



IBP1242_06
USINA DE PRODUÇÃO DE OXIGÊNIO “ON-SITE”
Viviane O. Leite¹ José R. Simões-Moreira²

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

Neste trabalho apresentam-se os resultados do estudo de um sistema de produção de oxigênio hospitalar “in loco” que proporcione uma redução nas despesas relativas a aquisição deste gás pelos hospitais. Para isso, foram realizados levantamentos das aplicações do oxigênio e dos sistemas convencionais de produção de oxigênio em larga escala (sistema criogênico e sistemas concentradores). Através destes estudos, observou-se que a proposta de um novo sistema de produção de oxigênio poderá gerar uma revolução no mercado de produção e aquisição deste gás. A proposta é que o sistema seja acionado por um motor de combustão interna movido à gás natural, resultando também em uma autonomia em relação à rede elétrica. Assim, faz-se necessário construir um protótipo desta usina para a verificação das conformidades com a norma brasileira e das vantagens operacionais, como também a realização de um estudo de viabilidade econômica para as diversas aplicações e, em particular, para uso hospitalar.

Abstract

The goal of this project was the study of a oxygen production system that will provide a reduction in expenditures on acquisition of this gas for hospitals. In addition, a research of high pure oxygen application and traditional techniques of oxygen production was carried out (cryogenic system and concentrator system). As an outcome of these studies, it was observed that the proposal of a new system of oxygen production would be able to cause a revolution on the market of pure oxygen, if the operational and economic advantages of the considered system will be evidenced. Thus, a construction of an archetype is necessary to verify conformity with the Brazilian norm and the operational vantages, as well as a feasibility study.

1. Introdução

Os hospitais demandam grandes volumes de oxigênio e ar medicinal, necessitando a compra freqüente de desse gás, geralmente na forma líquida e criogênica. Por exemplo, um hospital de cerca de 300 leitos consome aproximadamente 4000 Nm³ de oxigênio ao mês a um custo da ordem de R\$ 4,00/Nm³.

Com isso, este projeto tem o propósito de oferecer aos hospitais e consumidores em geral uma solução para a redução das despesas com a aquisição de oxigênio puro (95% de pureza), demonstrando as vantagens econômicas e operacionais para a utilização do sistema que será proposto. Além disso, ele também visa demonstrar as diversas aplicações para o oxigênio com alto grau de pureza, constatando a existência de um amplo mercado e incentivando o desenvolvimento deste sistema no Brasil.

2. Levantamento das aplicações de oxigênio com alto grau de pureza.

¹ Ph.D., Engenheiro Mecânico – SISEA/Depto. Enga. Mecânica - Escola Politécnica da USP

² Graduanda em Enga. Mecânica – SISEA/Depto. Enga. Mecânica - Escola Politécnica da USP

Através do levantamento das aplicações é possível demonstrar o mercado existente para este produto, pois o oxigênio é amplamente utilizado na medicina, como por exemplo, mantendo vidas pelo auxílio da respiração natural, e também tem grande importância em usinas siderúrgicas e de fundição, em indústrias automobilísticas e mecânicas e em diversos outros setores. No meio ambiente, onde a natureza não consegue mais absorver as águas poluídas o oxigênio tem grande importância em determinadas técnicas de tratamento de efluentes.¹

Na indústria, o oxigênio pode ser utilizado em fundições, na fabricação de peças, nas montagens e até mesmo na manutenção, além de ser amplamente empregado nos processos onde são utilizados combustíveis, pois intensifica a temperatura de combustão quando é empregado para enriquecer o ar atmosférico comburente. Como exemplos de processos onde o oxigênio é empregado pode-se citar: embalagem de alimentos, reciclagem química, petroquímica e refinaria de petróleo², fornos³ (vidro, cerâmica, cal etc), processos de corte, fermentação⁴, fundição, indústria de papel e celulose, entre outros.¹

Na área médica, o oxigênio tem um papel vital na medicina, aumentando as chances de sobrevivência, por exemplo, nas incubadoras de recém-nascidos⁵. É indicado também para uso terapêutico em tratamentos intensivos⁶, cirurgias, nebulizadores, movimentação pneumática de aparelhos de anestesia, respiradores de UTIs e secagem de instrumentos cirúrgicos, chegando mesmo a ser empregado até em tratamento de beleza⁷.

