

POSSIBILIDADES DE IMPLANTAÇÃO DE MINI E MICRODESTILARIAS DE ÁLCOOL ETÍLICO NO NORDESTE

*Paulo Roberto Siqueira Telles**

*Carlos de Paiva Timbó Filho***

Resumo: Neste trabalho são apresentadas informações a respeito dos aspectos agrônômicos e industriais referentes a destilarias de álcool etílico de pequeno porte, denominadas de micro e minidestilarias, ou seja, unidades com capacidade de produzir até 5.000 e de 10.000 a 20.000 litros de álcool por dia, respectivamente. Representa a condensação de um relatório de pesquisa realizada pelo ETENE em 1980, destinado a analisar as possibilidades de implantação de mini e microdestilarias de álcool etílico no Nordeste. Com base nessa pesquisa concluiu-se ainda ser prematura a implantação de um programa regional de produção de álcool etílico em pequenas unidades industriais. O primeiro capítulo tece considerações sobre as matérias-primas passíveis de utilização na produção de álcool etílico, onde se constata que, a curto prazo, apenas a cana-de-açúcar tem condições de ser empregada com essa finalidade. Nos capítulos seguintes descreve-se o processo de produção de etanol por via fermentativa e são feitos alguns comentários sobre os projetos industriais propostos para esse fim. Em outro capítulo trata-se dos aspectos econômicos pertinentes aos vários projetos analisados no documento e, por último, estão expostas as conclusões dos autores do presente trabalho.

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho é parte de um documento concluído em outubro de 1980, que objetivou estudar os aspectos técnicos e econômicos das micro e minidestilarias de álcool etílico, com base em projetos já existentes ou em desenvolvimento, tendo em vista a eventual implantação de um programa regional contemplando essas pequenas unidades produtoras.

O estudo reúne informações que podem contribuir, tanto para uma possível análise de projetos dessas unidades de produção no BNB/GERIN,

* Engenheiro Químico, Técnico em Desenvolvimento do BNB/ETENE.

** Engenheiro Agrônomo, Técnico em Desenvolvimento do BNB/ETENE.

considerando a sua condição de agente financeiro do PROÁLCOOL, como para um maior esclarecimento junto aos empresários e instituições oficiais e privadas que tenham interesse específico no assunto.

Convém esclarecer que, no presente estudo, se examinam apenas as denominadas micro e minidestilarias de álcool etílico, assim consideradas e classificadas, daqui por diante, as unidades com capacidade de produção de até 5.000 l/dia e de 10.000 a 20.000 l/dia, respectivamente.

É indiscutível que a instalação de micro e minidestilarias no Nordeste, caso se consiga a superação dos obstáculos ainda existentes, exercerá importante papel no esforço que ora se desenvolve na busca de alternativas energéticas a nível regional e nacional.

De fato, a viabilização dessas pequenas indústrias, além de concorrer para que sejam plenamente alcançados os objetivos sociais do PROÁLCOOL, permitirá a utilização mais generalizada das terras aptas à produção de matérias-primas beneficiáveis com vistas à obtenção de etanol, proporcionando, assim, condições para ampliar as metas oficiais de produção de álcool etílico.

Deve-se ainda acrescentar que, em relação aos tamanhos de micro e minidestilarias, não são feitas, neste trabalho, análises pretendendo definir quais seriam as escalas econômicas de produção ou tamanho mínimo econômico para essas pequenas unidades fabris, mas, tão-só, um exame dos aspectos técnicos e econômicos de alguns projetos ou modelos propostos, desenvolvidos por institutos de pesquisa, fabricantes de equipamentos, universidades, etc., os quais apresentam capacidades de produção preestabelecidas, dentro das faixas antes definidas.

1 – MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO

1.1 – Considerações Gerais

A obtenção do álcool etílico pode-se dar por via sintética ou por via fermentativa. No primeiro caso, a matéria-prima encarregada é o etileno, de origem petroquímica. Pelo processo de fermentação utilizam-se matérias orgânicas vegetais diversas, as quais podem ser agrupadas nas seguintes categorias:

- a) celulósicas;
- b) amiláceas; e
- c) sacarinas.

No Brasil, em face da sua dimensão continental e da diversificação edafoclimática que experimenta, a produção de álcool etílico poderá fundamentar-se num grande número de matérias-primas integrantes dos três grupos acima mencionados, cabendo destacar:

- a) matérias-primas celulósicas: madeiras e plantas herbáceas em geral e resíduos vegetais diversos;
- b) matérias-primas amiláceas: mandioca, grãos de sorgo, batata-doce, babaçu e cereais em geral; e
- c) matérias-primas sacarinas: cana-de-açúcar, sorgo sacarino, beterraba açucareira e frutas variadas.

Cada uma dessas matérias-primas apresenta características diferentes em termos de produção agrícola e industrial, devendo suas possibilidades econômicas, como fontes de etanol, ser estudadas isoladamente.

De qualquer forma, a oportunidade que o Brasil experimenta de, aprioristicamente, poder utilizar diversos insumos para a produção de álcool etílico se reveste, por dois aspectos principais, de grande importância para a indústria e o mercado alcooleiro nacionais:

- a) propicia maior segurança no abastecimento dos produtos agrícolas a serem processados, porquanto a diversificação de culturas concorre, sem dúvida, para reduzir os riscos inerentes à ação de fatores climáticos adversos e/ou à ocorrência de doenças/pragas;
- b) permite uma melhor utilização das indústrias alcooleiras durante todo o ano, uma vez que assegura um fornecimento mais uniforme de matérias-primas, evitando paralisações por falta de insumos durante a entressafra de um determinado produto agrícola.

Até a criação do Programa Nacional do Alcool, o etanol vinha sendo obtido no País, quase que exclusivamente, a partir do melaço disponível nas usinas açucareiras. De fato, apenas em determinados momentos de crise no mercado internacional do açúcar, o IAA autorizara o beneficiamento direto da cana para a fabricação de álcool.

No entanto, após a criação do mencionado programa, oficializou-se o uso da cana-de-açúcar também para o fim específico da produção de álcool.

Especificamente com relação ao Nordeste, dentre as matérias-primas citadas, apenas a beterraba açucareira não se afigura, em princípio, propícia à exploração em larga escala, visto que se trata de um vegetal mais adaptado a regiões de clima frio.

Pelo menos do ponto de vista agrônômico, todas as demais podem ser consideradas como alternativas energéticas viáveis para exploração na Região.

Admite-se que, a curto prazo, apenas a cana-de-açúcar, a mandioca, o sorgo sacarino e o babaçu oferecem condições para utilização com vistas à produção de álcool etílico, especialmente quando se levam em conta as metas do PROÁLCOOL (10,7 bilhões de litros em 1985), as quais, para serem plenamente atingidas, carecem de ações objetivas e imediatas, tanto na área agrícola como na industrial.

As outras matérias-primas ainda estão na dependência da realização de estudos agroindustriais, com vistas a uma definição mais precisa de suas formas específicas de aproveitamento com fins energéticos, cabendo destacar a grande potencialidade que se vislumbra para o aproveitamento de madeiras em geral, na fabricação de etanol.

A seguir, far-se-ão algumas considerações mais detalhadas acerca das principais matérias-primas passíveis de utilização, a curto prazo, no Nordeste, objetivando a fabricação de álcool etílico.

1.2 — Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar afigura-se como a matéria-prima que melhores condições oferece para utilização imediata e em larga escala na indústria alcooleira nordestina, porquanto já se domina, de modo satisfatório, a tecnologia para sua exploração, tanto no setor agrícola como no setor industrial.

Este aspecto, aliás, está diretamente relacionado com o fato de a Região possuir larga experiência no cultivo e no processamento da cana para fabricação de açúcar e de álcool etílico.

De fato, a cana-de-açúcar vem sendo cultivada no Nordeste brasileiro desde o século XVI e ocupa uma área de cerca de 1,0 milhão de hectares, com produção de aproximadamente 50 milhões de toneladas de colmos.

Além do maior domínio no campo tecnológico de sua exploração (e, até certo ponto, por consequência disso), um outro aspecto, por demais importante, relacionado à vantagem de utilização mais imediata da cana-de-açúcar para a produção de etanol no Nordeste, é o resultado altamente positivo por ela proporcionado, em termos de balanço energético cultural³⁹ — diferença entre a energia gerada e a consumida em todo o processo de produção do álcool, tanto no setor agrícola como no setor industrial.

Estudos levados a efeito nesta área^{7, 39} indicam que a cana-de-açúcar é, dentre os produtos pesquisados, a matéria-prima de balanço energético cultural mais elevado para a obtenção do etanol. Seguem-se o sorgo sacarino e a mandioca.

Saliente-se, no entanto, que, apesar de o balanço energético ser um indicador de grande significado para a avaliação do potencial econômico de uma matéria-prima como fonte de energia, há que se considerar, no caso do Brasil, também a natureza dos insumos utilizados na sua obtenção (se produzidos interna ou externamente), visto que a questão central a resolver é a necessidade de redução das importações de petróleo.

Além do mais, deve-se ter em mente que a crise energética internacional não é apenas de preços, mas também de uma previsível e relativamente breve exaustão das reservas petrolíferas em geral, do que resulta a obrigatoriedade de buscas incessantes e do aproveitamento imediato de novas fontes alternativas de energia.

A cana-de-açúcar é uma gramínea tropical, semiperene, de grande poder fotossintético e que apresenta elevado teor de sacarose no colmo.

Do ponto de vista edáfico, sabe-se que essa cultura se desenvolve satisfatoriamente em todos os tipos de solos, inclusive nos solos arenosos. Contudo, adapta-se melhor em solos mais pesados, profundos, férteis e bem drenados, mas com boa capacidade de retenção hídrica e pH em torno de sete. Exige, também, uma pluviosidade anual mínima de 1.200 mm, relativamente bem distribuídos durante o ano.

Segundo Laroche,⁴¹ são cinco as condições ideais de solo para exploração de cana-de-açúcar, com vistas à produção de álcool etílico:

- “a) profundidade efetiva suficiente para a expansão do sistema radicular, normalmente atingindo mais de 150 cm;
- b) fertilidade natural relativamente alta, necessária para a obtenção de bons rendimentos agrícola e industrial ou, então, com características e propriedades que facilitem a correção das deficiências de nutrientes, como é o caso dos solos de tabuleiros;
- c) capacidade de armazenamento de água em forma disponível às plantas, sem problemas de falta ou excesso;
- d) boa drenagem interna e/ou situação topográfica que facilite a remoção do excesso de água e, conseqüentemente, boa aeração e ausência de deficiências de oxigênio; e
- e) alta resistência à erosão ou condições (declividade, características morfológicas e propriedades físicas) que permitam um controle eficiente”.

Mesmo nas grandes plantações comerciais destinadas à produção de açúcar, em nossa região, ainda não se utilizam todos os conhecimentos técnicos atualmente disponíveis para a cultura da cana, permanecendo sistemas de exploração arcaicos, sobretudo quando comparados aos métodos já adotados em outras áreas mais desenvolvidas, como é o caso do sudeste brasileiro, ou, mais especificamente, do Estado de São Paulo.

A propósito, três aspectos são por demais importantes a considerar nas plantações racionais de cana-de-açúcar: o primeiro corresponde à necessidade

de utilização de variedades grandemente produtivas e resistentes às doenças e às pragas de significação econômica, que porventura ocorram nos locais objetos de exploração; o segundo diz respeito à conveniência do emprego de cultivares diferenciados quanto aos períodos de maturação, a fim de que, cultivando plantas precoces, médias e tardias, se consiga maior tempo de corte nos canaviais e, em consequência, mais prolongado período de funcionamento das usinas beneficiadoras; por fim, o terceiro aspecto se relaciona com a vantagem do emprego de variedades ricas em sacarose, porquanto se sabe que o rendimento industrial da cana-de-açúcar é muito mais influenciado pela quantidade de açúcares totais nela existentes do que pela própria eficiência da maquinaria que a processa.^{14, 15}

Com efeito, de acordo com estudos realizados com esse fim, os ganhos em rendimento industrial são bastante mais significativos quando se passa a utilizar matérias-primas com maiores teores em sacarose do que quando se empregam equipamentos de mais elevada eficiência.

As pesquisas agronômicas, visando ao melhoramento das técnicas de exploração de cana-de-açúcar, vêm sendo desenvolvidas, no Brasil, pelo Instituto do Açúcar e do Alcool, através do Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar (PLANALSUCAR).

