



Anais do XXXIV COBENGE. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.  
ISBN 85-7515-371-4

## DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA ENSINO EM ENGENHARIA PELA DETECÇÃO DE GÁS E ESTUDO DE SENSORES

**Lílian Marques Silva** – lilla-marques@uol.com.br

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Av. Prof. Luciano Gualberto, 158 – Travessa 3, sala A1-46-LSI  
05508900 - São Paulo - SP

**Roberto da Rocha Lima** – rrlima@if.usp.br

Instituto de Física da Universidade de São Paulo  
Rua do Matão, 187 - Travessa R  
05508-900 - Cidade Universitária - São Paulo

**Alexsander Tressino de Carvalho** – tressino@lsi.usp.br

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

**Marco Fakri** – marcofakri@ig.com.br

Faculdade de Tecnologia de Tatuí  
Praça Adelaide B. Guedes, 01  
18270-000 – Centro – Tatuí

**Maria Lúcia Pereira da Silva** – malu@lsi.usp.br

Faculdade de Tecnologia de São Paulo  
Praça Coronel Fernando Prestes, 30  
01124-060 – Bom Retiro – São Paulo

**Resumo:** *Esse trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de equipamento para demonstração de sensores de gases, especialmente oxigênio, que tivesse como principais características baixo custo; versatilidade; facilidade de uso e manutenção; portabilidade; facilidade de acesso – tanto visual como manual – em todas as partes do equipamento. Foi desenvolvido material didático, de caráter geral, sobre sensores. Esse material propicia a compreensão dos princípios de funcionamento dos sensores e do funcionamento do equipamento de teste. O equipamento construído demonstrou facilidade de uso para sensor de oxigênio, sendo reprodutível em seu comportamento. Todos os materiais utilizados em sua construção são facilmente obtidos em lojas especializadas, existentes em qualquer cidade grande.*

**Palavras-chaves:** *Sensores, Ensino em Engenharia, Detectores de Gás.*

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo PETERSEN (1995) e HEUBERGER (1993) os sensores podem atuar nas mais diversas áreas, tais como: Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Química e Bioengenharia. Dentre as propriedades possíveis de se monitorar estão os sistemas completos de reação química apresentados por WEGENG (1996), sistemas de análise química mostrados por TERRY (1986) e bioquímica encontrada em WILDING (1994) etc.

Os sensores têm sua construção baseada nas mais variadas propriedades; podendo ainda, serem classificados em: eletroquímicos, elétricos, ópticos, térmicos e piezelétricos. Tais dispositivos podem realizar medições de corrente, tensão, condutividade, luminescência, índice de refração, temperatura etc. As medidas potenciométricas costumam ter menor sensibilidade quando comparadas as medidas amperométricas e apresentam limite de detecção maior, sem mencionar os problemas de interferência. A medição da condutividade permite a determinação da concentração da solução. O índice de refração pode ser obtido através de medidas ópticas, não destrutivas e podendo ser seletivas, principalmente devido à possibilidade de variar o comprimento de onda empregado. Os cristais piezelétricos, que fornecem a medida de variação de massa, apresentam muitas vantagens, tais como durabilidade, custo baixo, inércia química e resistência a temperaturas altas SILVA (2005).

Com o desenvolvimento que vem ocorrendo nas últimas duas décadas criou a possibilidade à química analítica de aperfeiçoar as micro-análises (análise ocorrendo com amostras com volume máximo igual a 10  $\mu$ l), pelo uso de sensores portáteis e baratos como exemplificam BERTOTTI (1996) e LANÇAS (1996). No mercado encontram-se sensores altamente sensíveis que estão cada vez mais acessíveis e com dimensões cada vez menores (como exemplo, nanotecnologia), como é o caso de espectrômetros de massa.

Na área química o grande desafio é a adaptação desses sensores a processos químicos agressivos.

