



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola de Química



DME, O Combustível do Futuro

Mariana Monteiro Fortes

Monografia em Engenharia Química

Orientador

Prof. Eduardo Falabella Sousa-Aguiar, D.Sc.

Dezembro de 2009

DME, O COMBUSTÍVEL DO FUTURO

Mariana Monteiro Fortes

Monografia em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenharia Química.

Aprovado por:

Adriano do Couto Fraga, Eng. Químico.

Eledir Vitor Sobrinho, D.Sc.

Isabela Brito dos Santos, M.Sc.

Orientado por:

Prof. Eduardo Falabella Sousa-Aguiar, D.Sc.
(EQ-UFRJ/ CENPES)

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Dezembro de 2009

Fortes, Mariana Monteiro.
DME, O Combustível do Futuro / Fortes, Mariana Monteiro. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ,
2009.
(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2009.
Orientadores:
Eduardo Falabella Sousa-Aguiar.

*Dedico este trabalho ao meu querido avô, Helio de Sá Rego Fortes,
profissional exemplar e apaixonado pela Engenharia Química.*

“O futuro mais brilhante é baseado num passado intensamente vivido. Você só terá sucesso na vida quando perdoar os erros e as decepções do passado. A vida é curta, mas as emoções que podemos deixar duram uma eternidade.”

Clarisse Lispector

AGRADECIMENTOS

À minha família e ao meu namorado por seu amor e paciência durante a caminhada da graduação, por seus conselhos nos momentos difíceis e sua vibração com minhas conquistas.

Aos amigos pela compreensão da minha ausência em confraternizações e por nos apoiarem em momentos de preocupação.

Ao Meu querido orientador pelo vasto conhecimento transmitido a mim na elaboração do projeto, por me incentivar e acreditar no meu potencial.

Ao Reynaldo Taylor de Lima, da Petrobras/CENPES, por sua ajuda no com os custos das matérias-primas; ao Alex Azevedo Bicudo, da Petrobras/CENPES, pelas informações sobre a composição do gás de síntese; ao Valim Jaques da Silva Valle e ao Koiti Kamura, ambos da Petrobras, pela cooperação no orçamento dos equipamentos.

Ao meu pai, Helio de Sá Rego Fortes Filho, da Petrobras, pelo auxílio técnico nas simulações e na revisão do texto.

Ao meu supervisor e colegas da Petrobras pelo apoio durante o meu estágio.

Às pessoas que passaram pela minha vida e me fizeram crescer como profissional e como pessoa.

À Cristiane São Bento Gonzaga pela revisão do texto final da monografia, pelo apoio moral e pela sua amizade.

Muito Obrigada!

Mariana Monteiro Fortes.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Química.

DME, O COMBUSTÍVEL DO FUTURO

Mariana Monteiro Fortes

Dezembro, 2009.

Orientador: Prof. Eduardo Falabella Sousa-Aguiar, D.Sc.

O DME ou dimetil éter é o éter mais simples existente, tendo com fórmula estrutural CH_3OCH_3 . Este componente é utilizado como propelente em aerossóis, nas áreas de pintura, cosmética e agricultura, substituindo compostos à base de cloro e flúor, que são elementos mais nocivos ao meio ambiente, e também é utilizado na produção de vidro ultrapuro, pois sua queima não produz fuligem. Por ser uma substância com baixa toxicidade, ter uma combustão dita limpa por causa ausência de formação de compostos sulfurados ou de outras substâncias tóxicas, entre outras vantagens, o DME apresenta um grande potencial de utilização como fonte de energia ecologicamente correta. Com isso, o DME pode ser chamado de combustível do futuro.

No presente trabalho, foi feita a análise deste combustível mais limpo e ecologicamente correto para o desenvolvimento e simulação de um processo para sua produção e a análise de sua viabilidade econômica. As diversas possibilidades de matérias-primas são analisadas, sendo o gás natural e o bagaço de cana os mais viáveis. Assim, simulações das plantas partindo do gás natural e do bagaço são feitas para possíveis produções regionais ou brasileira.

A análise econômica preliminar mostra a implantação de uma planta de DME bastante viável, principalmente se utilizar como matéria-prima a produção nacional de bagaço de cana. Além disso, uma produção que utilize uma fonte renovável ajuda a amenizar o efeito estufa.

A localização da planta e o tipo de transporte do DME foram apontados partindo do princípio de que quanto mais próximo dos fornecedores de matéria-prima, mais economicamente favorável seria a implantação de uma unidade de DME.

Abstract of a Monograph presented to Escola de Química/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Chemical Engineer.

DME, FUEL OF THE FUTURE

Mariana Monteiro Fortes

December, 2009.

Supervisors: Eduardo Falabella Sousa-Aguiar, D.Sc.

The DME or dimethyl ether is the simplest ether that exists and the structural formula is CH_3OCH_3 . This component is used as a propellant in aerosols, in the areas of paint, cosmetics and agriculture, replacing compounds based on chlorine and fluorine, that are more harmful to the environment than that DME, and this compound is also used in the production of ultrapure glass, because its burning does not produce soot. As a substance with low toxicity, a clean-burning, because of the non-formation of sulfur compounds or others toxic substances, among other advantages, the DME has a great potential as an environmental friendly source of energy. Thus, DME can be called the fuel of the future.

In this work the analysis of this clean and environmental friendly fuel, the development and simulation of a process for the production and the analysis of its economic viability were done. Various possibilities of raw were analyzed and natural gas and sugar cane bagasse were the most viable. Then, simulations of DME plants from natural gas and sugar cane bagasse for regional or Brazilian production were made.

A preliminary economic analysis shows that the implantation of a plant of DME is quite feasible, especially if used as raw the nacional production of sugar cane bagasse. In addition, a production that uses a renewable source helps to mitigate the greenhouse effect.

The location of the plant and the kind of transport of DME were indicated assuming that the closer the suppliers of raw more economically favorable would be the implantation of a unit of DME.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Dimetil Éter	5
2.1.1	Caracterização	5
2.1.2	Fontes	6
2.1.3	Produção	6
2.1.4	Armazenagem e Transporte.....	7
2.1.5	Benefícios	7
2.1.6	Alternativa, Substituição ou Inserção.....	8
2.2	Tipos de Processos	9
2.3	Matéria Prima	10
3	SIMULAÇÃO DO PROCESSO	15
3.1	Processo Base (JFE)	15
3.1.1	Reforma Autotérmica	16
3.1.2	Gaseificação.....	17
3.2	Simulação em HYSYS	18
4	PRODUÇÃO NACIONAL E REGIONAL DE GÁS NATURAL E CANA-DE- AÇÚCAR	19
4.1	Gás de Síntese Produzido por Reforma Autotérmica e Gaseificação	21
5	EQUIPAMENTOS DO PROCESSO.....	28
5.1	Trocadores de Calor.....	28
5.2	Reator	29
5.3	Colunas de Destilação	30
5.4	Peneira Molecular.....	32
5.5	Bombas	33
5.6	Compressores	34
6	PLANTAS DE DME SIMULADAS	36
6.1	Detalhamento do Processo.....	43
7	ANÁLISE DA PRODUÇÃO	45
8	ANÁLISE ECONÔMICA.....	48
9	TIPOS DE TRANSPORTE.....	59

9.1	Transporte por Dutos	59
9.2	Transporte por Navios Criogênicos	61
9.3	Transporte por Malha Rodoviária	61
9.4	Transporte sob a Forma de Derivados	61
9.5	Localização	62
9.6	Análise dos Tipos de Transporte	64
10	RESULTADOS E CONCLUSÕES	67
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a nível global, se observa um grande aumento na preocupação com as questões relacionadas à saúde do ser humano e do planeta como um todo.

Tal preocupação tem ligação direta com o consumo de combustíveis. A utilização de combustíveis não-renováveis, isto é, combustíveis fósseis (gasolina, diesel, etc), é um dos fatores que mais contribuem para o agravamento da poluição atmosférica, do efeito estufa e, conseqüentemente, do aquecimento global. Dessa maneira, a utilização desse tipo de combustível extremamente poluidor também está diretamente relacionada com o aumento de doenças respiratórias.

O conceito de poluição é melhor definido como uma agressão ambiental que não pode ser absorvida em curto espaço de tempo após o término da sua fonte. No caso dos combustíveis fósseis, o CO₂ gerado na queima dos hidrocarbonetos não retorna a sua condição de origem tão facilmente, o que provoca uma alteração na composição original do ar na atmosfera de forma permanente ou muito duradoura. Já no que diz respeito aos combustíveis renováveis, cuja origem é vegetal, o CO₂ produzido pela queima destes é proveniente da absorção de CO₂ feita pelas plantas.

A energia utilizada pelas plantas para absorver o CO₂ é oriunda da fotossíntese em presença de luz solar, que representa também a absorção de calor e conseqüente redução da temperatura média do ambiente, já que a radiação solar não será convertida em calor.

A queima de combustíveis fósseis libera para a atmosfera gases como ozônio, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e monóxido de carbono. Estes gases formam uma camada de poluentes, de difícil dispersão, causando, assim, o efeito estufa.

O efeito estufa ocorre devido ao fato que, com a formação desta camada de poluentes, o calor latente liberado pela terra e a fração de radiação solar refletida pela superfície da terrestre são parcialmente impedidos de se irradiarem na forma de radiação com comprimentos de onda na faixa do infravermelho e do ultravioleta. A camada de poluentes também impede a entrada de uma parte da radiação solar, porém o poder de impedir a entrada dessa radiação é menor do que a capacidade de retenção de calor na atmosfera da terra, não permitindo a dissipação deste. O resultado deste fenômeno é o aumento da temperatura global, mais conhecido como o fenômeno do aquecimento global. O desmatamento e a queimada das florestas e das matas também contribuem para este processo de aquecimento da Terra. O efeito estufa está esquematizado na Figura 1.



Figura 1. Esquema de funcionamento do efeito estufa. [1]

Algumas consequências do aquecimento global são:

- Aumento do nível dos oceanos devido à elevação da temperatura das águas e ao derretimento das calotas polares. Com o aumento do nível das águas dos oceanos, pode ocorrer a submersão de muitas cidades litorâneas. Além disso, a elevação da temperatura dos oceanos pode causar a morte de várias espécies submarinas, como corais e alguns tipos de algas. Tal fato prejudica a produção de O_2 , uma vez que os oceanos são os maiores responsáveis pela produção de oxigênio do planeta, sendo conhecidos como os pulmões do mundo;
 - Surgimento e crescimento de desertos, o que provoca a extinção de diversas espécies animais e vegetais, desequilibrando vários ecossistemas e fenômenos naturais, como os ciclos de chuvas;
 - O aumento da evaporação das águas dos oceanos, que pode causar o aumento do número de furacões, tufões e ciclones e também sua potencialização;
 - Regiões de temperaturas amenas podem sofrer com ondas de calor, ou seja, períodos de aumento repentino e extremo de temperatura. Este fenômeno já pode ser observado no verão europeu, que tem provocado até mesmo morte de idosos e crianças.

A partir dessas constatações, foram realizadas algumas reuniões para firmar acordos mundiais, nos quais havia o comprometimento de quase todas as nações no sentido de diminuir a emissão de gases do efeito estufa. Surgiu, então, um novo conceito e talvez até mesmo um novo tipo de mercado, o mercado de créditos de carbono.

O crédito de carbono é, basicamente, uma espécie de moeda de troca, que pode ser obtido em negociações internacionais. Esses créditos são concedidos aos países que conseguem reduzir os índices de emissão de gás carbônico (CO₂) ou que tem projetos com grande potencial de redução destes. A quantidade de créditos de carbono é proporcional à redução da emissão desse gás poluente. Os créditos obtidos pelos que reduziram a poluição podem ser negociados com países cuja economia ainda é muito dependente de queima de hidrocarbonetos poluidores. Assim, um novo tipo de negociação é criado, uma vez que esses créditos podem ser negociados em bolsa de valores.

Com esse incentivo sobre a negociação de créditos e com a maior consciência do mundo no sentido de diminuir a poluição, a busca por fontes de energia alternativas menos poluidoras se acentua.

No entanto, enquanto a produção de energia renovável e, conseqüentemente, menos poluidora, não se torna viável e sustentável, algumas medidas paliativas podem ser adotadas, de forma a diminuir o impacto da utilização de energia não-renovável.

Uma medida que já está sendo adotada na Europa é a diminuição do percentual de enxofre no Diesel, pois o diesel de petróleo, quando não tratado adequadamente, tem altos índices de enxofre. Esses índices variam conforme o poço de extração do petróleo, mas, de forma geral, o petróleo contém enxofre, o que não é desejado.

Outra atitude a ser tomada para amenizar a poluição produzida na queima de combustíveis fósseis, é a melhor adequação do conjunto motor-combustível, para melhorar a eficiência de queima e, assim, diminuir a emissão de substâncias indesejáveis, como o CO, CO₂ e NOx.

Surge, então, um grande interesse na utilização de processos como o GTL (*gas to liquids*), CTL (*cool to liquids*) e BTL (*biomass to liquids*), que produzem combustíveis limpos, mesmo sendo utilizado como matéria-prima um combustível fóssil, que, no caso do GTL, é o gás natural e no do CTL, o carvão. Esse tipo de processo produz, por exemplo, um diesel livre de enxofre.

Seguindo a mesma lógica de substituição de fontes de energia poluidoras por fonte de energia limpas, o mundo começa a voltar a sua atenção também para o DME, que hoje em dia, já está sendo chamado de combustível do futuro por ter, entre outros fatores, uma combustão mais limpa.

Este trabalho tem como objetivo a análise deste combustível mais limpo e ecologicamente correto, o dimetil éter ou DME, para o desenvolvimento de um processo para sua produção e análise de sua viabilidade econômica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Dimetil Éter

2.1.1 Caracterização

O dimetil éter, também conhecido como DME, é o éter mais simples existente. Sua fórmula estrutural é CH_3OCH_3 , como ilustram as Figuras 2 e 3.

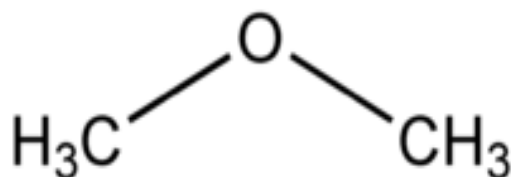


Figura 2. Fórmula Estrutural Plana do Dimetil Éter. [2]

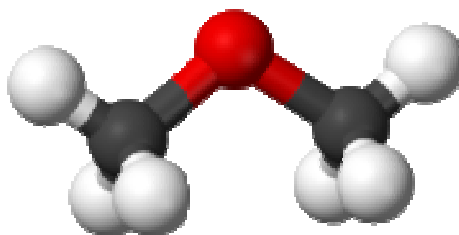


Figura 3. Fórmula Estrutural Tridimensional do Dimetil Éter. [3]

Desde 1966 o DME já vem sendo utilizado como propelente de aerossóis. Além disso, é largamente utilizado nas áreas de pintura, cosmética e agricultura, substituindo compostos à base de cloro e flúor, que são elementos mais nocivos ao meio ambiente. Este também é utilizado na produção de vidro ultrapuro, pois sua queima não produz fuligem.

O DME, à temperatura e pressão ambiente, é um gás limpo e incolor. Tal como o GLP, o DME é gasoso à temperatura e pressão normais, mas liquefaz quando submetido a modesta pressão ou refrigeração. Essa fácil liquefação torna o DME fácil de transportar e armazenar. Quando é queimado, sua chama é azul.

Hoje em dia, é notável o potencial do DME para utilização como combustível para veículos automotivos, para geração de energia elétrica, e em aplicações domésticas, como o aquecimento residencial e para a cocção.

A Tabela 1 mostra algumas características do DME comparadas às características de outros compostos que já são utilizados como combustíveis.

Tabela 1 – Características Comparativas do DME a Outros Combustíveis. [4]

Característica / Composto	DME	Diesel	Propano	Butano	Metanol
P.M.	46	190~220	44	58	32
P.E. (°C)	-24,9	180~360	-42	-0,5	65
PV (kPa)	5,1		8,4	2,1	0,32
r (g cm⁻³)	0,668	0,84	0,501	0,61	0,79
$\mu \times 10^4$ (Pa s⁻¹)	0,15	5,35~6,28	0,1	0,18	0,768
Número de Cetano	55-60	40-55			5

Este potencial de novas utilizações do DME se dá por causa de algumas propriedades e características muito nobres, incluindo a ausência de formação de compostos sulfurados ou de outras substâncias tóxicas e uma combustão dita limpa. Uma combustão limpa seria aquela que não produz fuligem e que não libera, em excesso, monóxido e dióxido de carbono.

Outros pontos importantes que incentivam o uso do DME como fonte de energia são: o fato de não ser uma substância cancerígena, não estimular mutações e ser, praticamente, não-tóxico. Além disso, o dimetil éter também é biodegradável, não corrosivo e não contamina o solo ou aquíferos no caso de um vazamento.

2.1.2 Fontes

O DME pode ser obtido a partir de diversas fontes. Isto inclui materiais renováveis como, biomassa, resíduos agrícolas e até mesmo os produtos agrícolas, e materiais não-renováveis como, o carvão, os derivados de petróleo e o gás natural.

Com essas fontes, o dimetil éter é produzido a partir do gás de síntese (CO e H₂) obtido pela gaseificação do carvão, dos derivados de petróleo ou da biomassa, bem como pela reforma do gás natural. Dessa maneira, DME é louvável, como um método limpo de utilização de carvão, em relação aos problemas ambientais globais.

Existem também processos em que a matéria-prima para a produção do DME é o metanol. No entanto, apesar de ser um processo de configuração mais simples, utiliza uma matéria-prima mais cara.

Assim, pode-se dizer que o dimetil éter é um combustível bastante versátil com relação à matéria-prima utilizada no seu processo de produção.

2.1.3 Produção

Atualmente, a produção mundial de DME é feita principalmente por meio da desidratação do metanol. No entanto, também é possível fabricá-lo diretamente a partir

do gás de síntese produzido pela gaseificação do carvão, dos derivados de petróleo ou da biomassa, ou através da reforma gás natural.

Existem ainda duas diferenças básicas nos métodos de produção: o processo de síntese direta e o processo de síntese indireta. Entre os diversos processos de transformação química do gás síntese, a síntese direta do DME é a mais eficiente, porém, a maior parte das plantas existente é de síntese indireta, uma vez que a tecnologia envolvida na produção de DME com a síntese direta é mais recente. Estes métodos serão explicados mais adiante em Tipos de Processos.

2.1.4 Armazenagem e Transporte

Para armazenar e transportar o DME não é necessário realizar muita pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias. É possível utilizar as instalações de armazenagem e a estrutura de transporte do GLP que já existem. Apenas seria preciso fazer pequenas adaptações, uma vez que o ponto de ebulição do DME é de aproximadamente -25°C e este pode ser liquefeito a uma pressão tão baixa quanto 600kPa em temperaturas normais, valores da mesma ordem de grandeza do GLP. Isso faz com que a adaptação dessas estruturas seja feita facilmente, conseguindo, assim, atender às condições ideais de armazenagem e transporte.

2.1.5 Benefícios

O DME é uma moderna e segura fonte de energia. É uma das mais promissoras alternativas de combustível para automóveis entre as várias soluções de combustíveis limpos, renováveis e de baixo teor de carbono em consideração no mundo. Quando comparado a outras fontes de energia em uso ou sob consideração hoje, é muito bem visto.

Para que o DME possa ser usado como combustível em motores a diesel, são necessárias apenas modestas modificações para converter o motor a diesel, transformando-o em um motor a DME. Também pode ser usado em motores a gasolina (30% DME/70% GLP) e em turbinas a gás. Visto isso, fabricantes de motores e veículos estão investindo mais nesse sentido e desenvolvendo veículos pesados rodando em motores a diesel alimentados com DME.

Em comparação com os combustíveis para veículos automotivos derivados do petróleo, como o diesel de petróleo, o desempenho do DME tem diversos de benefícios:

- Baixas emissões de gases de exaustão;
- Baixa emissão de NO_x (90% menos emissões de NO_x quando comparado aos combustíveis automotivos padrões);

- Nenhuma emissão de SO_x;
- Baixa emissão de CO₂;
- Diminuição do ruído do motor;
- Alta economia de combustível;
- Eficiência térmica equivalente ao desempenho do motor a diesel;
- Características de ignição equivalentes ao desempenho do motor a diesel.

