

Otimização do uso de energético nas usinas sucro-alcooleiras

MARCOS FERNANDES SINÍCIO
SERGIO VALDIR BAJAY¹

I. Introdução

Com o objetivo de mostrar formas de minimizar os custos de produção do álcool, através de conservação de energia na produção do mesmo, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos ultimamente.

Este trabalho tem como objetivo principal qualificar e, quando possível com os dados disponíveis, quantificar formas potenciais de racionalizar o uso da energia na produção do álcool e açúcar, especialmente no que concerne à utilização do vapor nas várias etapas da produção.

Usualmente entende-se por planejamento a nível macro aquele que abrange toda uma região determinada, quer seja esta região um conjunto de países, um país, um estado, ou uma área específica de um estado.

Planejamento energético a nível micro é aquele que se aplica a uma determinada unidade geradora ou consumidora de energia. Como exemplos de unidades geradoras tem-se uma usina hidrelétrica ou termelétrica, uma refinaria de petróleo ou uma destilaria de álcool. Como unidades grandes consumidoras de energia tem-se, como casos típicos, as plantas transformadoras de bauxita em alumínio e as fábricas de papel e celulose.

Aplicando estes conceitos a este trabalho, realizou-se uma análise do perfil de consumo energético das usinas e destilarias paulistas. Por outro lado, foram feitas extensivas simulações em unidades de produção representativas de grupos homogêneos de usinas e destilarias, que permitiram, com um bom nível de precisão, a projeção de resultados válidos para todo o Estado.

2. Os módulos do modelo de simulação termodinâmica proposto

São muito diversos os tipos, a quantidade, a capacidade e a disposição dos equipamentos que atuam na produção de açúcar e álcool nas várias unidades produtoras do Estado de São Paulo. Assim sendo, torna-se extremamente complexa e pouco flexível a elaboração de um único programa computacional que atue de forma integrada sobre todos os equipamentos simulados, nos diversos arranjos possíveis.

Tal programa, contudo, é de fundamental importância para a aplicação de técnicas de otimização, como as programações linear e dinâmica, o que permitiria que se chegasse a soluções "ótimas", no significado matemático do termo, dos problemas propostos. Optou-se, neste trabalho, pelo uso de simulações termodinâmicas seguidas de análises econômicas, em uma estrutura computacional modular bastante conveniente para o estudo abrangente e detalhado de medidas pré-selecionadas de conservação de energéticos² nas usinas.

Os principais tipos de equipamentos das usinas são modelados separadamente nos diversos módulos do programa, facilitando, por exemplo, a simulação de variantes de um mesmo tipo de equipamento.

Desta forma, é possível ampliar-se substancialmente o espectro de análise das características de um conjunto de equipamentos que tenham a mesma função, e integrá-los ao processo produtivo global na posição em que forem mais convenientes. Assim, pode-se simular o aquecimento do caldo clarificado antes da evaporação, ou do vinho antes da destilação, por exemplo. Pode-se, ainda, fazer o evaporador sangrar para os cozedores, ou para os cozedores e aquecedores, ou simplesmente não fazê-lo sangrar.

¹ Área Interdisciplinar de Planejamento de Sistemas Energéticos, DE/FEM, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

² No caso, particularmente o bagaço de cana.

De uma forma bastante simplificada, as figuras 1 a 4 apresentam os fluxos de entrada e saída dos vários módulos do modelo de simulação termodinâmica proposto.

Figura 1 Módulo A: Aquecimento



Figura 2 Módulo B: Evaporação

Figura 3 Módulo C: Destilação

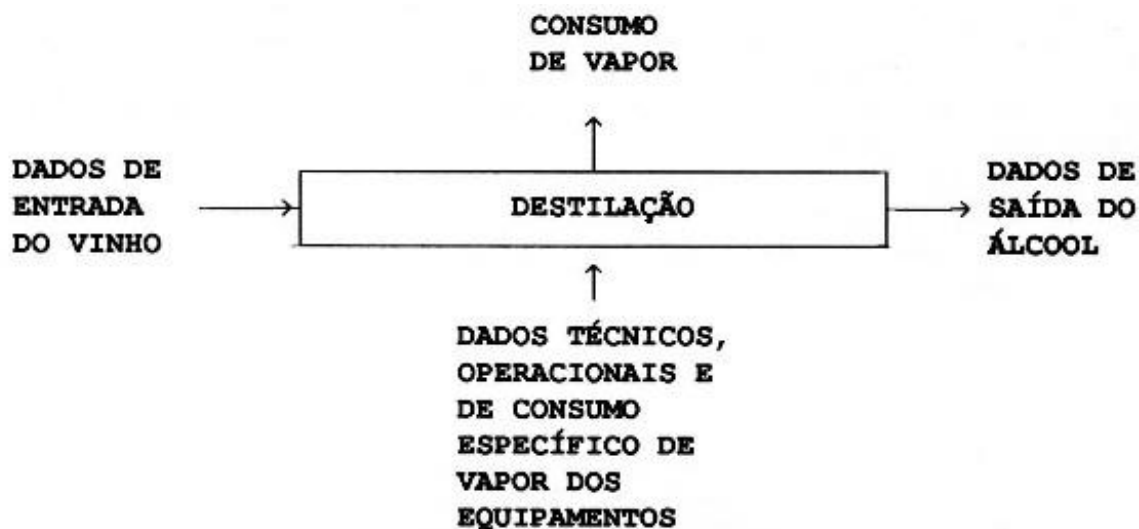
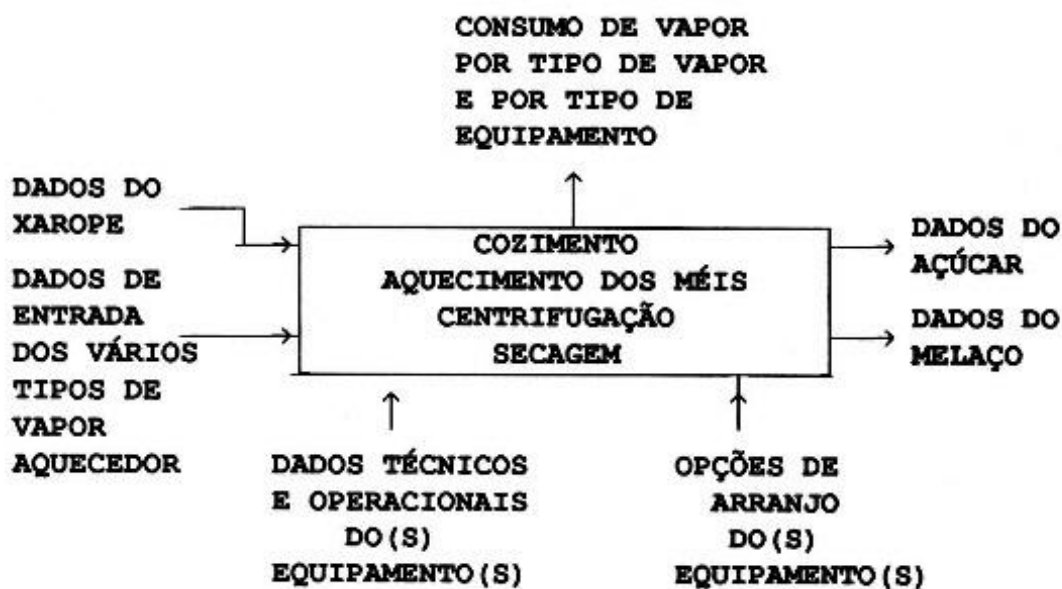


Figura 4 Módulo D: Fabricação de açúcar



3. Cenários de desenvolvimento simulados e classe das usinas paulistas em grupos homogêneos

As usinas do Estado de São Paulo foram divididas em quinze grupos relativamente homogêneos para fins de simulação, sendo que para cada um destes conjuntos determinou-se uma usina típica, que, em termos médios, representa as usinas do conjunto.