## **2. COMO SELECIONAR OS SENSORES**

Para a aquisição de determinados equipamentos faz-se necessário que algumas questões sejam respondidas. Por exemplo, “Qual é o melhor?”; “Quanto custa?”; “Realmente preciso deste equipamento?”. A regra vale também quando o assunto é sensores: “Qual é o melhor sensor?”; “Quanto custa?”; “Quais são suas aplicações?”; “Quais são suas limitações?”; “Por quanto tempo vou utilizá-lo?”. É evidente, que responder estas questões não é uma tarefa simples. Cada sensor possui certas capacitações, limitações e sua aplicação adequada, dependendo basicamente, de onde serão usados. Deste modo, para escolher o sensor correto, primeiro é necessária que seja definida sua aplicação.

Para selecionar um sensor, seja ele eletroquímico, catalítico, do estado sólido e de infravermelho deve-se levar em consideração certos critérios práticos que permitam usá-los em aplicações, tais como as que permitem controlar a qualidade do ar e segurança de uma área de trabalho, sempre levando em consideração o que descreve o fabricante.

### **2.1 Exigências básicas**

Primeiramente, o sensor deve ser projetado num suporte que seja a prova de explosão, pequeno e robusto, apropriado para ambientes agressivos e locais perigosos. Um projeto para instalação em áreas de produção industrial e custo-efetivo com valores razoáveis.

Em situações onde há necessidade de sensores portáteis, os instrumentos devem ter um consumo de energia razoavelmente reduzido e possibilidade de utilização de diferentes tipos e marcas de geradores. Sua dimensão, preferencialmente, reduzida, o que facilitaria o

transporte. Os instrumentos, geralmente, são intrinsecamente seguros para o uso em áreas agressivas.

A operação e manutenção do instrumento deve ser facilmente executada pelo usuário; recomendando-se, mínimo treinamento específico possível.

Em se tratando de instalações limpas, os sensores devem apresentar comportamento capaz de funcionar contínua e confiavelmente durante um período; mínimo de 30 dias. O sensor tem comportamento funcional (por exemplo, ambiente industrial) por, no mínimo, dois anos ou mais e deve ser substituído com custo razoável.

Quando os instrumentos são instalados em áreas protegidas apresentam custos menores que os instrumentos expostos a áreas agressivas.

Estes itens são aplicados apenas para os quatro sensores citados.

Existem outros tipos de sensores, além dos que foram mencionados capazes de reunir os itens necessários para cada tipo de aplicação, contudo, a grande maioria dos sensores possui outras limitações fazendo com que não sejam utilizados. Os sensores de condutividade térmica, por exemplo, são amplamente aplicados em medições que envolvam altas concentrações e não pouco usados em monitoração de gases.

### 3. DETERMINAÇÃO DE APLICAÇÃO

A determinação da aplicação de cada sensor é o que determina os seguintes fatores e observações:

A – Defini-se o primeiro objetivo do teste e especificações dos instrumentos cujos reúnem exigências mínimas. As especificações devem conter a definição dos gases e da faixa de leitura do sensor. Assim como qualquer outro instrumento de medida deve-se selecionar a faixa de maior unidade a ser medida. Por exemplo, seleciona-se uma faixa de 50 Volts para medir uma bateria de 12 Volts.

B – Determina-se o *background* dos gases no local a ser monitorado. Analisa-se uma amostra representativa quando não pode-se determinar o *background* dos gases. A seletividade ou especificação de cada um dos sensores selecionados precisa ser aceitável para cada aplicação.

C – É importante que a faixa de temperatura onde o sensor é instalado esteja dentro das especificações do sensor. O fator dia e noite, verão e inverno, também deve ser levada em consideração, pois as variações de temperaturas se mostram bastante significativas dependendo do local de instalação. Uma variação grande de temperatura pode causar condensação de umidade. Observa-se tal acontecimento, particularmente, em ambientes confinados, tais como, contêineres onde a circulação do ar é baixa.

