

PRODUÇÃO LOCAL DE OXIGÊNIO HOSPITALAR

Viviane Otero Leite

e-mail: viviane.otero@poli.usp.br

José Roberto Simões Moreira (Orientador)

e-mail: jrsimoes@usp.br

Resumo. O propósito deste projeto é o estudo de um sistema de produção de oxigênio que proporcione uma redução nas despesas relativas a aquisição deste gás pelos hospitais. Para isto foi realizado um levantamento das aplicações do oxigênio com alto grau de pureza que possibilitou a análise do mercado existente para este produto, e um levantamento das formas de produção de oxigênio em larga escala, a partir do qual foram encontrados dois sistemas principais: sistema criogênico (convencional) e sistema concentrador (PSA ou VPSA). Observando-se que a proposta de instalação de um novo sistema de produção de oxigênio em hospitais poderia gerar uma revolução no mercado de produção e aquisição de oxigênio puro, foi feita a modelagem de um novo sistema, assim como um estudo de viabilidade do mesmo, comprovando suas vantagens técnicas, econômicas e operacionais.

Palavras chave: oxigênio, sistema criogênico, sistema concentrador, PSA, zeólita.

1. Introdução

Os hospitais demandam grandes volumes de oxigênio e ar medicinal, necessitando a compra freqüente de cilindros de gases a custos muito elevados. Por exemplo, um hospital de cerca de 300 leitos consome aproximadamente 4000m^3 de oxigênio ao mês a um custo da ordem de R\$ 4,00/m³.

Com isso, este projeto tem o propósito de oferecer aos hospitais 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

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. Assim, são utilizados no tratamento de efluentes.

Na indústria 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 transmissão de calor, eleva a temperatura e reduz as perdas nos gases de evasão. Como exemplos de processos onde o oxigênio é empregado pode-se citar: embalagem de alimentos, reciclagem química, petroquímica e refinaria de petróleo, fornos, (vidro, cerâmica, cal etc), processos de corte, fermentação, fundição, indústria de papel e celulose etc.

Como foi dito anteriormente, o oxigênio tem um papel vital na medicina, aumentando as chances de sobrevivência, por exemplo, nas incubadoras de recém-nascidos. É indicado também para uso terapêutico em tratamentos intensivos, cirurgias, nebulizações, movimentação pneumática de aparelhos de anestesia, respiradores de UTIs e secagem de instrumentos cirúrgicos, chegando a ser empregado até em tratamento de beleza.

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.

3. Processo de produção de oxigênio

O oxigênio produzido para uso hospitalar pode ser obtido, principalmente, por sistema criogênico (forma industrial convencional) ou sistemas concentradores (PSA ou VPSA). Uma comparação rápida entre os três sistemas é apresentada na tabela 1.

Tabela 1 – Comparação dos sistemas de produção de oxigênio.

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

3.1. Sistema criogênico

Neste sistema há um parque industrial que geralmente não está localizado próximo ao consumidor.

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.

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.

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 do ar atmosférico, após um tratamento de secagem e filtragem, 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.

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.

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.

Devido à 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.

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

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%.