A tabela 1 apresenta a divisão das usinas por tipos e faixas de produção e cenários de desenvolvimento.

Os cenários de desenvolvimento considerados neste trabalho para as usinas sucro-alcooleiras paulistas são:

i) cenário nº 1: moderniza-se as usinas e destilarias sem se aumentar a capacidade instalada das mesmas;

ii) cenário nº 2: aumenta-se a capacidade de produção das usinas e destilarias atuando-se sobre seus gargalos produtivos;

iii) cenário nº 3: novas usinas são instaladas para auxiliar o atendimento do crescimento previsto para a demanda de álcool em 1995 e 2000.

Dada a coerência dos dados e o fato deles englobarem todas as usinas do Estado de São Paulo, decidiu-se adotar o critério que parece ser hoje o mais confiável e globalizante: a produção de álcool equivalente por tonelada de cana moída. O volume total de cana moída pelas usinas foi o outro parâmetro escolhido para a caracterização dos grupos.

Tabela 1 configurações das usinas a serem simuladas, classificadas por tipo, faixa de produção e cenário de desenvolvimento

Faixas de Produção (T.C./ANO)	Tipo Anexa (AX) ou Autônoma (AU)	CENÁRIOS DE DESNVOLV.		
		Nº 1	Nº 2	Nº 3
Acima de 1.500.000	AX	A1	A2	A3
De 800.000 até 1.500.000	AX	B1	B2	B3
	AU	C1	C2	C3
De 300.000 até 800.000	AX	D1	D2	D3
	AU	E1	E2	E3

O cálculo da quantidade de álcool equivalente produzido por tonelada de cana moída é efetuado com a transformação da produção total de açúcar, álcool hidratado e álcool anidro da usina em álcool hidratado equivalente.

Cento e quarenta e oito usinas do Estado de São Paulo foram consideradas na classificação, determinando-se o rendimento equivalente de cada uma delas, que foram ponderados em função da produção total de cana moída de cada planta. Estas usinas estão, também, separadas em anexas e autônomas.

A tabela 2 fornece os valores de produção de álcool equivalente, por tipos e faixas, indicando-se, também, os rendimentos das usinas em termos de litros de álcool equivalente, por TC.

Os rendimentos equivalentes foram calculados em função dos rendimentos individuais das usinas, ponderados por suas produções.

4. Medidas de conservação de energéticos

Durante a rápida expansão na instalação de novas unidades produtoras de álcool no Estado de São Paulo, ocorrida após a segunda crise do petróleo, a preocupação com a adoção de tecnologias mais eficientes nas unidades produtivas ficou relegada a um segundo plano.

Nas usinas anexas, isto se deu porque as plantas produtoras de álcool foram implantadas para trabalharem conjuntamente com as que produziam açúcar, já existentes, e que freqüentemente funcionavam com tecnologia já ultrapassada. Adaptaram-se, portanto, ao contexto produtivo desatualizado da grande maioria das usinas, e passaram a operar com uma eficiência abaixo do que era de se esperar.

As destilarias autônomas implantadas naquele período o foram às pressas, devido à premência em que entrassem em operação. Sendo assim, os proprietários das mesmas optaram pela construção das usinas pelo conhecido processo de "chave na mão", o que impediu que se fizessem projetos mais apurados e eficientes do ponto de vista tecnológico.

Medidas que podem melhorar o atual processo produtivo na usinas de açúcar e álcool paulistas já são bem conhecidas, sendo, em geral, passíveis de adoção em escala comercial a curto ou médio prazo. A não aplicação dessas medidas, pela grande maioria dos usineiros, tem ocorrido porque, até há pouco tempo atrás, era mais interessante, economicamente, aos mesmos, investir no aumento da área plantada pela usina, ao invés de efetuar investimentos que levassem a uma razoável elevação na eficiência do processo produtivo.

Tabela 2 - Produção de álcool equivalente e , tipo de usina e faixa de produção

Faixa de Produção (TC/ANO)	Tipo	Produção de Álcool Equivalente, por tipo (10^6)	% de Produção de Álcool, p/tipo, na Produção Total	Produção de Álcool Equivalente da Faixa (10^6)	% da Produção de Álcool da Faixa, no Total	Rendimento Equivalente
----------------------------	------	---	--	--	--	------------------------

Acima de 1.500.000	AX	4013,35	40,16	4013,35	40,16	88,47
800.000 até 1.500.000	AX	2747,86	27,5	3319,01	33,22	79,18
	AU	571,15	5,71			79,23
300.000 até 800.000	AX	847,88	8,49	2077,96	20,80	78,15
	AU	1230,08	12,31			78,17
Até 300.000	AU	365,68	3,66	365,68	3,66	75,90
Açúcar 147.000 à 417.000	AÇ	69,24	0,69	69,24	0,69	65,20
Usinas c/ Dados incoerentes	I	146,93	1,47	146,93	1,47	XX

Fonte: Elaboração a partir de dados do iAA (1986) 80

Esse quadro vem sendo revertido ultimamente com o corte gradual de subsídios que os usineiros vêm sofrendo, e a conseqüente necessidade de redução dos custos de produção.

Apesar deste novo quadro, na maioria das usinas paulistas, a adoção de novos processos e equipamentos tem se dado apenas quando da substituição normal dos já existentes, ou de expansões que venham a aumentar o volume de produção das unidades industriais.

O consumo de vapor de processo é, atualmente, o fator limitante à redução do consumo de bagaço, tanto nas usinas anexas como nas autônomas. Instituições de pesquisa vinculadas ao setor sucro-alcooleiro têm afirmado que o consumo específico de vapor pode ser reduzido ao patamar de 250kgv/TC, o que não é impossível, mas, por certo, é bastante improvável a curto e médio prazos, pois existe uma distância razoável que separa as medidas tecnicamente possíveis de serem adotadas no setor, daquelas que, além disso, são viáveis economicamente.

Um número bastante reduzido de usinas têm fornecido dados que indicam a redução do consumo específico para um patamar aquém de 400 kgv/TC, porém, superior a um limite mínimo de 350 kgv/TC. Isto seria alvissareiro, não fosse o fato de perceber-se entre as mesmas uma maioria de usinas autônomas que, devido à sua estrutura produtiva, tradicionalmente apresentam um consumo específico de vapor mais reduzido que as usinas anexas.