D – Os sensores têm dentro de suas especificações a umidade que deve ser de 95% sem-condensação. A ocorrência da condensação é função da variação de temperatura. A condensação ocorre, geralmente, em áreas com pouca circulação de ar. Tanto os sensores do estado sólido quanto os sensores catalíticos têm um princípio de aquecimento, e seus transmissores são projetados para operar entre 14 – 24 VDC, como produção de calor. Este fato faz com que os transmissores dificilmente sejam usados em aquecedores de ambiente de forma a minimizar a condensação. Os sensores que requerem potências menores são os eletroquímicos; conseqüentemente, a temperatura dos transmissores é similar a temperatura ambiente do local em que se encontram. Neste caso, é mais fácil ocorrer à condensação.

E – Em caso de aplicações onde os sensores são expostos continuamente, algumas considerações especiais são exigidas para os sensores.

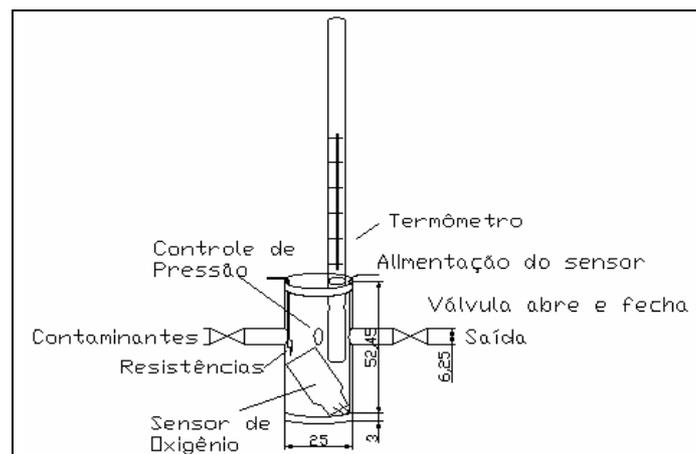
Os fatores e especificações acima demonstram as dificuldades de mencionar todas as considerações possíveis, mas um exame metuculoso permite avaliar e estudar aplicações que podem apresentar bom rendimento e economia, tanto em tempo como em dinheiro.

Pode-se decidir com o auxílio das especificações dos sensores qual deles melhor reúne as exigências/ características necessárias para cada tipo de aplicação.

#### 4. MATERIAL PARA DEMONSTRAÇÃO

Neste trabalho tem-se o intuito de desenvolver e testar uma cela de demonstração que permita verificar como os sensores se comportam em relação aos principais parâmetros de detecção, tais como: temperatura; pressão; porcentagem do contaminante (medido), no ar atmosférico; adição de outros contaminantes ao sistema (tais como álcool e acetona); variação da umidade relativa; e variação da atmosfera.

Estas condições correspondem às possíveis interferências que ocorrem no dia-a-dia. Seria interessante ter a cela de teste que monitorasse a eficiência do sensor tanto em ambiente líquido como gasoso, usada para medidas qualitativas. Essa é uma utilização nobre deste equipamento, uma vez que, para a medicina, por exemplo, para verificar rapidamente se o equipamento está funcional é tão importante quanto calibrá-lo periodicamente. Esse é o caso para a monitoração da quantidade de oxigênio que é enviada ao paciente através dos equipamentos de anestesia. Alguns esquemas foram propostos e chegou-se a conclusão que a melhor forma de montagem seria de acordo como segue o esquema da Figura 1. Neste arranjo considera-se a mínima existência de espaços mortos no sistema, para viabilizar a análise qualitativa.



**Figura 1. Sistema para teste de sensor sem a presença de espaços mortos.**

Neste esquema tem-se um cilindro onde coloca-se a célula sensora, um termômetro, uma resistência para monitoração da variação de temperatura, uma entrada para gases interferentes, uma entrada para variação de pressão e saída. O arranjo pode ser montado em acrílico, em vidro ou em PVC. Optou-se por um sistema em vidro, pois tem custo reduzido e transparente – portanto mais fácil de visualizar o que ocorre dentro do sistema. Devido à utilização de vidro, tornou-se inviável a fabricação de um sistema cilíndrico; portanto, fizemos um sistema retangular.