Para tanto, o PLANALSUCAR conta com várias estações experimentais nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Alagoas, Pernambuco, Santa Catarina, Minas, Bahia e Sergipe, as quais, por sua vez, coordenam os trabalhos que se realizam nos diversos campos de pesquisa, instalados nas respectivas áreas de atuação.

Com a execução desse programa, o IAA visa obter conhecimentos que lhe facultem prestar uma orientação tecnológica adequada à exploração da cana-de-açúcar, em nosso país, tanto nas zonas tradicionalmente produtoras, como em novas zonas a serem cultivadas.

1.3 — Sorgo Sacarino

O sorgo sacarino constitui outra lavoura bastante promissora para utilização no fabrico de etanol no Nordeste brasileiro, o que se justifica por quatro aspectos principais, a saber:

- a) é um vegetal pouco exigente em água, podendo ser cultivado em locais que acusem pluviometria de apenas 300 mm anuais;

- b) produz elevada quantidade de massa verde (colmo) por unidade de área cultivada, com alta concentração de açúcares totais — 12 a 15% —, e fornece, ainda, razoável quantidade de amido (grãos), o que, em resumo, representa uma boa qualidade agroindustrial; em média, a quantidade de álcool obtenível por tonelada de colmo é a mesma para a cana-de-açúcar e para o sorgo sacarino;
- c) seu cultivo poderá ser largamente difundido no país, dada a compatibilidade, em geral observada, entre as exigências do vegetal para um perfeito desenvolvimento e as condições edafoclimáticas aqui reinantes, permitindo, até mesmo, a utilização de terras impróprias a culturas mais exigentes, como é o caso da cana-de-açúcar; e
- d) sendo uma cultura de ciclo curto (130 a 150 dias) e com possibilidade de produção em época de chuvas, o sorgo sacarino proporcionaria maior uniformidade no abastecimento de matérias-primas à indústria alcooleira processadora de cana-de-açúcar e/ou mandioca. Tal fato ensejaria condições para o seu funcionamento durante onze meses por ano, resultando daí maior economicidade para o empreendimento e garantia de emprego estável ao trabalhador a ela vinculado.

No caso específico das unidades beneficiadoras de cana-de-açúcar, deve-se ressaltar a vantagem adicional da perfeita identidade que se verifica entre os processos industriais de obtenção do etanol a partir dessa matéria-prima e do sorgo sacarino, ou seja, ambos se dão através da fermentação e destilação do caldo extraído por moagem ou difusão dos respectivos colmos,¹⁸ dispensando, assim, a necessidade de novos investimentos em maquinaria.

Cabe dizer que, dada a natureza da matéria-prima fornecida pelo sorgo sacarino, colmos e grãos, a industrialização integral desse vegetal para o fabrico de etanol envolve duas tecnologias distintas, próprias a cada uma dessas categorias de insumos, isto é, sacarose e amido, respectivamente.

No entanto, considerando a grande diferença entre as quantidades de massa verde e de grãos produzidas pelo sorgo sacarino, tudo indica que a industrialização do grão, mesmo com fins energéticos, deverá ser feita em unidades fabris distintas das processadoras de colmo, as quais recolherão matéria-prima dos vários campos produtores em quantidades suficientes ao normal funcionamento de uma empresa do gênero.

Embora ainda não se disponha de informações mais concretas acerca das variedades de sorgo sacarino mais recomendáveis para exploração no Brasil, e, particularmente, para a região Nordeste, têm-se como muito favoráveis as perspectivas para um cultivo dessa lavoura em nosso país, a julgar pelos resultados já conseguidos nos ensaios levados a efeito pela EMBRAPA.

Apesar desses aspectos positivos, a princípio conhecidos, com respeito às vantagens apresentadas pelo sorgo sacarino para a produção de etanol, muitas pesquisas devem ainda ser feitas com vistas a uma melhor definição das reais potencialidades dessa cultura em nosso país, tanto na área agrícola, como no tocante ao setor industrial, observando, inclusive, as características e a viabilidade de utilização dos resíduos industriais do colmo e dos grãos.

A Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária vem desenvolvendo, com financiamento do BNB-FUNDECI, pesquisas com sorgo sacarino no Nordeste. Os resultados conseguidos são ainda preliminares, mas já indicam a necessidade de um maior aprofundamento, com vistas à obtenção de cultivares que melhor se adaptem às características edafoclimáticas locais, sobretudo no que diz respeito ao fotoperiodismo.

Em termos de produção de etanol, com base nos dados médios dos experimentos agrícolas da EMBRAPA e admitindo-se as relações de 70 litros de álcool/tonelada de colmo e 300 litros de álcool por tonelada de grãos, calcula-se o rendimento do sorgo sacarino em aproximadamente 5.500 litros/hectare/ano. Além do mais, a produtividade da lavoura do sorgo poderá ser grandemente elevada, à medida em que mais se desenvolvam as pesquisas agrônômicas com ela relacionadas.

Talvez o maior empecilho para a imediata introdução do sorgo sacarino no Brasil seja a susceptibilidade desse vegetal à incidência do míldio, doença também comum ao milho e não disseminada neste país. No entanto, técnicos nesse assunto²⁷ acreditam na possibilidade de um controle efetivo da doença, mesmo a curto prazo, desde que prontas medidas sejam adotadas.

1.4 — Mandioca

A cultura da mandioca encontra-se disseminada em todo o território nacional, ocupando uma área de, aproximadamente, dois milhões de hectares e produzindo em torno de vinte e cinco milhões de toneladas de raízes.

Verifica-se uma maior concentração da lavoura na região Nordeste,

onde a superfície plantada e a produção obtida representam 66 e 60% dos respectivos totais observados para o Brasil como um todo.

De um modo geral, a mandioca adapta-se melhor em regiões de clima tropical úmido, onde se verifica uma evapotranspiração superior a 900 mm por ano e a temperatura média se situa acima de 19°C, sem a ocorrência de picos de baixa acentuados.¹¹

Em face das peculiaridades do seu sistema radicular, a cultura da mandioca exige, para apresentar um bom desenvolvimento, solos leves, medianamente profundos, bem drenados, com boa fertilidade e pH compreendido entre 5,5 e 6,5. De qualquer modo, é bem menos exigente em solos e clima do que a cana-de-açúcar.

A mandioca é uma das plantas de ação fotossintética mais eficiente. Rica em carboidratos, suas raízes apresentam teores de 20 a 45% de amido e 5% de açúcares redutores. Além do mais, seu rendimento em álcool, por unidade de matéria-prima processada, é muito elevado, aproximadamente duas vezes e meia superior aos resultados obtidos com a cana-de-açúcar e o sorgo sacarino.

No entanto, a quantidade de biomassa produzida pela mandioca por unidade de área e por ano é inferior à registrada para a cana-de-açúcar e para o sorgo, do que resulta um rendimento de álcool menor para a primeira das lavouras aqui referidas.

Cabe salientar que essas atuais vantagens mencionadas para uma matéria-prima em relação a outras, em termos de potencialidade energética, são factíveis de modificações no futuro, à medida em que novas pesquisas agroindustriais sejam desenvolvidas com as mesmas e ensejem modificações para melhor, nos respectivos processos de produção.

O impasse, hoje existente, para utilização da mandioca como matéria-prima para a fabricação de etanol, diz respeito à fase de industrialização, porquanto os subprodutos dela disponíveis são insuficientes para suprir todas as necessidades de energia durante o beneficiamento respectivo, com vistas à obtenção de álcool. Isto obriga a utilização de outras fontes de energia para a consecução de todas as fases industriais de obtenção do etanol, do que resulta um maior custo de produção, comparativamente às duas outras matérias-primas aqui consideradas (cana-de-açúcar e sorgo sacarino).

De qualquer forma, este aspecto não representa um impedimento para a utilização da mandioca com fins energéticos. Representa apenas uma dificuldade inerente a sua exploração com esse propósito. Existem várias soluções passíveis de serem adotadas e que, sem dúvida, facultarão seu emprego como base para a fabricação de álcool etílico.

Para ser utilizada na fabricação de etanol no Nordeste, se for o caso, a mandioca deverá provir de novas áreas, especificamente cultivadas para essa finalidade, já que a produção atual de raízes é insuficiente até mesmo ao pleno atendimento da demanda para fins alimentícios.

Além das pesquisas que deverão ser realizadas com vistas ao aprimoramento do processo de exploração agroindustrial da mandioca para a fabricação do etanol, deve-se atentar para a *necessidade urgente de implantação de campos para multiplicação de sementes (manivas) selecionadas e/ou melhoradas*, para suprimento aos agricultores interessados. Também é por demais conveniente a prestação de assistência técnica eficiente aos agricultores interessados, a fim de assegurar-lhes melhores condições para uma rápida disseminação dos resultados conseguidos nas pesquisas pertinentes.

1.5 – Babaçu

O babaçu representa outra fonte alternativa de produção, a curto prazo, do etanol. No entanto, convém lembrar que a fabricação de álcool etílico, a partir do babaçu, está condicionada, economicamente, à exploração do coco para a *produção de carvão*, já que o mesocarpo (23%, em média, do peso do fruto) constitui-se, na prática, um subproduto da industrialização do endocarpo.

O endocarpo é o principal componente físico e econômico do fruto do babaçu, porquanto corresponde, aproximadamente, a 60% de seu peso, com rendimento líquido de carvão nobre em torno de 31%, ou seja, 18,6% do peso total do coco.

Vale salientar que, atualmente, se produz apenas moinha de carvão, insumo que se utiliza para enriquecimento de ferros especiais. Segundo informações de industriais desse ramo, o mercado limita-se a 40.000 toneladas anuais, aproximadamente.

A maior difusão do uso do carvão do babaçu se dará apenas quando for conseguida a produção de briquete para emprego na redução de minérios em geral. O mercado então crescerá, a ponto de permitir, até mesmo, o aproveitamento de todas as reservas de babaçu existentes no país.

Desse modo, todo propósito de emprego do babaçu para a fabricação de álcool deverá ter respaldo na disponibilidade de matéria-prima, resultante do beneficiamento do coco com vistas à produção de carvão. A produção de etanol, a partir do babaçu, implica a necessidade de industrialização integral do coco.

Essas palmeiras existem nos Estados do Maranhão, Piauí, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Pernambuco, Paraíba e Ceará, mas apenas os três primeiros respondem por mais de 97% da produção nacional do coco delas obtido.

O Estado do Maranhão produz o equivalente a 80% do total de coco babaçu colhido no país, sendo, ademais, o único Estado a contar com indústrias (em número de três) beneficiadoras dessa matéria-prima com fins energéticos, ou, mais precisamente, carvão.

Não obstante a grande participação do Estado maranhense na produção brasileira de coco babaçu, sabe-se que ainda é muito baixa a relação produção colhida/área ocupada com palmeiras, apenas 18%, o que indica o grande potencial que esse vegetal ali apresenta para exploração.

Essa baixa relação pode ser explicada pelo fato de a grande maioria do babaçu colhido se destinar à exploração de amêndoas, matéria-prima de rendimento pouco expressivo ante as possibilidades econômicas de exploração integral do coco babaçu.

Com base na produtividade média dos babaçuais com plena capacidade de produção na área ocupada com essa palmeira em nosso país e levando em conta os coeficientes técnicos de rendimentos industriais pertinentes, estima-se que atualmente poderiam ser obtidos em torno de um bilhão de litros de álcool de babaçu no Brasil.²⁶

Esse valor poderá ser aumentado à medida em que se aperfeiçoem as técnicas agronômicas para exploração dessa palmeira, principalmente no que diz respeito ao desbaste, a fim de evitar perda de produtividade da planta por densidade excessiva.

Ademais, há referências quanto à possibilidade de utilização das folhas renováveis das palmeiras também para a fabricação de etanol, por processos de hidrólise ácida ou de solventes ácidos, do que resultaria uma produção de álcool em quantidade ainda maior que a obtida diretamente do próprio coco.³⁰

2 – PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO

O processo produtivo para a obtenção do etanol por via fermentativa compreende três etapas básicas, seja qual for a matéria-prima a ser utilizada:

- a) preparo da matéria-prima para fermentação;
- b) fermentação alcoólica; e
- c) destilação.

O preparo da matéria-prima objetiva oferecer condições adequadas ao agente bioquímico da fermentação, a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, para a transformação dos açúcares fermentescíveis (sacarose, glicose e frutose) em álcool etílico (etanol) e gás carbônico (dióxido de carbono).