Outrossim, esse consumo específico é, muitas vezes, reduzido, não devido à adoção racional de medidas de conservação de energéticos, mas devido à falta de um tratamento adequado do produto em termos de sua qualidade, como, por exemplo, a ausência de aquecimento do caldo misto para efeito de pasteurização, uma vez que não são disponíveis aquecedores, dornas de decantação, etc.

A redução do consumo específico de vapor nas unidades produtoras esbarra, por outro lado, no consumo mínimo de vapor de alta pressão para o funcionamento dos turbogeradores, turbinas das moendas, turbo-bombas, turbo-ventiladores, etc. Este consumo mínimo só pode ser reduzido com investimentos substanciais em caldeiras e turbinas mais eficientes e operando em pressões mais elevadas que as normalmente encontradas atualmente. Faz-se necessário, portanto, uma certa moderação no dimensionamento do potencial energético que possa: advir de possíveis medidas de conservação de energéticos a curto e médio prazos.

Os cenários de desenvolvimento simulados consideram a adoção das seguintes medidas de conservação de energéticos.

No processo de aquecimento:

M1) sangria para os aquecedores.

No processo de evaporação:

M2) aumento do número de efeito

M3) instalação de tanques condensados.

No processo de cozimento:

M4) sangria de vapor vegetal para os cozedores;

M5) adoção da nucleação homogênea.

5. A atual capacidade ociosa do setor sucro-alcooleiro

Do modo como o parque produtor de açúcar e álcool no Estado de São Paulo está operando atualmente, existem margens de capacidade ociosa presentes em pontos específicos das linhas de produção.

Comparando-se a capacidade de produção declarada por quinze usinas anexas paulistas com a produção média efetiva das mesmas durante a safra (revistas STAB; IAA 1986) detectou-se uma capacidade ociosa de 24,96% na moagem, de 49,73% nos equipamentos voltados exclusivamente à produção de açúcar e de 26,90 nos voltados exclusivamente à produção de álcool.

Os dados referentes à moagem e à produção de açúcar podem ser considerados confiáveis; os referentes à produção de álcool, todavia, trazem a deformação tocante à parcela do produto não declarada pelas usinas aos órgãos competentes. Estimativas deste desvio, em relação a produção total declarada de álcool, costumam situar-se entre 7 e 20%. Assim, decidiu-se adotar um valor conservador de 10% para a ociosidade média atual das usinas nos seus equipamentos de destilação.

Note-se, portanto, que um aumento na produção de açúcar e álcool em até 33,33%, em relação à situação atual, pode ser obtido apenas elevando-se a atual capacidade instalada dos destiladores nas usinas anexas paulistas. A adoção da fermentação contínua, por outro lado, permite que se dobre a capacidade de fermentação das usinas a um custo mínimo (IPT, 1990), já que não são necessários investimentos na aquisição de novas dornas, fato que teria que ocorrer caso o processo de fermentação continuasse a ser por batelada, como o é, atualmente, em 87,5% das usinas paulistas (IPT, 1990).

Não foi possível se conseguir dados empíricos sobre a ociosidade nas usinas autônomas. Assim, adotou-se uma ociosidade na destilação das mesmas igual à das usinas anexas, ou seja, 10%. Isto conduz a uma ociosidade na moagem das mesmas igual a 10%.

Como as usinas autônomas produzem, em sua maioria, um volume maior de álcool hidratado que de anidro, ao contrário das grandes usinas anexas, e como existe uma demanda maior no mercado pelo álcool hidratado que pelo anidro, é razoável se supor que a ociosidade do setor de destilação das usinas autônomas não deve ser maior que a das anexas.

Ao mesmo tempo, se deve considerar que a capacidade efetiva das colunas de destilação é, normalmente, maior que a capacidade nominal de projeto, o que, para uma destilaria autônoma que tenha sido projetada para operar de uma forma equilibrada suas seções de moagem e destilação, indica que não deve existir uma ociosidade na moagem em relação à destilação.

6. Simulações termodinâmicas para o cenário de desenvolvimento nº. 1

6.1 Caracterização das usinas simuladas

Definiu-se cinco usinas hipotéticas para efeito da simulação termodinâmica, sendo que, individualmente, cada uma delas apresenta valores médios para todos os parâmetros pertinentes dos grupos de usinas definidos anteriormente.

Para o estabelecimento da moagem característica de cada tipo de usina simulada, considerou-se uma safra de 180 dias efetivos de moagem, o número total de usinas paulistas compreendidas em cada grupo simulado, bem como a moagem total das usinas deste grupo. A tabela 3 apresenta o perfil de produção, a moagem e o consumo específico de vapor de cada uma dessas usinas típicas.

6.2 As medidas de conservação simuladas

Conforme já foi mencionado, as medidas de conservação consideradas neste cenário visam a modernização das usinas, mas sem envolver um aumento de capacidade de produção. Assim, para cada usina típica pré-estabelecida, selecionou-se as seguintes medidas de conservação:

- i) para a usina A1 foram adotadas as medidas M1, M2, M3, M4, M5;
- ii) para a usina B1 foram adotadas as medidas M1, M2, M3, M4, M5;
- iii) para a usina C1 foram adotadas as medidas M1, M2, M3;

iv) para a usina DI foram adotadas as medidas M1, M2, M3, M4, M5;

v) para a usina EI foram adotadas as medidas M1, M2 e M3.

A análise termodinâmica foi utilizada neste trabalho como uma ferramenta a mais em um estudo técnico mais completo que o usual, pois se leva em conta também fórmulas e coeficientes empíricos adotados no setor sucro-alcooleiro e que têm se mostrado de grande eficácia nas situações práticas do dia a dia das usinas. Como exemplos pode-se citar o coeficiente de Dessim, a manutenção das velocidades dos trocadores de calor dentro de uma faixa que evite incrustações e não permita, ao mesmo tempo, uma queda de pressão muito elevada nestes equipamentos, coeficientes de troca de calor que são passíveis de serem encontrados a nível industrial, etc.

Tabela 3. Perfil de produção, moagem e das usinas típicas simuladas

Usina Típica	Percentual da Cana Moída para Fabricação de Açúcar	Percentual da Cana Moída p/ Fabricação de Álcool	Moagem em TCH	Consumo Específico de Vapor em KGV/TC
A1	34,44	65,56	750	499
B1	34,09	65,91	259	535
C1	0	100	238	460
D1	34,06	65,94	125	532
E1	0	100	104	527

Fonte de dados: Elaboração própria, a partir de dados do IAA (1986)

Trabalhou-se com dados reais dos fabricantes de equipamentos para o setor, no país. Por outro lado, as eficiências nominais fornecidas pelos fabricantes foram devidamente corrigidas para as eficiências inferiores às nominais, encontradas R nas usinas paulistas mais eficientes.

Ficou patente, durante as simulações, a tendência dos trocadores de calor nacionais analisados apresentarem uma velocidade reduzida nos tubos e a exigência de um coeficiente de troca de calor acima do que seria aconselhável esperar-se destes equipamentos. A adoção de tubos de diâmetros menores, evitaria esse problema, pois aumentaria a velocidade do caldo nos tubos dentro de cada aquecedor, podendo-se aumentar a área de troca de calor da bateria de aquecedores com a aquisição de uns poucos trocadores a mais; isto foi constatado mesmo nos casos em que se utiliza vapor vegetal de baixo nível energético para o aquecimento.