Dessa forma, é possível perceber a grande importância da aquisição deste gás pelo hospital e verificar que a produção de oxigênio puro é um investimento para o qual sempre haverá mercado consumidor garantido também em muitas outras áreas.

3. Processo de produção de oxigênio

O oxigênio produzido para uso hospitalar no Brasil é, principalmente, fornecido na forma criogênica (forma industrial convencional), mas pode ser produzido também através dos sistemas concentradores, objeto deste trabalho, que recebem o nome de PSA ou VPSA, definidos abaixo. Uma comparação rápida entre os três sistemas é apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Comparação dos sistemas de produção de oxigênio.

Quesito avaliado	Criogênico	PSA	VPSA
Localização da planta em relação ao consumidor	<i>Longe</i>	<i>Próximo</i>	<i>Próximo</i>
Pureza do oxigênio obtido	<i>Acima de 95%</i>	<i>95%</i>	<i>95%</i>
Frequência de manutenção dos equipamentos	<i>Muita</i>	<i>Pouca</i>	<i>Muita</i>
Possibilidade de risco no contexto hospitalar	<i>Menor</i>	<i>Maior</i>	<i>Maior</i>
Custo total	<i>Alto</i>	<i>Baixo</i>	<i>Médio</i>

3.1. Sistema criogênico

Neste sistema há um parque industrial que geralmente não está localizado próximo aos grandes centros de consumo. O processo consiste basicamente em realizar uma destilação fracionada. Primeiramente o ar atmosférico é filtrado e comprimido. Em seguida é resfriado, tornando-se liquefeito. E finalmente, é realizada uma destilação fracionada para separar o oxigênio do nitrogênio.⁵

Assim, ao final de todo processo, o oxigênio pode ser fornecido: no estado gasoso, em cilindros de alta pressão; no estado líquido, em tanques estacionários; ou através de tubulações ligando o fabricante ao consumidor.⁸

3.2. Sistema concentrador: PSA (“Pressure Swing Adsorption”)

Neste sistema há uma usina de produção de oxigênio instalada junto ao consumidor (“on site”), não havendo despesas com transporte.

Esta tecnologia permite a separação e concentração do oxigênio ao submeter o ar atmosférico, após um tratamento de secagem e filtragem, a uma peneira molecular de zeólita sob baixa pressão (3 a 6 bar) durante um período suficiente para adsorver quase todo o nitrogênio presente no ar.⁹

Dessa forma, esta é uma alternativa de menor custo e melhor eficiência energética, se comparada ao sistema convencional. Mas, é necessário que se tenha cuidados e responsabilidade ao adquirir este sistema, pois como não há obrigatoriedade de registro no Ministério da Saúde e de realização de ensaios que verifiquem a conformidade com a

norma brasileira, insere no contexto hospitalar uma série de variáveis de risco, com a possibilidade de produzir um gás com maiores impurezas.¹⁰

3.3. Sistema concentrador: VPSA (Vacuum Pressure Swing Adsorption)

Essa tecnologia é uma variante do PSA e surge da aplicação de vácuo na purga da peneira quando a pressão de regeneração deve ser muito baixa.⁹

Devido a utilização da bomba de vácuo na purga da peneira, a zeólita será regenerada mais inteiramente, se comparada com o sistema PSA, o que torna este processo mais eficiente. No entanto, devido ao equipamento extra (bomba de vácuo) e a complexidade mecânica adicionada, este sistema apresenta um custo maior do que o PSA e aumenta a necessidade de manutenção, além do seu poder de separação ser mais baixo.¹¹

4. Princípio de funcionamento do sistema de produção de oxigênio proposto

4.1. Visão geral do sistema PSA

A partir do levantamento de sistemas de produção e da comparação realizada entre eles, o sistema concentrador PSA foi selecionado para ser proposto aos hospitais e estudado.