##### 4.1 Os outros materiais

Além do corpo de vidro (4mm de espessura) com várias entradas utilizou-se 3 seringas (de 20 ml – com diâmetro externo de 25,4 mm) descartáveis para admissão dos contaminantes na cela de reação. Alguns pedaços de poliflow® de 60 mm de comprimento e 1/4" de diâmetro externo para realizar as ligações. Para monitoração de temperatura do ambiente usou-se 1

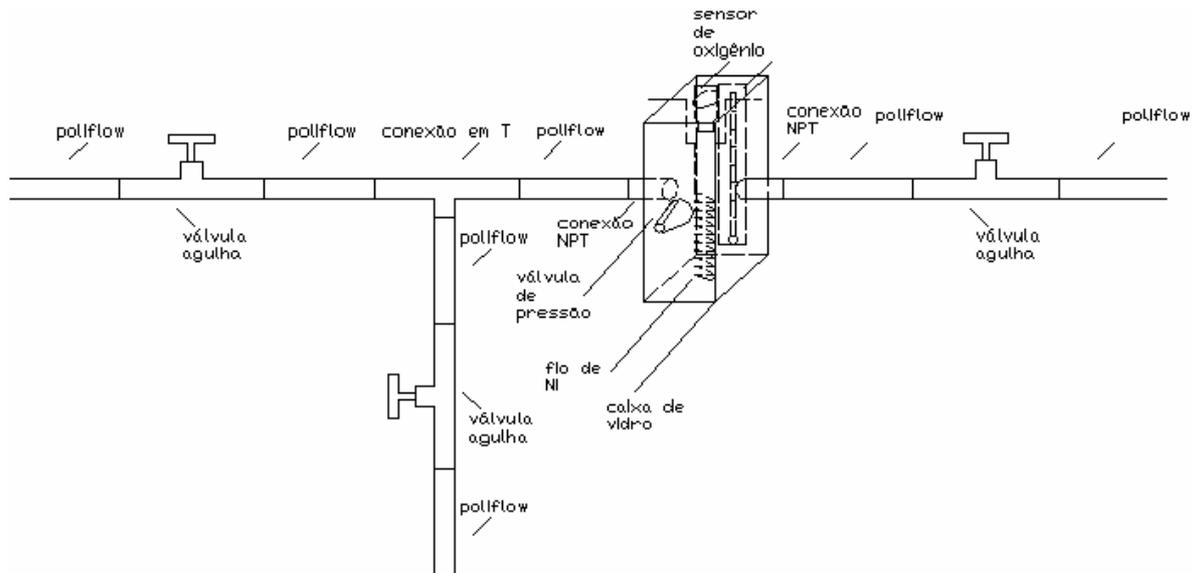
termômetro de 85 mm de comprimento. O controle de entrada e saída de reagente foi efetuado com o auxílio de 3 válvulas agulha com diâmetro de 12 mm de diâmetro externo. Como gás de arraste utilizou-se 1 mini compressor manual, 1 bico-válvula com diâmetro externo de 15 mm, 4 *o-rings* de borracha com diâmetro de 12 mm, uma fonte de 12 V, que serviu pra alimentação do sensor, 2 conexões NPT com diâmetro externo de 12 mm, 1 conexão em T com diâmetro externo de 12 mm, 1 multímetro, cola de silicone para as vedações. Para alteração de temperatura colocou-se 1 fio de Ni 687 mm de comprimento. Como detector usou-se 1 célula de um sensor de oxigênio, Citycell® da Citytech. Como reagentes (álcool, acetona etc). E 1 base de madeira para suporte do conjunto. A Figura 2 demonstra os materiais utilizados desenvolvimento do esquema proposto para os testes do sensor de oxigênio.