Foram necessárias mais de quinhentas simulações para se chegar a uma disposição de equipamentos bem mais racional que a utilizada hoje no setor.

A tabela 4 sintetiza a utilização dos vários tipos de vapor na usina típica A1, que foi obtida através das simulações computacionais.

O consumo total de vapor de primeira, ou seja, vapor vivo, consumido no processo de fabricação, mais vapor de escape, é igual a 274736,2 kgv/h, e o consumo específico no processo para a produção de açúcar e álcool é de 366,314 kgv/TC.

Considerando os parâmetros utilizados na simulação da usina típica B1, elaborou-se a tabela 5 que sintetiza a utilização dos vários tipos de vapor nas etapas de fabricação consideradas.

O consumo total de vapor de primeira na usina B1 é igual a 92614,635 kgv/h, com um consumo específico de vapor no processo igual a 357,585 kgv/TC.

Tabela 4 Balanço geral da utilização de vapor de processo na usina típica A1, em kgv/h

	Tipo de Vapor	VIVO	ESCAPE	VEGETAL
Etapa do Processo				
Aquecimento			57340,000	50000,00
Evaporação			95662,630	
Cozimento		3006,325	3274,909	29023,490
Destilação			115452,330	
Total		3006,325	271729,869	79023,490

Tabela 5 Balanço geral da utilização de vapor de processo na usina típica B1, em kgv/h

	Tipo de Vapor	VIVO	ESCAPE	VEGETAL
Etapa do Processo				
Aquecimento			21316,680	16000,000
Evaporação			32748,690	
Cozimento		991,897	1074,978	10154,140
Destilação			36482,390	
Total		991,897	91622,738	26154,400

O consumo específico de vapor no processo da usina típica B1 é ligeiramente menor que o valor correspondente da usina A1 porque a participação percentual da produção de álcool hidratado - intrinsecamente menos consumidora de vapor que a produção de álcool anidro- em relação à produção total dos dois tipos de álcool, é maior na usina B1 que na A1.

A adoção das medidas de conservação de energéticos para a usina típica C1, na alimentação do programa de simulação, permitiu a confecção da tabela 6, que indica a distribuição do consumo de vapor nas várias etapas do processo de produção.

O consumo total de vapor de primeira na usina típica C1 é igual a 94460,32 kgv/TC, o que implica em um consumo específico de 396,892 kgv/TC no processo. O valor calculado para o consumo específico de vapor no processo desta usina foi relativamente maior que nos casos anteriores porque existem apenas três efeitos na secção de evaporação da mesma; isto implicou em um consumo específico de vapor de escape na etapa de evaporação bem maior que nos casos anteriores, o que contribuiu decisivamente para o valor total obtido.

A simulação das medidas de conservação na usina típica D1 resultou na elaboração da tabela 7, que indica o perfil do consumo de vapor nas várias etapas do processo de produção de álcool e açúcar desta usina.

O consumo total de vapor de primeira no processo é igual a 46574,697 kgv/h, com um consumo específico no processo de 372,597 kgv/TC. Note-se que, apesar desta usina possuir em sua secção de evaporação um evaporador de cinco efeitos, obteve-se um consumo específico de vapor vegetal na secção de cozimento relativamente maior que nas usinas anexas anteriormente simuladas, devido ao maior tempo de cozimento das massas de primeira e segunda. Além disso, houve um aproveitamento menos eficiente do vapor de escape na secção de destilação desta usina, quando comparado às usinas simuladas anteriormente.

A tabela 8 indica o perfil de consumo de vapor de processo para a usina típica E1, tendo sido elaborada a partir da simulação das medidas de conservação de energéticos nesta usina.

O consumo total de vapor de primeira nesta usina é igual a 42603,781 kgv/h, sendo 409,652 kgv/TC o seu consumo específico de vapor no processo. Note-se que este foi o maior valor obtido para o consumo específico de vapor no processo de todas as usinas típicas simuladas até agora. Isto se deve ao abaixamento do nível energético do vapor de aquecimento que vai para a destilação - uma mistura de vapores vegetal e de escape- , com o conseqüente aumento do consumo específico de vapor nesta secção, bem como ao fato da secção de evaporação apresentar um evaporador com apenas três efeitos.

Tabela 6 Balanço geral da utilização de vapor de processo na usina típica D1, em kgv/h

	Tipo de Vapor	VIVO	ESCAPE	VEGETAL
Etapa do Processo				
Aquecimento				33560,910
Evaporação			58581,880	

Destilação			35878,440	16439,440
Total			94460,320	50000,000

Tabela 7 Balanço geral da utilização de vapor de processo na usina típica D1, em kgv/h

	Tipo de Vapor	VIVO	ESCAPE	VEGETAL
Etapa do Processo				
Aquecimento			8494,610	8600,000
Evaporação			15784,910	
Cozimento		823,295	1181,775	4736,667
Destilação			20290,107	
Total		823,295	45751,402	13336,667

Tabela 8 Balanço geral da utilização de vapor de processo na usina típica E1, em kgv/h

	Tipo de Vapor	VIVO	ESCAPE	VEGETAL
Etapa do Processo				
Aquecimento			3260,851	10800,000
Evaporação			24792,300	
Destilação			14550,630	10400,000
Total			42603,781	21200,000

7. Simulações termodinâmicas para o cenário de desenvolvimento nº. 2

7.1 As usinas anexas A2, B2 e D2

O volume de produção de açúcar é ditado diretamente pelo preço deste produto no mercado internacional e, com frequência, oscila independentemente da política nacional adotada para este produto.

Previsões da demanda de açúcar no mercado internacional fogem ao escopo deste trabalho. Adotou-se, então, a hipótese que o volume de produção de açúcar seja mantido constante nos níveis atuais. Procurou-se, por conseguinte, determinar o nível dos investimentos necessários nas usinas anexas e autônomas paulistas para que seja atendida uma demanda de álcool que possibilite o uso total da atual capacidade ociosa de moagem nas usinas.

A eliminação do gargalo da destilação nas usinas anexas, até atingir-se a plena utilização da atual capacidade ociosa da moagem, exigiria um investimento mínimo na expansão da capacidade instalada da seção de destilação das usinas, em relação ao nível atual, de cerca de 40,73%.

A capacidade ociosa de moagem surge devido a uma ociosidade equivalente no setor de produção de açúcar das usinas anexas paulistas, que, caso estivessem operando à plena capacidade na fabricação deste produto, não permitiriam a existência de qualquer ociosidade na moagem. Conclui-se, portanto, que as usinas anexas paulistas possuem uma margem de manobra que as permite produzir, sem qualquer investimento adicional, ou 100% a mais de açúcar, ou 10% a mais de álcool e 78% a mais de açúcar que os respectivos volumes atuais de produção.