O princípio de funcionamento básico deste processo consiste na função e no sistema de controle da peneira molecular, no entanto, outras etapas são necessárias durante todo o processo para garantir a qualidade do oxigênio produzido, ou seja, pureza mínima de 92%.

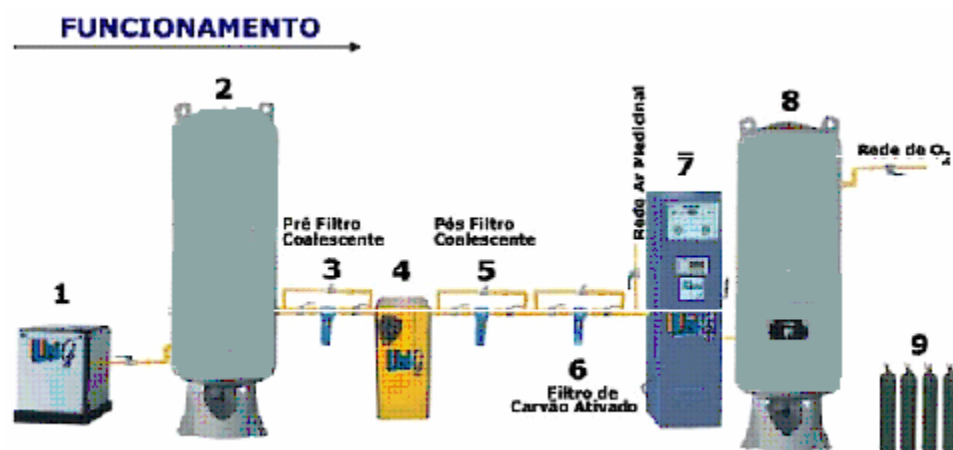


Figura 1. Esquematização do funcionamento de um sistema concentrador PSA.⁵

Na figura 1 encontra-se o esquema de funcionamento de uma usina de produção de oxigênio, cujos componentes principais são:

- 1.Compressor: A água é pressurizada a 8bar;
- 2.Separador de condensado: Condensa e drena parte da água e das partículas;
- 3.Pré-filtro coalescente: Retém partículas maiores que 1 μ e retira maior parte do óleo do ar;
- 4.Secador: Retira toda a água (temperatura de orvalho = 3°C);
- 5.Pós-filtro coalescente: Retém partículas maiores do que 0,01 μ ;
- 6.Filtro de carvão ativado: Retém o residual de óleo;
- 7.Zeólita: Retém o nitrogênio, permitindo a passagem de oxigênio com 95% de pureza;
- 8.Armazenador: O oxigênio é armazenado a 4 bar.

Sabe-se que a etapa principal no funcionamento desta usina é a passagem do ar comprimido pelo leito de zeólita. Para que se obtenha um gás com a qualidade determinada pela Resolução CFM nº 1.355/92, faz-se necessário um sistema rigoroso de controle de abertura e fechamento de válvulas em conjunto com dois vasos de pressão.

Este processo utiliza dois vasos metálicos contendo peneira molecular (zeólita) em antiparalelo, ligadas através de seis válvulas, que retém o nitrogênio do ar a alta pressão, o qual será liberado a baixa pressão. O resultado deste processo é a passagem do oxigênio através do leito adsorvente como produto final.⁹ O arranjo físico está indicado na

figura 2 e seu princípio de funcionamento está sistematizado na tabela 2, onde estão indicadas todas as ações necessárias para um ciclo completo de obtenção de oxigênio.