A redução ou eliminação das emissões de partículas, vulgarmente conhecidas como "fuligem" ou fumaça preta, é outra importante vantagem. Os motores a diesel funcionando apenas com DME (100% DME) tem mostrado uma combustão livre de fumaça e os motores utilizando uma mistura de DME com diesel demonstraram redução significativa da fuligem.

Outros pontos positivos da utilização do DME como combustível automotivo são: o alto índice de cetano, que fica entre 55 e 60 (diesel derivado do petróleo tem um índice de cetano entre de 40 e 55), e o ponto de ebulição de aproximadamente -25°C, que permitem uma rápida mistura ar/combustível, reduzem o atraso de ignição e dão excelentes propriedades de partida fria.

De acordo com muitos estudos, o DME produzido a partir de fontes renováveis é o combustível mais eficiente, quando toda a cadeia de produção do combustível é levada em conta. Este pode ser até cinco vezes mais eficiente do que os combustíveis tradicionais, resultando em menor desperdício da energia e uma melhor utilização dos nossos recursos.

No uso automotivo, o DME tem a maior eficiência total de todos os combustíveis líquidos sintéticos, como, por exemplo, FT diesel ou metanol, e é 30% mais econômico do que gasolina em carros de passeio. Por ter uma combustão dita limpa, dispositivos de tratamento dos gases de exaustão, como catalisador no escapamento dos carros, são desnecessários.

Devido a todas as características apresentadas, o DME é um produto químico multiuso, ou seja, pode ser usado em uma grande variedade de aplicações, englobando desde a sua utilização como combustível para veículos automotivos com possibilidade de ser um substituto do GLP, produção de olefinas, gás de síntese e hidrogênio à geração de energia elétrica.

2.1.6 Alternativa, Substituição ou Inserção

Muitas vezes descrito como "GLP sintético", DME pode ser misturado ao GLP em uma proporção de até 20% e utilizado para cozinhar e no aquecimento doméstico sem modificações no equipamento ou nas redes de distribuição. Dessa maneira, é esperado um crescimento do uso do DME para aplicações domésticas, por ser um combustível mais seguro, limpo e mais ambientalmente correto.

Além disso, o DME tem um desempenho comparável ao do gás natural quando utilizado para a produção de energia elétrica e tem sido aprovado como combustível para uso em suas turbinas a gás pelos fabricantes.

2.2 Tipos de Processos

Atualmente, devido ao grande interesse mundial na busca de diferentes formas de energia mais limpa e eficiente, novas patentes relacionadas à produção de DME vem sendo requeridas e concedidas. Isto significa que é possível produzir DME com diferentes tipos de processos, por várias vias e com diferentes variáveis.

Alguns processos só se diferenciam pelas temperaturas e catalisadores, mantendo a configuração básica. Outros utilizam diferentes matérias-primas, porém mantem a mesma seqüência de equipamentos. Também há os processos totalmente inovadores que, por isso, possuem configuração e variáveis absolutamente novas.

Mesmo com uma enorme variedade de formas de produção, ainda é possível dividir os processos em duas categorias: a via indireta e a via direta.

A via indireta é a mais usualmente utilizada e se dá em duas etapas. A primeira etapa é a de formação de metanol e a segunda etapa é a de reação do metanol que tem como produto principal o DME.

A via direta consiste na produção de DME em apenas uma etapa. Esta via de produção não era a alternativa mais visada e utilizada, pois era preciso desenvolver catalisadores capazes de facilitar todas as reações envolvidas simultaneamente. Ou seja, o catalisador deve facilitar a reação de formação do metanol e, ao mesmo tempo, permitir e facilitar a reação desidratação do metanol para formar o DME, que é o produto desejado.

Os dois tipos de processo estão ilustrados na Figura 4 a seguir.

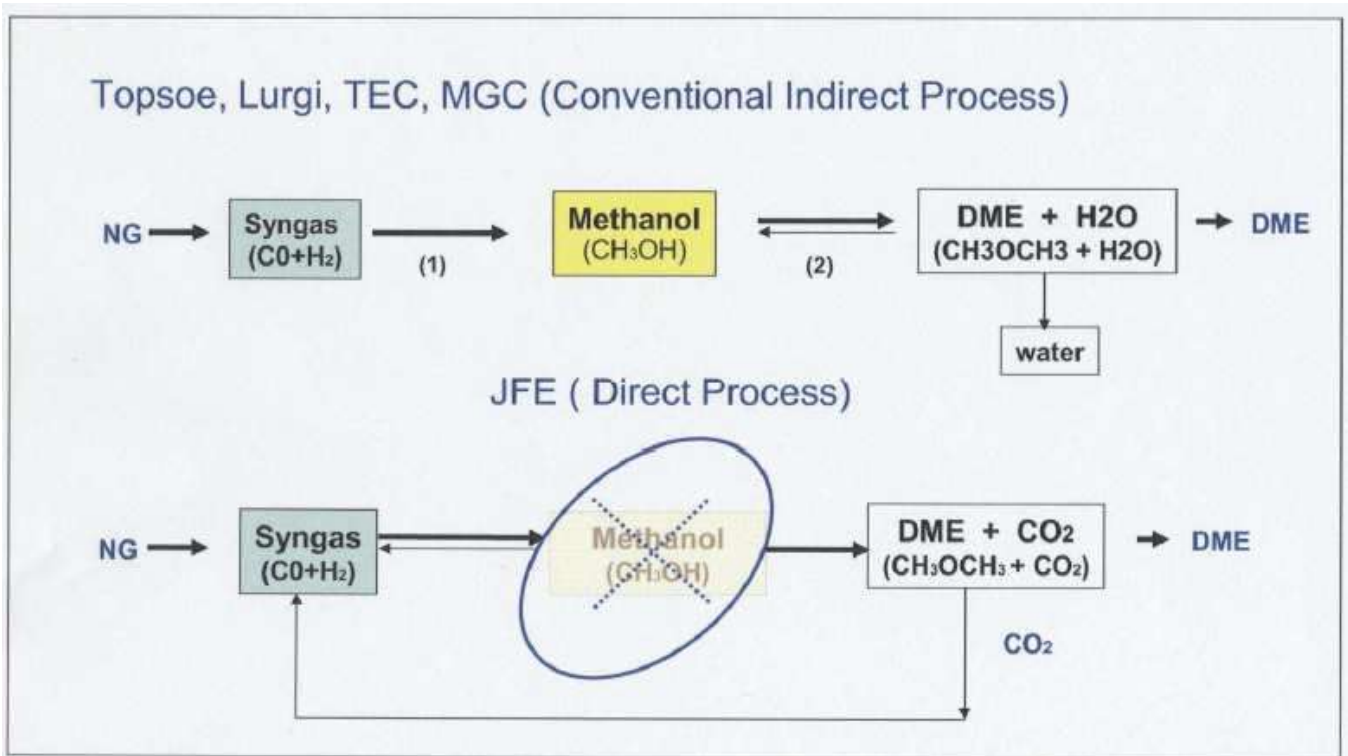


Figura 4. Fluxograma dos dois tipos de processo, processo por via indireta e processo por via direta. [7]

Muitas pesquisas no sentido de desenvolver esses catalisadores já foram feitas por vários países, incluindo o Brasil, uma vez que, com os catalisadores ideais para a síntese direta de DME, é possível desenvolver novas plantas com custos de produção menores. Estima-se que este tipo de planta com apenas um estágio seja mais econômica, pois são utilizados menos equipamentos, tendo, assim, um menor custo inicial de investimento e menor custo de manutenção, entre outros custos.

Os catalisadores desenvolvidos no Brasil, pela INT, conseguem atingir uma seletividade de até 100%. Isso significa que reações indesejadas não ocorrem (ou quase não ocorrem). Estes catalisadores também atingem conversões de 80%, em média. Como a atividade do catalisador é bastante estável, é possível manter este nível de conversão por um tempo grande.

Com a intensificação das pesquisas e o alto nível de desenvolvimento dos catalisadores com dupla função, é mais vantajoso focar os esforços e as pesquisas nos processos de obtenção de DME com apenas um estágio.

2.3 Matéria Prima

Depois de definir o tipo de processo a ser desenvolvido, é preciso escolher o tipo de matéria-prima. No entanto, essa tarefa não é tão trivial, uma vez que é preciso realizar avaliações e comparações antes de a decisão ser tomada.

Primeiro, listam-se todas as opções existentes. Então, pode-se dizer que praticamente tudo que já se usa como matéria-prima no setor energético pode ser usado, desde o carvão, petróleo, coque e gás natural, até a biomassa.

Devido ao fato de o Brasil ter muito pouco carvão em sua matriz energética, fazer uma planta de DME baseada na utilização do carvão como matéria-prima seria uma incoerência. Outra razão pela qual o carvão deve ser descartado é porque o carvão brasileiro é muito rico em cinzas, o que abriria uma outra questão ambiental para ser resolvida, pois essas cinzas são poluentes e de difícil solução ambientalmente correta.

A utilização do petróleo também não seria uma escolha muito desejada, já que o objetivo é desenvolver uma alternativa à utilização do petróleo como fonte energética. Além disso, o petróleo já é utilizado para outros fins em indústrias já consolidadas e rentáveis. Sendo assim, seria difícil o desvio dessa matéria-prima para outra indústria que não fosse a petroquímica tradicional.

O coque até poderia ser considerado uma matéria-prima em potencial, apenas pelo fato de ser uma fração do petróleo um pouco mais difícil de ser aproveitada. Contudo, a esta fração do petróleo já tem outros fins com maior valor agregado, como a produção de aço, onde é utilizado como eletrodo, o craqueamento catalítico, para a obtenção de frações mais nobres, entre outros. Sendo assim, o coque será inicialmente descartado como matéria-prima.

O gás natural é encontrado no subsolo, por acumulações em rochas porosas, isoladas do exterior por rochas impermeáveis, associadas ou não a depósitos petrolíferos. Ele é formado a partir da decomposição de materiais orgânicos que são acumulados em rochas durante milhares de anos. Neste processo de decomposição, atuam microorganismos de forma anaeróbica. Essa matéria orgânica foi soterrada a grandes profundidades e, por isto, sua degradação se deu fora do contato com o ar, a grandes temperaturas e sob fortes pressões.

Consiste em uma mistura de hidrocarbonetos leves (composto químico formado por átomos de carbono e hidrogênio e com baixo peso molecular). É um gás inodoro e incolor, que à temperatura ambiente e pressão atmosférica, permanece no estado gasoso, não é tóxico e é mais leve que o ar. Grande parte do gás natural, cerca de 70%, é formada pelo gás metano. Também fazem parte da composição do gás natural o etano, o propano, o butano, o nitrogênio, o oxigênio e o enxofre.

Depois de tratado e processado, é utilizado largamente em residências, no comércio, em indústrias e em veículos. As especificações para seu consumo são dadas pela Portaria n. 41 de 15 de abril de 1998, emitida pela Agência Nacional do Petróleo, a qual agrupou o gás natural em 3 famílias, segundo a faixa de poder calorífico. O gás comercializado no Brasil enquadra-se predominantemente no grupo M (médio), cujas especificações são:

- Poder calorífico superior (PCS) a 20 °C e 1 atm: 8.800 a 10.200 kcal/m³

- Densidade relativa ao ar a 20 °C: 0,55 a 0,69
- Enxofre total: 80 mg/m³ máximo
- H₂S: 20 mg/m³ máximo
- CO₂: 2 % em volume máximo
- Inertes: 4 % em volume máximo
- O₂: 0,5 % em volume máximo
- Ponto de orvalho da água a 1 atm: -45 °C máximo
- Isento de poeira, água condensada, odores objetáveis, gomas, elementos formadores de goma, hidrocarbonetos condensáveis, compostos aromáticos, metanol ou outros elementos sólidos ou líquidos.

Com a descoberta de novos campos petrolíferos no Brasil, a produção de petróleo e seus derivados consequentemente aumenta, abrindo, assim, novas possibilidades de utilização desses produtos. Como já foi dito que não seria possível desviar parte da produção de petróleo para a produção de DME, a atenção volta-se para o aumento da produção de gás natural, como pode ser visto na Figura 5.

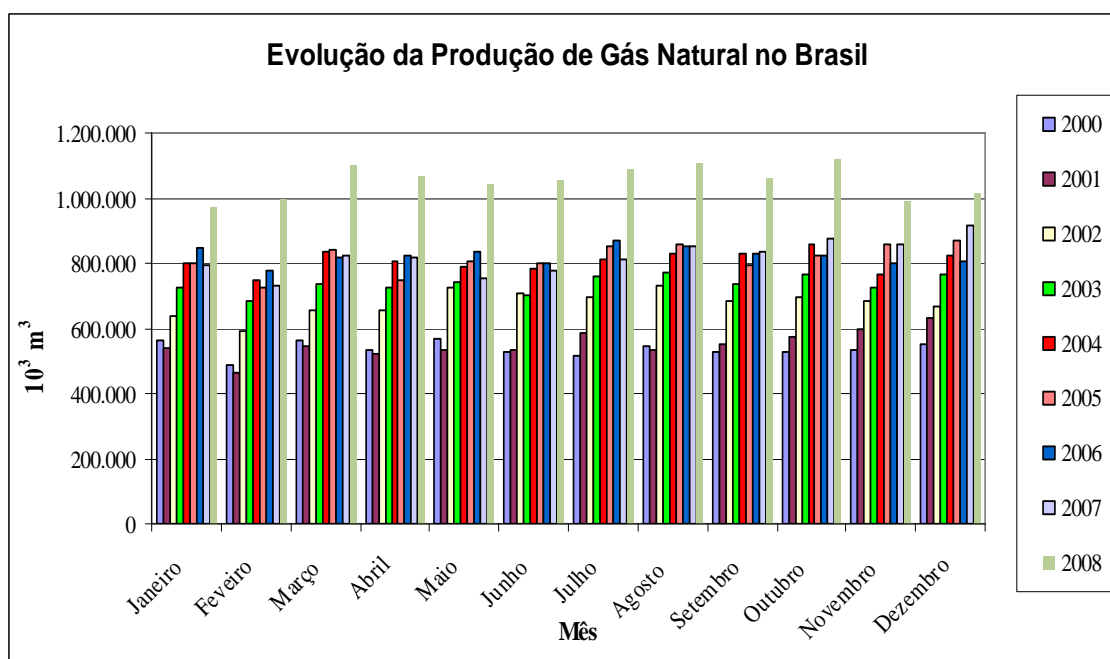


Figura 5. Evolução da produção de gás natural. [5]

Parte do gás natural já tem um destino certo, contudo todos estes destinos já tem sua demanda bem atendida, o que permite pensar na utilização de uma parte da produção do gás natural como matéria-prima na produção de DME.

Já a utilização de biomassa como matéria-prima é muito bem vista, pois, por exemplo, o bagaço da produção de cana-de-açúcar é queimado. Parte da energia gerada na queima é aproveitada na própria produção de etanol e de açúcar e o resto é

desperdiçado. Ou seja, essa biomassa está sendo subutilizada, podendo ter um destino mais nobre quando utilizado na produção de DME. Além disso, com o grande aumento da produção de cana-de-açúcar, como pode ser visto na Figura 6, mais bagaço seria desperdiçado, o que incentiva, ainda mais, a sua utilização como insumo da produção de DME.

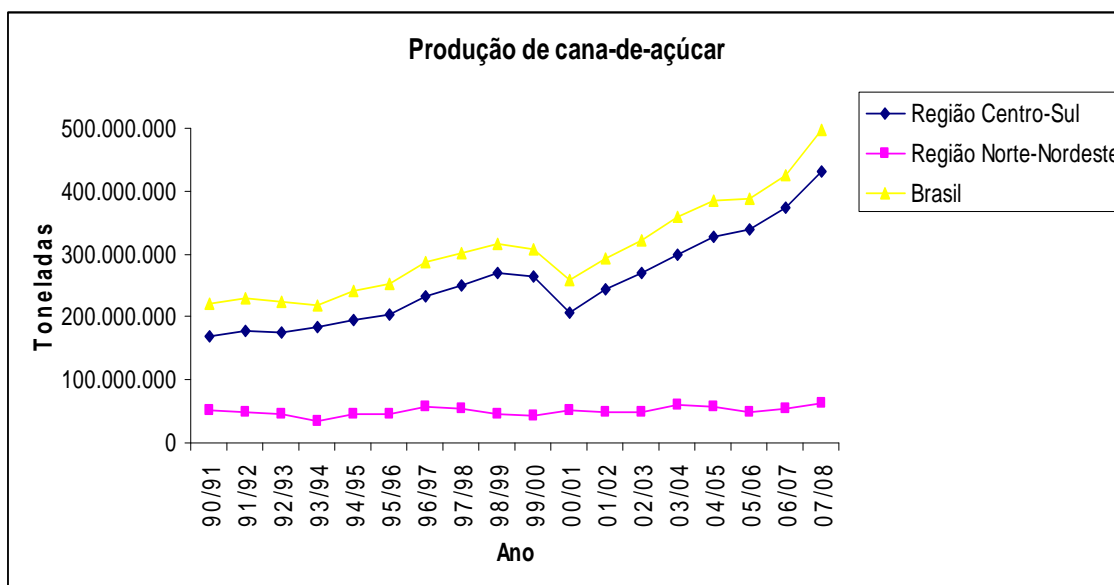


Figura 6. Evolução da produção de cana-de-açúcar. [6]

Existe, também, uma lei de setembro de 2002, do estado de São Paulo, que é o maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, a qual proíbe, gradativamente, a queima da palha e do bagaço de cana-de-açúcar. Esta lei acaba por tornar necessário o aproveitamento desse bagaço de uma maneira mais ecologicamente correta.

Outros estados, como Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás e Paraná, também regulamentaram leis específicas para a redução das queimadas nas lavouras de cana, através de normas e decretos.

Porém, a partir de junho de 2006, as indústrias de açúcar e álcool teriam novas metas para a eliminação completa das queimadas nos canaviais, pois a União de Indústrias da Cana de Açúcar (UNICA) assinou um protocolo de intenções, no qual aceita eliminar as queimadas até 2014 nas chamadas “áreas mecanizáveis”.

A principal mudança provocada pela assinatura do protocolo refere-se ao prazo de eliminação total da queima da cana. As usinas e os produtores que aderirem ao protocolo deverão antecipar o prazo final de eliminação da queimada de 2021 para 2014, nos terrenos com declividade até 12%, adiantando e aumentando, também, o percentual de cana não queimada de 50% para 70%, em 2010. Já para os terrenos com

declividade acima de 12%, o prazo final deverá ser antecipado de 2031 para 2017. E o percentual será adiantado para 2010 e aumentado de 10% para 30%.

Outras mudanças propostas são relacionadas à não utilização de queimadas na área de extensão de canaviais, não permitir a queima dos subprodutos como o bagaço da cana a céu aberto, proteger as matas ciliares, proteger e reflorestar as nascentes, desenvolver plano de conservação do solo e dos recursos hídricos, adotar boas práticas para o descarte de embalagens vazias e minimizar a poluição atmosférica na indústria.

Esse acordo foi feito porque a queima da palha, método usado para facilitar a colheita, e do bagaço da cana-de-açúcar, seja ao ar livre ou nas caldeiras da usina, libera grandes quantidades de material particulado. Este material particulado está associado aos resíduos de cinzas, fuligens e entre outros materiais, o que causa problemas respiratórios na população das zonas urbanas próximas aos canaviais, principalmente em crianças e idosos, uma vez que o período de queimada coincide com o período em que a umidade relativa do ar está mais baixa. Isso porque, ao inalar o material particulado, este penetra nos pulmões e pode causar, por exemplo, a diminuição da capacidade respiratória. Este material provoca, ainda, efeitos estéticos indesejáveis em virtude de sua cor escura e causa incômodos ao bem-estar da população, devido à sua precipitação nas ruas e nas residências.

Por todos esses motivos, o bagaço de cana seria uma ótima opção de matéria-prima na produção de dimetil éter.

