projeto.

BRIEGER, F. Situação da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. *Saccharum*, 1(2):13-16, set. 1978.

FONSECA, M.A.S.; MATSUNAGA, M. ; GHILARDI, A.A. **Brasil - Projeto ARIAL**. CIDD, s/d.

GASS, Saul I. **Linear programming: methods and applications**. 4.ed. Nova York, McGraw-Hill, 1975.

HADLEY, G. **Linear programming**. Reading, Mass., Addison-Wesley, 1963.

HEADY, Earl O. & CANDLER, W. **Linear programming methods**. Ames, The Iowa State University Press, 1969.

IPEA/IPT. **Agricultura e produção de energia: avaliação do custo da matéria-prima para a produção de álcool**. Relatório Final, 1981. 145p.