7.2 As usinas autônomas C2 e E2

Estimou-se que as usinas autônomas paulistas possuem atualmente uma capacidade ociosa de 10%, não apresentando, porém, gargalos em seções imprescindíveis ao processo de fabricação de álcool. Desta forma, a plena utilização da capacidade instalada nas usinas autônomas típicas C2 e E2, praticamente repete os resultados obtidos na simulação das medidas de conservação nas usinas típicas C1 e E1, agora, acrescidos de 10% nos volumes totais de produção e consumo de energéticos, mantendo-se constantes, porém, os índices específicos de produção.

A consideração mais importante a ser feita é que, ao aumentar-se a quantidade de álcool a ser produzido, aumentar-se-ia, também, o consumo de vapor na destilação, o que, em tese, deveria implicar em novos investimentos na seção de evaporação destas usinas autônomas, caso se desejasse manter constante o consumo específico de vapor nas mesmas. Ocorre, porém, que, ao fazer-se o dimensionamento deste tipo de equipamento para as usinas C1 e E1, especificou-se para os mesmos uma margem de segurança que permite a sua operação com uma sobrecarga de trabalho de 10%, evidentemente com uma pequena perda de rendimento.

Considerando, pelas mesmas razões, que o mesmo se aplica aos aquecedores destas usinas, tem-se também a manutenção dos índices de consumo e produção de energéticos nestes equipamentos, sem que seja preciso a realização de investimentos extras. De uma forma geral, considera-se que a capacidade ociosa em torno de 10% nestas usinas estende-se a todas as seções que participam do processo produtivo, o que está de acordo com os dados levantados pelo IPT (1990).

7.3 As medidas de conservação simuladas

A moagem suplementar de cana-de-açúcar para atender o aumento da produção de álcool em 50,73%, em relação ao nível atual de produção, é igual a 249,44 TCH. Dos 50,73% de aumento de produção de álcool, 10% se daria através do emprego dos destiladores já instalados, anulando, assim, a ociosidade dos mesmos; o restante do aumento, 40,73%, dar-se-ia em destiladores novos, de elevados rendimentos, a serem instalados, capazes de atender uma moagem suplementar para álcool igual a 200,27 TCH.

Existiria a necessidade de adoção da fermentação contínua, a custos mínimos de implantação (IPT, 1990), mantendo-se, contudo, o mesmo rendimento no processo de fermentação.

Tanto para a usina típica A2, quanto para as usinas B2 e D2, não são considerados investimentos adicionais nas seções de aquecimento, evaporação ou decantação, num momento inicial de rápida expansão da produção, buscando-se apenas o custo mínimo para atender uma demanda emergente, com um possível fomento governamental, a nível de facilidades creditícias e/ou fiscais. A compra de novos equipamentos para estas seções dar-se-á, provavelmente, em um segundo momento, com capital próprio das usinas, quando a estratégia principal de ação das empresas for a busca da eficiência, de forma a baixar o seu custo e aumentar o seu lucro, como ocorre, em pequena escala, atualmente no setor.

Desta forma, o único investimento feito nas usinas anexas no segundo cenário seria a compra de novos destiladores até atingir-se o suprimento total de uma demanda suplementar de álcool hidratado que correspondesse à necessidade de levar as usinas A2, B2 e D2 a moer, cada uma delas, uma quantidade suplementar, em relação aos níveis atuais, necessária e suficiente para zerar a atual capacidade ociosa de moagem das usinas A1, B1 e C1.

Na destilação das usinas anexas do cenário n= 2, considera-se um aumento de 10% no consumo de vapor em relação aos níveis atuais devido ao uso dos 10% de capacidade ociosa já existente nesta seção, e um outro aumento não proporcional à fabricação adicional de 40,73% de álcool hidratado nos novos aparelhos de destilação, devido ao melhor desempenho energético dos mesmos.

A moagem total da usina A2 deverá ser de 999,44 TCH, surgindo um consumo de vapor de primeira que excede em 40300,641 kgv/h o consumo da usina A1. Este valor acarretará um consumo de vapor no processo igual a 315,213 kgv/TC. Note-se que este consumo específico deve aumentar com o passar do tempo até atingir um valor um pouco abaixo do consumo específico de A1, na medida em que forem sendo instalados aquecedores e evaporadores no tratamento do caldo para a produção de álcool, considerando-se que os novos destiladores possuem consumos específicos menores que os atuais.

A moagem suplementar de cana-de-açúcar para a fabricação de álcool da usina B2 deve ser de 86,14 TCH, sendo que 17 TCH será direcionado para a destilação nos aparelhos ociosos existentes,

enquanto que 69,18 TCH exigirá o correspondente aumento na capacidade de destilação através da compra de novos aparelhos. As demais observações para a usina B2 são idênticas às da usina A2, apenas que, neste caso, referem-se à usina B1.

Com a adoção dos novos destiladores, e o término da ociosidade nas seções de destilação e moagem, a cana moída na usina B, no cenário n- 2, passa a ser de 345,18 TCH, havendo um consumo adicional de vapor de escape em relação à B1 igual a 13454,48 kgv/h; o consumo total de vapor de primeira desta usina torna-se 106069,12 kgv/h, o que acarreta um consumo específico igual a 307,286 kgv/TC. Valem aqui, também, as mesmas observações feitas para a usina A2 em relação à A1, só que agora para a usina B2 em relação à B1.

A moagem suplementar de cana-de-açúcar para a fabricação de álcool da usina D, do cenário n= 1 para o cenário n= 2, passa a ser de 41,81 TCH, sendo uma parcela de moagem deste total, igual a 8,24 TCH, direcionada para a destilação nos aparelhos já instalados e com capacidade ociosa de 10%, enquanto que 33,57 TCH exigem o correspondente aumento na capacidade de destilação através da aquisição de novos aparelhos. Valem aqui as mesmas considerações gerais feitas para as outras duas usinas anexas já simuladas no cenário n= 2.

A moagem total da usina D2 será de 166,81 TCH, o consumo adicional de vapor de escape em relação à usina D1 será igual a 6439,8 kgv/h, e o consumo total de vapor de primeira no processo será de 53014,497 kgv/h, o que resulta num consumo específico igual a 317,836 kgv/h, menor, portanto, que o valor correspondente de D1, devido à possível não utilização, em um primeiro momento, de vapor adicional para aquecimento e evaporação na expansão da usina. Tal qual nos casos anteriores, contudo, isto deverá ocorrer em um segundo momento, quando se visar aumentos na eficiência de transformação industrial. Valem para a usina D2, também, as mesmas observações gerais feitas para as demais usinas típicas anexas do cenário n= 2, em comparação com as usinas do cenário n- 1.

8. Simulações termodinâmicas para o cenário de desenvolvimento n° 3

A produção de álcool hidratado, como foi visto, pode ser aumentada em 10% nas usinas autônomas, apenas utilizando-se a capacidade ociosa, enquanto que este aumento pode ser de 50,73% nas usinas anexas adotando-se medidas de expansão de relativamente baixo custo.

O aumento possível da produção de álcool por safra, devido à adoção destes procedimentos, é de 2.664.020,0 m³ nas usinas anexas paulistas, e de 188.982,0 m³ nas usinas autônomas do Estado totalizando, portanto, 2.853.002,0 m³. A produção atual de álcool nas unidades produtoras paulistas é de 7.624.000 m³. Assim, seria possível obter-se um aumento de 37,42% na produção do Estado de São Paulo apenas com as medidas consideradas até este momento.