Portanto, as duas grandes alternativas de matéria-prima seriam o gás natural e a biomassa, mais especificamente o bagaço de cana-de-açúcar. E para analisar essas duas fontes e dizer, ao certo, qual delas é a melhor opção, foram feitas pesquisas no sentido de verificar qual é a mais econômica, qual é a mais vantajosa em todos os aspectos para o país e qual é a mais viável logisticamente para a produção e distribuição.

3 SIMULAÇÃO DO PROCESSO

3.1 Processo Base (JFE)

JFE é um dos maiores produtores de aço no Japão. Este iniciou a pesquisa sobre processo direto de produção de DME em 1989 com a finalidade de utilizar o gás residual do forno de coque, rico em CO e H₂, que é um subproduto da sua fábrica de aço. Depois alguns anos, eles construíram uma planta piloto com capacidade de produção de 5 toneladas de DME por dia, que foi operada com sucesso de 1997 a 2001.

A empresa JFE afirma que o processo com dois estágios (reforma autotérmica + síntese DME – via direta) é energeticamente mais eficiente e menos onerosos do que os processos convencionais com três estágios (reforma autotérmica + síntese de metanol + síntese de DME por desidratação de metanol – via indireta). O diferencial deste processo de uma única etapa para os outros foi o desenvolvimento de um reator de leito de lama, que pode facilmente remover a grande quantidade de calor gerado pela única etapa da reação exotérmica de formação de DME. O diagrama de processo de um estágio desenvolvido pela indústria produtora de aço JFE Pode ser vista na Figura 7.

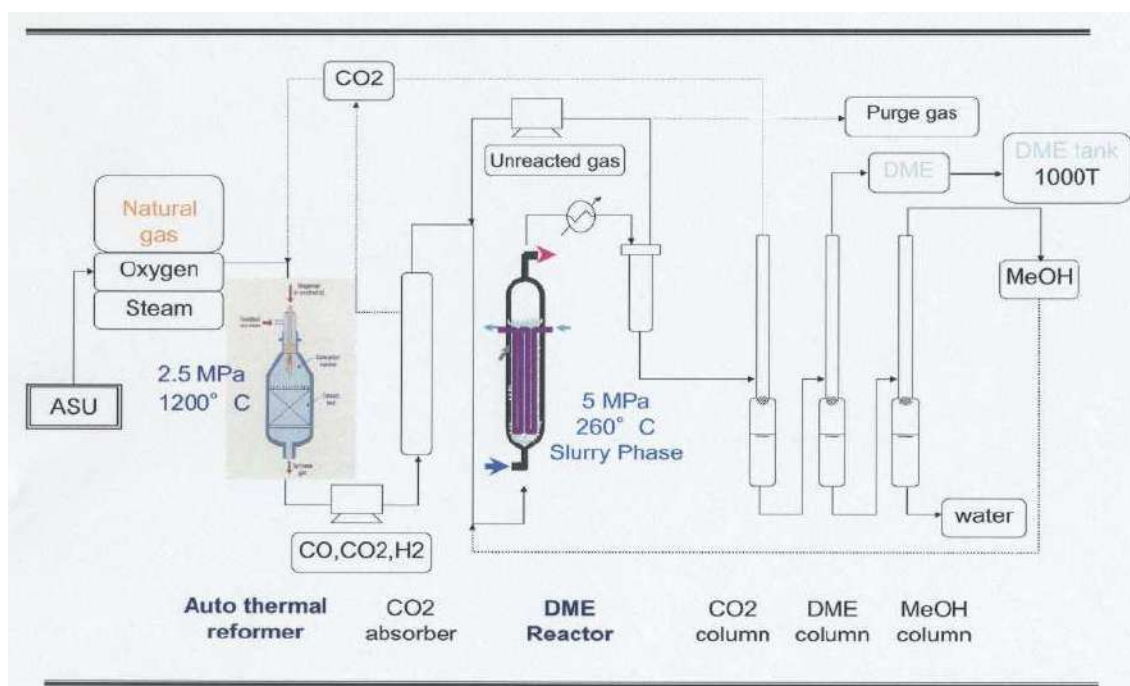


Figura 7. Diagrama do processo JFE. [7]

A etapa de reforma autotérmica, como é possível ver no diagrama, serve para produzir o gás de síntese, que é a base da reação para a produção de DME. O gás de síntese, como já mencionado anteriormente, é a mistura de CO e H₂.

A formação deste gás de síntese pode ser feita a partir de diversas fontes, inclusive biomassa e gás natural. Porém, a forma de produção é diferente por serem matérias-primas bem diferentes, principalmente no que diz respeito ao aspecto físico. A biomassa é sólida e o gás natural, como o próprio nome diz, é um gás.

Para produzir gás de síntese a partir do gás natural é utilizado o processo de reforma autotérmica e, quando a matéria-prima de partida é uma biomassa, utiliza-se um processo chamado gaseificação.

Como o processo que será focado é o da transformação do gás de síntese em DME, a simulação foi feita partindo deste ponto da produção. Com isso, as simulações se diferenciaram, basicamente, pela vazão e composição de entrada e pela capacidade dos equipamentos.

3.1.1 Reforma Autotérmica

A reforma autotérmica, ATR (*Autothermal Reforming*), é operada como uma combinação da reforma a vapor convencional (SRM) e da oxidação parcial não-catalítica (POX ou NC-POM) sob condições termicamente neutras, consideradas as perdas de calor para a vizinhança. O processo associa os efeitos citados através da alimentação do combustível, do oxidante e da água em um leito catalítico. Dessa maneira, é possível conduzir o processo a temperaturas mais baixas que na reforma a vapor convencional ou na oxidação parcial não-catalítica.

A principal vantagem desse tipo de reação consiste no fato de se realizar ao mesmo tempo uma reação exotérmica (oxidação parcial) e uma reação endotérmica (reforma a vapor) otimizando assim os custos energéticos da unidade industrial.

A temperatura da reforma é afetada diretamente pelas razões molares de alimentação O_2/CH_4 e H_2O/CH_4 , quando se usa como combustível o gás natural. A razão H_2/CO pode ser controlada combinando-se a redução da razão vapor/carbono com a reciclagem do CO_2 no reformador. A composição do produto não só é afetada pelas razões molares da alimentação, como também pela temperatura da reforma, pela atividade e seletividade catalítica e pelo tempo de residência no leito catalítico.

Ao contrário da reforma por oxidação parcial, a reforma autotérmica utiliza um catalisador para reformar o gás natural em gás de síntese na presença de vapor e oxigênio. O catalisador usualmente empregado nesse tipo de processo é o de níquel.

Devido às condições de operação mais brandas (temperatura de saída pode variar de 1200 – 1400 K) e o uso de vapor (uma razão vapor/carbono normalmente maior que 1,3), o gás de síntese é livre de fuligem e são produzidas quantidades menores de NH_3 e HCN, quando comparado com reforma por oxidação parcial.

3.1.2 Gaseificação

A produção de energia através da gaseificação é uma tecnologia utilizada a mais de cem anos. Ela foi esquecida por um longo tempo devido ao baixo preço dos combustíveis fósseis. No entanto, após as crises do petróleo, seu estudo foi retomado.

Segundo Bridwater (1991) [8], a gaseificação, a pirólise e a liquefação constituem as principais tecnologias alternativas básicas para a conversão termoquímica da biomassa que são estudadas atualmente e que possuem grande potencial de desenvolvimento. Cada uma delas oferece uma ampla faixa de oportunidades de utilização dos produtos obtidos, operando com diferentes configurações de equipamentos e parâmetros de trabalho.

Segundo Belgiorno (2003) [9], a gaseificação é um processo de conversão térmica para produzir um gás combustível ou um gás de síntese para posterior utilização. No processo podem ser usados diferentes tipos de agentes de gaseificação como ar, O₂ e vapor d'água. O gás combustível produzido pode ser usado para a produção de energia, em turbinas a gás, motores ou ainda em caldeiras, enquanto o gás de síntese pode ser utilizado para a produção de diversos produtos como amônia, metanol e DME.

A gaseificação é um processo complexo, durante o qual o combustível passa pelas seguintes etapas [10]:

- Oxidação parcial da biomassa por um agente oxidante, normalmente oxigênio ou ar;
- Aquecimento da biomassa e evaporação da umidade;
- Pirólise através do aumento da temperatura, 150 a 500 °C, neste processo resulta da transformação do alcatrão e produtos gasosos;
- Redução dos componentes gasosos produzidos durante as etapas anteriores por fortes reações endotérmicas.

A gaseificação pode ser classificada em direta e indireta. A gaseificação direta ocorre quando o agente de gaseificação é utilizado para oxidar parcialmente o material, fornecendo energia para manter a temperatura do processo. Já na gaseificação indireta o processo é conduzido com agentes de gaseificação isentos de oxigênio. Neste tipo de gaseificação indireta, o processo é conduzido em atmosfera inerte.

Dessa maneira, o processo de gaseificação da biomassa consiste na sua transformação em um gás combustível, contendo proporções variáveis de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, metano, vapor d'água e alcatrões. A composição do gás produzido depende de diversos fatores, tais como, o tipo do reator, introdução ou não de vapor de água, e principalmente do conteúdo de umidade da biomassa a ser gaseificada.

No caso das tecnologias de aproveitamento da biomassa, quer seja de resíduos de madeira, agrícolas, urbanos ou industriais, o Brasil já possui um competente parque

industrial para fornecimento de equipamentos e sistemas de geração elétrica. Paralelamente, tecnologias novas como gaseificação de biomassa, estão sendo aprimoradas para diferentes combustíveis. O Brasil participa deste processo de desenvolvimento internacional, estando bastante avançado no processo de gaseificação de biomassa de cana de açúcar, folhas e resíduos de madeira.

3.2 Simulação em HYSYS

Para analisar as possibilidades de desenvolvimento e implantação de uma ou mais plantas de produção de DME, escolher a melhor matéria-prima para sua produção e verificar a forma de produção com maior rentabilidade e viabilidade econômica, foram realizadas simulações.

Para a simulação do processo, optou-se pela utilização do software HYSYS versão 3.2. Essa escolha foi baseada na facilidade utilização do software e pelo fato de este ter uma boa interface gráfica, o que permite uma melhor visualização da configuração do processo. Além disso, o balanço de massa é facilitado pelo software.

Essas simulações foram feitas tomando como base a configuração e algumas variáveis como temperatura e pressão do reator principal e razão de CO/H_2 na entrada do reator do processo sugerido por JFE. Todas as outras variáveis foram obtidas através de testes de otimização do processo.

A escolha do pacote chamado fluidodinâmico, que contém equações termodinâmicas, foi baseada nos componentes químicos presentes na simulação. E, devido ao fato de o processo apresentar tanto compostos polares quanto compostos apolares, optou-se pelo pacote UNIQUAC, que atende de forma satisfatória às características de todos os componentes.

Para a padronização das simulações, tomou-se como base uma configuração específica. Nesse caso, o processo adotado foi o de via direta (uma etapa), como já foi explicado anteriormente, e o processo sugerido por JFE foi escolhido para orientar a simulação.

4 PRODUÇÃO NACIONAL E REGIONAL DE GÁS NATURAL E CANA-DE-AÇÚCAR

Para comparar os processos com diferentes matérias-primas, são necessárias informações de produção de gás natural e de bagaço de cana-de-açúcar. Nas Tabelas 2, 3 e 4 são apresentados os valores das produções nacionais e regionais do gás natural e da cana-de-açúcar.

Tabela 2 - Produção Nacional de Gás Natural. (ANP) [5]

Gás Natural Nacional Disponível (10^3 m^3)						
Mês /Ano	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Janeiro	798626,74	802513,462	846045,374	792415,1415	972689,121	827803,6479
Fevereiro	746069,515	722520,836	778498,927	729065,4871	997484,001	772265,9145
Março	835359,109	839874,176	816094,238	823956,909	1101516,37	879221,5718
Abril	805632,421	748434,55	820878,125	814868,9122	1063864,42	806101,273
Mai	786382,253	805892,1	834932,815	755326,0509	1041736,59	922735,4386
Junho	782822,738	797413,812	797868,773	779387,0905	1052591,59	915918,1447
Julho	812768,794	852093	871090,017	809366,1927	1092293,89	
Agosto	826578,967	857028	850558,519	849562,2859	1109309,09	
Setembro	828728,425	794171	829346,867	834677,5225	1063344,22	
Outubro	855974,607	821606	825336,302	873083,9781	1120569,1	
Novembro	767249,579	856492	802326,903	856053,2468	991224,49	
Dezembro	824826,815	867747,549	806415,751	913322,7857	1012858,93	
Total do Ano	9671019,96	9765786,48	9879392,61	9831085,603	12619481,8	5124045,991

Tabela 3 - Produção Regional de Gás Natural. (ANP) [5]

Gás Natural Regional Disponível (10^3 m^3)						
Localidade / Ano	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Alagoas	980609,6492	1030614,382	956710,8267	817075,2809	680200,9772	256020,8653
Amazonas	346213	359307	378594,0299	405707,546	409860,0031	208224,2341
Bahia	1978613,662	1828314,909	1746470,767	2322969,045	2924132,658	1176042,652
Ceará	66919,033	50766,2691	37242,2569	17329,1986	9523,14559	4746,988
Espírito Santo	432118,5156	421950,9063	447895,1999	471538,4618	2411263,379	454169,3411
Rio de Janeiro	4124429,819	4388277,98	4736856,814	4487116,399	5071965,816	2511519,021
Rio Grande do Norte	1018725,122	992300,3495	907245,1559	840016,7152	654030,7371	275294,8289
São Paulo	379611	373285	350523,83	316080	237401,859	95419,489
Sergipe	343780,1615	320969,6882	317853,7322	153253,1801	221103,2476	142608,5709
Região Norte-Nordeste	4734860,627	4582272,597	4344116,768	4556350,966	4898850,768	2062938,139
Região Sul-Sudeste	4936159,335	5183513,886	5535275,844	5274734,861	7720631,054	3061107,852
Total do Ano	9671019,962	9765786,484	9879392,612	9831085,827	12619481,82	5124045,991

Tabela 4 - Produção Nacional e Regional de Cana-de-Açúcar. (MAPA) [6]

Cana de Açúcar (Processada pelas Usinas Brasileiras)					
Estados / Safra (Toneladas)	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09^(*)
Rondônia					106.292
Amazonas	267.767	252.672	224.700	318.141	303.350
Pará	580.999	510.086	697.400	575.525	626.865
Tocantins		95.314	179.300		55.456
Maranhão	1.275.119	1.797.490	1.660.300	2.134.604	2.280.160
Piauí	349.329	492.369	706.000	689.130	900.181
Ceará	79.444	40.709	27.400	8.250	122.355
R. G. Norte	2.917.677	2.356.268	2.397.400	2.047.750	3.186.768
Paraíba	5.474.229	4.291.473	5.107.700	5.653.047	5.885.978
Pernambuco	16.684.867	13.858.319	15.293.700	19.844.415	18.949.517
Alagoas	26.029.770	22.532.291	23.635.100	29.444.208	27.300.666
Sergipe	1.465.185	1.109.052	1.136.100	1.371.683	1.736.514
Bahia	2.268.369	2.391.415	2.185.600	2.522.923	2.541.816
Minas Gerais	21.649.744	24.543.456	29.034.195	35.723.246	42.480.968
Espírito Santo	3.900.307	3.804.231	2.894.421	3.938.757	4.373.248
Rio de Janeiro	5.638.063	4.799.351	3.445.154	3.831.652	4.018.840
São Paulo	230.280.444	243.767.347	263.870.142	296.313.957	346.292.969
Paraná	28.997.547	24.808.908	31.994.581	40.369.063	44.829.652
Santa Catarina	0	0	0	0	0
R. G. Sul	77.997	57.976	91.919	128.980	107.184
Mato Grosso	14.447.155	12.335.471	13.179.510	14.928.015	15.283.134
Mato Grosso do Sul	9.700.048	9.037.918	11.635.096	14.869.066	18.090.388
Goiás	14.006.057	14.559.760	16.140.043	21.082.012	29.486.508
Região Centro-Sul	328.697.362	337.714.418	372.285.061	431.184.748	504.962.891
Região Norte-Nordeste (**)	57.392.755	49.727.458	53.250.700	64.609.676	63.995.918
Brasil	386.090.117	387.441.876	425.535.761	495.794.424	568.958.809

* Os valores apresentados na tabela referem-se a posição em 16/05/09.

** Os dados da safra 2008/2009 para a Região Norte-Nordeste ainda não foram finalizados.

4.1 Gás de Síntese Produzido por Reforma Autotérmica e Gaseificação

Tendo as informações sobre a produção brasileira de cana e gás natural, pesquisaram-se processos de reforma autotérmica e gaseificação. Nessa pesquisa, alguns dados, como o rendimento e a razão dos componentes do produto, foram adquiridos.

Dados de planta piloto com o processo de gaseificação de bagaço de cana-de-açúcar:

- Produção de gás de síntese: 2,5 a 2,7 Nm³ de gás de síntese/ kg de bagaço seco.

A composição média do gás de síntese partindo do bagaço de cana é mostrada na Tabela 5 apresentada a seguir.

Tabela 5 - Composição do Gás de Síntese Obtido por um Processo de Gaseificação. [11]

Componente	% Volumétrica
Hidrogênio	9,8
Nitrogênio	57,19
Monóxido de carbono	11,9
Dióxido de carbono	16,97
Metano	3,57
Eteno	0,57
Total	100

Dados de planta comercial com o processo de reforma autotérmica utilizando o gás natural:

- Produção de gás de síntese: 2,42 Nm³ de gás de síntese / Nm³ de gás natural.

A composição média do gás de síntese partindo do gás natural é mostrada na Tabela 6 apresentada a seguir.

Tabela 6 - Composição do Gás de Síntese Obtido por um Processo de Reforma Autotérmica.[12]

Componente	% Volumétrica
Hidrogênio	66,31
Nitrogênio	0,32
Mon carbono	33,11
Diox carbono	0,08
Metano	0,18
Total	100

Juntando as informações de produção com os dados dos processos de gaseificação e de reforma autotérmica, chega-se aos dados de partida para a simulação.

A partir de pesquisas referentes à quantidade de bagaço produzido por tonelada de cana colhida, pode se constatar que a cada tonelada de cana-de-açúcar processada, são produzidos de 240 a 280 quilos de bagaço. Para essa variação ser eliminada, será adotado o valor de 250 quilos de bagaço por tonelada de cana processada, ou seja, 25% da cana. Estes valores da safra de 2007/2008 são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Tabela da Produção de 2007/2008 de Cana-de-Açúcar. [13]

Bagaço	
Estados / Safra (tonelada)	07/08
Rondônia	0
Amazonas	79.535
Pará	143.881
Tocantins	0
Maranhão	533.651
Piauí	172.283
Ceará	2.063
R. G. Norte	511.938
Paraíba	1.413.262
Pernambuco	4.961.104
Alagoas	7.361.052
Sergipe	342.921
Bahia	630.731
Minas Gerais	8.930.812
Espírito Santo	984.689
Rio de Janeiro	957.913
São Paulo	74.078.489
Paraná	10.092.266
Santa Catarina	0
R. G. Sul	32.245
Mato Grosso	3.732.004
Mato Grosso do Sul	3.717.267
Goiás	5.270.503
Região Centro-Sul	107.796.187
Região Norte-Nordeste	16.152.419
Brasil	123.948.606

Na Tabela 8, é possível ver o potencial de produção de gás de síntese a partir do processo de gasificação por estado, por região e nacional. Estes valores de produção de gás de síntese foram obtidos a partir dos valores de produção de bagaço de cana e dos dados de produção do processo de gaseificação.