Na fermentação alcoólica a própria levedura transforma, através de hidrólise enzimática, a sacarose em glicose e frutose que, por sua vez, são convertidas em álcool e gás carbônico. A condição básica para a ação da levedura é, além de outras exigências como temperatura, acidez do meio etc., a presença destes açúcares fermentescíveis no mosto (líquido açucarado) a ser fermentado.

A última etapa do processo industrial é a destilação do vinho (mosto fermentado, contendo cerca de 8 a 10% de álcool em volume, ou seja, 8 a 10° G.L.) para a separação água-álcool, obtendo-se o etanol e um resíduo da destilação denominado vinhoto, vinhaça, restilo ou calda, além dos seguintes subprodutos: álcool de 2a. ou de cabeça e óleo fúsel.

Este efluente líquido, constituído em mais de 90% de água, é obtido numa proporção média de 12 litros para cada litro de etanol produzido e, por ser altamente poluente — resíduo líquido com elevado valor de DBO* — seu

* DBO — “Demanda Bioquímica de Oxigênio: quantidade de oxigênio, em parte por milhão que uma determinada água poluída necessita para oxidar a matéria orgânica, transformando-a em compostos estáveis e inócuos”.⁴² A DBO do vinhoto está na faixa de 12.000 a 20.000 ppm, o que representa uma capacidade de poluição extremamente elevada.

lançamento em cursos d'água, sem quaisquer tratamentos, tem causado problemas ecológicos demasiadamente graves. Deve-se considerar, no entanto, que o aproveitamento adequado do vinhoto poderá transformá-lo num valioso subproduto das destilarias.⁴ O vinhoto pode ser aproveitado "in natura" como fertilizante, concentrado, como fertilizante concentrado e ração animal, na produção de biomassa fúngica, como implemento protéico em formulações de rações e, ainda, na produção de metano em biodigestores. Este último aproveitamento, através de fermentação anaeróbica do vinhoto, permitiria que até cerca de 40% da energia primária do processo seja substituída, o que é um dado importante, principalmente para os projetos de destilarias de álcool de mandioca.⁴

A cana-de-açúcar e o sorgo sacarino, matérias-primas ricas em açúcares fermentescíveis, requerem um processamento prévio simples antes da operação de fermentação, exigindo-se basicamente a extração do caldo pela moagem dos colmos.

Já a mandioca e o babaçu, por exemplo, que são matérias-primas amiláceas, necessitam de um tratamento mais complexo para a produção de álcool, ou seja, a transformação do amido em açúcar diretamente fermentescível (sacarificação), através de hidrólise enzimática. Também a madeira, matéria-prima celulósica potencial para a produção de álcool, exigirá um tratamento complexo, qual seja, a hidrólise ácida da celulose em açúcares simples fermentescíveis.

Quanto aos rendimentos industriais a serem obtidos das diferentes matérias-primas, ou seja, a quantidade de álcool que pode ser produzida, dependem dos teores de açúcares fermentescíveis contidos nas matérias-primas, expressos em termos de glicose e normalmente denominados açúcares redutores totais (ART), e estão limitados pelo rendimento máximo obtido por Louis Pasteur, em condições ótimas de fermentação, igual a 61,11 litros de álcool, a 15°C, por 100 kg de ART ou 61,44 l a 20°C e 100° INPM* por 100 kg ART.¹⁰

Gianetti²⁵ apresenta a seguinte expressão para cálculo do rendimento industrial da cana-de-açúcar em destilarias autônomas: litros álcool/t cana = (ART)% x 61,09 x Nm x Nf x Nd, onde, (ART)% = % sacarose da cana x 1,12 (este fator já englobaria a conversão da sacarose em açúcares redutores e os mesmos já existentes na cana); 61,09 = litros de álcool por 100 kg de

* Grau INPM = % peso/peso de álcool nos líquidos alcoólicos.

ART, quer se trate de cana quer de amiláceos; Nm = rendimento prático do processo de extração; Nf = rendimento prático do processo de fermentação; e Nd = rendimento prático do processo de destilação.

Por último, merecem algumas considerações as melhorias, aperfeiçoamento e mesmo desenvolvimento tecnológico no processo produtivo utilizado para a obtenção do álcool etílico por via fermentativa.

Para o processamento da cana, por exemplo, estudo elaborado pelo CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico⁶ – afirma que o processo de difusão para extração da sacarose da cana deveria ser introduzido no país, em substituição às tradicionais moendas, que seriam extremamente demandantes de capital, atingindo até, aproximadamente, 50% do investimento total de uma destilaria autônoma. A utilização de difusores exigiria menor investimento, com as vantagens de maior rendimento na extração, menor consumo energético, menor custo e mais simplicidade na manutenção, em comparação com a das moendas, que seria responsável por uma parte ponderável das atividades das principais empresas fabricantes deste tipo de equipamento. Deve-se acrescentar, todavia, que o bagaço que sai do difusor necessita ser prensado (em prensa especial ou ainda na moenda tradicional) a fim de reduzir o seu teor de umidade de 85% a cerca de 48% para que possa ser queimado nos fornos das caldeiras.²⁰

No caso de utilização da mandioca como matéria-prima, referido estudo do CNPq, baseado na experiência-piloto da Usina de Curvelo, única unidade em operação no país de produção de álcool a partir da mandioca, aponta a necessidade de maiores pesquisas nas etapas de preparo da matéria-prima (cominuição) e sacarificação. Nesta última são utilizadas enzimas importadas e desenvolvidas para condições distintas das brasileiras, sendo necessárias, entre outras, pesquisas para determinação de temperaturas ótimas de trabalho e quantidades ideais a serem usadas para obter maiores rendimentos.

Ainda a respeito da produção de álcool de amiláceos, deve-se destacar um projeto em andamento através do Programa Tecnológico do Etanol (atualmente denominado Programa Tecnológico Industrial de Alternativas Energéticas de Origem Vegetal). Trata-se do projeto para o desenvolvimento de microrganismos com capacidade de transformar diretamente o amido em álcool, sem o processo de sacarificação, o qual, se apresentar resultados positivos, tornará mais simples e econômica a produção de álcool a partir do amido.⁴

Para a etapa de fermentação, entre outros estudos que podem ser desenvolvidos, devem-se pesquisar cepas de leveduras que suportem elevados teores alcoólicos, 12 a 14%, o que resultaria numa menor relação dos volumes de vinhoto/álcool produzidos.⁶

Finalmente, quanto à etapa de destilação, ou seja, a recuperação do álcool produzido na fermentação, deve-se ressaltar que Yang e Trindade⁴⁶ já levantam a possibilidade de um processo de menor consumo energético, tal como a osmose reversa, que possa eventualmente substituir o processo convencional de destilação.

TABELA 1
Produção de Alcool na Microdestilaria
Segundo o Número de Turnos de Trabalho

1 Turno					2 Turnos					3 Turnos				
Produção diária média (litro) (2)	Produção anual média (litro) (1)	Cana necessária (t/dia) (3)	Total de cana (t) (t)	Área plantada (ha) (4)	Produção diária média (litro)	Produção anual média (litro)	Cana necessária (t/dia)	Total de cana (t)	Área plantada (ha)	Produção diária média (litro)	Produção anual média (litro)	Cana necessária (t/dia)	Total de cana (t)	Área plantada (ha)
320	64.900	7	1.442	29	640	129.920	14	2.887	58	960	194.880	21	4.331	87

FONTE: Manual de Construção e Operação de uma Microusina de Alcool Etílico. Volume II, I.P.T. São Paulo. 1980.²²

OBS: (1) Considerando o tempo de operação da microdestilaria igual a 29 semanas, com 7 dias úteis por semana.

(2) Cada destilação produz aproximadamente 160 litros de álcool.

(3) Considerando 45 litros de álcool por tonelada de cana.

(4) Admitindo 50 toneladas de cana por hectare.

3 – MICRODESTILARIAS DE ÁLCOOL ETÍLICO

3.1 – O Projeto do IPT^{21, 22}

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT), contando com a colaboração da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) e da Escola Politécnica, ambas da Universidade de São Paulo, desenvolveu um projeto de uma microdestilaria para a produção de álcool etílico hidratado (de 90 a 96° G.L.), utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar. No “campus” da ESALQ, em Piracicaba, foi construído e testado, em operação, um protótipo dessa microdestilaria.

A sua capacidade de produção diária e por safra de 29 semanas (7 meses), em regime de 1, 2 ou 3 turnos de 8 horas de trabalho, as respectivas necessidades de matéria-prima (cana-de-açúcar) e áreas plantadas estão mostradas na Tabela 1.

Uma das preocupações do projeto do IPT foi a busca de soluções tecnológicas para minimizar o custo do investimento necessário à implantação da microdestilaria. Dessa forma, analisando-se os equipamentos que fazem parte dessa pequena unidade produtora de álcool etílico pode-se destacar, entre outras, as seguintes características técnicas:

- a) a moagem da cana é realizada em um único terno de moenda, com capacidade de 1 t de cana/h. Não há um preparo prévio da cana (através de conjunto de facas ou picadores), nem o emprego do sistema de embebição com água, o que resulta num baixo rendimento de extração, cerca de 500 litros de caldo por tonelada de cana moída. O acionamento da moenda é feito com motor elétrico de 5 CV. Sugerem-se duas alternativas para as áreas não-eletrificadas: um motogerador a álcool (em vez de a gasolina) ou um tipo de moenda com tração animal;
- b) as dornas de fermentação e os tanques de caldo, vinho e vinhaça, em vez de em aço-carbono, são construídas como obra de alvenaria (paredes de tijolos com acabamento interno de cimento), indicando-se,

como alternativa, o emprego de reservatórios pré-moldados de cimento amianto;

- c) o aparelho de destilação (caldeirão, coluna de destilação propriamente dita, condensador e resfriador) utiliza a madeira como material de construção. Os seguintes tipos de madeira podem ser empregados na construção da unidade de destilação: amendoim (madeira empregada no protótipo de Piracicaba), louro, jatobá, itaúba e ipê. A coluna de destilação é descontínua, do tipo de enchimento, utilizando-se como material de enchimento (anéis de Raschig), anéis de bambu;
- d) o tanque para armazenagem do álcool é construído no próprio local da microdestilaria, empregando a denominada "técnica da argamassa armada". O reservatório é feito a partir de um suporte de tela metálica e argamassa de cimento;
- e) a caldeira (gerador de vapor) é de pequena capacidade, com produção nominal de 460 kg/h de vapor à pressão de 120 psig, superfície total de aquecimento igual a 25 m². O bagaço de cana é o combustível utilizado;
- f) a vida útil dos equipamentos da microdestilaria é estimada em 10 anos e a da construção civil em 30 anos; e
- g) a vinhaça (vinhoto ou restilo), resíduo resultante da destilação, é descarregada por gravidade para um tanque e daí bombeada para o campo, a fim de ser utilizada como fertilizante. A taxa de aplicação é da ordem de 30 a 100 m³ de vinhaça por hectare. Recomenda-se, portanto, que se disponha de uma área próxima à microdestilaria para irrigação com a vinhaça.

Outro aspecto da maior importância no projeto do IPT está relacionado com o próprio conceito e finalidades da microdestilaria.

A idéia básica que se pretende difundir com este projeto, além da simplificação dos equipamentos utilizados e o emprego da mão-de-obra não-especializada (3 operários por turno), é a possibilidade de produzir álcool etílico em pequena escala para fins de consumo próprio e local, como combustível substituto da gasolina e óleo diesel em fazendas, cooperativas, etc. situadas em locais distantes dos grandes centros produtores. Através das microdestilarias será possível atingir-se a auto-suficiência em combustíveis líquidos.

dos de pequenas comunidades rurais localizadas em áreas afastadas, dispensando-se o fornecimento de combustíveis derivados de petróleo e, conseqüentemente, eliminando-se os custos de transporte desses derivados.

Deve-se ainda acrescentar que, em termos de custos de produção, o custo do álcool obtido na microdestilaria não é competitivo com o custo do álcool das grandes destilarias (empresas produtoras de álcool para comercialização ao preço fixado pelo IAA). Tal fato não inviabiliza as pequenas destilarias, considerando-se que seus objetivos econômico-sociais são nitidamente distintos.

3.2 – O Projeto Deon Hulett Consultores

O projeto de Deon Hulett apresenta uma capacidade de produção de 100 l/h de álcool hidratado (92 – 96° G.L.) ou 2.400 l/dia, sendo contínuo o processo de destilação. A extração do caldo de cana é feita em um único terno de moenda, as colunas (duas) de destilação/retificação são construídas em aço inox, sendo do tipo de enchimento com anéis (Raschig) de plástico rígido; a potência elétrica instalada é de 15 HP. Segundo informações desta consultoria, a microdestilaria poderá ser entregue aos interessados potenciais em 45 dias, sendo necessários mais 7 dias para a montagem. Um protótipo foi construído e testado em março de 1980.