De acordo com um cenário de projeção elaborado por Bajay et alli (1991), deverá haver um aumento na ociosidade do setor alcooleiro em relação dos níveis atuais até o ano de 1995, surgindo, então, um aumento no consumo de álcool no período que vai de 1995 até o ano 2000 elevando-se a demanda de álcool para 14896000m³/ano. Considera-se, neste trabalho, que este aumento da demanda se daria na forma de álcool hidratado, uma vez que existe atualmente uma produção excedente de gasolina que é exportada em condições desvantajosas, e que deverá substituir parcialmente o álcool anidro que é misturado à gasolina, diminuindo, portanto, a participação percentual deste produto na mistura gasolina-etanol atual.

Coroando-se a produção brasileira de álcool na safra 85/86 com a capacidade adicional de produção do Estado de São Paulo, que surge através da adoção das medidas consideradas no cenário n= 2, chega-se a um total de produção de etanol no país igual a 14.673.000 m³/ano. Seria preciso, então, a produção de 223.000 m³ de álcool hidratado por ano através da implantação de novas unidades produtoras para conseguir-se o suprimento da demanda projetada.

Considerando-se um rendimento industrial para uma instalação nova operando a plena capacidade no ano 2000 igual ao das usinas do grupo A, atualmente, ou seja 88,47 l/TC, e considerando-se, também, uma safra de 180 dias efetivos, a capacidade de moagem a ser instalada para suprir totalmente a demanda projetada de etanol deve ser igual a 583,48 TCH, o que é um pouco mais, por exemplo, do que um terço da capacidade de moagem instalada da Usina São Martinho, cuja capacidade de moagem é igual a 1500 TCH (SALAZAR, 1988).

Como o litro de álcool produzido pelas usinas maiores pertencentes ao grupo A é mais barato, devido a uma eficiência maior das mesmas (CHUNG, 1987), assumir-se-á a construção de uma

destilaria com a capacidade individual de moagem igual a 583, 48 TCH, apresentando um conjunto de rendimentos no processo iguais aos melhores obtidos no setor na atualidade.

A simulação da usina A3 forneceu um rendimento igual a 83,737 1/TC, que é menor que o que foi inicialmente considerado para o dimensionamento da moagem da usina. O perfil do consumo de vapor para o processo da usina A3 está indicado na tabela 9.

O consumo total de vapor de primeira nesta usina é igual a 161178,240 kgv/h, o que resulta num consumo específico igual a 276,236 kgv/TC. Note-se que este o foi menor consumo específico obtido entre todas as usinas simuladas e deve-se, principalmente, ao baixo consumo de vapor nos destiladores novos e à adoção de cinco efeitos na evaporação, além de não haver consumo no cozimento, já que trata-se de uma usina autônoma.

9. Análise econômica das medidas de conservação

Todos os dados de custo referentes à análise econômica dos vários equipamentos simulados foram obtidos junto aos três maiores fabricantes nacionais de equipamentos para o setor sucro-alcooleiro.

O principal objetivo da análise econômica para o cenário n= 1 é o de se determinar qual o preço de mercado do bagaço que justificaria a adoção das medidas de conservação de energéticos consideradas.

A análise econômica para o cenário n= 2 objetiva a determinação do custo mínimo para a expansão do setor de destilação das usinas anexas e autônomas paulistas de forma a se eliminar a capacidade ociosa hoje existente nestas usinas.

O objetivo da análise econômica para o cenário n= 3 é o de se determinar o custo dos principais equipamentos necessários à instalação de uma nova usina, eficiente, que viesse a produzir os requerimentos adicionais de álcool hidratado até o ano 2000, de acordo e projeção para esta demanda.

Tabela 9. Balanço geral da utilização de vapor de processo na usina típica a3, em kgv/h

	Tipo de Vapor	VIVO	ESCAPE	VEGETAL
Etapa do Processo				
Aquecimento			29900,000	22100,000
Evaporação			38647,150	
Destilação			92811,090	
Total			191178,240	22100,000

9.1 Cenário n-º 1

Os investimentos realizados na usina típica A1 foram:

- i) reforma de todos os aquecedores já instalados, sendo 11 aquecedores de 100 m² cada;
- ii) reforma de um pré-evaporador de 3000 m², de dois efeitos de 1500 m² cada e de um efeito de 1000 m²;
- iii) instalação de um quinto efeito de 1000 m²;
- iv) instalação de três tanques de reevaporação de condensado no evaporador; note-se que, na simulação, o ganho de vapor relativo à presença dos reevaporadores é considerado ao diminuir-se o fator relativo à perda de calor durante a evaporação.

Os investimentos na usina típica B1 foram:

- i) reforma de 85%, já existentes, de sete aquecedores de 50 m² cada;
- ii) aquisição dos 15% da área de aquecimento que faltava;
- iii) reforma de um pré-evaporador de 1000 m², de dois efeitos de 500 m cada e de um de 400 m²
- iv) instalação de um quinto efeito de 400 m ;
- v) instalação de três tanques de reevaporação.

Os investimentos na usina típica C1 foram:

- i) reforma de 85%, z já existentes, de 11 aquecedores de 50 m cada;
- ii) aquisição dos 15% da área de aquecimento que faltava;
- iii) reforma de 60% da área de 1 pré-evaporador de 1000m² e de dois efeitos de 400 m²
- iv) compra dos 40% da área faltante dos evaporadores;
- v) instalação de dois tanques de reevaporação.

Os investimentos na usina típica D1 foram:

- i) reforma em 65% da área de 6 aquecedores de 30 m² cada ;
- ii) aquisição dos 35% da área restante aquecedores;
- iii) reforma de um pré-evaporador de 500 m² e três efeitos de 250 m² cada
- iv) instalação de um quinto efeito de 250 m ;
- v) compra de três tanques de reevaporação.

Finalmente, os investimentos na usina típica E1 foram:

- i) reforma em 65% da área de 8 aquecedores de m² cada
- ii) aquisição dos 35% da área restante aquecedores;
- iii) reforma de 40% da área de um pré evaporador 450 m² e de dois efeitos de 150 m² cada;
- iv) compra dos 60% da área faltante evaporadores;
- v) instalação de dois tanques de reevaporação.

Cada usina típica simulada representa a média de todas as usinas existentes num dos grupos pré-estabelecidos. Desta forma, ao ser expresso que reformou-se 60% da área de evaporadores da usina autônoma CI, por exemplo, e comprou-se 40% da área restante, isto significa que 60% das usinas autônomas incluídas no grupo C têm concentração em três efeitos, os quais foram reformados, e os outros 40% das usinas autônomas não faziam concentração do caldo clarificado antes das medidas de conservação de energéticos adotadas no cenário 1.

Os custos anuais das medidas de conservação de energéticos adotadas no cenário n°. 1, por etapa de fabricação considerada e para cada uma das usinas típicas simuladas, estão indicados na tabela 10.