Tabela 8 - Produção Potencial de Gás de Síntese pela Gaseificação do Bagaço da Cana-de-Açúcar. [13]

Gás de Síntese (2600 Nm³ de gás de síntese/Ton bagaço de cana)	
Estados / Safra	07/08
Rondônia	0
Amazonas	206.791.650
Pará	374.091.250
Tocantins	0
Maranhão	1.387.492.600
Piauí	447.934.500
Ceará	5.362.500
R. G. Norte	1.331.037.500
Paraíba	3.674.480.550
Pernambuco	12.898.869.750
Alagoas	19.138.735.200
Sergipe	891.593.950
Bahia	1.639.899.950
Minas Gerais	23.220.109.900
Espírito Santo	2.560.192.050
Rio de Janeiro	2.490.573.800
São Paulo	192.604.072.050
Paraná	26.239.890.950
Santa Catarina	0
R. G. Sul	83.837.000
Mato Grosso	9.703.209.750
Mato Grosso do Sul	9.664.892.900
Goiás	13.703.307.800
Região Centro-Sul	280.270.086.200
Região Norte-Nordeste	41.996.289.400
Brasil	322.266.375.600

Como os dados de produção de gás natural encontram-se em m³, foi necessário fazer uma transformação de unidade para Nm³. Essa transformação foi feita com o auxílio de uma fórmula derivada da fórmula PV = nRT, como mostra a Equação (1):

$$\frac{P \times V}{T} = \frac{P_o \times V_o}{T_o} \quad (1)$$

Onde:

P → pressão desejada (1 atm)

V → volume desejado (valor a ser calculado)

T → temperatura desejada (273K)

Po → pressão original (1 atm)

Vo → volume original (valores de 2008 da tabela 3)

To → temperatura original (293K)

Assim, foi possível obter os valores expostos na Tabela 9 mostrada abaixo.

Tabela 9 - Produção de Gás Natural em 2008 em 10^3 Nm^3 . [14]

Gás Natural Regional Disponível (10^3 Nm^3)	
Localidade / Ano	2008
Alagoas	633770,88
Amazonas	381883,21
Bahia	2724533,16
Ceará	8873,10
Espírito Santo	2246672,02
Rio de Janeiro	4725756,55
Rio Grande do Norte	609387,00
São Paulo	221196,95
Sergipe	206010,88
Região Norte-Nordeste	4564458,22
Região Sul-Sudeste	7193625,52
Total do Ano	11758083,74

Tomando, também, como base a produção do ano de 2008 e os dados de produção do processo de reforma autotérmica, foi possível calcular a produção potencial de gás de síntese por reforma autotérmica de gás natural. Esses valores podem ser vistos na Tabela 10.

Tabela 10 - Produção Potencial de Gás de Síntese Obtido pela Reforma Autotérmica do Gás Natural. [14]

Gás de Síntese (2,42 Nm³ de gás de síntese / Nm³ de gás natural)	
Localidade / Ano	2008
Alagoas	1533725520,81
Amazonas	924157370,81
Bahia	6593370245,17
Ceará	21472905,68
Espírito Santo	5436946293,41
Rio de Janeiro	11436330839,59
Rio Grande do Norte	1474716541,89
São Paulo	535296628,56
Sergipe	498546319,32
Região Norte-Nordeste	11045988902,34
Região Sul-Sudeste	17408573761,56
Total do Ano	28454562659,39

No entanto, conforme foi exposto anteriormente, grande parte do gás natural já tem outros destinos certos. Por isso seria mais sensato e correto utilizar uma fração da produção. Com isso, chegou-se ao valor de 10% da produção de gás natural. Sendo assim, a tabela mostrando a produção de gás de síntese, por reforma autotérmica, com os 10% da produção de gás natural é a Tabela 11, mostrada a seguir.

Tabela 11 - Produção de Gás de Síntese por Reforma Autotérmica com 10% da Produção de Gás Natural.

[14]

Gás de Síntese (produção (Nm³) correspondente a 10% do gás natural)	
Localidade / Ano	2008
Alagoas	153372552,081
Amazonas	92415737,081
Bahia	659337024,517
Ceará	2147290,568
Espírito Santo	543694629,341
Rio de Janeiro	1143633083,959
Rio Grande do Norte	147471654,189
São Paulo	53529662,856
Sergipe	49854631,932
Região Norte-Nordeste	1104598890,234
Região Sul-Sudeste	1740857376,156
Total do Ano	2845456265,939

A Tabela 12 mostra a produção de gás de síntese, tanto de origem de reforma autotérmica do gás natural, quanto de origem de gaseificação de cana-de-açúcar, em

mols por hora. Essa conversão foi feita com base, novamente, na equação de estado dos gases ideais (2) :

$$PV = nRT, \quad (2)$$

Onde:

$$P = 1 \text{ atm};$$

V = volume de gás de síntese em Nm³ obtido nas Tabelas 8 e 11 (produzido por reforma autotérmica ou gaseificação);

$$R = 0,00008206 \text{ (m}^3 \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)};$$

$$T = 273 \text{ K (0}^\circ\text{C)}$$

$$n = \text{mols}$$

Tabela 12 - Produção de Gás de Síntese por Reforma Autotérmica e Gaseificação. [13] [14]

GÁS DE SÍNTESE (produção correspondente a 10% do gás natural)				
Região / Produção	por ano	Nm3 por dia	Nm3 por hora	mols por hora
Região Norte-Nordeste	1104598890,234	3026298,329	126095,764	5628677,119
Região Sul-Sudeste	1740857376,156	4769472,263	198728,011	8870843,677
Brasil	2845456265,939	7795770,592	324823,775	14499520,794
GÁS DE SÍNTESE (2600 Nm³ de gás de síntese/Ton bagaço de cana)				
Região / Produção	por ano	Nm3 por dia	Nm3 por hora	mols por hora
Região Centro-Sul	280270086200	767863249,863	31994302,078	1428165314,472
Região Norte-Nordeste	41996289400	115058327,123	4794096,963	213999448,428
Brasil	322266375600	882921576,986	36788399,041	1642164762,900

A partir destes valores apresentados na Tabela 12, a vazão da corrente inicial da simulação da planta de DME pode ser inserida. E juntamente com as composições dadas pelas Tabelas 5 e 6 a simulação foi iniciada. Isso porque esta é a única corrente na qual será necessária a inserção de composição. Nas outras correntes, a composição é calculada pelo próprio simulador.

5 EQUIPAMENTOS DO PROCESSO

Os equipamentos que constituem a planta de produção de dimetil éter proposta na simulação serão explicados a seguir.

5.1 Trocadores de Calor

Um trocador de calor é um equipamento onde ocorre o processo de troca térmica entre dois fluidos em diferentes temperaturas. Podemos utilizá-los no aquecimento e resfriamento de ambientes, no condicionamento de ar, na produção de energia, na recuperação de calor e em processos químicos. Ou seja, este equipamento pode ser utilizado tanto para o resfriamento, quanto para o aquecimento.

É possível classificar os trocadores de diversas maneiras: quanto ao modo de troca de calor, quanto ao número de fluidos, tipo de construção, entre outros tipos de classificações. Porém, de uma forma mais simplificada, duas classificações são utilizadas: uma que divide os trocadores entre aqueles que utilizam o contato direto e os que utilizam contato indireto e uma outra que os classifica em função das suas características de construção.

Há diversos tipos de trocadores e um dos mais usados industrialmente é o de feixe tubular, ilustrado na Figura 8. Este tipo é constituído por um conjunto de tubos envolto por um casco, onde um dos fluidos circula no interior dos tubos e o outro fluido escoo no lado externo.

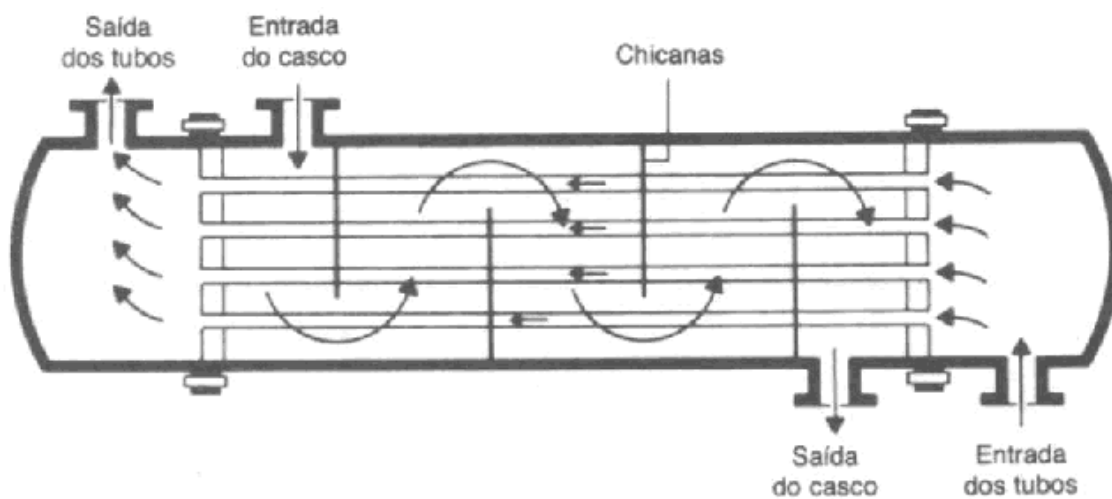


Figura 8. Trocador de Calor casco e tubos com um passe no casco e um passe nos tubos (Contracorrente). [15]

5.2 Reator

Reatores são, basicamente, tanques (ou recipientes) onde as reações ocorrem. Existem vários tipos de reatores, mas como o processo descrito por JFE foi tomado como base, o reator utilizado no processo seria um reator de leito fluidizado.

A fluidização de um meio é um estágio intermediário, em que as partículas não estão paradas neste meio, mas também não estão sendo arrastadas. Este estágio é conseguido ao se passar uma corrente líquida ou gasosa num leito, de modo a agitar as partículas sólidas presentes.

Ao ser fluidizado com um gás, o leito sólido passa a se comportar como um meio líquido, como ilustrado na Figura 9 abaixo. Na figura, a moeda, que se encontrava em repouso sobre o leito, cai quando este leito passa a ser fluidizado.

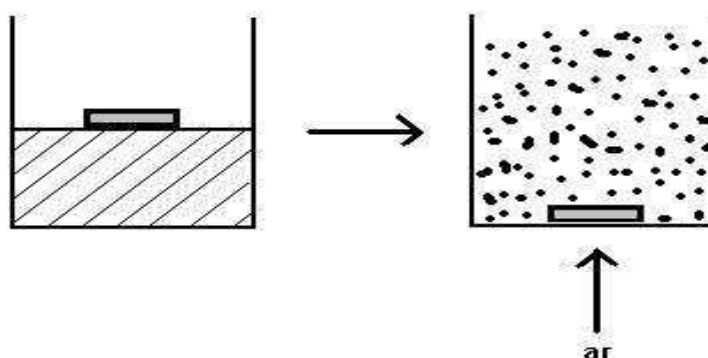


Figura 9. Exemplo de leito fluidizado com gás. [16]

Vasos de leito fluidizado são muito utilizados na indústria química, pois apresentam uma transferência de calor e de massa mais uniforme que os reatores convencionais, graças às suas boas características de mistura. Sendo assim, são ideais para processos de secagem, desidratação e também na manutenção da temperatura em processos de catálise heterogênea, isto é, com catalisadores sólidos, que é o que ocorre no reator de leito fluidizado da planta de DME.

Os vasos de leito fluidizado têm se popularizado na indústria química graças também à sua construção simples, ao seu tamanho compacto, à sua alta eficiência térmica e à sua segurança inerente por não possuir partes móveis, com exceção dos dispositivos de alimentação e de descarga.

Porém, como o atrito contribui para formação de pó (as partículas sólidas que se quebram), é necessário que a unidade seja parada para que o leito sólido possa ser repostado.

Existe também uma questão muito importante envolvendo a vazão do fluido na fluidização. Dependendo da vazão, as bolhas de fluido (gás ou líquido) se unem, formando bolsões que se desviam das partículas sólidas, diminuindo o contato sólido-gás ou sólido-líquido, como pode ser visto na Figura 10. Graças a este fenômeno, o leito perde sua homogeneidade e algumas camadas do leito podem se mover. Isso é particularmente prejudicial em reações heterogêneas, que dependam do contato entre as fases, como é o caso de reações em fase gasosa catalisadas por sólidos metálicos. Com a formação dos destes bolsões, quantidades razoáveis dos reagentes gasosos estarão presentes na corrente de produto.

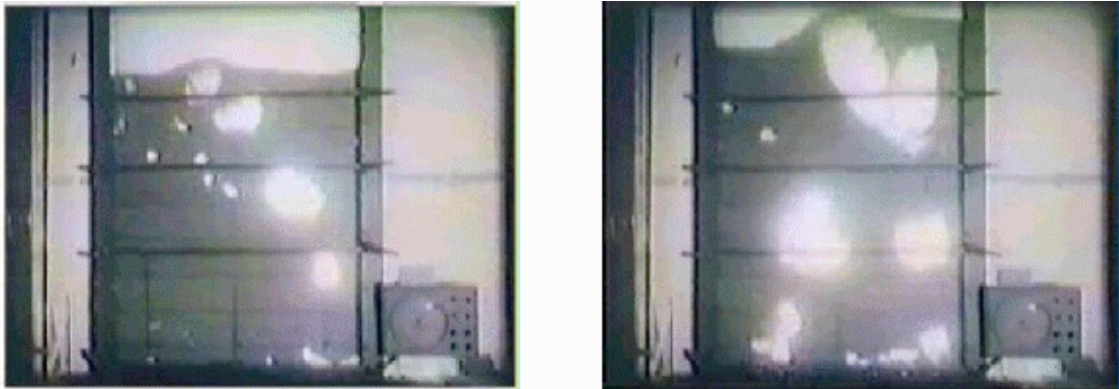


Figura 10. Formação de bolsões num leito fluidizado por gás (a velocidade do gás é maior na figura da direita). [17]

Além da formação de bolsões, também existe a possibilidade do leito não fluidizar, caso a velocidade do fluido seja muito baixa. A fluidização pode não ocorrer pois, quando a velocidade do fluido é baixa, a perda de carga (ΔP) não permite que o fluido reordene as partículas, de modo que estas ofereçam uma menor resistência à passagem da corrente gasosa ou líquida. Por isso, para que esses problemas não ocorram, é preciso ter mais atenção na velocidade do fluido utilizada.

Na verdade, estuda-se uma faixa de velocidade que varia entre a velocidade mínima de fluidização e a velocidade na qual os sólidos são arrastados.

5.3 Colunas de Destilação

A destilação é o processo de separação de componentes em uma mistura líquida, mais utilizado nas indústrias químicas, e é baseado na diferença dos pontos de ebulição dos seus componentes individuais. Esta operação de separação alcança seus objetivos através da criação de duas ou mais zonas coexistentes, as quais se diferem pela temperatura, pressão, composição e/ou equilíbrio de fases. Cada espécie molecular na mistura a ser separada comporta-se de uma única maneira para diferentes ambientes

oferecidos por essas zonas. Conseqüentemente, como o sistema se move em direção ao equilíbrio, cada espécie estabelece uma concentração diferente em cada seção.

A destilação consiste na transferência de massa entre as fases líquida e vapor. Para isso, vários tipos de artifícios podem ser usados para promover um melhor contato entre as fases, entre eles recheios para colunas, bandejas ou pratos, borbulhadores, vertedores, etc.

Em uma coluna de destilação, o material a ser destilado é introduzido em um ou mais pontos ao longo da coluna. Devido à diferença de densidade entre as fases, o líquido caminha para a parte inferior da coluna, escoando pela coluna (qualquer que seja o recheio da coluna), enquanto que o vapor permeia o recheio da coluna no sentido ascendente, entrando em contato com o líquido a cada estágio. As fases vapor e líquida em um estágio têm aproximadamente a mesma temperatura e pressão e assume-se que as correntes que saem do mesmo estágio (prato) estão em equilíbrio líquido-vapor.

O líquido que chega ao fundo da coluna é aquecido em um refeedor e parte deste líquido é parcialmente reciclado, retornando a coluna na fase vapor. O vapor que chega ao topo da coluna é resfriado, sendo liquefeito em um condensador. Parte desse líquido retorna a coluna como refluxo.

Os componentes mais leves tendem a se concentrar na fase vapor, enquanto que os mais pesados concentram-se na fase líquida. O resultado é uma fase vapor que se torna mais rica em componentes leves à medida que o vapor avança em direção ao topo da coluna e a corrente líquida se torna mais rica em componentes pesados quando desce a coluna. Por isso, a separação entre os componentes considerados pesados e leves depende da volatilidade relativa dos componentes, do número de estágios, da vazão de retorno para dentro da coluna da fase vapor, originada a partir da vaporização da corrente líquida no fundo da coluna, e da vazão de retorno para dentro da coluna da fase líquida, originada a partir da condensação da corrente vapor no topo da coluna.

A destilação pode ser executada em dois regimes de operação distintos, em batelada ou de forma contínua. Esta escolha dependerá da vazão de líquido a ser tratada no processo. No caso da planta de DME em questão, a destilação é contínua.

Em alguns casos dois ou mais componentes da mistura podem formar um azeótropo. Este funciona como se fosse uma nova mistura cuja composição tem ponto de ebulição fixo e constante, como se fosse uma substância pura. Desta forma, não se obtém um componente com alta pureza, mas sim uma mistura de componentes com composição invariável igual a do azeótropo.

Um exemplo de coluna de destilação está apresentado na Figura 11.



Figura 11. Coluna de Destilação. [18]

5.4 Peneira Molecular

Peneiras moleculares são sólidos com porosidade definida e por isso possui a capacidade de distinção de moléculas por suas dimensões e geometrias. Devido à grande diversificação de composições disponíveis, convencionou-se chamar essa grande família de materiais micro e mesoporosos de peneiras moleculares, abrangendo, mas não eliminando, todas as denominações anteriores.

Os zeólitos são as estruturas mais usadas como peneiras moleculares. Uma das principais diferenças entre um zeólito e qualquer outra peneira molecular é o fato de que a estrutura de um zeólito tem que ser obrigatoriamente cristalina, como ilustrado na Figura 12, enquanto que a estrutura de outras peneiras moleculares não necessariamente. A outra grande diferença entre um zeólito e uma peneira molecular é que os zeólitos são constituídos apenas por átomos de Si, Al, O e um cátion qualquer, e as peneiras moleculares podem possuir outros elementos em sua constituição, como o fósforo.

Por definição, os zeólitos são compostos por tetraedros de SiO_4 e AlO_4 conectados pelos átomos de oxigênio dos vértices. A substituição de Si^{+4} por Al^{+3} gera uma densidade de carga negativa estrutural que é balanceada por cátions trocáveis (Na^+ , H^+ , etc.), assegurando a estabilidade do sólido.

É notável a estabilidade térmica conferida aos zeólitos quando têm cátions de terras raras como contrabalanceadores de carga. Um aluminossilicato é considerado um zeólito quando tem mais de um íon alumínio por cela unitária do material. Quando isso

não ocorre, o material é denominado silicalita e a presença do alumínio é considerada uma dopagem. Por outro lado, outros metais representativos com número de oxidação III ou IV podem ser incorporados à estrutura de um silicato. Mais uma vez, se a concentração deste metal for maior que um íon por cela unitária, o material é considerado um metalossilicato zeolítico.

Existem vários tipos de zeólitos naturais, com composições químicas e estruturas cristalográficas variáveis. Desde 1955, tentativas vêm sendo realizadas no sentido de preparar zeólitos sinteticamente. Vários já foram preparados, caracterizados e testados, também, para atividades catalíticas.

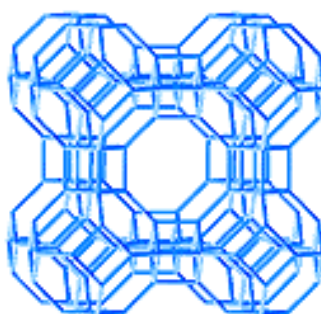


Figura 12. Estrutura cristalina de um zeólito. [19]

As peneiras moleculares têm vasta aplicação na indústria química, como no craqueamento catalítico nos processos petroquímicos, cujo uso foi iniciado em 1960. Também pode ser usado tanto na conversão de álcoois em hidrocarbonetos, realizada pela primeira vez por Mattox em 1962, quanto na isomerização de xilenos, produzindo o p-xileno, que é um dos importantes intermediários químicos, usado para produzir, por exemplo, fibras sintéticas de poliéster.

5.5 Bombas

Bombas são máquinas operatrizes hidráulicas que conferem energia ao líquido de modo que seja possível transportá-lo de um ponto para outro.