Por último, mas não menos importante, no tocante a microdestilarias de álcool para autoconsumo rural, deve-se assinalar que, para a utilização adequada deste combustível em motores estacionários (empregados na irrigação e na geração de energia elétrica), em tratores, colhedoras, como também em caminhões e automóveis, haverá a necessidade de alteração dos motores ciclo OTTO e ciclo DIESEL para consumirem etanol hidratado, o que exigirá um investimento adicional. A respeito dessa utilização do álcool, Brandini³ já recomenda que os fabricantes de tratores, colhedoras e motores estacionários agrícolas introduzam no mercado tais máquinas agrícolas acionadas por etanol hidratado.

4 – MINIDESTILARIAS DE ÁLCOOL ETÍLICO

4.1 – O “Plano das Miniusinas de Alcool Hidratado”^{12, 13}

O professor Romeu Corsini, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, juntamente com uma equipe de professores e técnicos, realizaram um trabalho – “Plano das Miniusinas de Alcool Hidratado” – mostrando que o país poderá produzir álcool hidratado em grandes quantidades, para uso como combustível exclusivo em motores, através de minidestilarias (20.000 l/dia) localizadas em diversos pontos do território nacional e operando praticamente o ano todo com cana-de-açúcar e sorgo sacarino.

De acordo com referido plano, as minidestilarias poderão enquadrar-se no PROÁLCOOL, apresentando viabilidade econômica, devem ser implantadas pela iniciativa privada, em âmbito nacional, e utilizar equipamento padronizado de projeto e produção nacionais.

O “Plano das Miniusinas”, como o próprio nome já sugere, baseia-se em pequenas unidades produtoras de álcool, indicando-se como solução mais adequada a capacidade de produção de 20.000 l/dia de álcool hidratado. Segundo o prof. Corsini, uma grande destilaria é construída a partir de projeto especial, podendo ser considerada como um protótipo, apresentando elevados custos de implantação e manutenção. No caso das minidestilarias, sua construção em série e padronizada, como se propõe no referido plano, apresentará custos de implantação e manutenção bem mais baixos que os das grandes destilarias. Dado que essas minidestilarias irão operar de 300 a 350 dias por ano, utilizando como matérias-primas, além da cana-de-açúcar, o sorgo sacarino, haverá possibilidades de redução dos custos de produção do álcool hidratado. Essas minidestilarias poderiam ainda, de acordo com o plano, usar a mandioca como matéria-prima. No caso de a minidestilaria trabalhar com cana-de-açúcar e sorgo sacarino, os equipamentos da unidade industrial serão os mesmos, modificando-se apenas, para o sorgo, a alimentação das moendas.

O plano do prof. Corsini propõe a implantação de 3.000 minidestilarias distribuídas em todas as regiões do país, conforme a demanda de combustí-

vel, e a incorporação de 1 milhão de alqueires paulistas* à área agrícola nacional. Prevê-se, ainda, a possibilidade de cogeração de energia elétrica pelas minidestilarias, utilizando o bagaço de cana e sorgo em excesso que seria suficiente para produzir de 50 a 100 kVA de energia elétrica, disponível para pequenas agrovilas (cerca de 100 casas) do local.

As minidestilarias (20.000 l/dia), de acordo com o teor de açúcares reductores totais (ART) de matéria-prima (cana ou sorgo), irão moer cerca de 300 t/dia. Caso o regime de operação da unidade industrial seja de 350 dias/ano, 200 dias com cana-de-açúcar e 150 dias com sorgo sacarino, serão moídas, respectivamente, 60.000 e 45.000 t/ano destas duas matérias-primas, respectivamente.

As minidestilarias deverão ser implantadas com financiamento do PRO-ÁLCOOL, em empresas agrícolas (fazendas) que possuam uma área de 500 alqueires paulistas plantados com cana e sorgo ou disponível para este fim, e cuja produção não se destine ao fornecimento de matéria-prima para usinas de açúcar ou álcool.

A execução do plano das miniusinas, que, segundo o professor Corsini, chegou a ser debatido, inclusive junto ao IAA, STI, CNP e EMBRAPA, seria feita em 4 etapas básicas, através de 3 empresas a serem criadas (duas sociedades anônimas e uma cooperativa) e uma (ou mais) já existente(s) (organização de ensino particular). Essas etapas seriam:

- a) projeto, construção e aperfeiçoamento do protótipo da minidestilaria padronizada, através da empresa "MINIÁLCOOL S.A.", a ser criada;
- b) produção em série de partes e peças das minidestilarias pela indústria mecânica nacional. A montagem, testes iniciais de operação e venda das unidades completas seriam exclusividade da empresa "BRASÁLCOOL S.A.", a ser criada;
- c) assistência técnica agrícola, industrial, administrativa, financeira e comercial às minidestilarias, visando à máxima eficiência possível na sua operação, através da "Cooperativa de Assistência às Miniusinas - COMINI", a ser criada. Todos os proprietários das minidestilarias seriam compulsoriamente associados à "COMINI", que receberia des-

* 1 alqueire paulista = 2,42 ha.

tas unidades 1% de sua receita bruta. A “COMINI” poderia, inclusive, tornar-se distribuidora de álcool, caso haja necessidade ou conveniência de que isto ocorra;

- d) paralelamente às 3 etapas acima referidas, haveria formação de pessoal especializado para a operação das minidestilarias. Como o “plano das miniusinas” prevê a implantação de 3.000 minidestilarias no país, haveria necessidade de considerável número de técnicos para operá-las. Este treinamento técnico poderia ser feito através de contratos com organizações de ensino particular, já existentes, para ministrarem cursos de nível médio de tecnologia do açúcar e do álcool. Prevê-se, ainda, o treinamento prático desses técnicos em unidades-escolas (minidestilarias implantadas para fins didáticos).

4.2 – O “Sistema Mandioca – Pecuária – Aguapé” do Núcleo de Fontes Não-convencionais de Energia (NFNCE) da Universidade Federal do Ceará^{43, 44, 45}

A produção de álcool etílico, a partir da mandioca, em minidestilarias com capacidade de 20.000 l/dia, através do sistema proposto pelo NFNCE (“sistema mandioca-pecuária-aguapé”) utiliza como combustível, para geração de vapor d’água necessário ao processo industrial, o biogás obtido da planta aquática flutuante aguapé (*Eichhornia crassipes*). Referido combustível apresentaria mais vantagens que a queima de lenha ou de rama da mandioca.

O uso de lenha, como combustível, para o processo de produção do álcool da mandioca, implicaria a necessidade de uma “floresta plantada”. Além dos elevados investimentos para sua implantação, apresentaria baixa produtividade agrícola e longos períodos entre plantio e colheita da madeira.

A queima da rama da mandioca (1/3 superior da planta) também não seria recomendada pelo NFNCE, devido ao elevado teor protéico nela contido, que teria melhor utilização como ração para pecuária.

A pecuária, parte integrante do sistema idealizado, consumirá como ração, além da rama de mandioca, a vinhaça concentrada e as fibras da mandioca, recuperadas nas etapas iniciais do processo de produção do álcool.

O biogás, combustível da caldeira da minidestilaria, será produzido nos digestores anaeróbios, onde ocorrerá a decomposição anaeróbia da matéria orgânica (aguapé + esterco de gado), por meio de bactérias metanogênicas. O

efluente dessa digestão será usado como fertilizante para o cultivo da mandioca.

A tabela 2 mostra alguns dados técnicos do sistema proposto pelo NFNCE.

Neste sistema, o aguapé é cultivado na superfície de um reservatório de água (açude). A minidestilaria e o digestor anaeróbio devem localizar-se, de preferência, nas proximidades deste reservatório, o que permite o reciclo dos nutrientes necessários ao crescimento do aguapé, pelo lançamento no açude do líquido extraído na moagem desta planta (operação para utilização do aguapé nos digestores anaeróbios), bem como um menor custo no transporte aguapé/digestor.

O cultivo racional do aguapé, nesses reservatórios de água, não traria nenhum problema referente à qualidade e quantidade (perdas de água por evapotranspiração na superfície líquida coberta com o aguapé) da água ou mesmo à piscicultura neles desenvolvida, pois seria feito em apenas 10% da superfície líquida.

Para uma maior integração do sistema mandioca-pecuária-aguapé, proposto pelo NFNCE, no que se refere à utilização dos recursos hídricos da região para cultivo racional do aguapé, especificamente os açudes públicos e privados, a área nas proximidades desses reservatórios deve ser adequada, em termos de solo, ao cultivo da mandioca.

Em relação ao processo industrial, propriamente dito, da produção de álcool etílico, deve-se assinalar que o NFNCE implantou no município de Caucaia, Ceará, uma minidestilaria piloto, com capacidade de produção de 12.000 l/dia de álcool hidratado, a partir de mandioca e/ou farinha amilácea de babaçu, atualmente em fase de testes iniciais de operação. Esta minidestilaria apresentará, entre outras, as seguintes características técnicas:

- a) sistema contínuo de sacarificação do amido de mandioca;
- b) destilação/retificação em uma única coluna de pratos perfurados; e
- c) sistema de concentração do vinhoto junto à unidade de destilação.

O álcool a ser produzido nesta minidestilaria será utilizado como combustível de um grupo turbogerador de eletricidade.

TABELA 2

Ficha Técnica do Sistema

(Mandioca-Pecuária-Aguapé)

* Produção de álcool	20.000 t/dia	6.000 m ³ /ano
* Consumo de mandioca	120 t/dia	36.000 t/ano
* Produtividade considerada de raízes	18 t/ha/ano	
* Volume de digestor	17.000 m ³	
* Produção de biogás	6 x 10 ⁶ m ³ /ano	
* Produção de fertilizantes	1.300 t/ano	
* Consumo de fertilizantes	300 t/ano	
* Produção de aguapé (matéria seca)	20.000 t/ano	
* Área de cultivo do aguapé	100 ha	
* Produção de carne	6.200 cabeças/ano	
* Produção de leite	400.000 l/ano	
* Terras: Área mínima	3.500 ha	
Área máxima	5.000 ha	

FONTE: Sistema Mandioca-Aguapé.⁴⁴ Parente, E.J.S. et alii NFNCE da UFCE. 1979.

Os testes de utilização do álcool etílico hidratado em turbinas a gás serão executados por técnicos do CTA – Centro Técnico Aeroespacial.

A aplicação prática deste sistema desenvolvido conjuntamente pelo NFNCE e CTA, Minidestilaria + Turbogenerador seria a geração de energia elétrica em locais remotos, de difícil acesso, utilizando matérias-primas vegetais renováveis, que substituiriam os geradores de eletricidade a óleo diesel. Neste sentido, a unidade de Caucaia seria, também, uma miniusina de eletricidade, onde o álcool produzido na minidestilaria será consumido em um turbogenerador de energia elétrica. A integração miniusina de eletricidade/minidestilaria de álcool será completa, recuperando-se o calor dos gases de escape da turbina, numa caldeira, para geração de vapor necessário ao processo de produção do álcool.⁴⁰

4.3 – O Projeto de Referência da STI/INT para uma Minidestilaria de Álcool de Mandioca⁵

O objetivo deste projeto de referência, segundo a própria Secretaria de Tecnologia Industrial (STI), juntamente com o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e a Fundação de Tecnologia Industrial (FTI), órgãos vinculados ao Ministério da Indústria e do Comércio, é fornecer os subsídios necessários para o projeto e construção de uma minidestilaria de 10.000 l/dia de álcool etílico hidratado, a partir da mandioca, passível de financiamento pelo PRO-ÁLCOOL.

As informações apresentadas cobrem o setor agrícola, o setor industrial e os aspectos econômicos (estudo preliminar de viabilidade econômica).