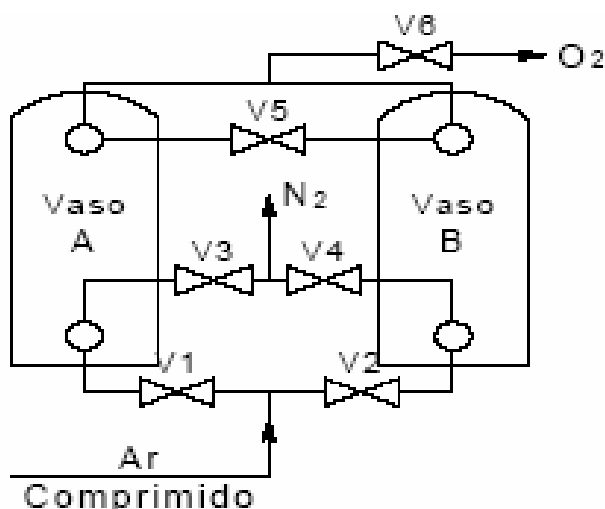


Figura 2. Esquema de válvulas que atuam no PSA.⁹

Tabela 2. Sistema de controle das válvulas indicadas na figura 2.⁹

Fase	VÁLVULAS						VASOS		AÇÕES
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	VA	VB	
8	X	X	X	X	O	X	Equalizam		Os dois vasos com as pressões internas equivalentes.
1	O			O			Pressuriza	Despressuriza	Inicia admissão de ar no vaso A e a liberação natural de N ² no vaso B
2						O	Prodüz	Purga	Inicia a produção do vaso A e a lavagem do vaso B.
3				X				Fecha	Cessa a purga do vaso B
4	X				O	X	Fecha		Cessa a produção do vaso A e equalizam-se as pressões dos vasos
							Equalizam		
5		O	O				Despressuriza	Pressuriza	Inicia admissão de ar no vaso B e a liberação natural de N ² no vaso A
6						O	Purga	Prodüz	Inicia a produção do vaso B e a lavagem do vaso BA
7			X				Fecha		Cessa a purga do vaso A
8		X			O	X		Fecha	Cessa a produção do vaso B

X=fecha a válvula; O=abre a válvula

4.2. O material de adsorção - zeólita

O componente principal para o sucesso do processo de produção de oxigênio por PSA é a peneira molecular, a qual é constituída por uma rocha denominada zeólita. A zeólita é uma rocha hidrófila composta por alumínio, silício e oxigênio, encontrada em regiões vulcânicas próximas a água, onde ocorreram erupções. Sua estrutura cristalina apresenta poros que permite a filtragem do ar. Hoje já se produz zeólita sintética, que apresenta as características pré-determinadas para cada aplicação, podendo ser hidrofóbicas ou hidrófilas,¹² e apresentando poros variando de 0,3 a 3,0 nanômetros.

Contudo, a peneira molecular de zeólita apresenta outras aplicações, além do sistema PSA. Por exemplo: esta peneira também é utilizada para a desidratação do álcool. Nessa desidratação, um fluido, em fase de vapor, contendo álcool mais água, atravessa a peneira. Esta por sua vez, retém as moléculas de água em sua estrutura cristalina.

Com a utilização da peneira molecular não há o uso de qualquer insumo químico. Sendo assim, este álcool é especialmente indicado para aplicações mais exigentes como o uso em indústrias farmacêuticas, químicas e de alimentação.

Existe redução de custo na produção de álcool anidro, através de peneira molecular, devido ao menor consumo de vapor, cerca de 30% do processo azeotrópico, além da não utilização do benzol ou ciclohexano. Esta redução no consumo de vapor abre uma maior produção de álcool ou açúcar e passa a viabilizar a produção de álcool anidro em algumas unidades industriais com capacidade limitante de caldeiras.

A automação é outro ponto favorável da instalação contando com a mais avançada instrumentação e um sistema supervisão completo (em tempo real) que fornece grande segurança, tranquilidade e controle total do processo.¹³

5. Dados técnicos do sistema em estudo e retorno econômico

Para a realização deste projeto foi previamente decidido que os equipamentos não seriam selecionados de forma a atender uma demanda específica, ou seja, seriam selecionados independentes de um valor final de produção.