Bombas hidráulicas recebem energia de uma fonte motora qualquer e cedem parte dessa energia ao fluido na forma de energia de pressão (aumentando a pressão do líquido), cinética (aumentando a velocidade do líquido) ou ambas. Assim, as bombas hidráulicas tem a função inversa das turbinas. As turbinas hidráulicas transformam a energia potencial de uma queda hidráulica em energia mecânica, a qual pode ser convertida posteriormente em energia elétrica através de um gerador.

Por causa da grande variedade das bombas existentes, adota-se uma classificação mais resumida, dividindo-as em dois grandes grupos:

- Bombas centrífugas ou turbo-bombas, também conhecidas como hidro ou rotodinâmicas;
- Bombas volumétricas, também conhecidas como bombas de deslocamento positivo.

Um exemplo de bomba hidráulica pode ser visto na Figura 13.



Figura 13. Bomba hidráulica. [20]

5.6 Compressores

A compressão de gases pode ser realizada em equipamento com pás rotativas ou em cilindros com pistões com movimentação alternativa. Os equipamentos rotativos são realizados para altas vazões volumétricas, onde a pressão na descarga não é tão alta. Para altas pressões, compressores alternativos são necessários.

Enquanto processos de expansão resultam em reduções na pressão do fluido em escoamento, nos processos de compressão há aumentos nessa pressão e, normalmente, conforme a equação de Clapeyron, a compressão de um gás também provoca o aumento de sua temperatura. Compressores, bombas, ventiladores, sopradores e bombas de vácuo são equipamentos projetados para esse objetivo, o aumento da pressão do fluido.

Eles são vitais para o transporte de fluido, para a fluidização de sólidos particulados, para a elevação da pressão em fluidos até o valor apropriado para reações, processamentos e etc. Uma ilustração de alguns tipos de compressores pode ser vista na Figura 14.

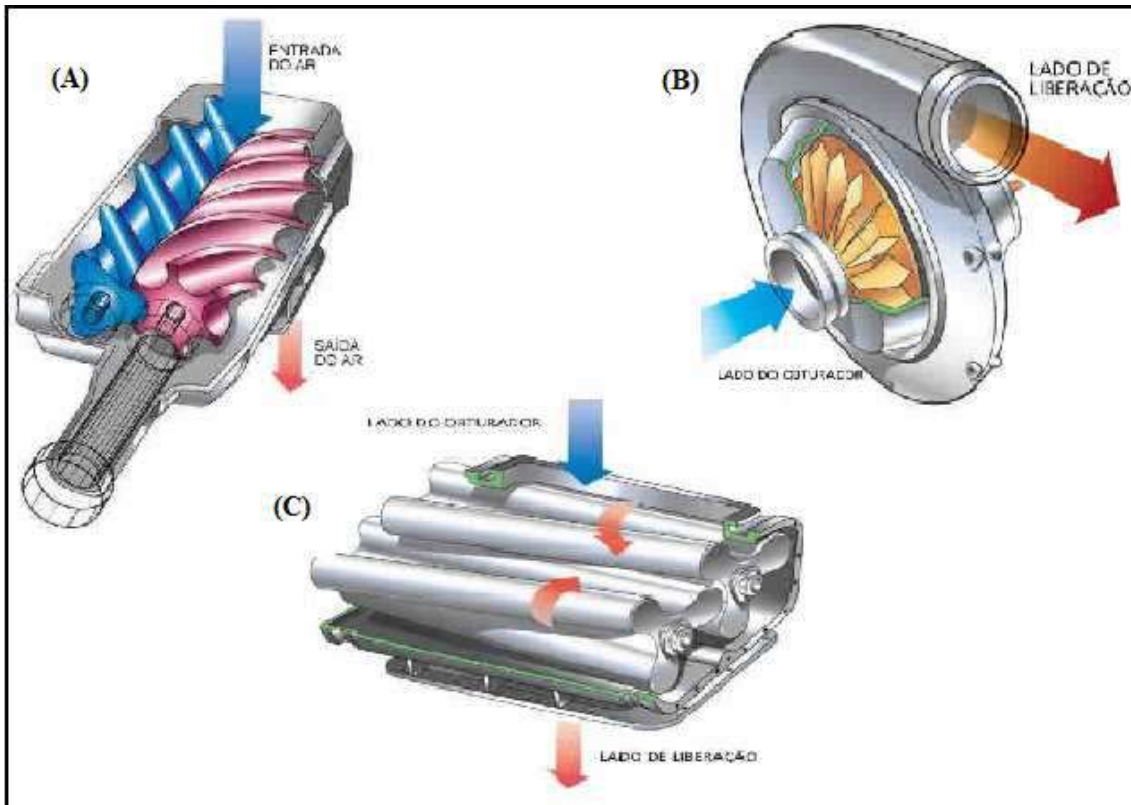


Figura 14. (A) Compressor de parafuso duplo; (B) Compressor centrífugo; (C) Compressor Roots. [21]

6 PLANTAS DE DME SIMULADAS

Nas Figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20 serão apresentadas as simulações da planta de DME a partir de cana-de-açúcar e gás natural com escala nacional e escalas regionais (centro-sul e norte-nordeste).

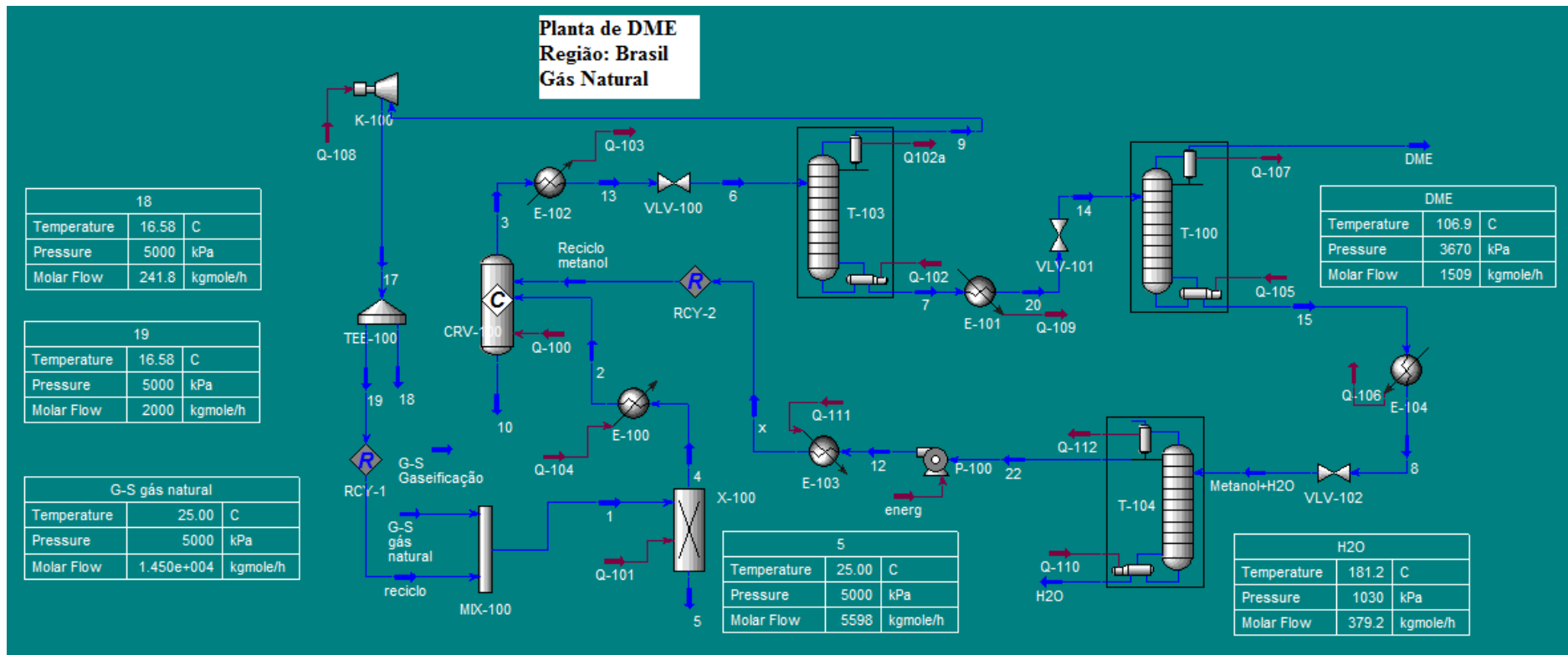


Figura 15. Planta de DME utilizando como matéria-prima o gás natural produzido por todo o Brasil.

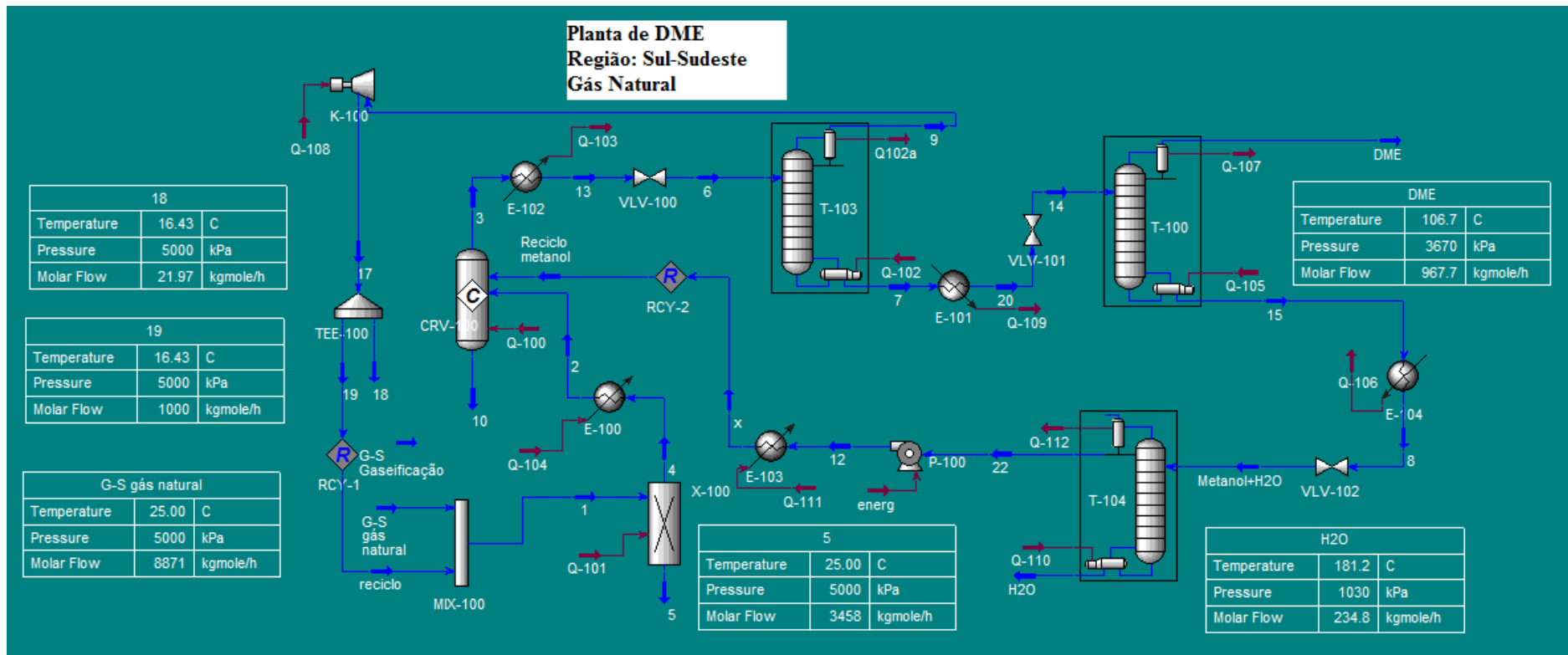


Figura 16. Planta de DME utilizando como matéria-prima o gás natural produzido pela região Sul-sudeste.

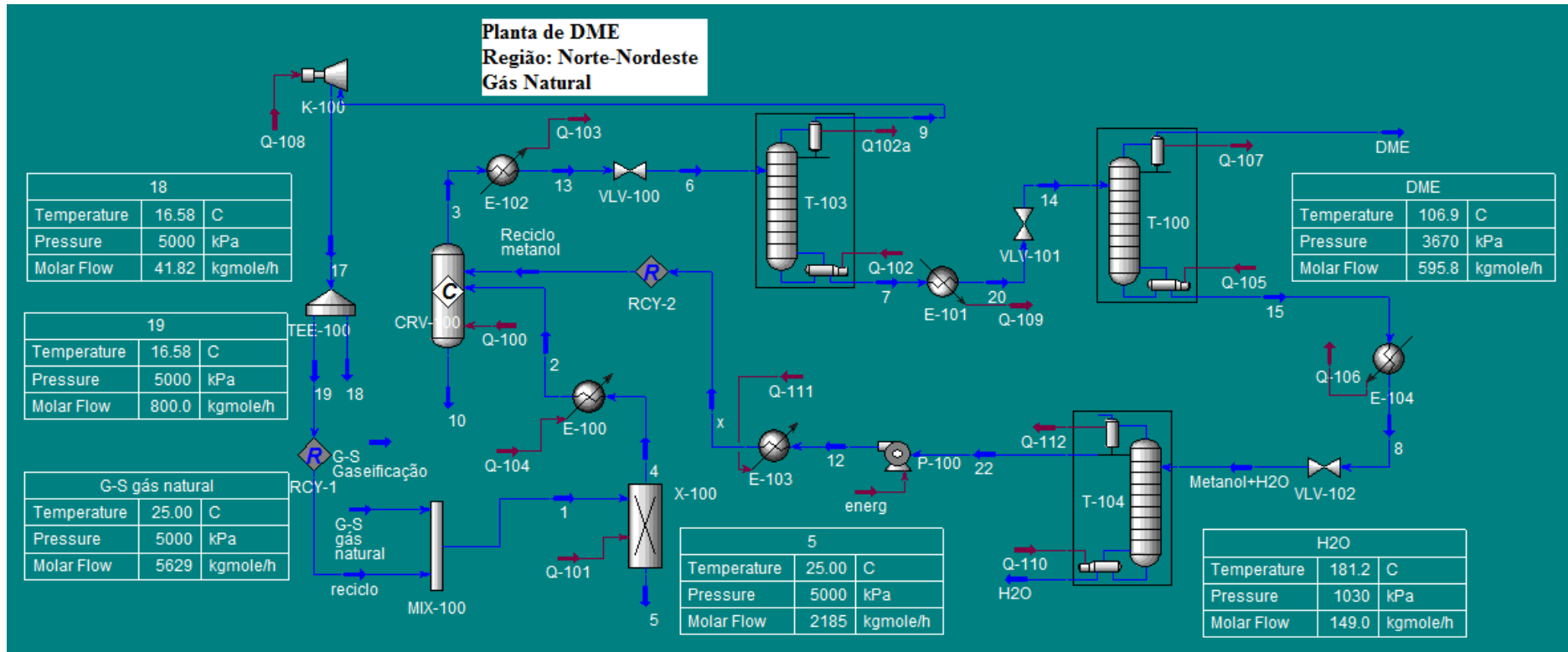


Figura 17. Planta de DME utilizando como matéria-prima o gás natural produzido pela região norte-nordeste.

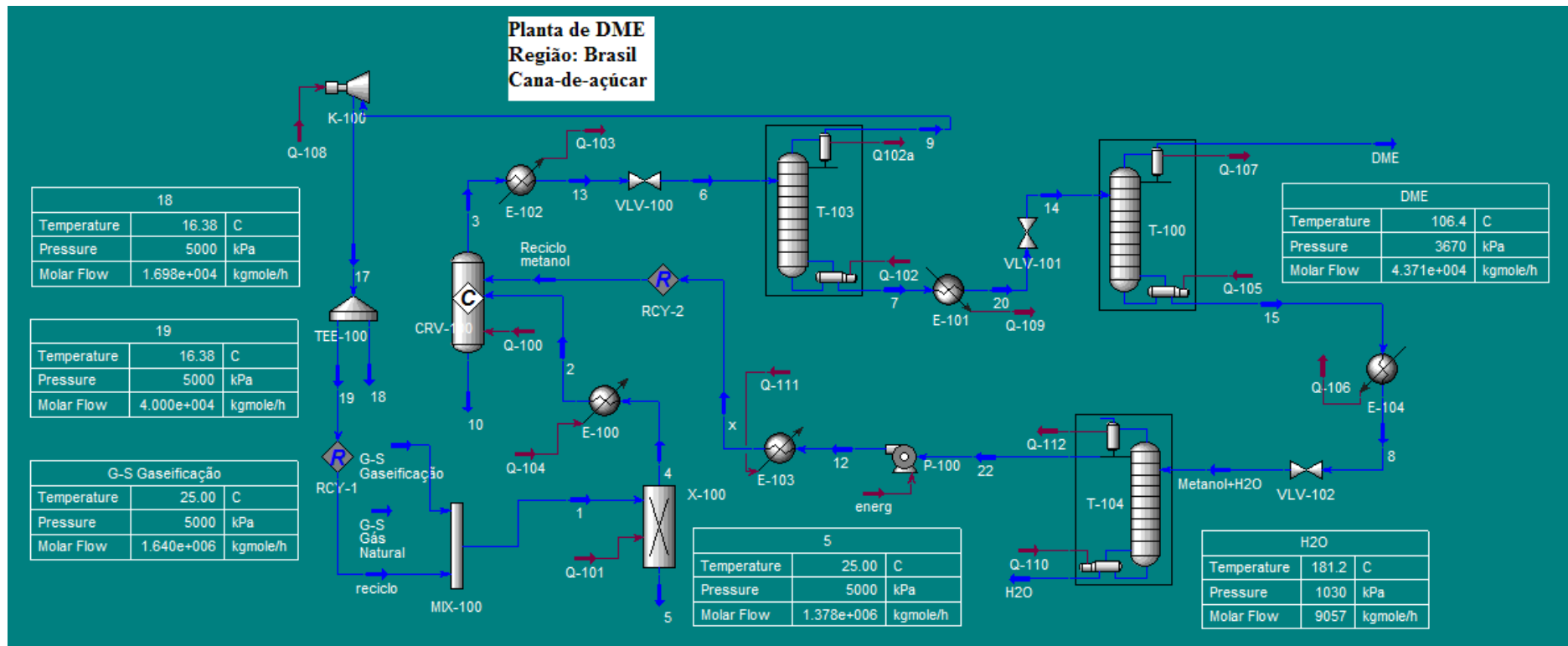


Figura 18. Planta de DME utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar produzida por todo o Brasil.