Dispõe-se de dois índices significativos para avaliar-se quais das usinas típicas encontram-se em melhor posição de realizar os investimentos propostos para o cenário n= 1. O primeiro é o custo específico de investimento, em US\$/TCH, que é um ótimo indicador econômico, pois reflete a necessidade de recursos financeiros que uma usina precisaria ter para fazer frente a novos investimentos, pela grandeza do capital imobilizado da empresa. Quanto menor for este custo específico, menor deve ser a dificuldade da empresa gerar recursos internos para fazer frente aos investimentos. As usinas típicas A1, B1 e C1, de acordo com a tabela 10, são as mais indicadas sob este aspecto.

A tabela 11 indica o excedente de bagaço que surge em função da adoção das medidas de conservação de energéticos propostas para este cenário.

O segundo fator é o custo unitário do produto que se deseja "fabricar", no caso o bagaço, sendo medido em US\$/ton. Sob este aspecto, a tabela 11 confirma as melhores oportunidades de investimento para as usinas A1 e B1, enquanto deprecia enormemente a oportunidade de investimento da usina C1.

Com o auxílio dos valores indicados nas tabelas 10 e 11, e realizando-se a ponderação das grandezas para todas as usinas paulistas representadas por cada usina típica, obtém-se, para o Estado de São Paulo, os valores expressos na tabela 13.

O custo médio do bagaço excedente no Estado seria de US\$ 0,6482/ton, o que é muito baixo, quando se sabe que o poder calorífico do bagaço in natura é de 1780 kcal/kg, enquanto que o carvão de superfície da mina de Candiota, RS, o de menor custo no país, usado para alimentar as termoeletricas da ELETROSUL, custa US\$ 10/ton (TRINKENREICH, 1990), com um poder calorífico de 3150 kcal/kg.

9.2 Cenário n°- 2

O acréscimo da produção de álcool das usinas no cenário n=2, em relação ao cenário n= 1, está indicado na tabela 14.

As capacidades e os custos das novas destilarias necessárias neste cenário, para as várias usinas típicas, estão relacionadas na tabela 15.

Note-se que o efeito de economia de escala faz sentir-se brutalmente entre as usinas típicas A2 e B2 em relação à usina típica D2, conforme pode ser observado pela comparação entre os custos específicos destas três usinas.

Tabela 10 Custo anual das medidas de cons consideradas no cenário n 1

Usina Típica	C.A. no Aquec., em US\$	C.A. na Evapor., em US\$	Custo Anual Total, em US\$	% C.A. no Aquec.	% C.A. na Evapor.	C.A. Específico, em US\$/TCH instalada na moagem
A1	15629,86	95663,55	111293,41	14,04	85,96	148,39
B1	6873,97	41566,78	48440,75	14,19	85,81	187,03
C1	10801,95	33880,20	44682,15	24,18	75,82	142,35
D1	4838,38	21052,69	25891,07	18,69	81,31	207,13
E1	6451,17	18830,48	25281,65	25,52	74,48	243,09

Tabela 11 Economia específica de vapor e formação de bagaço excedente para as usinas paulistas com a adoção das medidas de conservação de energéticos do cenário n 1.

Usina Típica	Cons. Espec. Atual de Vapor, em kgv/TC	Cons. Espec. de Vapor no Cenário nº .1, em kgv/TC	Economia de Vapor, em kgv/TC	Excedente Total de Bag./ano, em ton.	Custo Espec. das Medidas Adotadas, em US\$/ton bag.
A1	499	366,314	132,686	195427,52	0,5695
B1	535	357,585	177,415	90278,74	0,5366
C1	460	396,892	63,108	29537,78	1,5127
D1	532	372,597	159,403	39292,84	0,6589
E1	527	409,652	117,348	2398,76	1,0539

* considerou-se, também, que o bagaço presente em uma tonelada de cana é capaz de gerar 550 kgv nas condições estabelecidas.

Tabela 12 Excedente de bagaço formado e custo anual das medidas adotadas no cenário n 1 para todo o Estado de São Paulo

Grupo de Usinas Paulistas Representadas pela Usina Típica	Excedente Total de Bagaço Formado nas Usinas, em ton.	Custo Anual Total dos Investimentos, em US\$
A1	2735985,30	1588107,70
B1	2798641,00	1501663,30
C1	206764,43	312775,05
D1	785856,79	517821,40
E1	839571,60	884857,75
Total para São Paulo	7366819,10	4775225,20

Tabela 13 Aumento na produção de álcool hidratado, por safra, nas usinas típicas e no Estado de São Paulo, com a adoção das medidas consideradas no cenário n 2

Usina Típica	Aumento na Produção de Álcool Hidratado na Usina Típica, sem Investimentos, em litros/dia	Aumento na Produção de Álcool Hidratado na Usina Típica, com Investimentos, em litros/dia	Aumento na Produção de de Todas as Usinas Paulistas representadas por cada Usina Típica, em
--------------	---	---	---

			m ³ /ano
A2	94876,392	389218,320	1219918,700
B2	31703,136	129905,350	901775,350
C2	44385,639	-	55925,905
D2	14235,408	58868,184	263172,930
E2	18145,915	-	114319,260
Total	203346,490	577991,854	2555112,045

Tabela 14 Capacidade e custo das destilarias instaladas nas usinas típicas no cenário n 2, bem como o custo específico destas instalações por litro de álcool

Usina Típica	Número e Capacidade das Destilarias, em 1000 l/dia	Custo Anual, em US\$	Parcela do Custo Específico do Álcool Produzido nas Novas Destilarias Devido a Instalação das Mesmas, em US\$/l
A2	Duas de 200	722386,68	0,01031
B2	Uma de 130	297407,62	0,01272
C2	Uma de 60	204298,60	0,01928

Baseado nos dados obtidos por Chung (1987), é possível estimar-se os custos do litro de álcool para cada uma das usinas típicas, até a boca da destilaria. Adicionando-se a estes os custos específicos dos investimentos nas novas destilarias, obtém-se os valores expressos na tabela 16.

Percebe-se claramente da tabela 16 que qualquer investimento para a expansão da produção de álcool no Estado de São Paulo deve, seletivamente, iniciar-se, ou, até mesmo, restringir-se às usinas dos grupos A2 e B2, no caso das usinas anexas.

9.3 Cenário n°. 3

Optou-se, neste seção, pela substituição das duas usinas típicas A3 com moagens diferentes por outras duas com moagens idênticas e iguais a 720, 15 TCH, que somadas teriam a mesma capacidade de produção que as usinas substituídas. Este procedimento facilita os cálculos e não altera em nada o rendimento total obtido na simulação termodinâmica da usina A3, e nem modifica a análise econômica, pois os dados dos equipamentos necessários à instalação de uma usina nova, obtidos junto ao fabricante, foram fornecidos por faixas de moagem das usinas, e não pela capacidade individual dos equipamentos.

Tabela 15 Componentes e custo adoção das medidas de para o cenário n~ 2

Usina Típica	Custo do Litro de Álcool na Boca da Destilaria, em US\$/l	Custo Devido ao Investimento na Destilaria, em US\$/l	Custo Total em US\$/l
A2	0,1364	0,01031	0,1467
B2	0,1414	0,01272	0,1541
C2	0,1474	0,01928	0,1667

* Este custo inclui o custo agrícola do álcool, a mão de obra operacional e de manutenção nos equipamentos da fase industrial (menos a destilaria), o material de consumo, a energia elétrica, o custo de administração, os impostos e taxas. Considerou-se uma inflação média de 4% ao ano do dólar nos últimos 8 anos para a atualização dos valores calculados por Chung (1987), o que deve levar a um custo mais que suficiente para cobrir os custos atuais de produção.