Os equipamentos selecionados foram:

- Motor Caterpillar G3304:

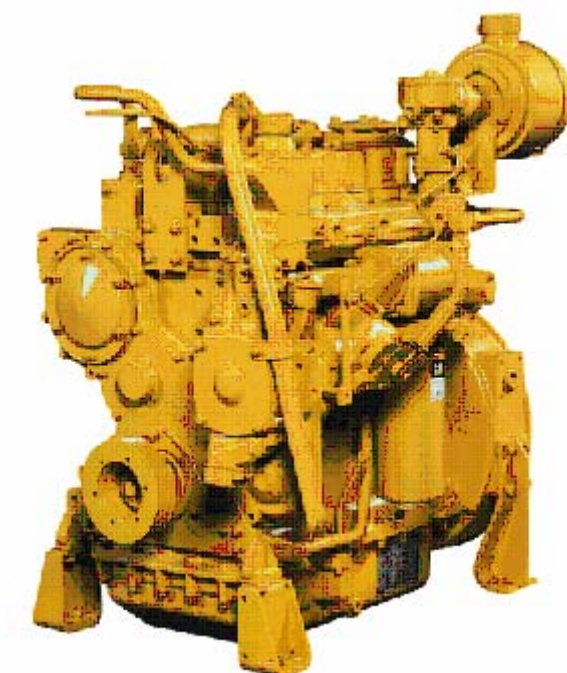


Figura 3. Motor Caterpillar G3304

É um motor de combustão interna a gás natural com quatro cilindros, que opera a 95Hp quando submetido a 100% de carga, apresentando uma rotação de 1800rpm Este motor custa US\$ 52.700,00 e seus dados de consumo podem ser observados na tabela 3.

Tabela 3. Dados de consumo do motor

Potência			Consumo
kW	Hp	%carga	m ³ /h
70,8	95	100	21,7
53,1	71	75	22,5
35,4	47,5	50	28,6

- Compressor Kaeser M121:

Este compressor apresenta uma vazão de 450 cfm, podendo operar a 145 Hp,e libera ar comprimido a aproximadamente 80°C. Seu custo é de US\$ 22.400,00.

- Secador de adsorção e filtros:
Estes equipamentos permitirão que o ar fique na condição de ar medicinal, com ponto de orvalho de -40°C e residual de 0,0003 ppms, tendo um custo de US\$ 15.500,00.
- Unidade de adsorção Kaeser KOG 2000:
Esta unidade PSA apresenta uma produção máxima de oxigênio de $52,58 \text{ Nm}^3/\text{h}$ a 95% de pureza, consumindo ar comprimido e tratado a uma taxa de $11,04 \text{ Nm}^3/\text{min}$. Este equipamento custa US\$112.750,00.

Com os equipamentos selecionados, foi escolhido um hospital como referência para o estudo de viabilidade econômica. O hospital referencial foi o Hospital Beneficência Portuguesa, localizado na cidade de São Paulo, com 1845 leitos.

Este hospital apresenta um consumo de oxigênio mensal igual a 120.000 Nm^3 , pagando R\$ 0,799/ Nm^3 de oxigênio e R\$ 0,77/ Nm^3 de gás natural.

Assim, foi realizada um estudo de viabilidade econômica para um hospital que consumisse um volume de oxigênio igual a máxima capacidade de produção dos equipamentos selecionados e que pagasse pelo oxigênio criogênico e pelo gás natural o mesmo valor que o hospital referencial, por ser este o menor custo de oxigênio criogênico encontrado.

Neste estudo foi desenvolvido um fluxo de caixa, conforma a figura 4, para o sistema convencional (aquisição de oxigênio criogênico) e um para o sistema PSA.