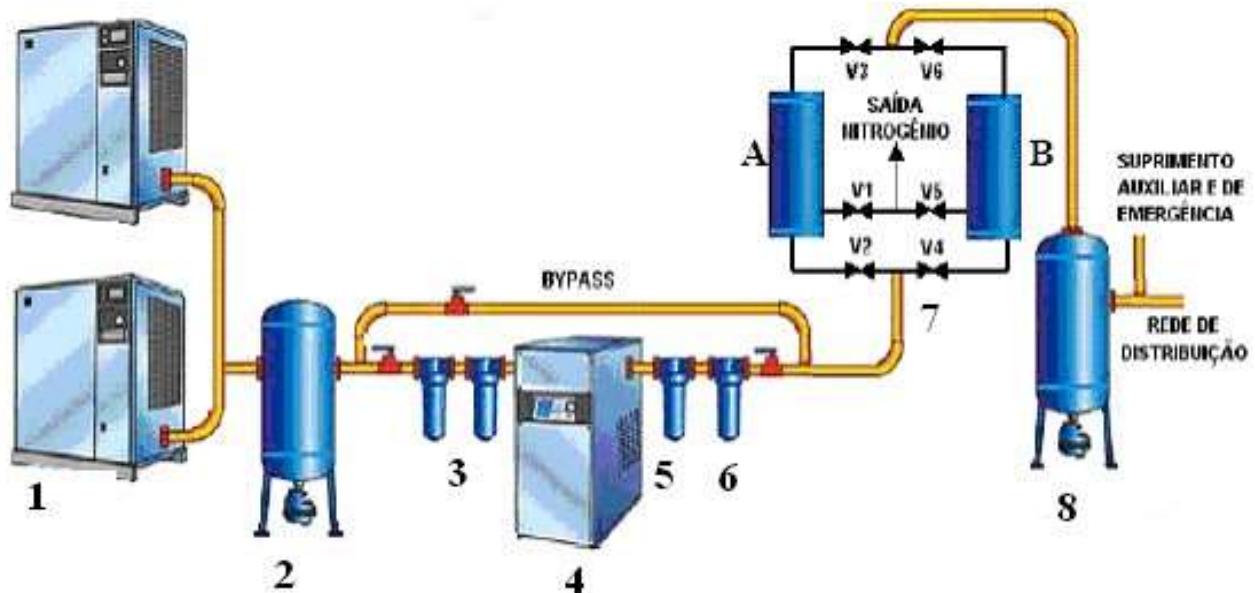


Figura 1 – Esquematização do funcionamento de um sistema concentrador PSA.

Na figura 1 encontra-se o esquema de funcionamento de uma usina de produção de oxigênio. Onde:

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 1μ e retira maior parte do óleo do ar;
4. Secador: Retira toda a água ($PO=3^{\circ}C$);
5. Pós-filtro coalescente: Retém partículas maiores do que $0,01\mu$;
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 pela zeólita. Para que se obtenha um gás com a qualidade determinada pela norma, faz-se necessário um sistema rigoroso de controle de válvulas nesta etapa.

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. 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.

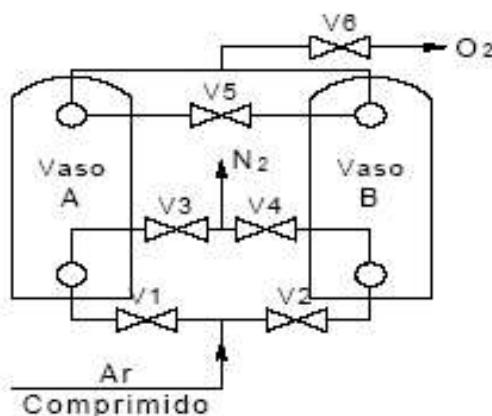


Figura 2 – Esquema de válvulas que atuam no PSA.

Tabela 2 – Sistema de controle das válvulas.

F a s e	VÁLVULAS						VASOS		AÇÕES
	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	V 6	VA	VB	
8	X	X	X	X	O	X	Equalizam		Os dois vasos com as pressões internas equivalentes.
1	O			O			Pressuriza		Inicia admissão de ar no vaso A e a liberação natural de N ₂ no vaso B
2					O		Produz	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	Produz	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									

5. 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.

Dentre os diversos tipos de zeólita pode-se encontrar poros variando de 0,3 a 3,0 nanômetros. Na figura 3 pode-se observar como é a estrutura cristalina da zeólita.