Não se optou pela construção de apenas uma usina com capacidade de moagem de 1440,30 TCH porque acima de uma moagem de 1000 TCH os dados econômicos fornecidos pelo fabricante indicam que cessa, e em alguns casos inverte-se, a economia surgida com o efeito de escala na compra de alguns novos equipamentos, como os turbogeradores, que precisam ser feitos especialmente sob encomenda. Além disso, a distância de transporte da cana-de-açúcar até a usina tende a aumentar, elevando o custo de transporte e, conseqüentemente, o custo da cana, conforme se infere dos trabalhos de Chung (1987) e de Ferreira (1991).

Não se conseguiu obter junto ao fabricante todos os dados que pudessem levar ao cálculo do custo total de duas usinas novas, uma vez que grande parte destes custos dependem de subcontratação de terceiros, e a estimativa precisa destes custos só seria possível no caso de uma real intenção de

construir-se uma nova usina. No entanto, os custos de capital de grande parte dos equipamentos necessários à instalação de tal usina, discriminados a seguir, fornecem uma boa idéia da ordem de grandeza dos recursos a serem imobilizados em tal empreitada.

Para as duas usinas autônomas, com capacidade individual de moagem de 750 TCH, considerou-se a compra dos seguintes equipamentos: mesas de alimentação de 45°; picadores com redutores e turbinas; desfibradores com os redutores e turbinas; conjunto de correias transportadoras às moendas; moendas de seis ternos com chute Donnelly, rolo de pressão, redutores e turbinas; decantadores; aquecedores; evaporadores; destilaria completa; caldeiras e turbo-geradores de 21 kgf/cm².

A compra de todos estes equipamentos resulta em um investimento mínimo igual a US\$ 39.936.213,00 para cada uma das usinas. Inclui-se neste investimento o custo com as obras civis, a montagem e os impostos e taxas que incorrem sobre os equipamentos até a sua completa instalação. Para as duas usinas, portanto, haveria a necessidade de um investimento superior à oitenta milhões de dólares, considerando-se que há a necessidade de investir-se, além dos equipamentos já citados, em obras de infraestrutura, em estações de tratamento de água, tanques de armazenamento de álcool, etc.

10. Conclusões

Tentou-se demonstrar com este trabalho a importância da análise técnica baseada em parâmetros objetivos, reais, retirados do dia a dia das indústrias sucro-alcooleiras paulistas, que, associada à análise econômica e a um ferramental computacional abrangente, flexível e desenvolvido especialmente para esta finalidade, permitem o rápido levantamento do grau de impacto e do retorno financeiro de inúmeras medidas possíveis de conservação de energéticos.

11. Bibliografia

- BAJAY, S.V. et alli., "Estudo Prospectivo Sobre a Evolução de Veículos Automotores", UNICAMP/EQUIPAMENTOS CLARCK, Campinas, S. P., 1990, Datilografado, Projeto.
- BAJAY, S.V. et alli., "Estudo Preliminar Sobre a Atual Situação do Setor Elétrico Brasileiro", UNICAMP/COPESP, Campinas, S. P., 1991, Datilografado, Projeto.
- BORGES, J.M.M., "Fundamentos Sócio-Econômicos do Programa Nacional do Alcool", Seminário Alternativas para uma Política Energética, Anais, CPFL, São Paulo, 1985.
- CESP, Cogeração: Avaliação do Potencial da Área da CESP", CESP, São Paulo, 1982, Datilografado, Relatório.
- CHUNG, S.L., "Metodologia para Levantamento de Custo e Análise da Competitividade do Alcool Carburante da Cana-de-Açúcar", Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 1987.
- COPERSUCAR, "Seminário Sobre Bagaço de Cana, Anais, COPERSUCAR, Piracicaba, S. P., 1983.
- COPERSUCAR, "Seminário de Tecnologia Industrial", Anais, COPERSUCAR, Piracicaba, 1985.
- COPERSUCAR, "Análise Preliminar da Cogeração de Energia nas Usinas Cooperadas", Piracicaba, S. P., 1986, Relatório, Datilografado.
- CPFL, "Avaliação do Potencial de Cogeração no Setor Sucro-alcooleiro na Área de Concessão da CPFL: Elementos para uma Análise de Médio e Longo Prazo", CPFL, Campinas, S. P., 1987, Datilografado, Relatório.
- FERREIRA, A.L., "Demanda e Conservação de Óleo Diesel na Fase agrícola do Proálcool", Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, 1991.
- GOLDENBERG, J. & MOREIRA, J.R., "O Programa Nacional do Alcool em 1988", USP, São Paulo, 1988.
- HUGOT, E., "Manual de Engenharia Açucareira", Ed. Mestre Jou, São Paulo, 1969.
- IAA, "Sinopse Estatística de 1986", IAA, Rio de Janeiro, 1986.
- IPT, "Conservação de Energia na Indústria do Açúcar e do Alcool: Manual de Recomendações", IPT, São Paulo, 1990.
- REVISTA DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, Piracicaba, v.3, n.2, nov./dez., 1984.
- REVISTA DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, Piracicaba, v.3, n.5, mai./jun., 1985.
- REVISTA DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, Piracicaba, v.3, n.6, jul./ago., 1985.
- REVISTA DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, Piracicaba, v.4, n.2, nov./dez., 1985.
- REVISTA DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, Piracicaba, v.4, n.3, jan./fev., 1986.
- REVISTA DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, Piracicaba, v.4, n.5, mai./jun., 1986.
- REVISTA DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, Piracicaba, v.5, n.3, jan./fev., 1987.
- REVISTA DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, Piracicaba, v.5, n.5/6, mai./ago., 1987.
- REVISTA DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, Piracicaba, v.6, n.3, jan./fev., 1988.

- REVISTA DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, v.6, n.4/5, mar./jun., 1988.
- REVISTAA DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, Pi v.7, n.3/4 e 5 jan./jun., 1989.
- SINÍCIO, M.F. & BAJAY, S.V., "Espectro de Tecnologias e Balanços Térmicos nas Usinas Sucro-Alcooleiras Paulistas." In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, I.Campinas, 1989. Anais. UNICAMP, Campinas.
- SINÍCIO, M.F., "Demanda e Conservação de Energéticos nas Usinas de Açúcar e Álcool Paulistas", Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, 1992.
- THOMAS, S., "Evaluation of Plant Biomass Research for Liquid Fuels", University of Sussex, Brighton, U. R., 1990.
- TRINKENREICH, J. & CASTRO, A.C.R., "Principais Recursos Energéticos Disponíveis para Geração de Energia Elétrica - Quantificação e Custos", ELETROBRÁS, Rio de Janeiro 1990.

Abstract

This study presents the importance of the association among the economic, technical and computational analysis in implementing energy conservation measures in sugar and alcohol plants.