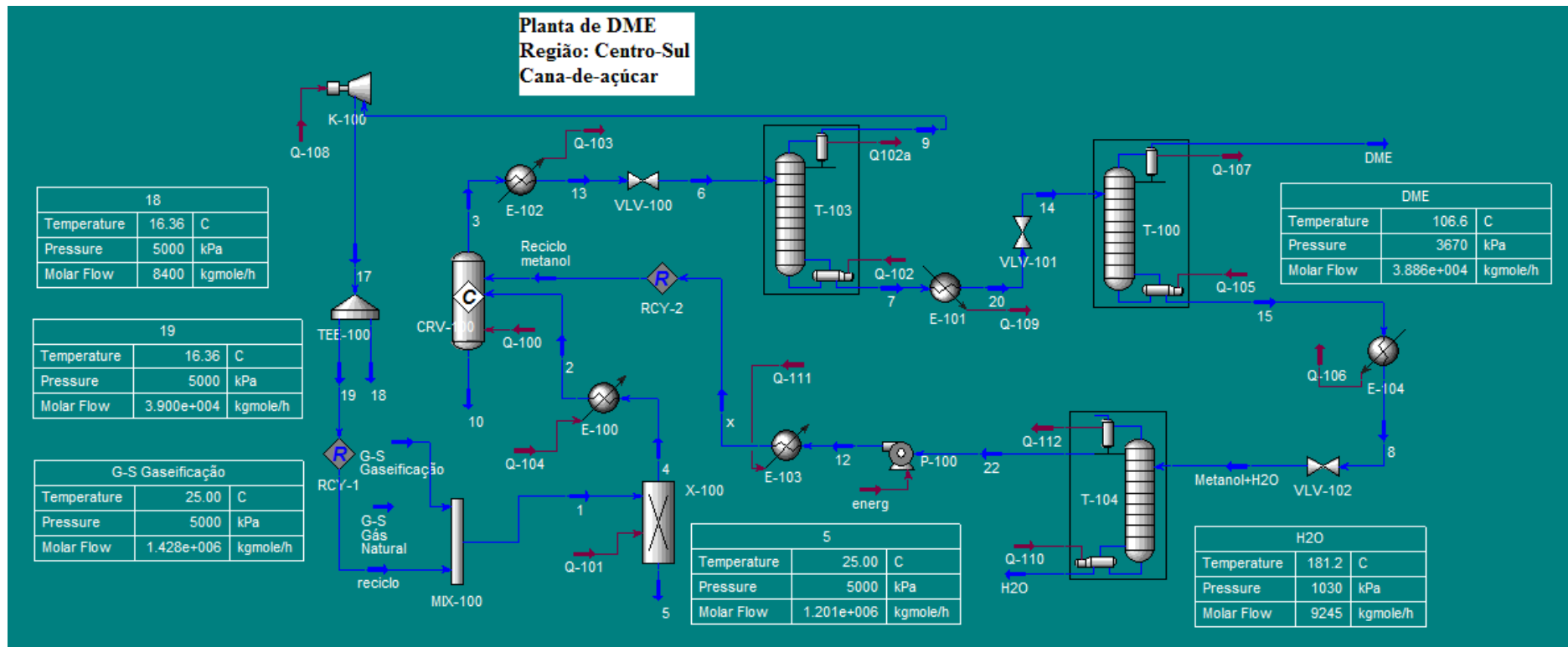


Figura 19. Planta de DME utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar produzida pela região centro-sul.

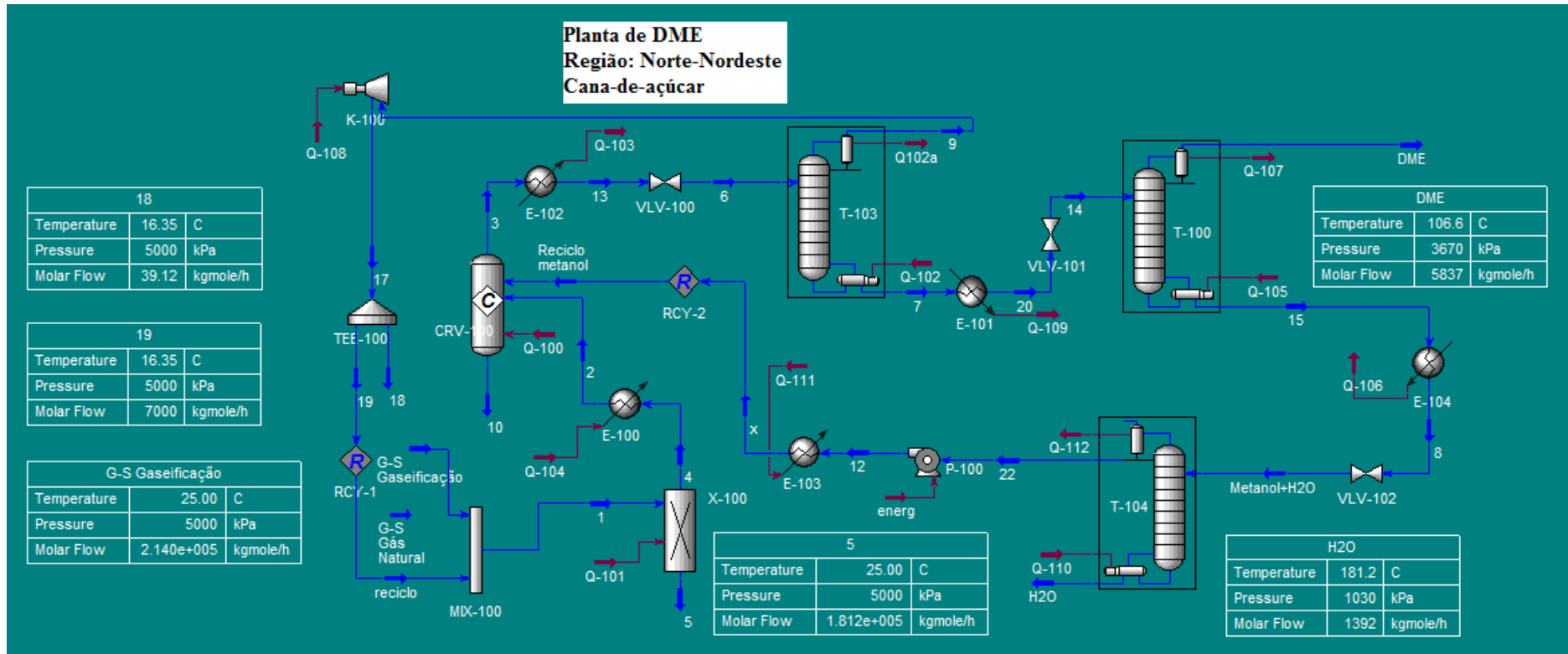


Figura 20. Planta de DME utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar produzida pela região norte-nordeste.

6.1 Detalhamento do Processo

A planta de DME, como já foi dito, foi simulada partindo do gás de síntese obtido da gaseificação do bagaço de cana-de-açúcar ou da reforma autotérmica do gás natural.

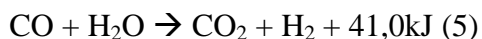
O gás de síntese passa por uma peneira molecular, onde a maior parte do hidrogênio e do monóxido de carbono é separada dos outros componentes do gás de síntese. Esse processo é necessário, pois o gás de síntese deve ser composto basicamente por CO e H₂, sendo assim, os outros compostos são considerados impurezas e são removidos.

No caso do gás de síntese obtido pela gaseificação, o nitrogênio, o dióxido de carbono, o metano e o etano são separados do hidrogênio e do monóxido de carbono. No caso do gás de síntese obtido pela reforma autotérmica, o nitrogênio, o dióxido de carbono e o metano que são separados do hidrogênio e do monóxido de carbono.

Os componentes considerados impurezas, oriundos da purificação na peneira molecular, são mandados para unidades de tratamento, onde recebem os cuidados adequados para serem reutilizados, descartados ou armazenados, conforme o caso.

O hidrogênio e o monóxido de carbono separados pela peneira molecular seguem para um reator de leito fluidizado. Porém, antes dessa corrente entrar no reator, ela é aquecida por um trocador de calor atingindo a temperatura de 260°C.

O reator de leito fluidizado recebe a corrente já aquecida e nele ocorrem, basicamente, cinco reações apresentadas abaixo:



Nesse reator, o leito é formado por catalisadores particulados. Esses catalisadores, como já foi dito, podem alcançar níveis de seletividade de até 100% e conversões de 80%, em média, sendo que essa conversão muito estável, sendo mantida neste patamar por bastante tempo.

Na saída do reator de leito fluidizado as reações já ocorreram, sendo assim, a composição da corrente de saída é diferente da composição da corrente de entrada. A

corrente de saída do reator é composta basicamente por dimetil éter, dióxido de carbono, hidrogênio, água, metanol e monóxido de carbono.

A corrente que sai do reator segue para uma coluna de destilação, onde o objetivo é separar o dimetil éter, o metanol e a água, que são os componentes menos voláteis, do monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio e qualquer resquício de outros compostos, que são os componentes mais voláteis. Para isso, foi preciso ajustar a temperatura e a pressão com o auxílio de um trocador de calor e de uma válvula atingindo, assim, 68°C e 4810kPa.

Nessa primeira destilação, a corrente dos compostos mais voláteis é composta por dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrogênio e resquício de outros compostos. Uma parte desta corrente retorna ao início, sendo reinjetada na peneira molecular, onde apenas o hidrogênio e o monóxido de carbono serão reutilizados na reação. Para isso, foi necessária a utilização de um compressor com o intuito de compatibilizar a pressão da corrente de reciclo oriunda do topo da primeira coluna de destilação com a pressão da carga de gás de síntese. A corrente menos volátil, que sai pelo fundo da torre, é composta por dimetil éter, metanol, água e resquícios de dióxido de carbono. Esta corrente segue para uma segunda coluna de destilação.

Para entrar na segunda coluna de destilação, a temperatura e a pressão são, novamente, ajustadas com o auxílio de um trocador de calor e uma válvula chegando a 68°C e 3700kPa. Nessa coluna a corrente de fundo é composta por metanol e água e a corrente de topo é composta por quase 100% do produto de interesse, o DME. Essa corrente também contém resquícios de dióxido de carbono. A corrente de DME é, então, condicionada para ser enviada ao consumidor.

Com o objetivo de reciclar o metanol, a corrente de pesados da segunda coluna de destilação é ajustada a 130°C e 1000kPa para ser novamente destilada. Nessa terceira coluna de destilação, a corrente de fundo é composta pela água e a corrente de topo é composta pelo metanol. Esse metanol retorna ao reator de leito fluidizado, mas para isso, é preciso pressurizar a corrente líquida, com o auxílio de uma bomba, e aquecê-la, alcançando 5000kPa e 260°C, que são as condições de pressão e temperatura do reator de leito fluidizado. A água obtida na corrente de fundo é encaminhada para uma unidade de tratamento e condicionamento, para poder ser reutilizada ou descartada de forma apropriada.

7 ANÁLISE DA PRODUÇÃO

Foram feitas três simulações para cada matéria-prima, ou seja, três para o bagaço de cana e três para o gás natural. Duas das simulações são relacionadas à produção regional (região centro-sul e região norte-nordeste). A terceira é uma simulação correspondente a toda produção do país em uma única planta.

Ou seja, as hipóteses levantadas foram: a produção de DME separada por região centro-sul e norte-nordeste e a toda a produção de DME sendo feita em uma única e grande planta.

Informações, como produção em Kgmoles/h e em m³/h de todas as simulações podem ser vistas na Tabela 13.

Tabela 13 - Produção de DME em Kgmoles/h e em m³/h Obtidos a Partir do Gás Natural e do Bagaço de Cana-de-Açúcar. [22]

DME a partir de gás natural		
Região / Produção	Kgmoles/h	m³/h
Planta Sul-Sudeste	967,7	66,41
Planta Norte-Nordeste	595,8	40,91
Total	1563,5	107,32
Planta única: Brasil	1509	103,7
Diferença	54,5	3,62
Em porcentagem	3,61%	3,49%
DME a partir de cana-de-açúcar		
Região / Produção	Kgmoles/h	m³/h
Planta Centro-sul	38860	2667
Planta Norte-Nordeste	5837	400,5
Total	44687	3066,5
Planta única: Brasil	43710	3000
Diferença	977	66,5
Em porcentagem	2,24%	2,22%

A Tabela 13 apresenta números como a diferença de produção entre duas plantas regionais e uma única planta com produção nacional em Kgmoles/h e m³/h e a diferença destes, expressa em porcentagem. A diferença entre as porcentagens em Kgmoles/h e m³/h refere-se às pequenas variações na composição da corrente de DME.

Analisando a Tabela 13, é possível perceber que a produção de dimetil éter a partir do bagaço de cana é capaz de produzir mais DME em comparação com a produção a partir de gás natural. Esse resultado já era esperado, pois a quantidade de gás de síntese produzido a partir desse bagaço é muito maior do que a quantidade de gás de síntese produzido pelo gás natural disponível.

É necessário comparar, também, os rendimentos dos processos a partir do gás natural e a partir do bagaço de cana. Porém, será feita apenas a comparação de rendimentos do processo a partir do gás de síntese, deixando de lado os rendimentos da geração de gás de síntese.

Esse rendimento foi calculado de forma simples, mesmo não sendo a forma mais precisa, entende-se que está adequada para esta comparação. Sendo assim, o rendimento pode ser considerado a razão entre a vazão da corrente de DME e a vazão de entrada do gás de síntese, em Kg por hora. Os rendimentos calculados desta forma podem ser vistos na Tabela 14.

Tabela 14 - Tabela de Rendimentos. [22]

DME a partir de gás natural			Rendimento
Região / Produção	Kg de DME/h	Kg de GS/h	Kg de DME/Kg de GS
Sul-Sudeste	44563,49	95494,15	0,467
Norte-Nordeste	27438,07	60592,40	0,453
Brasil	69512,47	156086,55	0,445
DME a partir de cana-de-açúcar			Rendimento
Região / Produção	Kg de DME/h	Kg de GS/h	Kg de DME/Kg de GS
Centro-Sul	1789411,43	39635278,65	0,045
Norte-Nordeste	268793,92	5939037,79	0,045
Brasil	2013157,28	45514238,68	0,044

O cálculo ideal seria a do processo como um todo, incluindo a reforma autotérmica do gás natural ou a gaseificação do bagaço de cana-de-açúcar, devido ao fato da composição do gás de síntese produzido a partir de diferentes matérias-primas não ser a mesma, afetando a comparação dos rendimentos do processo.

Olhando a Tabela 14, é possível ver que o processo partindo do gás de síntese feito com gás natural tem um rendimento cerca de 10 vezes maior que o processo com gás de síntese de bagaço de cana. Isso acontece, por causa das diferentes composições do gás de síntese.

O gás de síntese produzido a partir do gás natural tem muito menos impurezas do que o produzido a partir de cana-de-açúcar, como pode ser visto nas Tabelas 5 e 6. A grande quantidade de impurezas no gás de síntese de bagaço, como, por exemplo, o nitrogênio, que representa mais de 57% em volume da corrente, provoca uma grande perda de massa logo no início do processo.

Grande parte dessa perda ocorre na peneira molecular que é o primeiro equipamento. Esta peneira separa o monóxido de carbono e o hidrogênio das impurezas, sendo que, no caso do gás de síntese do bagaço de cana, a quantidade de CO e H₂ representa menos de 22% em volume da corrente de gás de síntese. Isso significa que

menos de $\frac{1}{4}$ da carga inicial de gás de síntese é aproveitada, quando se utiliza o gás de síntese de bagaço de cana.

Como a quantidade de impurezas é maior na planta que utiliza como matéria-prima o bagaço de cana-de-açúcar, a peneira molecular deste tipo de planta deverá ter dimensões maiores. Além disso, por causa da vazão de gás de síntese de bagaço ser muito maior do que a vazão de gás de síntese de gás natural, a dimensão de todos os outros equipamentos também será maior.

8 ANÁLISE ECONÔMICA

Antes de construir uma unidade industrial, o primeiro passo a ser dado é a análise do mercado para seu produto. Em seguida uma análise econômica preliminar (qualitativa) é feita para apontar o potencial de retorno do capital a ser investido. Caso o resultado dessa análise seja positivo, o próximo passo será o refinamento da análise econômica quantitativa, que é, basicamente, a verificação do retorno do capital a ser investido ou a capacidade de retorno do investimento.

Nesta análise, verificam-se as diversas opções de processos e equipamentos, a fim de mostrar a opção mais atrativa economicamente. Esta análise é composta pelos itens abaixo, segundo critério adotado pelo Stanford Research Institute:

1 - Investimento Fixo

1.1 - ISBL

1.1.1 Máquinas e equipamentos de processo

1.1.2 Materiais de processo

1.1.3 Fundações e estruturas

1.1.4 Engenharia básica e de detalhamento das unidades de processo

1.1.5 Montagem

1.2 - OSBL

1.2.1 Geração e distribuição de utilidades

1.2.2 Tancagem e estocagem para matérias-primas e produtos

1.2.3 Tratamento de efluentes

1.2.4 instalações complementares

1.3 - Outros investimentos

1.3.1 Terreno e melhorias

1.3.2 Despesas administrativas

1.3.3 Tecnologia

1.3.4 Despesas financeiras

1.3.5 Pré-operação e partida

2 - Capital de Giro

2.1 (+) Caixa mínimo

2.2 (+) Estoques de matérias-primas, outros insumos e produtos

2.3 (+) Estoques de peças de reposição

2.4 (+) Financiamento das vendas

2.5 (-) Crédito de fornecedores

2.6 (-) Desconto de duplicatas

A Figura 21 mostra como estes itens são tipicamente distribuídos.

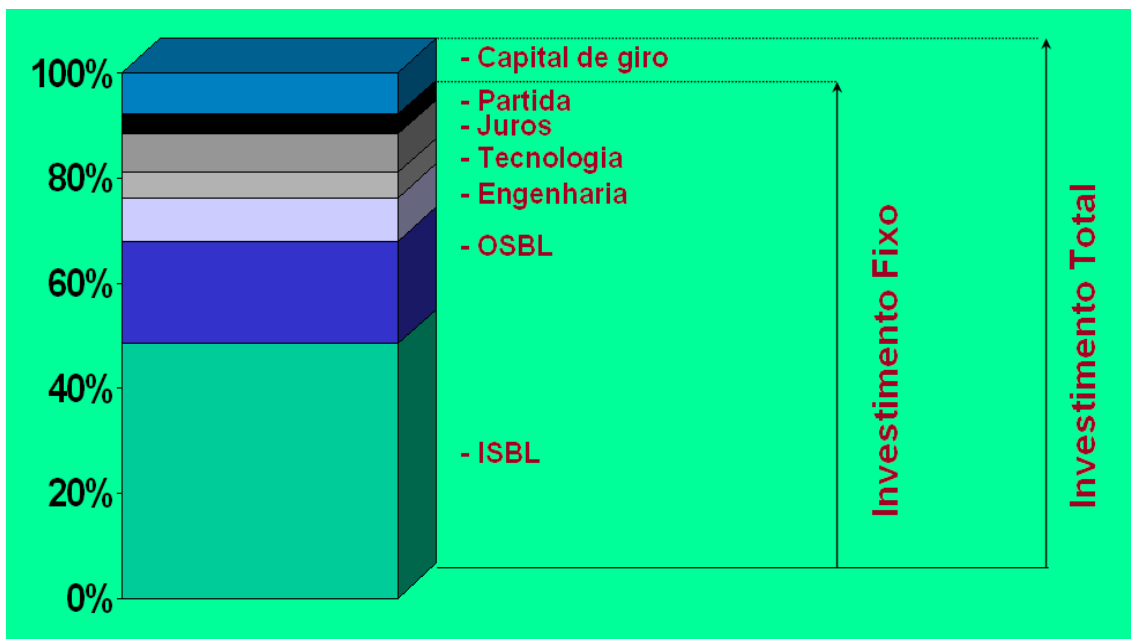


Figura 21: Distribuição típica de investimentos. [23]

A variação dos percentuais dos itens de investimento pode ser vista abaixo [24]:

A. Investimento físico na planta - IFP = \sum (1, ..., 9)

1 - Preço dos equipamentos principais (PC) -	1, 00
2 - Instalação -	43% PC; só fluidos 47%
3 - Tubulação de processos -	sólidos: 10 - 20% sólidos - fluidos: 14 - 43% fluidos: 43 - 86%
4 - Instrumentação -	automática: 30% computadorizada: 40%
5 - Isolamento -	temperaturas baixas: 8%
6 - Instalações elétricas -	11%
7 - Prédios e estruturas -	fluidos 6 - 45%; sólidos 15 - 70%
8 - Obras no terreno -	16%
9 - Instalações auxiliares -	adições pequenas 15% grandes adições 15 - 40% novas 40 - 140%

B. Investimento não físico na planta - INFP = \sum (10 + 11)

10 - Firmas de engenharia -	normal 25% IFP
11 - Empreiteiras -	pequenos trabalhos 30 - 35% IFP mão-de-obra intensiva 40% IFP

C. Investimento na planta (IP) - IP = IFP + IFNP

D. Investimento fixo direto (IFD) - IFD = IP + \sum (12 + 13)

12 - Gerenciamento do projeto -	5 - 8% IP
13 - Contingências -	definido 5%; sujeito a mudanças 10% processo especulativo 20%

14 - Fator de tamanho - na contingência: grande planta comercial x 0,8
planta padrão x 1,0; experimental, piloto - x 1,3

Os pontos a serem avaliados numa análise técnico-econômica para qualquer investimento também pode ser dividido em:

- Custo inicial da unidade:
 - Custo de projeto;
 - Custo de aquisição e preparação do terreno;
 - Custo de aquisição dos equipamentos e tubulações;
 - Custo de aquisição de materiais de consumo;
 - Custo de execução das obras;
 - Custo de aquisição da matéria-prima para a partida da unidade;
 - Custo de comissionamento da unidade.