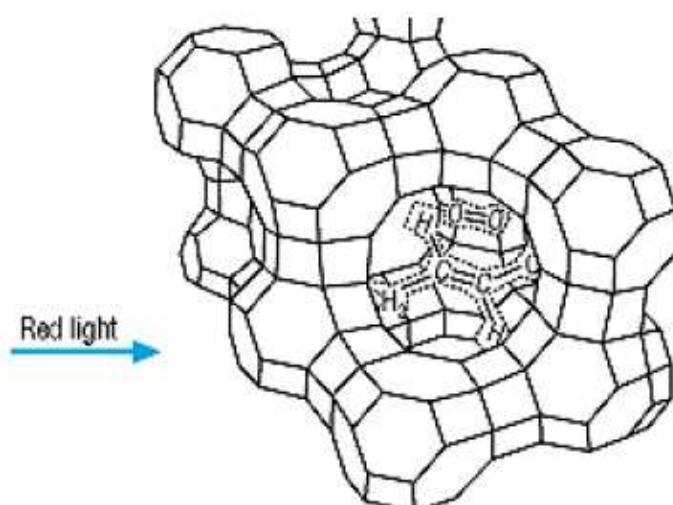


Figura 3 – Estrutura cristalina da zeólita tipo Y.

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 supervisor completo (em tempo real) que fornece grande segurança, tranquilidade e controle total do processo.

6. Proposta do projeto conceitual da usina

O sistema a ser apresentado será baseado no sistema comercializado pela Kaeser na Alemanha, com as possíveis alterações, visando atender as normas brasileiras vigentes e com o intuito de torná-lo um sistema mais independente.

A Kaeser dispõe de um modelo de produção de oxigênio baseado no sistema PSA, sendo totalmente automático, não requerendo mão-de-obra especializada para operá-lo.

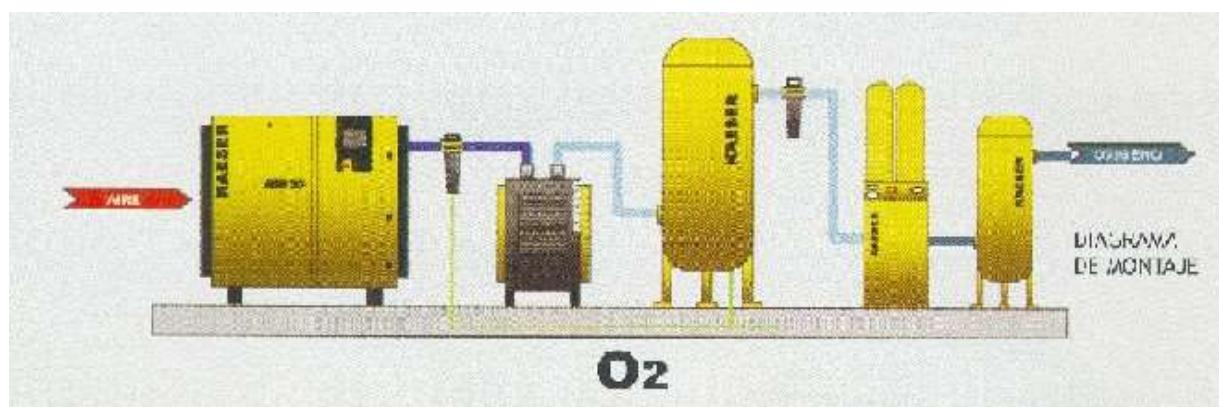


Figura 4 – Sistema Kaeser

O sistema proposto apresenta tanques reservas e uma saída de produção de ar medicinal, como poderá ser observado nas figuras 5 e 6.