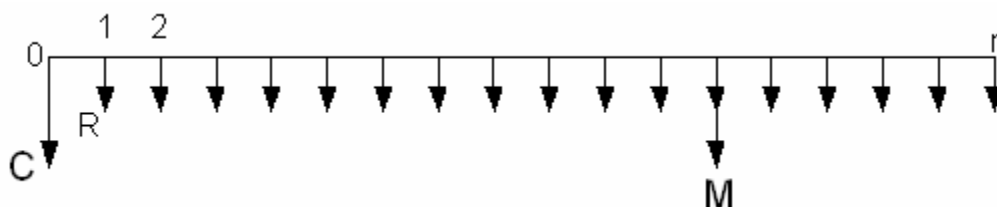


Figura 4. Fluxo de caixa

Onde:

n = Tempo de retorno em meses;

C = Investimento inicial (Custos dos equipamentos);

R = Despesas mensais com o gás natural (para o caso do sistema PSA) ou com a aquisição de oxigênio criogênico (para o caso do sistema convencional);

M = Custo anual de manutenção da planta.

Para poder comparar os dois fluxos de caixa foi necessário levar todas as despesas ao longo de um período “ n ” para um valor presente, isto foi possível através da seguinte Equação 1.

$$VP = R \left\{ \frac{1 - [1/(1 + I)^n]}{i} \right\} + M \left\{ \frac{a(q^{n-1})}{q - 1} \right\} \quad (1)$$

Onde:

VP = Valor Presente;

R = Despesas mensais com gás natural ou oxigênio;

i = Taxa de expectativa ao mês;

n = Tempo de retorno em meses;

M = Custo anual de manutenção da planta.

Com isso, utilizando uma taxa de expectativa mensal de 1,5%, tem-se que o valor produzido pelo PSA será de R\$ 0,33/ Nm^3 e o tempo de retorno será de quatro anos, sendo um sistema viável economicamente.

6. Agradecimentos

A Comgás que permitiu a utilização dos dados do projeto: “Desenvolvimento de um protótipo para produção de oxigênio “on-site” para unidades hospitalares”, desenvolvido em parceria com a USP, Kaeser Compressores e Caterpillar.

7. Referências

1. <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./energia/gases/index.php3&conteudo=./energia/gases/gases.html>. Acessado em 23/08/2005.
2. http://www.aga.com.br/international/web/lg/br/likelgagabr.nsf/DocByAlias/ind_refineries. Acessado em 23/08/2005.
3. http://www.gasin.pt/htm/your_business/Glass_OxyFuelTech.htm. Acessado em 23/08/2005.
4. http://www.whitemartins.com.br/site/aplicacoes/aplicacoes_AC012573.jsp. Acessado em 23/08/2005.
5. <http://www.oxigeniobrasil.com.br/oxigenio.htm>. Acessado em 29/06/2005.
6. http://www.respireeviva.com/informativo_exibe.asp?idboletim=5. Acessado em 15/05/2006.
7. <https://www.crystalclear.cc/revlatestPublica.htm>. Acessado em 23/08/2005.
8. http://www.linde-gastherapeutics.com.br/international/web/lg/br/likelgalhbr.nsf/docbyalias/hp_gases#OxigênioGasoso. Acessado em 12/07/2005.
9. Glowacki, L.A. “Avaliação de efetividade de sistemas concentradores de oxigênio: uma ferramenta em gestão de tecnologia médico-hospitalar”. Tese de mestrado – UFSC. Florianópolis. 2003;
10. http://server.gpeb.ufsc.br/revista/arquivo/junho_2004.htm. Acessado em 29/06/2005.
11. <http://www.uigi.com/noncryo.html>. Acessado em 12/07/2005.
12. <http://www.epa.gov/ttn/catc/products.html>. “EPA-456/F-98-004”. Acessado em 17/06/2005.
13. <http://www.planalcool.com.br/Port/default.htm>. Acessado em 18/09/2005.