- Custo operacional:
 - Custo de matéria-prima;
 - Custo das utilidades;
 - Custo de mão-de-obra de operação;
 - Custo de manutenção;
 - Custo de tratamento e descarte de efluentes.

- Disponibilidade e custo da matéria-prima;
- Custo de transporte do produto;
- Capacidade de absorção do produto pelo mercado consumidor (volume e preço);
- Economia de escala.

No entanto, neste trabalho, só será feita a análise preliminar de investimento, pois o objetivo deste é apenas apontar uma direção de melhor investimento entre as plantas de DME com diferentes matéria-prima.

Na Tabela 15 serão apresentadas as estimativas dos valores dos principais equipamentos das plantas de DME, a soma destes valores e a estimativa do investimento fixo direto, segundo a teoria de Lang. Nesta teoria, a soma dos valores dos equipamentos principais (PC) de uma unidade, multiplicado por um fator é o equivalente ao investimento fixo direto (IFD). Este fator está relacionado com o tipo de escoamento utilizado na unidade, ou seja, se são sólidos ou fluidos. Se forem operações só com fluidos o **IFD = 5,2 x PC**; se forem operações com sólidos e fluidos o **IFD = 4,0 x PC**; se forem operações só com sólidos o **IFD = 3,4 x PC**. No caso da planta de dimetil éter, pode-se considerar o fator sendo igual a 5,2. [25]

Para melhor comparar os valores dos equipamentos e os custos de investimentos das plantas com diferentes matérias-primas, foi feita uma simulação da planta de DME partindo do bagaço de cana-de-açúcar com a mesma escala de produção da planta de DME partindo do gás natural de todo o Brasil. Esta simulação está ilustrada na Figura 22 a seguir.

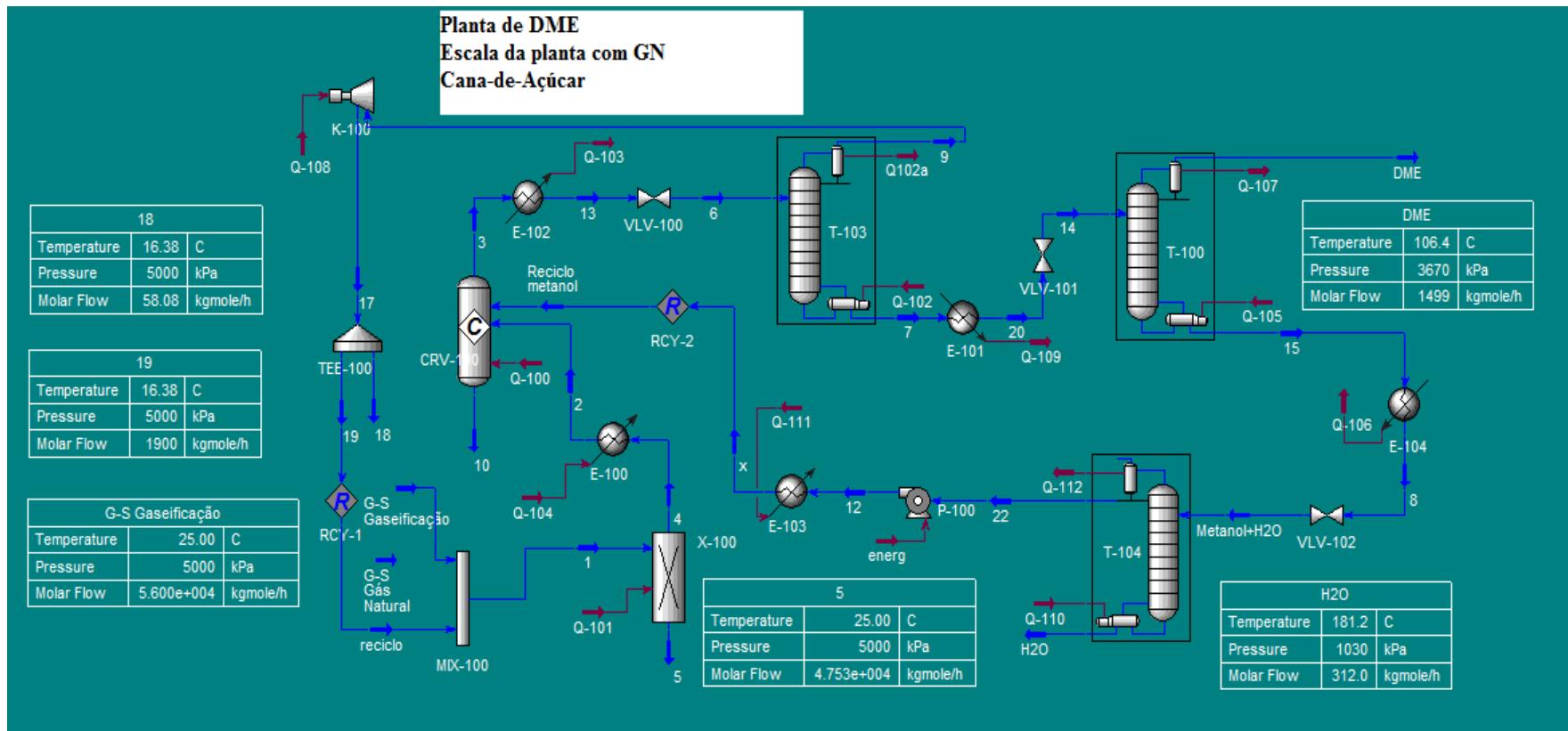


Figura 22. Planta de DME partindo do bagaço de cana na mesma escala da planta de DME partindo do gás natural de todo o Brasil.

Tabela 15 - Tabela de Custos de Equipamentos e Investimento Fixo Direto. [26]

Tabela de custos e investimento	
	Custo (US\$)
Gaseificação Escala GN (1499 kmoles/h)	
1° Coluna de destilação	2.515.000,00
2° Coluna de destilação	2.515.000,00
3° Coluna de destilação	9.400.000,00
Reator de leito fluidizado	21.300.000,00
Peneira molecular	59.200.000,00
Trocador de calor 1	421.000,00
Trocador de calor 2	461.200,00
Trocador de calor 3	132.000,00
Trocador de calor 4	48.706,00
Trocador de calor 5	36.000,00
Bomba	83.410,00
Compressor	2.674.000,00
Total (PC)	98.786.316,00
Investimento fixo direto (IFD = 5,2 x PC)	513.688.843,20
Reforma Brasil (1509 kmoles/h)	
1° Coluna de destilação	2.515.000,00
2° Coluna de destilação	2.515.000,00
3° Coluna de destilação	9.400.000,00
Reator de leito fluidizado	21.000.000,00
Peneira molecular	14.500.000,00
Trocador de calor 1	432.000,00
Trocador de calor 2	488.000,00
Trocador de calor 3	146.110,00
Trocador de calor 4	61.310,00
Trocador de calor 5	67.140,00
Bomba	153.000,00
Compressor	2.900.000,00
Total (PC)	54.177.560,00
Investimento fixo direto (IFD = 5,2 x PC)	281.723.312,00
Reforma Norte-nordeste (596 kmoles/h)	
1° Coluna de destilação	2.515.000,00
2° Coluna de destilação	2.515.000,00
3° Coluna de destilação	9.400.000,00
Reator de leito fluidizado	11.780.000,00
Peneira molecular	7.579.000,00
Trocador de calor 1	223.220,00
Trocador de calor 2	254.000,00
Trocador de calor 3	76.100,00
Trocador de calor 4	32.000,00
Trocador de calor 5	35.000,00
Bomba	87.400,00
Compressor	1.620.000,00

Total (PC)	36.116.720,00
Investimento fixo direto (IFD = 5,2 x PC)	187.806.944,00
Reforma Sul-sudeste (968 kmoles/h)	
1° Coluna de destilação	2.515.000,00
2° Coluna de destilação	2.515.000,00
3° Coluna de destilação	9.400.000,00
Reator de leito fluidizado	15.420.000,00
Peneira molecular	10.389.000,00
Trocador de calor 1	299.000,00
Trocador de calor 2	354.000,00
Trocador de calor 3	105.200,00
Trocador de calor 4	44.000,00
Trocador de calor 5	48.000,00
Bomba	114.800,00
Compressor	1.810.300,00
Total (PC)	43.014.300,00
Investimento fixo direto (IFD = 5,2 x PC)	223.674.360,00
Gaseificação Brasil (43710 kmoles/h)	
1° Coluna de destilação	2.515.000,00
2° Coluna de destilação	2.515.000,00
3° Coluna de destilação	9.400.000,00
Reator de leito fluidizado	161.000.000,00
Peneira molecular	623.548.000,00
Trocador de calor 1	4.460.000,00
Trocador de calor 2	4.880.000,00
Trocador de calor 3	1.400.000,00
Trocador de calor 4	513.400,00
Trocador de calor 5	370.000,00
Bomba	613.000,00
Compressor	20.205.300,00
Total (PC)	831.419.700,00
Investimento fixo direto (IFD = 5,2 x PC)	4.323.382.440,00
Gaseificação Norte-nordeste (5837 kmoles/h)	
1° Coluna de destilação	2.515.000,00
2° Coluna de destilação	2.515.000,00
3° Coluna de destilação	9.400.000,00
Reator de leito fluidizado	47.500.000,00
Peneira molecular	151.236.000,00
Trocador de calor 1	1.079.000,00
Trocador de calor 2	1.251.000,00
Trocador de calor 3	365.300,00
Trocador de calor 4	150.060,00
Trocador de calor 5	157.900,00
Bomba	316.600,00
Compressor	5.763.000,00

Total (PC)	222.248.860,00
Investimento fixo direto (IFD = 5,2 x PC)	1.155.694.072,00
Gaseificação Centro-sul (38858 kmoles/h)	
1° Coluna de destilação	2.515.000,00
2° Coluna de destilação	2.515.000,00
3° Coluna de destilação	9.400.000,00
Reator de leito fluidizado	148.210.000,00
Peneira molecular	567.896.000,00
Trocador de calor 1	4.074.000,00
Trocador de calor 2	4.710.600,00
Trocador de calor 3	1.377.000,00
Trocador de calor 4	564.110,00
Trocador de calor 5	591.100,00
Bomba	981.100,00
Compressor	18.100.000,00
Total (PC)	760.933.910,00
Investimento fixo direto (IFD = 5,2 x PC)	3.956.856.332,00

Na Tabela 15 é possível observar que o investimento fixo direto necessário para a produção de DME de cerca de 1500 kmoles partindo do bagaço de cana-de-açúcar é muito mais alto do que partindo do gás natural.

É possível ver, também, que existe economia de escala nas plantas seja qual for a matéria-prima utilizada. Contudo, a economia de escala para a planta que utiliza o gás natural é maior do que a da planta que utiliza o bagaço de cana. Isso acontece porque o gás de síntese obtido a partir do gás natural tem na sua composição menos impurezas do que o gás de síntese de bagaço de cana. Isso faz com que a peneira molecular seja menor e com isso menos significativa no custo total dos equipamentos, permitindo, assim, que a planta de DME partindo do gás natural seja mais barata e que esta tenha uma maior economia de escala.

Porém, mesmo os custos dos equipamentos, os custos de investimento fixo direto e a economia de escala sejam mais vantajosos na produção de dimetil éter a partir de gás natural, esta matéria-prima não é capaz de produzir DME suficiente para substituir o diesel, que é uma das pretensões da criação de uma ou mais plantas de DME. Isso acontece devido ao fato de que o consumo nacional de diesel é de cerca de 650.000 barris por dia e a produção de DME a partir de gás natural é capaz de produzir no máximo 15.650 barris por dia, por causa da baixa disponibilidade de matéria-prima. Já a produção de DME a partir de bagaço de cana pode produzir cerca de 453.000 barris por dia, um valor bem mais próximo à necessidade de consumo. Além disso, existe também a possibilidade de aumentar a produção de dimetil éter com o aumento da produção de cana-de-açúcar ou, ainda, com a utilização de outros tipos de bagaços.

A seguir, a Figura 23 mostra uma tabela com os preços do gás natural no mundo desde 1985 até 2008. Será tomado como base para comparações o valor de 2008 dos

Estados Unidos (Henry Hub), pois este é considerado o mais importante para o nosso mercado de petróleo.

Prices

US dollars per million Btu	LNG Japan cif	Natural gas				Canada Alberta†	Crude oil OECD countries cif
		European Union cif	UK Heren NBP Index†	US Henry Hub‡			
1985	5.23	3.83	—	—	—	4.75	
1986	4.10	3.65	—	—	—	2.57	
1987	3.35	2.59	—	—	—	3.09	
1988	3.34	2.36	—	—	—	2.56	
1989	3.28	2.09	—	1.70	—	3.01	
1990	3.64	2.82	—	1.64	1.05	3.82	
1991	3.99	3.18	—	1.49	0.89	3.33	
1992	3.62	2.76	—	1.77	0.98	3.19	
1993	3.52	2.53	—	2.12	1.69	2.82	
1994	3.18	2.24	—	1.92	1.45	2.70	
1995	3.46	2.37	—	1.69	0.89	2.96	
1996	3.66	2.43	1.87	2.76	1.12	3.54	
1997	3.91	2.65	1.96	2.53	1.36	3.29	
1998	3.05	2.26	1.86	2.08	1.42	2.16	
1999	3.14	1.80	1.58	2.27	2.00	2.98	
2000	4.72	3.25	2.71	4.23	3.75	4.83	
2001	4.64	4.15	3.17	4.07	3.61	4.08	
2002	4.27	3.46	2.37	3.33	2.57	4.17	
2003	4.77	4.40	3.33	5.63	4.83	4.89	
2004	5.18	4.56	4.46	5.85	5.03	6.27	
2005	6.05	5.95	7.38	8.79	7.25	8.74	
2006	7.14	8.69	7.87	6.76	5.83	10.66	
2007	7.73	8.93	6.01	6.95	6.17	11.95	
2008	12.55	12.61	10.79	8.85	7.99	16.76	

† Price is for NBP Day-Ahead Index. Source: ICIS Heren Energy Ltd.

‡ Source: *Natural Gas Week*.

Note: Btu = British thermal units; cif = cost+insurance+freight (average prices).

Figura 23. Tabela de preços do gás natural. [27]

A partir dos preços de mercado do gás natural e do bagaço de cana, e dos dados de consumo destes e de produção de DME, obtidos a partir das simulações, foi possível fazer algumas comparações de custos e faturamento entre as produções de DME partindo do gás de natural e do bagaço de cana. Os valores a serem comparados estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Tabela de Comparação dos Preços de Matéria-Prima (MP), DME e Diferenças Entre a Receita e os Custos de MP. [22]

	Gás Natural	Bagaço de cana
	US\$/MMBTU	US\$/ton
Preços	8,85	6,94

	Unidade	por ano	por mês	MP por mês (US\$/mês)
Gaseificação Brasil	Toneladas de bagaço	123948606,00	10329050,50	71729517,36
Gaseificação escala reforma	Toneladas de bagaço	4232391,42	352699,29	2449300,59
Reforma Brasil	MMBTU de gás natural	46632560,11	3886046,68	34391513,08

	Produção de DME (m3/h)	Produção de DME (L/h)	Produção de DME (L/mês)	Receita US\$/mês	Diferença entre receita e MP
Gaseificação Brasil	2999,75	2999747,73	2159818363,53	2051827445,35	1980097927,99
Gaseificação escala reforma	102,87	102872,00	74067838,84	70364446,89	67915146,30
Reforma Brasil	103,66	103657,68	74633532,84	70901856,19	36510343,11

Na Tabela 16, foi feita uma estimativa de gastos com matéria-prima para uma planta de DME partindo do bagaço na sua escala nacional; uma planta de DME partindo do bagaço de cana, porém esta planta tendo a mesma escala da planta que parte do gás natural, isto é, produzindo a mesma quantidade de DME por hora que a planta que utiliza o gás natural na escala nacional; e uma planta de DME partindo do gás natural na escala nacional.

Com a mesma hipótese de unidades, foi feita, também, uma estimativa de quanto cada uma das unidades produziria de receita bruta. Ou seja, a produção de DME de cada uma das unidades foi multiplicada pelo possível valor de venda do DME, que seria cerca de US\$ 0,95 por dm³.

O valor dos gastos com matéria-prima foi deduzido do valor obtido das estimativas de receita bruta de cada unidade. Assim, é possível perceber que a receita obtida com a venda do produto final em nas plantas com bagaço seria muito maior do que o valor gasto com matéria-prima, o que não acontece na planta com gás natural. Isso mostra um maior potencial de lucro para plantas com bagaço de cana como matéria-prima.

Outro ponto importante na análise desta tabela é o fato de a planta de DME partindo do bagaço de cana-de-açúcar ser capaz de produzir uma receita bruta de cerca de 2 bilhões de dólares em comparação com a receita bruta de quase 37 milhões de dólares da planta de DME partindo do gás natural.

9 TIPOS DE TRANSPORTE

Como o DME possui características bem próximas às do GLP, pode-se pensar em transportar o dimetil éter das mesmas maneiras as quais o GLP é transportado. Um dos aspectos que mais caracteriza o GLP e, também, o DME é a possibilidade de seu estado físico ser adaptado às condições de transporte desde a zona onde é produzido até a região onde será consumido, freqüentemente distantes uma da outra.

9.1 Transporte por Dutos

O transporte por dutos é a solução mais amplamente utilizada. Duto é uma tubulação utilizada para transportar o GLP, que é introduzido liquefeito sob pressão por meio de bombas multi-estágios. Porém, há uma perda de energia por atrito, por causa da força do fluxo, e a pressão do fluido vai caindo ao longo da tubulação. Sendo assim, faz-se necessária a existência de estações de bombeamento ao longo do trajeto, para elevar a pressão e permitir a continuidade do fluxo do produto.

O espaçamento entre as estações de bombeamento é calculado através de avaliações econômicas, porém esta distância varia na faixa de 150 a 600 km e freqüentemente, adota-se um diâmetro grande. À medida que o volume a ser transportado cresce com o aumento da demanda, estações intermediárias de bombeamento são introduzidas.

Nos dutos de transporte de longa distância, as pressões usuais podem atingir de 100 a 150 kg/cm² (9807 a 14710 KPa) logo após a estação de bombeamento, caindo, ao longo do duto, até cerca de 30 a 40 kg/cm² (2942 a 3923 KPa), quando haverá uma outra estação de bombeamento. Este ciclo pode se repetir várias vezes, permitindo atingir distâncias praticamente ilimitadas e com custos bastante econômicos. Esta operação de re-pressurização esta esquematizada na Figura 24.

Esquema de operação de um duto

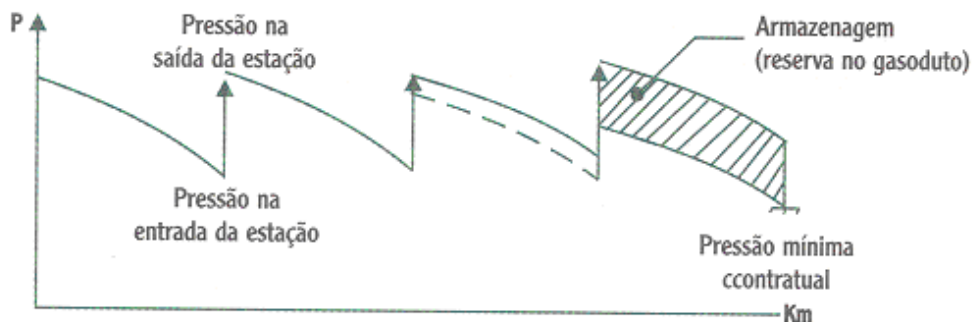


Figura 24. Esquema de operação de um duto. [28]

Já nas redes de distribuição urbana, visando a segurança das pessoas nas cidades, o GLP é transportado com pressão reduzida, ficando na faixa de 10 a 15 kgf/cm² (981 a 1471 KPa) nos botijões.