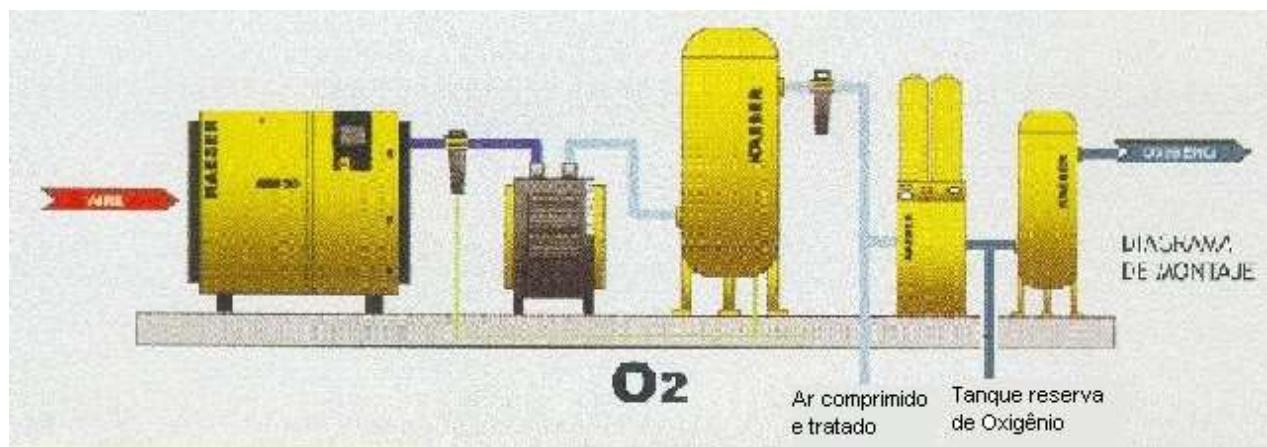


Figura 5 – Modificações propostas

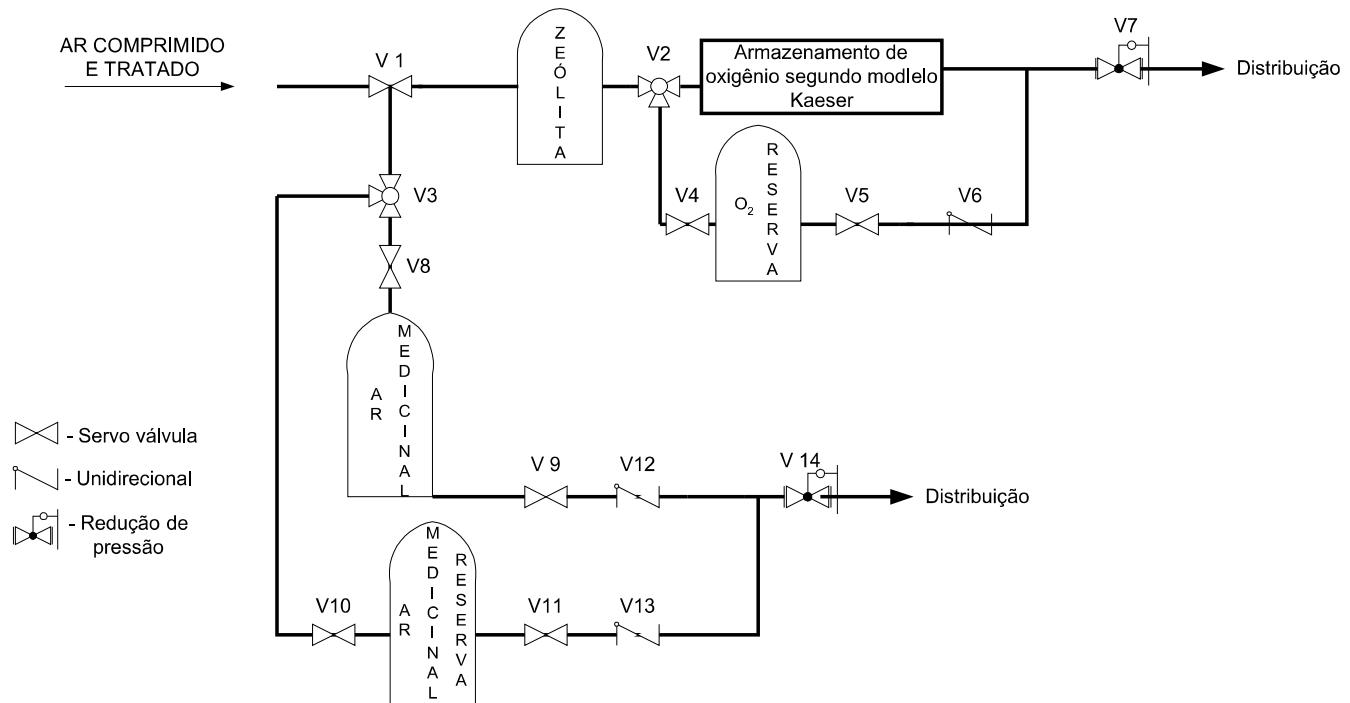


Figura 6 – Válvulas adicionais necessárias

7. Definição do sistema

Um dos objetivos deste projeto é desenvolver um conhecimento sólido para que seja possível a construção e instalação de um sistema PSA, no futuro, com o qual possam ser feitos ensaios verificando sua viabilidade e compatibilidade com a norma brasileira vigente, concedendo veracidade ao estudo teórico desenvolvido. Assim, a partir desta experiência e seus resultados, este protótipo poderá ser comercializado com segurança e sustentado por dados conceituais e empíricos.