**Figura 2: Materiais utilizados para a montagem do aparato experimental.**

#### **4.2. Montagem do sistema**

Para realizarmos a montagem do sistema seguimos alguns passos, tais como: fabricação da cela de vidro (com furos), colocou-se as válvulas e poliflow®, o *o-ring* (na conexão NPT), fixou-se o termômetro numa das paredes da cela, centralizou-se o filamento, encaixou-se célula sensora; e todos estes itens suportado em uma base de madeira para que a manipulação seja fácil e todos os itens sejam mantidos em suas respectivas posições. O esquema geral pode ser visualizado na Figura 3.



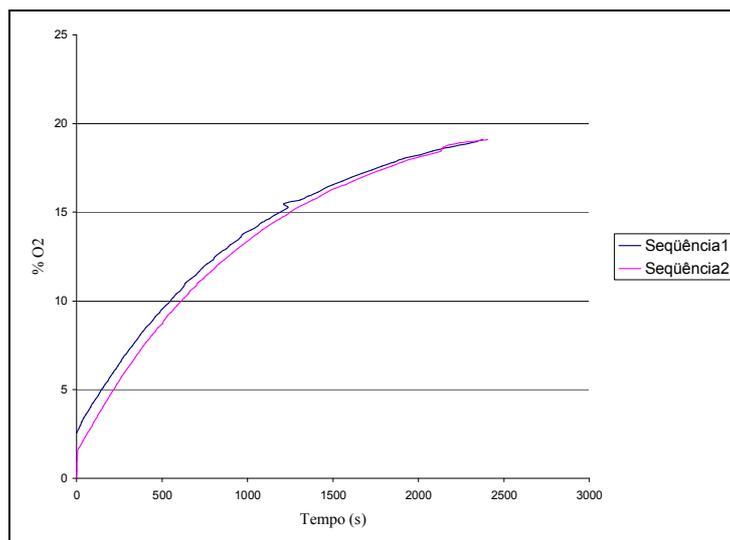
**Figura 3. Arranjo final para o equipamento de demonstração.**

Tal montagem do arranjo desejado para o equipamento apresentou êxito durante sua aplicação, mesmo quando testado para diversas condições.

## **5. TESTES PARA DEMONSTRAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA CELA**

No equipamento descrito anteriormente realizaram-se vários testes. Os testes permitiram a descrição das principais características de desempenho do sensor sob teste. Assim, verificou-se o desempenho quando pressão, temperatura, gás admitido, umidade e contaminante são variados.

No primeiro experimento verificou-se o comportamento da cela de teste quando nitrogênio é admitido ao sistema, ou seja, verificou-se o tempo de resposta do detector para a admissão de nitrogênio à cela de teste. Teste consistiu em admitir nitrogênio, de um torpedo, por um das válvulas agulha mantendo a outra também aberta. A Figura 4 apresenta resultados típicos obtidos durante o experimento. As seqüências são resultados obtidos com a mesma metodologia, porém, em períodos distintos para avaliar o comportamento do sensor com a porcentagem de  $O_2$  presente no ambiente.



**Figura 4. Resultados típicos obtidos no experimento 1.**

Inicialmente, o valor no sensor<sup>1</sup> é de (de 9,9 mV). Adicionou-se nitrogênio por cerca de 10 s. Esperou-se até que o valor de medida atingisse 1,2 mV (tempo médio de 50 s). Monitorou-se a variação do valor por 40 minutos. Observa-se, entre as duas séries de medidas, pouca variação. O longo tempo para remoção do nitrogênio deve-se, muito provavelmente, ao pequeno diâmetro da tubulação. Para verificar se o sistema pode reagir rapidamente à exposição ao ar, uma das válvulas foi removida, nessa condição a porcentagem de oxigênio era de 19% (tempo de espera de 40 minutos). Após 2 minutos o valor continuava em 19%, porém, a adição de ar, através do mini compressor manual, elevou rapidamente o valor para 21% (valor do ambiente), indicando que o problema decorre da dessorção nas paredes da cela, como mostrado na Figura 5. As paredes, contudo, já são pouco adsorventes, pois são feitas de vidro.