A minidestilaria projetada pela STI/INT apresenta, entre outras, as seguintes características que merecem citação:

- a) capacidade de produção: aproximadamente 10.870 l/dia de álcool hidratado a 92° G.L. (10.000 l/dia de álcool puro) em regime de produção de 330 dias/ano e 24 h/dia. Os subprodutos são 500 l/dia álcool de segunda, 15 kg/dia óleo fúsel, 4,5 t/dia componentes para ração e 7,5 t/dia gás carbônico;
- b) consumo de matéria-prima no processo: 65 t/dia de raízes de mandioca, com composição média de 30% de amido;
- c) rendimento no processo: 167 l de álcool hidratado por tonelada de mandioca;

- d) área para implantação da unidade industrial: cerca de 1,5 ha;
- e) consumo de água: um maior ou menor consumo de água ficará na dependência do sistema de recirculação desta água utilizada no processo, estimando-se um consumo da ordem de $360 \text{ m}^3/\text{dia}$;
- f) consumo de vapor d'água: o consumo irá depender do teor alcoólico do vinho (mosto fermentado), situando-se na faixa de 5–5,5 kg vapor/l álcool puro, para vinho de 7º G.L. No caso mais desfavorável, consumo de 5,5 kg/l, o total de lenha a ser queimada será de 20,35 t/dia, admitindo uma eficiência térmica da caldeira de 75% (poder calorífico da lenha igual a 2.300 kcal/kg e entalpia do vapor saturado a 10 kg/cm^2 , 638,3 kcal/kg). Se a caldeira utilizar, em vez de lenha, ramas de mandioca, o consumo da mesma será de 24,7 t/dia (poder calorífico de rama igual a 1.900 kcal/kg). A capacidade nominal do gerador de vapor da minidestilaria, que, além da lenha e rama, poderá queimar outros combustíveis sólidos (carvão mineral, carvão vegetal etc.), é de 3 t/h de vapor saturado sob pressão de 10 kg/cm^2 ;
- g) energia elétrica: admite-se, numa situação mais simples, o fornecimento externo de eletricidade para a minidestilaria, que terá uma subestação de 225 KVA, sendo a carga média consumida de 100 kWh/h. Outra alternativa seria a geração própria de eletricidade através de um turbogerador, caso em que haveria necessidade de modificações nas características da caldeira;
- h) tratamento de efluentes: prevê-se uma área adicional de 3 ha, inundáveis, para tratamento de efluentes. O principal destes efluentes, o vinhoto, obtido na razão de 20 l/t álcool produzido, poderá ter os seguintes tratamentos:
 - i) lagoas de estabilização, a fim de tornar os valores da DBO (demanda bioquímica de oxigênio) dentro dos padrões para efluentes a serem lançados em cursos de água interiores;
 - ii) concentração do vinhoto por evaporação que, embora produza componente de ração animal ou adubo comercializáveis, aumentando a receita da minidestilaria, implica maiores investimentos para a minidestilaria (aquisição dos equipamentos de evaporação) e acréscimo no consumo de combustível para a caldeira;

- iii) utilização do vinhoto “in natura”, como fertilizante para a cultura da mandioca;
- iv) o vinhoto “in natura” ou tratado, poderá inclusive ser reaproveitado no processo, substituindo a água na lavagem da mandioca e para diluição da massa de amido; e
- v) um outro efluente da minidestilaria, a lama retirada da lavagem da mandioca, 4,5 t/t de álcool produzido, deverá sempre ser tratado da mesma forma que o vinhoto;
- i) mão-de-obra: a minidestilaria absorverá um total de 28 empregados: 21, em 3 turnos, na operação do processo, 4 como suporte de operação e 3 na administração;
- j) volume da fermentação: duas dornas de 15 m³ cada uma, na pré-fermentação e 6 de 83 m³ na fermentação propriamente dita; e
- l) tancagem do álcool e subprodutos: 344 m³ para álcool hidratado, 15 m³ para álcool de segunda, estocagem de óleo fúsel em tambores.

No que se refere à produção de mandioca, admitindo-se um rendimento agrícola de, por exemplo, 25 t/ha de raízes, a área total exigida é da ordem de 2.500 ha, dos quais 850 ha em efetiva cultura anual, para a minidestilaria com produção anual de 3.300.000 l de álcool etílico.

4.4 – As Minidestilarias da CODISTIL⁹ e CONGER^{34, 35}

A Construtora de Destilarias Dedini S.A. (CODISTIL), uma das maiores fabricantes de destilarias do país, oferece também o seu modelo de minidestilaria, com capacidade de 20.000 l/dia de álcool anidro ou retificado industrial (hidratado), partindo de caldo de cana com 14 a 16 graus BRIX, e vinhos com 7 a 8% de álcool em volume. Algumas das especificações técnicas dessa minidestilaria merecem atenção:

- a) a cana a ser moída é preparada em um jogo de facas ou navalhas;
- b) a extração do caldo é feita em um conjunto de 4 ternos de moenda (18” x 30”);
- c) a peneiragem do caldo extraído é realizada inicialmente no conjunto “cush-cush” e, em seguida, numa peneira vibratória para caldo;

- d) a fermentação do caldo peneirado utiliza 18 dornas do tipo de refrigeração externa e com capacidade unitária de 50 m^3 . Não consta das especificações técnicas da minidestilaria nenhum outro equipamento para tratar o caldo antes da fermentação, além do peneiramento, nem se especificam dornas de pré-fermentação e centrífuga separadora de leveduras;
- e) o aparelho de destilação é do tipo convencional, colunas de destilação/retificação/desidratação construídas com chapas de aço inoxidável e do tipo de bandeja com calotas de borbotagem;
- f) para tancagem do álcool de 1ª. são previstos 2 reservatórios cilíndricos de chapas de aço carbono, com capacidade unitária de 1.000 m^3 ; para álcool de 2ª., 1 reservatório de 20 m^3 e 1 reservatório de 2.000 l para óleo fúsel;
- g) a caldeira da minidestilaria tem uma capacidade de produção de 7 t/h de vapor saturado à pressão de 8 kg/cm^2 . O combustível principal previsto é o próprio bagaço de cana, com teor de umidade de 50%. Deve-se assinalar que a minidestilaria da CODISTIL não possui turbogerador a vapor para geração de eletricidade. A energia elétrica será recebida de uma rede de distribuição externa, prevendo-se, nas especificações, apenas um transformador de 150 KVA, painel de distribuição e outros acessórios.

A CONGER S.A. Equipamentos e Processos e a PROQUIP S.A. Projetos e Engenharia Industrial elaboraram estudos (orçamentos) para implantação de minidestilarias com capacidade de 10.000 e 20.000 l/dia de álcool hidratado, a partir da cana-de-açúcar.

As principais diferenças da unidade de 20.000 l/dia da CONGER, em relação ao projeto da CODISTIL, para álcool hidratado, são as seguintes:

- a) extração do caldo em conjunto de 4 ternos de moenda ($16'' \times 24''$);
- b) tratamento do caldo em aquecedores/resfriadores, além de peneiramento;
- c) três dornas de pré-fermentação de 20 m^3 cada uma e 6 dornas de fermentação com capacidade unitária de 60 m^3 ;

- d) discriminação de uma separadora centrífuga para separação vinho/leveduras;
- e) caldeira para produção de vapor saturado a 10 kg/cm^2 de pressão;
- f) geração própria de energia elétrica, em turbogerador de 300 KVA, com potência nominal de 240 kW (fator de potência = 0,8);
- g) tancagem do álcool em 2 reservatórios com capacidade de 750 m^3 cada um; e
- h) no diagrama de massa da unidade de 20.000 l/dia da CONGER, para uma moagem de 307,2 TCD,* a produção de álcool hidratado é de 19.200 l/dia, considerando o teor de sacarose da cana igual a 12,5%.

*TCD = Tonelada de cana por dia.

5 – ASPECTOS ECONÔMICOS DAS MICRO E MINIDESTILARIAS DE ÁLCOOL

5.1 – Investimento Fixo*

Os valores do investimento necessário à implantação das microdestilarias projetadas pelo IPT e Deon Hulett atingem os seguintes totais:

– IPT	Cr\$ 2,1 – 2,6 milhões
– Deon Hulett	Cr\$ 2,9 milhões (não inclui despesas de transporte e montagem da unidade)

O valor de cada uma das minidestilarias referidas no plano do prof. Corsini (ver item 4.1), produzidas em série, totalmente padronizadas, e admitindo-se a construção de, no mínimo, 1.000 unidades, estaria na faixa de Cr\$ 60,8 – 76,0 milhões, praticamente igual ao custo das minidestilarias convencionais de 20.000 l/dia.

O investimento industrial (usina de álcool + biodigestores e acessórios) referente à minidestilaria de álcool de mandioca, do sistema proposto pelo Núcleo de Fontes Não-convencionais de Energia da UFCE (mandioca-pecuária-aguapé) alcançaria Cr\$ 155,5 milhões.

O projeto de referência da minidestilaria de 10.000 l/dia de álcool de mandioca, elaborado pela STI/INT/FTI, estima um investimento fixo da ordem de Cr\$ 67,4 milhões.

O orçamento, FOB Piracicaba (SP), dos equipamentos para minidestilarias de 20.000 l/dia, de fabricação da CODISTIL/DEDINI, prevê os seguintes investimentos fixos:

– Minidestilaria álcool hidratado	Cr\$ 69,5 milhões
– Minidestilaria álcool anidro	Cr\$ 72,5 milhões
– Estimativa de obras civis	Cr\$ 12,9 milhões

* Valores atualizados para setembro/80 pelo IGP/FGV.

O orçamento da CONGER/PROQUIP para minidestilarias de 10.000 l/dia e 20.000 l/dia de álcool hidratado, a partir da cana-de-açúcar, incluindo construção civil e sem considerar fretes e seguros, apresenta os seguintes totais:

- a) minidestilaria 10.000 l/dia
 - Total global Cr\$ 71,3 milhões
 - Alternativas:
 - Sem turbogerador Cr\$ 65,3 milhões
 - Sem pré-fermentação (excluídas a separadora centrífuga e uma cuba de pré-fermentação) e inclusão de mais duas dornas de fermentação. Cr\$ 70,1 milhões
- b) minidestilaria 20.000 l/dia
 - Total global Cr\$ 81,2 milhões
 - Alternativas:
 - Sem turbogerador Cr\$ 79,7 milhões
 - Sem pré-fermentação (excluídas a separadora centrífuga e uma cuba de pré-fermentação) e inclusão de mais duas dornas de fermentação. Cr\$ 80,0 milhões

5.2 – Custos de Produção

Os resultados dos estudos até agora realizados, objetivando a determinação dos custos de produção de álcool etílico, em micro e minidestilarias, estão contidos na tabela 3.

Segundo dados da referida tabela, poder-se-ia concluir pela viabilidade econômica da totalidade dos projetos apresentados. Não obstante, para uma decisão final sobre a viabilidade econômica de produção de álcool em mini e microdestilarias, dois aspectos devem ser ressaltados, uma vez que poderão ter concorrido para o surgimento dos resultados altamente positivos expostos naquela tabela:

- 1º) esses valores constituem apenas primeiras aproximações, porquanto inexistem unidades industriais desses portes em operação no país, com caráter empresarial. As poucas unidades (em Piracicaba e em Brasília, projetadas pelo IPT, por exemplo) têm operado de modo intermitente e com finalidade de demonstração, enquanto os demais projetos constituem somente proposições a serem testadas na prática;

TABELA 3
Custos Unitários*da Produção de Alcoolem Micro e**
Minidestilarias, Segundo Dados dos Respectivos Projetos

Projeto	Capacidade de Produção		Matéria-prima	Custo Unitário Cr\$	Referência
	l/dia	l/ano			
I.P.T.	833	150.000	Cana-de-açúcar	18,45	(29)
Prof. Corsini	20.000	6.000.000	Cana e sorgo		
			sacarino	11,40	(15)
Codistil/Dedini	20.000	3.362.000	Cana-de-açúcar	25,32	(19)
Mandioca/Pecuária/Aguapé	20.000	6.000.000	Mandioca	9,80	(61)
STI/INT	10.870	3.587.100	Mandioca	13,53	(7)

*Valores atualizados para setembro/80 pelo IGP/FGV.

**Alcool etílico hidratado, exceto projeto CODISTIL/DEDINI(anidro).

- 2º) os valores que constam da tabela 3 foram obtidos através de atualização pelo índice geral de preços da Fundação Getúlio Vargas e, conseqüentemente, talvez não expressem, com exatidão, a situação atual, de modo especial quanto a matérias-primas, principal item dos custos de produção.