Perante este objetivo, foi selecionado um possível local de instalação do protótipo, um hospital, do qual serão coletados dados para referências no estudo de viabilidade econômica.

Tabela 3 – Dados referentes a Irmandade Santa Casa de Misericórdia de São Paulo

Consumo médio	60.000 Nm ³ /mês
Preço do oxigênio (incluso frete)	R\$ 0,799/Nm ³
Preço do gás natural	R\$ 0,98/Nm ³

8. Viabilidade

Após a seleção e cotação dos equipamentos, assim como a escolha de um local para instalação do protótipo, um estudo de viabilidade foi desenvolvido com o intuito de comprovar as vantagens do investimento.

Como visto anteriormente, um provável local de instalação do protótipo será um hospital de grande porte e alto consumo de gases medicinais. Os dados deste hospital serão o referencial inicial para o estudo de viabilidade, ou seja, o primeiro estudo será desenvolvido para uma instituição fictícia com consumo de oxigênio igual a máxima capacidade de produção dos equipamentos selecionados, pagando o mesmo valor que o hospital referencial, pelo oxigênio criogênico e pelo gás natural.

Assim, foram feitas diversas simulações, comprovando a viabilidade do sistema.

Tabela 4 – Variáveis adotadas na primeira simulação.

DADOS DE ENTRADA			
Consumo mensal (Nm ³ /mês)	37857,6	Taxa de expectativa ao mês (%)	1,5
Preço do oxigênio criogênico (R\$/Nm ³)	0,799	Tempo de retorno (anos)	5
Custo do gás natural (R\$/Nm ³)	0,98	Dólar	2,2
Custo da energia elétrica (R\$/kWh)	0,29		

Com essas variáveis de entrada foi calculado um valor presente para ambos os sistemas (convencional e PSA) e constatado que para esta situação o sistema é viável, tendo um tempo de retorno de investimento igual a 4 anos e sem considerar o investimento inicial, o oxigênio estaria sendo produzido a R\$ 0,33/Nm³.

Com o auxílio de outras simulações, pode-se verificar a viabilidade do sistema PSA, pois na simulação apresentada foi considerado um valor relativamente baixo para o custo do oxigênio criogênico, de acordo com pesquisas em outras unidades hospitalares. Logo, para um valor médio do custo de oxigênio criogênico, verifica-se que o sistema PSA é viável mesmo com o aumento do dólar e pode apresentar um tempo de retorno do investimento inferior a 4 anos.

9. Conclusão

A proposta de um novo sistema de produção de oxigênio aos hospitais pode ser a de um sistema concentrador do tipo PSA, pois comprovadamente este sistema é viável economicamente apesar do elevado investimento inicial. Além de ser um sistema operacionalmente e tecnicamente viável por não requerer grandes manutenções e não apresentar necessidade de mão-de-obra especializada.

No entanto ainda faz-se necessário a construção de um protótipo para que a verificação destas viabilidades, assim como o cumprimento da norma. Afinal, apesar deste sistema ainda não ter obrigatoriedade de registro, também foi comprovado a existência de resoluções que se obedecidas garantem a segurança do operador do sistema, assim como a qualidade do oxigênio produzido, garantindo a segurança de quem utiliza este gás.

Porém, além dos hospitais este sistema também poderá ser proposto aos diversos setores industriais, os quais necessitam de um menor controle da qualidade do oxigênio produzido.