Atualmente, a operação dos dutos é feita à distância, sendo monitorada por instrumentos de controle ao longo da tubulação, tanto com a utilização de comunicação por satélites, como com a utilização de fibras óticas na faixa de domínio dos dutos. Esta instrumentação acompanha a queda de pressão na tubulação, identificando, eventualmente, a perda de GLP para a atmosfera, e também mede e monitora o fluxo que passa ao longo do duto. Caso haja um acidente, válvulas automáticas bloqueiam o trecho afetado.

Os custos de implantação do duto dependem, fundamentalmente, do volume transportado, da ocupação humana das áreas atravessadas, das dificuldades impostas pelo relevo, de eventuais obras especiais exigidas, como no caso de travessias de grandes rios ou de auto-estradas e etc. É muito comum se referir ao custo do duto como um produto do comprimento da tubulação (expresso em metros lineares) pelo seu diâmetro (expresso em polegadas), sendo que o valor pode variar entre US\$30,00 e US\$60,00/polegada metro. Ou seja, o custo por metro do duto é de US\$30,00 a US\$60,00 multiplicados pelo número de polegadas de seu diâmetro nominal.

Esta forma de transporte por duto pode, então, ser facilmente adaptada ao transporte de DME caso seja essa a melhor forma de transportá-lo da região produtora para a região consumidora.

9.2 Transporte por Navios Criogênicos

O transporte de gás liquefeito de petróleo (GLP), a uma temperatura que varia de -35°C a -48°C , em navios criogênicos, apenas é econômico para grandes volumes e distâncias. Este tipo de transporte só é utilizado quando não há outra possibilidade, como, por exemplo, no transporte intercontinental. Contudo, tem ocorrido, nos últimos anos, uma grande melhoria na economicidade desta forma de transporte de GLP. Os navios utilizados neste transporte tem capacidade de armazenagem de cerca de 100 mil m^3 . Esta alternativa de transporte, também, pode ser adaptada ao transporte de DME e pode ser utilizada caso essa opção seja a mais econômica para a situação.

9.3 Transporte por Malha Rodoviária

O transporte do GLP por malha rodoviária é feito usualmente para atender ao mercado doméstico de botijões em localidades que não estejam contempladas por malha dutoviária.

Este tipo de transporte é normalmente empregado com a finalidade de criar mercado para o derivado. Até que mercado esteja estabelecido e o volume consumido atinja valores relevantes, o transporte é feito por caminhões e passa por dois estágios.

O primeiro estágio corresponde a uma pequena demanda de GLP, onde este é transportado, já engarrafado, por caminhão. O segundo estágio corresponde a uma demanda um pouco maior de GLP que justifique a criação de uma engarrafadora local. Sendo, então, o GLP transportado em caminhões tanque e engarrafado na própria localidade. Daí em diante, uma outra forma de transporte que dependa de investimento mais volumoso, porém com custo de transporte unitário menor, torna-se viável, substituindo, assim, o transporte feito pela malha rodoviária. Estes caminhões, antes utilizados nessa localidade, seriam remanejados para a criação de novos mercados.

O transporte do DME se adapta muito bem a esse tipo de alternativa, devido às suas características muito semelhantes as do GLP, podendo ser utilizado da mesma forma.

9.4 Transporte sob a Forma de Derivados

Outra alternativa de transporte utilizada em outros países é o transporte do gás natural sob a forma de compostos derivados, que é muitas vezes a forma mais econômica, uma vez que ele é transformado em produtos líquidos ou sólidos, que têm custo de transporte menos oneroso. Porém, quando falamos de transporte de DME, essa alternativa não é coerente, devido ao fato de que para transformar novamente em DME

demandaria mais alguns processos, aumentando, assim, o custo. Além disso, o objetivo de transportar o DME é a utilização do próprio dimetil éter e não de derivados deste. Já com o gás natural, existe uma grande expectativa com o sucesso desta alternativa, que está recebendo grandes investimentos, pois ela viabiliza o aproveitamento de reservas de gás natural afastadas dos centros de consumo para uso como combustíveis convencionais. A qualidade dos derivados produzidos por processos como o GTL é excelente, por causa da baixa ocorrência de contaminantes no gás natural. No entanto, de acordo com estudos recentes, a sua competitividade só ocorrerá para cotações do petróleo acima de US\$ 25,00/barril.

9.5 Localização

Antes de analisar e escolher o tipo de transporte, é preciso escolher a localização da planta de DME.

Existem algumas teorias para definir a melhor localização de uma planta industrial. Algumas dessas teorias estão descritas abaixo [29]:

- Teoria de August Lösch - modelo de equilíbrio geral do espaço que pudesse ser utilizado pelo planejamento tanto empresarial quanto público;
- Teoria de Alfred Weber - conceito de fator locacional como uma economia de custo que a empresa industrial pode obter ao escolher a localização;
- Teoria de Walter Isard - custo de transporte como principal explicação para a escolha;
- Modelos empíricos - confronto entre demanda de fatores pelas atividades econômicas e oferta dos mesmos fatores pelas unidades territoriais de certa região.

Tomando como base a teoria de Weber é possível fazer a análise de alguns fatores como:

- Fatores locacionais gerais - economias de custo que podem ser auferidas por qualquer tipo de indústria:
 - Regionais - capazes de influenciar a escolha locacional entre regiões, que são transporte e mão-de-obra;
 - Aglomerativos e desaglomerativos - que provocam a concentração ou dispersão da indústria em certa região.
- Custo de transporte - custo de reunião de insumos materiais e o custo de distribuição do produto:
 - Ubiquidades - insumos materiais presentes em qualquer parte - não representam custos de transporte;
 - Matérias-primas localizadas - insumos disponíveis apenas em alguns lugares.

Destes fatores citados acima, o único relevante na análise da localização de planta de DME é o custo de transporte de matéria-prima, pelo fato desta ter regiões, mais especificamente Estados, com uma grande concentração da produção. Por isso, a escolha localização das unidades terá como justificativa básica o fato existir uma concentração de produção de matéria-prima.

No caso do bagaço de cana, o maior produtor nacional é o Estado de São Paulo e os maiores produtores da região norte-nordeste e centro-sul são, respectivamente, o Estado de Alagoas e o Estado de São Paulo.

A Tabela 17 é baseada na teoria de localização de Isard, onde este diz ter que existir um equilíbrio locacional ótimo com uma fonte de matéria-prima e um centro de mercado.

Tabela 17 - Tabela de Localização com Base na Teoria de Isard. [29]

Peso MP X Peso Produto	Tarifa Relativa de Transporte		
	Tm = Tp	Tm > Tp	Tm < Tp
Manutenção	Indiferente	Fonte	Mercado
Perda	Fonte	Fonte	Depende
Ganho	Mercado	Depende	Mercado
Notas: tm = tarifa de transporte da matéria-prima; tp = tarifa de transporte do produto			

Esta tabela confirma a necessidade da planta de DME, produzido com bagaço de cana-de-açúcar, se localizar próxima da fonte de matéria-prima, pois existe uma perda de peso do produto em relação à matéria-prima.

Depois de definida a localização da unidade, ainda é preciso adquirir vários tipos de documentos e realizar outros estudos e análises da localidade escolhida. Abaixo estão enumerados alguns destes:

- Estudo do Impacto Ambiental (EIA);
- Relatório do Impacto no Meio Ambiente (RIMA);
- Licença de localização (LL) ou prévia (LP) - baseada no volume e especificação das matérias-primas, produtos e efluentes gerados no processo produtivo;
- Licença de instalação (LI) - baseada na concepção e projeto adotados para manuseio das matérias-primas e produtos e no tratamento dos efluentes gerados segundo os padrões estabelecidos pela legislação ambiental;

- Licença de operação (LO) - baseada na comprovação de que a operação industrial da fábrica atendeu às especificações de projeto e da legislação ambiental;
- Análise de Risco - estudo da probabilidade de ocorrência de acidentes e suas conseqüências.

9.6 Análise dos Tipos de Transporte

Para melhor avaliar a forma de transporte a ser adotada é necessário fazer uma comparação, levando-se em conta o fato de o transporte de um combustível depender do mercado produtor, do mercado consumidor e da distância entre eles, bem como o volume transportado. Outro ponto importante é a geografia local. Entende-se como geografia, o relevo e as vias de escoamento ferroviário, rodoviário e hidroviário.

A seguir serão apresentadas as Tabelas 18 e 19 contendo alguns valores típicos para o transporte de produtos químicos.

Tabela 18 - Tabela de Custos de Transporte Marítimo, Ferroviário e Rodoviário de Produtos Químicos.

[30]

Destino Origem	Maceió (AL)	Salvador (BA)	Santos (SP)	São Paulo (SP)
Fábrica Marechal Deodoro (AL)	- 30 km -			- 2.530 km -
	- R\$ \$ 5,13/t -			- R\$ 68,00/t -
	- rodoviário -			- rodoviário -
Maceió (AL)			- 1.850 km -	
			- R\$ 27,04/t -	
			- marítimo -	
Fábrica Camaçari (BA)		- 50 km -		- 1.980 km -
		- R\$ 12,82/t -		- R\$ 65,00/t -
		- rodoviário -		- rodoviário -
Salvador (BA)			- 1.850 km -	
			- R\$ 27,04/t -	
			- marítimo -	
Santos (SP)				- 100 km -
				- R\$ 6,41 -
				- ferroviário -

Tabela 19 - Tabela de Custos Portuários e de Transporte de Produtos Químicos. [30]

Custo portuário			
R\$/t			
Operação\Porto	Maceió	Salvador	Santos
Carga	19,42	17,02	-
Descarga	-	-	24,21
Custo total do transporte até São Paulo (SP)			
R\$/t			
Modalidade\Origem	Marechal Deodoro (AL)	Camaçari (BA)	
Marítimo (multimodal)	82,21	87,5	
Terrestre (caminhão)	68	65	

Apesar de o Brasil ser um país de dimensões continentais, o que talvez favorecesse a utilização dos navios criogênicos, o terreno não é muito acidentado, ou seja, não possui montanhas muito elevadas, nem aclives muito acentuados, o que neste caso favorece a utilização de dutos para o transporte do DME.

No caso do DME produzido a partir de cana-de-açúcar, a planta seria, possivelmente, implantada no interior do Brasil. No caso da utilização dos navios criogênicos como meio de transporte, seria necessária a utilização de mais de um tipo de transporte para o deslocamento do produto do interior para o litoral e do litoral para o mercado consumidor. Esse outro tipo de transporte poderia ser rodoviário, dutoviário ou hidroviário, dependendo da localidade. A utilização de mais de um tipo de transporte aumenta os custos, porque a cada mudança, acrescenta-se um custo de manuseio do produto. Sendo assim, a utilização dos navios criogênicos torna-se uma alternativa de transporte cara.

Pensando em uma planta de DME de escala nacional, a localização desta planta seria, provavelmente, no interior da região centro-sul, mais precisamente no Estado de São Paulo, pois este é o maior produtor nacional de cana-de-açúcar.

Quando a produção é dividida em regiões, a localização da planta de DME na região norte-nordeste deve ser no Estado de Alagoas e a localização na região centro-sul deve continuar sendo no Estado de São Paulo, porque estes estados são os maiores produtores de cana de suas respectivas regiões. Isso faz com que os custos com o transporte de matéria-prima diminuam. Além disso, diminui também a poluição causada pelos possíveis caminhões que transportam a matéria-prima.

Partindo da idéia da planta de DME estar localizada próxima à região produtora da sua matéria-prima, é possível cogitar, também, a possibilidade de utilizar um tipo de transporte mesclado. Esse transporte mesclado é aquele onde o duto é utilizado para transportar o DME para grandes centros localizados a médias e grandes distâncias e o transporte rodoviário é utilizado para transportar o DME para pequenos, médios e

grandes centros consumidores a pequenas e médias distâncias. Para escolher a melhor opção, sempre deve ser feito uma análise mais profunda da relação custo-benefício.

10 RESULTADOS E CONCLUSÕES

A principal finalidade da planta proposta neste trabalho seria a substituição de diesel ou GLP, pois esses ainda tem um percentual alto de produtos importados, já que a produção nacional não é suficiente para suprir a demanda interna destes combustíveis. Além disso, haveria uma redução substancial da poluição gerada pela queima de combustíveis, o que acarretaria tanto ganhos ecológicos com a redução das emissões de gases poluentes, quanto ganhos financeiros com créditos de carbono, através de financiamentos favorecidos que são oferecidos aos que tem esses créditos ou simplesmente pela venda desses créditos de carbono.

Após analisar vários pontos importantes na produção de DME, é possível apontar a produção de DME por via direta, tendo como matéria-prima o bagaço de cana-de-açúcar e produzido em uma única planta, localizada possivelmente no interior do Estado de São Paulo, como a provável melhor maneira de se produzir e investir na produção de DME. Lembrando que uma planta que utiliza a produção nacional do bagaço é apenas uma hipótese otimista que considera que o recolhimento de matéria-prima do Brasil perfeito e completo, ou seja, que todo o bagaço do Brasil é transportado até a unidade de produção de DME sem perda alguma.

Apesar de alguns pontos da análise, como a análise econômica e o rendimento das plantas, não serem tão favoráveis à produção de DME com o bagaço de cana como matéria-prima, outros fatores muito mais relevantes confirmaram esta escolha.

Um ponto crucial na escolha do bagaço de cana como matéria-prima para a produção do dimetil éter foi a disponibilidade desta para a utilização na unidade. O bagaço de cana disponível para a produção de DME produz uma quantidade de gás de síntese 100 vezes maior do que o gás natural disponível é capaz de produzir.

O rendimento e a análise econômica não favoreceram a utilização do bagaço de cana e esses resultados se devem ao fato de o gás de síntese obtido a partir do gás natural ser mais “puro” do que o gás de síntese obtido a partir do bagaço.

Este fato exige uma peneira molécula maior e conseqüentemente mais cara para a planta que utiliza o gás de síntese obtido pela gaseificação do bagaço de cana, o que aumenta os custos desta planta e diminui a economia de escala. Um gás de síntese com impurezas não desejadas também tem como consequência a perda de massa na purificação feita na peneira molecular, o que significa um menor rendimento mássico. Porém, novamente, esses fatores não foram tão relevantes quanto o fato de o bagaço ser capaz de produzir mais DME do que o gás natural, mesmo não sendo por causa do rendimento e sim da quantidade disponível de matéria-prima muito maior para a produção de DME.

Outro ponto importante e muito relevante na escolha do bagaço de cana como matéria-prima ideal para a produção de DME foi o fator ecológico envolvido na

produção de um combustível, seja ele sendo utilizado em automóveis, como gás de cocção ou para aquecimento doméstico.

O DME é um combustível menos poluidor, seja qual for a matéria-prima utilizada na fabricação deste, porém quando uma matéria-prima renovável é utilizada, o balanço de carbono pode ser zerado. Ou seja, o carbono lançado na atmosfera pela queima do combustível de fonte renovável foi o carbono absorvido pela fonte vegetal durante o seu crescimento. Com isso, a queima deste tipo de combustível não contribui para o acúmulo de carbono na atmosfera e desacelerando, assim, o efeito estufa e o aquecimento global. Por isso, a utilização do bagaço de cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de dimetil éter é a opção mais ecológica e ambientalmente correta.

Além disso, pode ser visto na análise econômica o grande potencial de retorno do investimento no caso da implantação de uma planta de DME partindo do bagaço de cana-de-açúcar, o que não é visto na planta partindo do gás de síntese, por causa do alto custo da matéria-prima em relação à receita produzida pela venda do DME.

Com o bagaço de cana sendo a melhor opção de matéria-prima a localização da planta de DME, no caso de uma planta única, seria mais adequada no interior de São Paulo. Se forem duas plantas regionais, a localização mais adequada seria uma no interior de São Paulo e outra no interior de Alagoas. Pelo fator de existir uma economia de escala, mesmo sendo pequena, aponta o investimento de uma única planta de DME localizada no interior de São Paulo como sendo o melhor a ser feito. No futuro, com o possível aumento da produção de cana-de-açúcar, outras unidades poderiam ser implantadas conforme a necessidade.

A localização da unidade de DME no interior paulista poderia ser vantajoso, também, pelo fato do escoamento de grande parte da produção agrícola da região, que é atualmente a região agrícola mais importante do país, ser feito por caminhões que, hoje, são movidos a diesel e poderiam passar a ser movidos a DME. Isso significa que, a planta de DME, além de estar mais próxima da sua matéria-prima, também estaria mais próxima de um grande centro consumidor.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. http://www.dlambiental.com.br/site_antigo/web/educa_ambiental/img/efeito_estufa.jpg, acessado em 25/8/2009.
2. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:DiMeether.png>, acessado em 25/8/2009.
3. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Dimethyl-ether-3D-balls.png>, acessado em 25/8/2009.
4. Palestra do Prof. Victor Teixeira da Silva (NUCAT/PEQ/COPPE/ UFRJ) apresentada no VI Encontro Regional Norte/Nordeste de Catálise (VIENCAT), na UNIT-SE, em 03 de agosto de 2006.
5. ANP - Boletim Mensal de Produção, conforme o Decreto n.º 2.705/98.
6. União da Indústria de Cana-de-açúcar/UNICA e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/MAPA.
7. Bourg, H.M., FUTURE PROSPECTIVE OF DME; 23rd World Gas Conference, Amsterdam, 2006.
8. Bridwater, 1991.
9. Belgiorno, 2003.
10. Hos e Groeneveld, 1987.
11. Biomass power generation - Sugar cane bagasse and trash; PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento; CTC - Centro de Tecnologia Canavieira; 1st edition – 2005.
12. SRI Consulting – PEP 135C; Opportunities for gas-to-liquid technologies; February 2000.
13. Calculado a partir dos dados da referência [6].
14. Calculado a partir dos dados da referência [5].
15. <http://www.scribd.com/doc/6389790/Trocadores-de-Calor>, acessado em 02/09/2009.
16. Freitas, C., Rangel, H., Moretz-Sohn, J., Loureiro, P., Clark, R., Massad, R., Hugo, V.; Relatório de LADEQ, Maio/ 2007.
17. <http://www.ufrnet.ufrn.br/~lair/Pagina-OPUNIT/Fluidiza-3.htm>, acessado em 02/09/2009.
18. http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/images/stories/coluna_destilacao.png, acessado em 02/09/2009.

19. <http://alkimia.tripod.com/zeolitos.htm>, acessado em 02/09/2009.
20. <http://www.nei.com.br/images/lg/230767.jpg>, acessado em 02/09/2009.
21. http://images.google.com.br/imgres?imgurl=http://static.hsw.com.br/gif/super-charger-12.jpg&imgrefurl=http://carros.hsw.uol.com.br/supercompressores1.htm&usg=__4Yshp5XpRWf6KpooyCyC0ntQ5b8=&h=455&w=400&sz=15&hl=pt-BR&start=9&sig2=ZG4GtaibpJLPkTqWcghIwx&um=1&tbnid=uLoLE6Fek2aAkM:&tbnh=128&tbnw=113&prev=/images%3Fq%3Dcompressores%26hl%3Dpt-BR%26um%3D1&ei=wzIUS7_bCoSVtgf6xKDrCg, acessado em 02/09/2009.
22. Fortes, M.M., Plantas simuladas no HYSYS, Setembro, 2009.
23. Adaptado de “Petrochemical Processes” - A. Chauvel e G. Lefebvre; Paris: Éditions Technip, 1989 - pp. 12 - 14.
24. Adaptado de “Project Evaluation in the Chemical Process Industries” - J. Frank Valle-Riestra; USA: McGraw-Hill, Inc.,1983 - p. 262.
25. “Project Evaluation in the Chemical Process Industries” - J. Frank Valle-Riestra; USA: McGraw-Hill, Inc.,1983 - pp. 272-276.
26. Tabela de estimativa de custos da Petrobras.
27. http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/2009_downloads/gas_table_of_natural_gas_prices_2009.pdf, acessado em 05/10/2009.
28. http://www.ctgas.com.br/conteudo/img_upload/image001.png, acessado em 05/10/2009.
29. Clemente e Cosenza, Livro Projetos Empresariais e Públicos.
30. Wilson, Sons & Company, apud Jornal do Clube de Engenharia - julho de 1997, p. 9.