Em face do exposto, estimaram-se novos custos (tabela 4) para produção de álcool nesses tipos de empresas, tomando-se por base os preços vigentes no mercado para as diversas matérias-primas utilizadas. Mais especificamente consideraram-se:

- a) preço atual da cana fixado por ato do IAA para o Norte/Nordeste, Cr\$ 1.384,50/t.* No projeto do IPT considerou-se 70% do valor acima, admitindo-se que a cana seja de propriedade da fazenda ou da

* IAA. Ato n. 31/80, de 26.09.80.

comunidade onde a microdestilaria for instalada, hipótese contida no projeto do IPT. No projeto do prof. Corsini consideraram-se iguais os custos da cana e do sorgo, equivalentes a 80% do preço oficial da cana, conforme estudo original;

- b) a mandioca foi cotada pelo preço médio de mercado, a nível de produtor no Ceará, em Cr\$ 3.000,00/t;
- c) quanto aos demais itens, foi mantido o critério de atualização, para setembro/80, pelo IGP/FGV.

TABELA 4
Custos Unitários da Produção de Alcool em Micro e Minidestilarias,
a Preços Vigentes das Matérias-primas

Projeto	Capacidade de Produção		Matéria-prima	Custo Unitário Cr\$
	l/dia	l/ano		
I.P.T.	833	150.000	Cana-de-açúcar	29,70
Prof. Corsini	20.000	6.000.000	Cana e sorgo	19,70
Codistil/Dedini	20.000	3.362.000	Cana-de-açúcar	35,23
Mandioca/Pecuária/ Aguapé	20.000	6.000.000	Mandioca	15,51
STI/INT	10.870	3.587.100	Mandioca	24,70

Verifica-se, na tabela 4, que, mesmo atualizando os preços como anteriormente descrito, apenas dois projetos não oferecem indicação de viabilidade econômica, considerando como ponto de referência o preço do litro de álcool etílico hidratado pago ao produtor da região Norte/Nordeste (preço fixado pelo IAA, incluindo o subsídio de equalização de custos para álcool de produção direta).*

* Cr\$ 29,4182/l de álcool hidratado para a região Norte/Nordeste. IAA. Ato n. 31/80, de 26.09.80.

Em relação aos dois projetos que não apresentam indicação de viabilidade econômica – IPT e CODISTIL/DEDINI – deve-se esclarecer que:

- a) o rendimento industrial considerado no projeto IPT foi de 45 l de álcool etílico hidratado por tonelada de cana²² e não 50 l/t como previsto anteriormente por aquele Instituto;²¹
- b) o próprio estudo elaborado pela DEDINI,¹⁶ no qual estão baseados os cálculos do custo gravoso aqui apresentado (Cr\$ 35,23/l), mostra a inviabilidade da minidestilaria de 20.000 l/dia e com um rendimento industrial admitido igual a 54 l/t, como empresa que adquire cana a preço oficial, processa e comercializa o álcool, pois os custos operacionais seriam 13,8% superiores à receita.

6 – BALANÇO ENERGÉTICO CULTURAL NAS DESTILARIAS DE ÁLCOOL ETÍLICO

Em seu trabalho “Álcool Direto de Cana e Mandioca: Problemas e Oportunidades no Contexto do PROÁLCOOL”, Milfont^{28, 29} et al., consideram dois aspectos como de importância vital para avaliação das potencialidades das várias matérias-primas a serem processadas com vistas à produção de álcool etílico, a saber:

- a) “a energia consumida em todas as fases do processo de produção de álcool deverá ter origem em fontes renováveis, já que o produto final se destina a substituir matéria-prima fóssil, o petróleo”;
- b) “o sistema de produção deve ser, integralmente, um gerador líquido de energia, em outras palavras, a energia contida no produto deve ser maior que a introduzida pelos insumos que alimentam o processo produtivo”.

O primeiro aspecto, embora não possa ser quantificado, afigura-se como um princípio de relevância incontestável e deverá ser rigorosamente observado em todo e qualquer programa de produção de álcool ou outro qualquer combustível de origem vegetal.

O segundo aspecto é mensurável e, para tanto, geralmente se utiliza o conceito de rentabilidade energética, que representa a relação entre a energia total produzida e a consumida na fabricação do álcool.

Convém salientar que a rentabilidade energética de qualquer sistema poderá variar em função dos fatores que sejam julgados convenientes arrolar para a mensuração do referido índice, isto é, poderá variar em função do que se denomina de “fronteiras dos fluxos do processo”. De fato, no cálculo da rentabilidade energética (REN), relacionada à obtenção de álcool etílico a partir da biomassa, poder-se-á levar em conta toda a energia consumida nas várias etapas da produção (fases agrícola e industrial), ou, então, considerar apenas as energias de determinadas origens: não-renováveis, as importadas, etc.

As análises até agora realizadas para medir a eficiência energética do etanol no Brasil, segundo as matérias-primas utilizadas para sua obtenção, têm-se limitado aos cálculos das respectivas rentabilidades físicas de energia.

Embora os resultados encontrados indiquem vantagens (saldos energéticos positivos) em todas as situações pesquisadas (cana-de-açúcar, sorgo sacarina e mandioca), conforme se depreende dos dados da tabela 5, entende-se que a rentabilidade, em termos físicos de energia, não é o principal fator a considerar na avaliação da potencialidade energética do álcool aqui produzido a partir da biomassa, mas, sim, a rentabilidade em termos econômicos. O álcool não pode ser encarado apenas como mais uma fonte alternativa de energia para o país. Mais do que isto, deve ser visto como um produto com possibilidades de obtenção local e que, pelas suas características, reúne as melhores condições para substituir internamente a gasolina e/ou o óleo diesel em veículos automotores.

Portanto, os estudos para avaliar as conveniências da produção de álcool etílico, a partir da biomassa, para fins combustíveis no Brasil, deverão, no máximo, observar o poder de competitividade em preço entre a energia apropriada por essa fonte renovável e a fornecida pelo derivado de petróleo a ser substituído. Para um longo prazo, ante a perspectiva de exaustão do petróleo, nem essa competitividade em preço deverá ser considerada para análise da eficiência energético-econômica da produção local de álcool carburante.

Segundo Rosa,³⁷ “quando se compra um combustível qualquer, paga-se por duas coisas: a quantidade de energia nele contida e a sua utilidade. Por essa razão, estamos dispostos a pagar bem mais caro por um litro de gasolina do que pelo equivalente energético em lenha”.

TABELA 5

Balço Energético Cultural da Produção de Alcool Etílico de Cana-de-açúcar, Mandioca e Sorgo Sacarino;

Energia Produzida (Alcool Obtido), Energia Consumida (Energia Cultural Agrícola e Industrial) e Saldo Energético

Cultura	Rendimento Agrícola		Produção de Alcool			Energia — Mcal/ha/ano						Saldo
						Produzida			Consumida (Energia Cultural)			
	t/ha	t/ha/ano	l/t	l/ha	l/ha/ano	Alcool	Resíduos	Total	Fase Agrícola	Fase Industrial	Total	
Cana-de-açúcar	72	54	66	4.752	3.564	18.747	17.550	36.297	4.226	10.814	15.040	+ 21.257
Mandioca *	29	14,5	174	5.046	2.523	13.271	9.112	22.283	4.042	8.883	12.925	+ 9.358
Mandioca	29	14,5	174	5.046	2.523	13.271	4.556	17.827	3.397	8.883	12.280	+ 5.547
Mandioca	29	14,5	174	5.046	2.523	13.271	—	13.271	2.753	8.883	11.636	+ 1.635
Sorgo Sacarino	—	—	—	3.775	3.775	19.856	11.830	31.686	4.667	11.883	16.550	+ 15.136

FONTE: SILVA, José Gomes da et alii.³⁹

OBS: Para a transformação em Mcal/ha/ano, considerou-se:

- a) a cana-planta com um período de utilização do solo de 2 anos e as soqueiras com produções anuais;
- b) a mandioca utilizando o solo por 2 anos.

* Para a mandioca, foi admitida a possibilidade de queima das ramas na produção de vapor. Foram analisadas três situações:

- a) aproveitamento total da rama;
- b) aproveitamento de 50 por cento da rama; e
- c) sem aproveitamento da rama.

7 – ZONEAMENTO DAS ÁREAS COM POSSIBILIDADES DE EXPLORAÇÃO DE CULTURAS DESTINADAS À PRODUÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO NO NORDESTE

Em decorrência de suas características de elevada relação física insumo/produto, as destilarias de álcool baseadas na biomassa devem-se localizar, preferencialmente, nas áreas produtoras das matérias-primas a serem processadas, tendo em vista evitar maiores custos com transporte.

Somente a ocorrência de casos muito especiais poderia justificar a implantação de unidades fabris desse gênero fora das áreas de produção agrícola, pois a quantidade de insumos a transportar é muito grande e, por certo, oneraria sobremaneira os custos da indústria alcooleira.

Pode-se admitir que o zoneamento para implantação de destilarias de álcool, no Nordeste brasileiro, se confunde com o próprio zoneamento de produção das matérias-primas pertinentes. Ademais, as localizações específicas de cada fábrica dependerão de outras variáveis — infra-estruturais, econômicas e sociais — passíveis de avaliação apenas quando da análise dos projetos de per si.

À época da criação do Programa Nacional do Álcool, o Ministério da Indústria e do Comércio elaborou um zoneamento sócio-econômico e ecológico, objetivando determinar áreas prioritárias para implantação de destilarias no país.

Conforme reconhece o próprio MIC, os resultados desse zoneamento inicial foram em geral satisfatórios, mas o natural desenvolvimento do Programa Nacional do Álcool mostrou a necessidade de realização de novos estudos para atualização de dados.

Nesse sentido, o Ministério da Indústria e do Comércio patrocinou a execução de novos estudos a nível estadual,* sob a coordenação das respectivas Secretarias de Indústria e Comércio, com vistas ao zoneamento das áreas passíveis de implantação de destilarias de álcool etílico no Brasil.

* Ver bibliografias: 1, 2, 8, 24, 31, 32, 33, 36, 38.

A pesquisa se desenvolveu em três níveis, de modo a abranger, o quanto possível, o universo das peculiaridades inerentes à produção de etanol em cada Estado.

Os resultados obtidos para cada Estado, até o momento (outubro/80), não foram devidamente discutidos pelo Ministério da Indústria e do Comércio e, por conseguinte, ainda não se tem uma definição desse órgão sobre as novas áreas a serem consideradas aptas para a produção de matérias-primas destinadas à fabricação de etanol no país, com vistas ao atendimento dos objetivos e metas do Programa Nacional do Alcool.

Em termos mais concretos, dispõe-se para a região apenas do zoneamento edafoclimático feito pela SUDENE para as culturas da cana-de-açúcar e da mandioca, em 1976, quando da elaboração do "Plano de Expansão da Produção de Alcool no Nordeste".⁴¹ Neste trabalho são apontadas as áreas mais indicadas para o cultivo das mencionadas lavouras, consoante consta do mapa 1.