Concluindo-se que o PSA é realmente uma tecnologia que pode ajudar na redução das despesas, como também auxiliar na ampliação da capacidade produtiva das indústrias, pois não apresenta alto custo. Assim, pode ser adquirido por setores industriais de pequeno porte com o intuito de aumentar a eficiência dos processos industriais.

Sendo assim, é uma tecnologia que ainda poderá contribuir para um crescimento industrial.

7. 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.

Ao Prof. Dr. José Roberto Simões Moreira por sempre indicar a direção a ser tomada nos momentos de maior dificuldade.

A minha família pelo estímulo e paciência.

8. Referências

- AGA, 2005. www.againc.com.br. Acessado em 23/08/2005.
- AMBIENTE BRASIL, 2005. www.ambientebrasil.com.br Acessado em 23/08/2005.
- CRYSTAL CLEAR, 2005. www.crystalclear.cc/revlatestPublica.htm. Acessado em 23/08/2005.
- EPA, 1998. www.epa.gov. “EPA-456/F-98-004”. Acessado em 17/06/2005.
- GASIN, 2005. www.gasin.pt/htm/your_business/Glass_OxyFuelTech.htm. Acessado em 23/08/2005.
- 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;
- HOSPITAL GERAL, 2005. www.hospitalgeral.com.br. Acessado em 12/07/2005.
- HULBUT Jr., S. “Manual de mineralogia”. Volume 2. Editora da Universidade de São Paulo. 1969.

- HUMMEL, P. R. V.;PILÃO, N. E. "Matemática Financeira e Engenharia Econômica: a teoria e a prática da análise de projetos de investimentos". Ed. Thomson. 2002.
- LINDE, 2005. www.linde-gastherapeutics.com.br. Acessado em 12/07/2005.
- OXICUR, 2006. www.oxicur.pt. Acessado em 06/05/2006.
- OXIGENIO, 2006. www.oxigenio.com.br. Acessado em 06/05/2006.
- OXIGENIO BRASIL, 2005. www.oxigeniobrasil.com.br. Acessado em 29/06/2005.
- PLANALCOOL, 2005. www.planalcool.com.br. Acessado em 18/09/2005.
- RADIOBRAS, 1996. www.radiobras.gov.br/ct/1996/coluna_120496.htm. Acessado em 29/06/2005
- RESPIRE E VIVA, 2006. www.respireeviva.com. Acessado em 15/05/2006.
- SCIELO, 2002. <http://www.scielo.br>. Acessado em 24/11/2006.
- SFC, 2006. <http://www.sfc.fazenda.gov.br/sfc/dp/dp19/hospitais.htm>. Acessado em 24/11/2006
- SILTON, 2005. www.silton.com.br. Acessado em 29/05/2005.
- UFSC, 2004. server.gpeb.ufsc.br/revista/arquivo/junho_2004.htm. Acessado em 29/06/2005.
- UIGI, 2005. www.uigi.com. Acessado em 12/07/2005.
- WHITE MARTINS, 2005. www.whitemartins.com.br. Acessado em 23/08/2005.
- ZEOCHEM, 2005. www.zeochem.com. Acessa do em 28/05/2005.

14.1 Normas Técnicas

Resolução CFM nº 1.355/92, de 14 de agosto de 1992.

Anvisa. Resolução RDC 50, de 21 de fevereiro de 2002.

LOCAL PRODUCTION OF HOSPITAL OXYGEN

Viviane Otero Leite

e-mail: viviane.oteroleite@poli.usp.br

José Roberto Simões Moreira (Orientador)

e-mail: jrsimoesusp.br

Abstract. The intention of this project is the study of a oxygen production system which will provide a reduction in expenditures on acquisition of this gas for the hospitals. Then, a research of high pure oxygen's application and ways of oxygen's production was made. As a result, was found a consuming market and finding two ways of oxygen's production: cryogenic system and concentrator system (PSA or VPSA). In such a way, verified that the installation proposal of a new system of oxygen's production in hospital would be able to cause a revolution on production's an acquisition's market of pure oxygen was made the modeling of anew system, as well as the system's feasibility study, proving its techniques, economics and operational advantages.

Keywords: Oxygen, cryogenic system, concentrator system, PSA, zeolite.