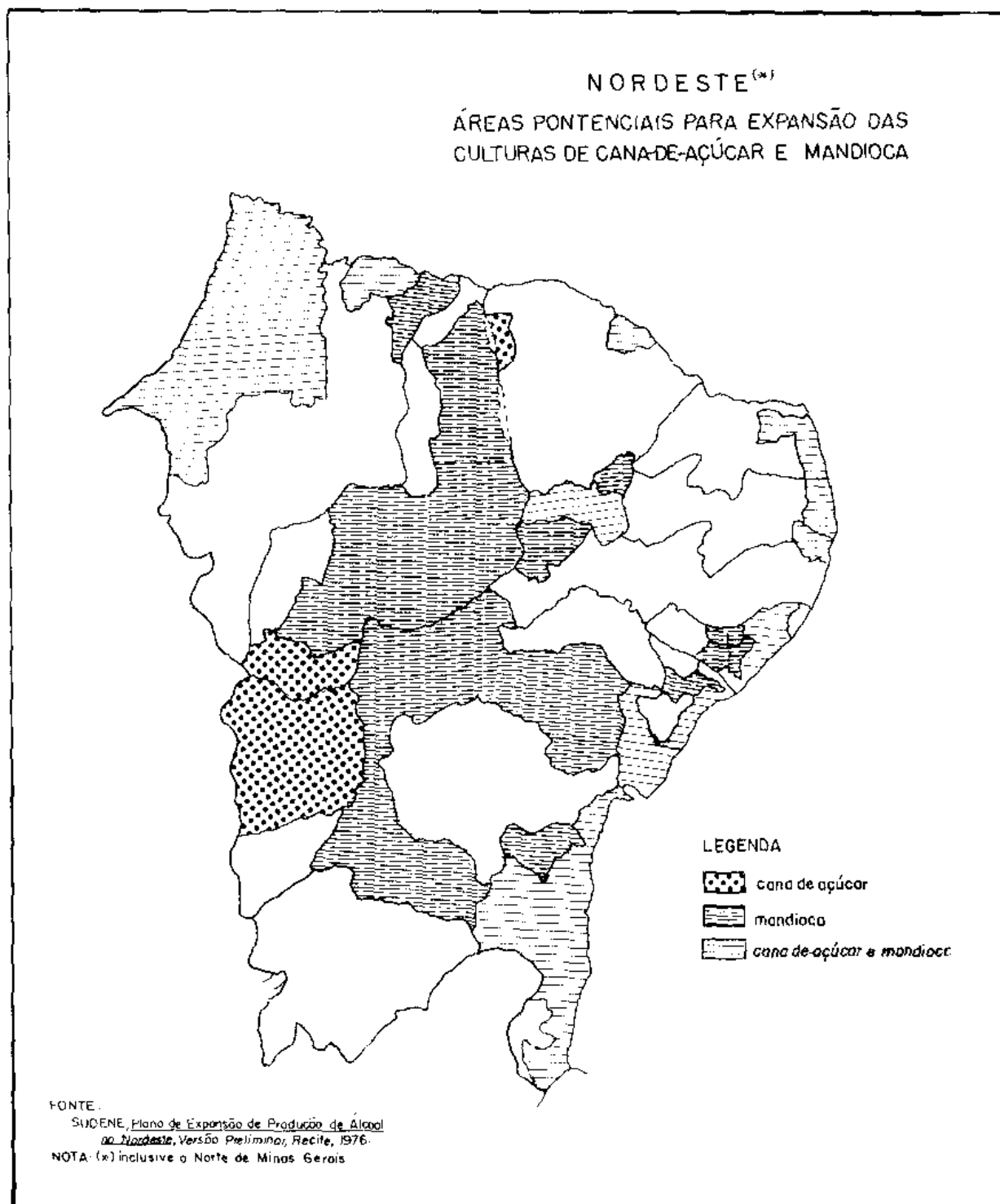
A seleção das áreas foi feita através da compatibilização das características de clima e solo, em geral aqui observadas, com as respectivas exigências das culturas antes referidas. Do ponto de vista climático, identificaram-se seis zonas para a cana-de-açúcar e cinco para a mandioca, a saber:

1º) Zonas para a Cultura da Cana-de-açúcar

Faixa A — Compreende a zona litorânea dos Estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, parte do oeste do Maranhão e da Bahia e pequenas elevações (áreas de "brejo") em diferentes Estados. Apresenta excedentes hídricos anuais acima de 200 mm e deficiência entre 50 e 400 mm. Referida faixa é considerada apta para a cultura canavieira.

Faixa B — Abrange a zona litorânea do sul da Bahia. É considerada marginal para a produção de cana-de-açúcar, por apresentar umidade contínua durante todo o ano, sem estação seca para repouso e colheita. A deficiência hídrica anual é inferior a 50 mm.

Faixa C — Representada pelo litoral e centro do Maranhão e pequena parte do oeste baiano, é tida como apta com restrições, visto que a estação seca é muito prolongada, exigindo irrigação suplementar. Embora apresente excedente hídrico superior a 200 mm, registra uma deficiência entre 400 e 600 mm anuais.



Faixa D — Correspondendo a partes do agreste do Rio Grande do Norte, da Paraíba, de Pernambuco, de Alagoas, de Sergipe e da Bahia, à chapada da Diamantina, oeste baiano e ao Cariri cearense, é considerada marginal para a lavoura canavieira por deficiências hídricas no período vegetativo e exige irrigação artificial para sua utilização. O excedente hídrico anual situa-se entre 0 e 200 mm e a deficiência entre 50 e 600 mm.

Faixa E — Formada pelo Estado do Piauí, Centro-Sul, litoral cearense e parte do agreste do Rio Grande do Norte, é também considerada marginal por apresentar deficiência hídrica muito elevada, superior a 600 mm anuais. A irrigação suplementar é tida como indispensável para a exploração comercial dessa gramínea.

Faixa F — Equivale, praticamente, a todo o centro da região Nordeste, onde predomina a vegetação de caatinga. Registra elevada insuficiência hídrica, sendo, portanto, considerada inapta para a exploração da cana-de-açúcar, em larga escala.

2º) Zonas para a Cultura da Mandioca

Faixa A — Abrange o oeste do Maranhão e da Bahia, o litoral e parte sul da região (nos Estados da Bahia e Minas Gerais). Apresenta-se como apta ao cultivo da mandioca. O excedente hídrico anual está acima de 200 mm e a deficiência aquém deste valor.

Faixa B — Corresponde à parte do litoral sul da Bahia e é definida como marginal para a lavoura da mandioca por apresentar umidade muito elevada e contínua durante o ano inteiro.

Faixa C — Abrange quase todo o Estado do Maranhão, o Piauí, centro-oeste da Bahia, agreste e litoral oriental do Nordeste, sul do Ceará e oeste da Paraíba. Poderá ser considerada plenamente apta à exploração da mandioca, desde que conte com irrigação suplementar a fim de sanar a deficiência hídrica que se situa entre 200 e 800 mm anuais. Sem irrigação, deve ser considerada marginal.

Faixa D — Representada pelo centro da Bahia e também pode ser considerada marginal por deficiências hídricas.

Faixa E — Equivale ao sertão e parte do litoral cearense, ao sertão do Rio Grande do Norte e da Paraíba e região do Médio São Francisco e é classi-

ficada como inapta para a cultura da mandioca, por apresentar deficiência hídrica superior a 800 mm anuais.

Ressalte-se que, paralelamente ao trabalho da SUDENE, existem também os zoneamentos ecológicos para a cana-de-açúcar, a mandioca e o babaçu, elaborados por Antônia T. Melo e Daniel Barrera,²⁵ Manuel Cláudio Motta Macedo²³ e Antônio Mariano de Campos Mendes.²⁶

Levando em conta que os zoneamentos aqui referidos foram feitos com base em informações edafoclimáticas globais, a nível de microrregiões homogêneas, não se pode mensurar com exatidão as áreas de fato utilizáveis para exploração das culturas em referência, fazendo-se necessária, para tanto, a efetivação de estudos mais pormenorizados, a fim de que se tenham condições de identificar, especificamente, as áreas mais recomendáveis para cada caso.

No tocante às mini e microdestilarias, entende-se que elas poderão localizar-se de forma bastante pulverizada em toda a região. Tratando-se de pequenas unidades fabris, necessitarão de áreas muito reduzidas para a produção das matérias-primas a utilizar, podendo, então, ser encontradas mesmo em zonas aprioristicamente não-recomendáveis para esse fim.

Logicamente, a implantação de mini e microdestilarias, em termos específicos, fica condicionada à existência, no local escolhido para o empreendimento, de outros fatores favoráveis ao bom desenvolvimento e operacionalização das empresas, tais como: disponibilidade de mão-de-obra, facilidades de comunicação e distribuição do produto aos centros consumidores etc., fatores a serem avaliados, com pormenores, durante a análise de cada projeto.

8 — CONCLUSÕES

A curto e médio prazos, quatro culturas poderão ser utilizadas como fonte de matérias-primas para a produção de álcool no Nordeste brasileiro: cana-de-açúcar, sorgo sacarino, mandioca e babaçu.

A curto prazo, a cana-de-açúcar é a lavoura que reúne as melhores condições para emprego na indústria alcooleira, por ser uma cultura tradicional na região e por propiciar resultados altamente positivos em termos de balanço energético.

O sorgo sacarino, tão logo sejam superados alguns problemas na área agrícola, representará outra grande opção para a indústria alcooleira do Nordeste, porquanto é um vegetal com possibilidade de ser cultivado praticamente em toda a região. De fato, o sorgo sacarino, além de apresentar rendimento agrícola e industrial igual ou mesmo superior ao da cana-de-açúcar, para a fabricação de álcool, é pouco exigente em água, adaptando-se perfeitamente às características climáticas do Nordeste.

A mandioca também apresenta condições favoráveis para emprego como matéria-prima na indústria nordestina de álcool; no entanto, existem dois impasses para seu uso imediato:

- a) a utilização da mandioca para a produção de álcool etílico no Nordeste fica na dependência da realização de cultivos adicionais para essa finalidade específica, porquanto a produção atual de raízes é insuficiente até mesmo para o pleno atendimento da demanda para fins alimentícios; e
- b) diferentemente da cana-de-açúcar, do sorgo sacarino e do babaçu, a industrialização da mandioca destinada à fabricação de álcool implica a necessidade do uso de combustível extracultura, vez que o emprego da rama como fonte de energia não é recomendável, dado seu grande valor protéico para alimentação animal.

Tudo indica que a utilização do babaçu para a fabricação do álcool fica

condicionada, economicamente, à exploração do coco para a produção de carvão, a partir do endocarpo, que é o principal componente do fruto do babaçu, tanto em termos físicos como em valor. O beneficiamento isolado do mesocarpo, fração amilácea do coco, afigura-se antieconômico. Neste aspecto, deve-se ressaltar que atualmente se produz apenas moinha de carvão, que tem mercado limitado. Somente quando se conseguir a obtenção de briquete, para emprego na redução de minérios em geral, é que também se poderá usar o fruto do babaçu como fonte de álcool.

Dadas as características de elevada relação insumo/produto, as destilarias de álcool baseadas na biomassa devem-se localizar, preferencialmente, nas áreas produtoras das matérias-primas a serem processadas. Portanto, o zoneamento para a implantação de micro e minidestilarias de álcool corresponde ao próprio zoneamento das culturas a explorar para esse fim.

No tocante às lavouras passíveis de utilização na indústria alcooleira, existem, para o Nordeste brasileiro, o zoneamento feito pela SUDENE (para as culturas da cana-de-açúcar e da mandioca) e os zoneamentos elaborados por Antônio T. Melo/Daniel Barrera (cana-de-açúcar), por Manuel Cláudio Motta Macedo (mandioca) e por Antônio Mariano de Campos Mendes (babaçu).

Esses levantamentos foram realizados levando em conta as características edafoclimáticas das microrregiões homogêneas do Nordeste e as exigências das culturas em clima e solo. É, portanto, um zoneamento bastante genérico e não permite a especificação e mensuração das áreas realmente utilizáveis para a exploração das citadas lavouras.

Particularmente com respeito às mini e micro destilarias, admite-se que poderão ser localizadas de modo bastante disperso em todo o Nordeste, visto que apenas necessitam de pequenas áreas como suporte à produção das matérias-primas que irão processar, e que poderão ser encontradas até mesmo em locais a princípio não recomendáveis.

As análises já realizadas para medir, em termos físicos, a eficiência energética do álcool etílico no Brasil, segundo as várias matérias-primas utilizadas, têm indicado vantagens para todas as situações pesquisadas — cana-de-açúcar, sorgo e mandioca.

Esse tipo de análise, contudo, não é suficiente para mensurar a real possibilidade do emprego de uma matéria-prima como fonte de produção de

álcool, fazendo-se necessária uma complementação, através da aferição dos resultados econômicos de todo o processo produtivo.

De fato, para os cinco diferentes projetos de micro e minidestilarias, cujas estimativas de custos de produção foram aqui apresentadas, dois — IPT e CODISTIL/DEDINI — não deram indicação de viabilidade econômica. Entre os outros quatro projetos, um deles — STI/INT — somente se afigura viável caso se considere o preço oficial do álcool hidratado pago ao produtor do Norte/Nordeste (Cr\$ 20,90.07/l) mais o denominado “subsídio de equalização de custos” para álcool de produção direta (Cr\$ 8,51.75/l).*

Além dos aspectos puramente econômicos que sugerem viabilidade, pelo menos para três projetos dos cinco cujos custos de produção foram analisados, deve-se salientar que ainda existem limitações de natureza tecnológica para as micro e minidestilarias. Neste sentido, pode-se afirmar que a tecnologia da produção de álcool etílico por via fermentativa, embora de há muito conhecida, ainda carece de aperfeiçoamentos (pelo menos para os projetos de microdestilarias aqui considerados) que proporcionem, comprovadamente, entre outros resultados, rendimentos industriais mais elevados e melhor qualidade do produto. Somente dessa forma poder-se-iam reduzir efetivamente os custos de produção de modo a tornar as microdestilarias plenamente viáveis.

A respeito da minidestilaria proposta no plano do professor Corsini, não obstante se apresente viável, deve-se esclarecer que, no momento (outubro/80), o projeto da unidade industrial não se encontra sequer no estágio de unidade-protótipo e que prevê a utilização de uma cultura (sorgo sacarino) ainda não difundida no país.

No tocante ao projeto Mandioca-Pecuária-Aguapé, desenvolvido pelo Núcleo de Fontes Não-convencionais de Energia da Universidade Federal do Ceará, que também se mostra viável, deve-se igualmente acrescentar que se trata de um sistema proposto de produção de energia de biomassas, com várias peculiaridades a serem ainda efetivamente testadas: adequabilidade do solo para plantio da mandioca nas proximidades dos reservatórios de água (açudes), onde será cultivado o aguapé; utilização de açudes privados e públicos para cultivo de aguapé; aproveitamento de biogás (metano), para suprir praticamente 100% da energia primária (combustível do gerador de vapor) do processo industrial de produção do álcool; tipo especial de empreendimento para produzir álcool (a receita da empresa inclui além do álcool, ração e bio-

* IAA. Ato n. 31/80 — 26.09.80.

fertilizante, os produtos de outro componente do sistema proposto — pecuária-leite e carne), e, por fim, a própria produção de álcool a partir da mandioca, cuja tecnologia ainda não é tão conhecida e dominada como, por exemplo, a utilizada na produção de álcool de cana.

Quanto ao projeto de referência da STI/INT, além do que já foi mencionado anteriormente em relação à tecnologia de produção, um ponto que merece destaque, principalmente para o Nordeste, é o emprego de lenha como combustível da caldeira da unidade industrial. Embora este projeto preveja a utilização alternativa de outros combustíveis sólidos — rama da mandioca, carvão mineral, carvão vegetal e resíduos em geral — provavelmente a lenha seria o combustível a ser empregado, levando em conta que a rama da mandioca encontra uma utilização mais nobre como alimento para a pecuária bovina e que inexistem jazidas de carvão mineral na região. Caso a lenha seja realmente o combustível a ser usado, a eventual disseminação de minidestilarias de álcool de mandioca no Nordeste exigiria investimentos adicionais para a implantação de florestas para suprirem de lenha tais unidades. A utilização de reservas florestais naturais para este fim não seria indicado, pois além de provocar danos ao equilíbrio ecológico da região, levaria inevitavelmente tais reservas à exaustão.

Considerando que ainda não há definição oficial, por parte do governo federal, a respeito de um programa nacional de micro e minidestilarias, apesar dos esforços já desenvolvidos neste sentido, acha-se prematuro concluir pela total e imediata viabilidade de um programa regional de produção de álcool etílico nessas pequenas unidades industriais. Acredita-se que, a médio prazo, poderão ocorrer aperfeiçoamentos nos processos de produção, tanto no setor agrícola como no industrial. Isso, por certo, implicará melhoria na eficiência técnica do sistema produtivo desses tipos de empresas, com reflexos positivos na economicidade dos empreendimentos que poderão, assim, tornar-se plenamente viáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALAGOAS. Secretaria da Indústria e do Comércio. **Rezoneamento sócio-econômico e ecológico do Estado de Alagoas**. Maceió, 1979. 1 v. (Convênio MIC).
2. BAHIA. Secretaria da Indústria e Comércio. Programa do Alcool. **Rezoneamento das áreas para implantação de destilarias**. Salvador, 1979, v. 2. (Convênio MIC/SIC-BA).
3. BRANDINI, Adhemar. **Minidestilaria de álcool para a energização rural**. Brasília, EMBRAPA, 1979, 8 f. (Apresentado no Seminário sobre Energização Rural).
4. BRASIL, Ministério da Indústria e do Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial. **O Desempenho da Secretaria de Tecnologia Industrial – período 1974/78**. Anexo 1: Programa tecnológico industrial de alternativas energéticas de origem vegetal; programa tecnológico do etanol. Brasília, 1979, 111 f.
5. _____. Instituto Nacional de Tecnologia. **Álcool de mandioca 10.000 L/D (Hidratado)**; projeto de referência; s. l; s. d. 96 f.
6. BRASIL. Presidência da República. Secretaria de Planejamento. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **Avaliação tecnológica do álcool etílico**. Brasília, 1979, 514 p.
7. CANA-DE-AÇÚCAR. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Comissão Nacional de Energia. **Biomassa: matérias-primas**. Brasília, 1979, pp. 58-83.
8. CEARÁ. Secretaria de Indústria e Comércio. **III Pólo industrial do Nordeste**; Projeto: rezoneamento de áreas para implantação de destilarias de álcool no Ceará. Fortaleza, 1980, 135 p.

9. CODISTIL. **Minidestilaria para álcool anidro ou retificado industrial** — capacidade 20.000 litros/24 horas; especificações técnicas. Piracicaba-SP, 1980, 15 f.
10. COPERSUCAR. **Considerações sobre a relação de paridade entre o açúcar e o álcool**. São Paulo, 1978, 21 f.
11. CORREA, Hélio. A Cultura da mandioca como matéria-prima na produção de álcool. In: **SIMPÓSIO ESTADUAL DO ÁLCOOL**, 1º, Divinópolis-MG, 1977. **Anais**; s. l., EMATER-MG, 1977, pp. 81-99.
12. CORSINI, Romeu. **Plano das miniusinas de álcool hidratado**. São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 1979.
13. _____. Parte 2: Economia e Parte 3: Implementação, 1979.
14. DANTAS, Bento. Contribuição da lavoura canavieira para a produção de combustível líquido. In: **SIMPÓSIO ESTADUAL DO ÁLCOOL**, 1º, Divinópolis-MG, 1977. **Anais**; s. l. EMATER-MG, 1977, pp. 57-73.
15. _____. **Contribuições do setor agropecuário para a solução da crise energética**. Recife, SUDENE. Departamento de Agricultura e Abastecimento, 1979, 53 p. (Palestra proferida em 13.09.79).
16. DEDINI. **Destilarias autônomas de álcool etílico utilizando cana-de-açúcar como matéria-prima**; análise econômico-financeira; s. l., s. d., 8 f.
17. DEON HULETT CONSULTORES. **Microdestilaria**; 100 litros p/hora álcool combustível 92-96º GL. Piracicaba-SP, s. d., 1 p.
18. EMBRAPA INFORMATIVO. Brasília, n. 36, mar. 1980.
19. GIANNETTI, Waldyr Antonio. **Captação da indústria brasileira para atendimento do Programa Nacional do Alcool**. Londrina, s. ed., 1979, 18 f. (Palestra proferida no Simpósio Nacional de Alcool Carburante, Londrina-PR).
20. HUGOT, E. **Manual de engenharia açucareira**. São Paulo, Mestre Jou, 1977, v. 1.

21. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO. **Mini-usinas para produção de álcool etílico.** São Paulo, s. d., 23 f.
22. ———. Divisão de Química e Engenharia Química. **Manual de construção e operação de uma microusina de álcool etílico.** São Paulo, 1980, 2 v.
23. MACEDO, Manuel Cláudio Motta. Zoneamento ecológico da cultura da mandioca: considerações sobre o Nordeste. In: **SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO DO ALCÓOL NO NORDESTE**, 1º, Fortaleza, BNB, 1977, pp. 293-308.
24. MARANHÃO. Secretaria de Indústria, Comércio e Turismo. **Rezzoneamento das áreas para implantação de destilarias no Maranhão.** São Luís, 1979, 1 v.
25. MELO, Antonia T. & BARRERA, Daniel. Zoneamento agrícola da cana-de-açúcar no Nordeste. In: **SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO DE ALCÓOL NO NORDESTE**, 1º, Fortaleza, 1977. *Anais*. Fortaleza, BNB, 1977, pp. 243-81.
26. MENDES, Antonio Mariano de Campos. Zoneamento de ocorrência do Babaçu. In: **SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO DE ALCÓOL NO NORDESTE**, 1º, Fortaleza, 1977. *Anais*. Fortaleza, BNB, 1977, pp. 317-41.
27. MENEZES, Tobias J. B. de et alii. Possibilidades de produção de álcool a partir de sorgo sacarino. In: **SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO DE ALCÓOL NO NORDESTE**, 1º, Fortaleza, 1977. *Anais*. Fortaleza, BNB, 1977, pp. 211-29.
28. MILFONT Jr., Wilson & PINHO, Sylvio Geyger de. Álcool direto de cana e mandioca: problemas e oportunidades no contexto do Proálcool. In: **SEMINÁRIO SOBRE ENERGIA DE BIOMASSAS NO NORDESTE**, 1º, Fortaleza, 1978. *Anais*, Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 1978.
29. ———. Problemas e oportunidades no contexto do Proálcool. *Petro & Química*, 2(16):39-48, dez. 1979.
30. OUTRAS fontes de biomassa para produção de etanol. In: BRASIL, Comissão Nacional de Energia. **Biomassa; matérias-primas.** Brasília, 1979, pp. 104-111.

31. PARAÍBA. Secretaria da Indústria e do Comércio. Coordenadoria de Programas Especiais. **Rezoneamento em apoio ao Programa Nacional do Alcool**. (Áreas para implantação de destilarias). João Pessoa, 1979, 171 p. (Convênio MIC/SIC-PB).
32. PERNAMBUCO. Secretaria de Indústria, Comércio e Minas. NAI. **Projeto rezoneamento sócio-econômico e ecológico do Estado de Pernambuco**; Pernambuco potencialidades para a produção de álcool. Recife, 1979, 1 v. (Convênio MIC/SG/SCO).
33. PIAUÍ. Secretaria de Indústria e Comércio. **Zoneamento para implantação de destilarias no Piauí**, atualização e adaptação de trabalhos. Teresina, 1979, 75 p.
34. PROQUIP & CONGER. **Estudo para implantação de minidestillarias autônoma de álcool hidratado — capacidade 10.000 litros/24 horas**; orçamento. Piracicaba-SP, 1979, 30 f.
35. ———. **Estudo para implantação de minidestillaria autônoma de álcool hidratado — capacidade 20.000 litros/24 horas**; orçamento. Piracicaba-SP, 1979, 30 f.
36. RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de Indústria e Comércio. **Rezoneamento para implantação de destilarias**; s. l., 1978, 1 v.
37. ROSA, A. V. da. **Projeto aguapé**. Campinas-SP, CODETEC, s. d., 14 p. (Boletim CODETEC, 7702).
38. SERGIPE. Secretaria da Indústria e Comércio. **Rezoneamento para implantação de destilarias em Sergipe**; s. l., 1979, 155 p.
39. SILVA, José Gomes da et alii. **Balanço energético cultural da produção de álcool etílico de cana-de-açúcar, mandioca e sorgo sacarino — fase agrícola e industrial**. *Brasil Açucareiro*, 87(6):8(452)-21(465), dez. 1976.
40. SIQUEIRA, Luís E. M. de. **Utilização de etanol para operação de turbinas**. In: SEMINÁRIO SOBRE ENERGIA DE BIOMASSAS NO NORDESTE, 1º, Fortaleza, 1978. *Anais*. Fortaleza, UFC, 1978.
41. SUDENE. **Plano de expansão da produção de álcool no Nordeste**. Recife, 1976, 43 f. (Versão preliminar).

42. TIBAU, Arthur Aberlaender. Projeto de aproveitamento do vinhoto. **Brazil Açucareiro**, 81(2):57(145)-65(153), fev. 1973.
43. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Núcleo de Fontes Não-con-
vencionais de Energia. **Programas de pesquisa**. Fortaleza, 1979, 23 f.
44. _____. **Sistema mandioca-aguapé**. Fortaleza, 1979, 1 v.
45. _____. **Sistema mandioca-pecuária-aguapé**. Fortaleza, 1980, 54 f.
46. YANG, Victor & TRINDADE Sérgio C. The Brazilian gasohol program.
Development Digest, 17(3):12-24, July 1979.

An Abstract: In this report, they present information about the industrial and agronomical aspects with reference to the small demand ethylic alcohol distilleries, named micro and mini-distilleries, that is, units capable of supplying up to 5 thousand, 10 thousand and 20 thousand liters of alcohol a day respectively. The document herewith, represents the summary of a research report produced by ETENE in 1980, destined to examine the possibilities of implanting mini and micro-distilleries of ethylic alcohol in the Northeast. Based on that research we conclude that it is still too early to implant a regional program for the production of ethylic alcohol in small industrial units. The first chapter comments on the raw materials liable to be utilized for the production of ethylic alcohol, where it is proved that, at a short term, the sugar cane only, can be used to that purpose. In the next chapters they describe the ethanol production process through leavening and also comment on the industrial plans proposed to that end. In another chapter they deal with the economic aspects pertaining to several examined plans in the document, and finally, the writers' conclusions are exposed in the present work.