**Figura 5: Cella utilizada para os testes com sensor.**

No segundo experimento verificou-se o comportamento da cela de teste quando nitrogênio é admitido ao sistema e a segunda válvula agulha é removida, isto é, qual é o tempo de resposta do detector para a admissão de nitrogênio à cela de teste, quando a saída é desobstruída. Teste semelhante ao anterior, contudo a válvula de saída foi removida. Observa-se que a remoção do nitrogênio é mais rápida, porém, a dessorção e/ou difusão do O<sub>2</sub> na cela

<sup>1</sup> O sensor é projetado para ter uma saída linear entre 0 e 10 mV para, respectivamente, 0 e 21% de oxigênio

dificulta para valores fiquem próximos de 20%. Novamente, a diminuição do valor de oxigênio ocorre em poucos segundos, indicando a rápida resposta do detector.

No terceiro experimento verificou-se o comportamento da cela quando um contaminante é admitido ao sistema, ou seja, verificar qual o tempo de resposta do detector para a admissão de contaminante à cela, quando a saída é desobstruída. Teste é semelhante ao anterior, contudo adicionou-se um dedo frio e isopropanol como contaminante. Os valores são muito semelhantes aos anteriores, indicando que o sistema é pouco sensível à adição de contaminante.

No quarto experimento verificou-se o comportamento da cela quando um contaminante é admitido ao sistema usando sistema de injeção, isto é, verificar qual o tempo de resposta do detector para a admissão de contaminante à cela, usando injeção, quando a saída é desobstruída. Teste é semelhante ao anterior, contudo adicionou-se injeção em lugar do dedo frio. Utilizando-se o mini compressor de ar verifica-se que não há variação do valor medido. Portanto, o sistema é pouco sensível ao isopropanol.

No experimento cinco e seis verificou-se o comportamento da cela de teste quando um contaminante é admitido ao sistema usando sistema de injeção, ou seja, verificar qual o comportamento do sistema, como testado no experimento 3 e 4, utilizando-se acetona. Teste é semelhante ao anterior, contudo adicionou-se injeção ou dedo frio. Utilizando-se o mini compressor verifica-se que não há variação do valor medido. Portanto, o sistema é pouco sensível acetona.

No sétimo experimento verificou-se o comportamento da cela de teste em função da temperatura. O teste consiste em variar a temperatura pela aplicação de tensão de 12 V dc no fio de Ni. Observa-se que o comportamento é exponencial tanto no aquecimento quanto no resfriamento. No oitavo experimento já não foi possível encontrar um ponto de equilíbrio, onde a temperatura praticamente não varia como foi encontrado no sétimo experimento. O Gráfico 2 apresenta resultados típicos obtidos durante o experimento.

No nono experimento verificou-se o comportamento da cela de teste em função da pressão, o seja, verificar qual o comportamento do sistema, quando a temperatura e a pressão mantêm-se constante e o sistema mantêm-se completamente isolado, isto é, todas as válvulas encontram-se fechadas. O teste consiste em variar a pressão pelo mini compressor de ar. Observa-se variação nas medidas, indicando que o sistema pode suportar variação de pressão.

O sistema mostrou-se adequado ao seu propósito inicial, ou seja, demonstrar o uso de sensores, principalmente oxigênio, quanto à pressão, contaminantes, concentração de oxigênio, etc.

## **6. CONCLUSÃO**

O desenvolvimento desta cela mostrou que é possível construir um sistema para demonstração do uso de sensores em sistemas didáticos para ensino em engenharia, utilizando materiais de fácil acesso, de modo prático e com baixo custo.

Esse sistema também pode ser adequado para testes qualitativos em medicina, se sofrer algumas modificações. Torna-se necessário colocar um sistema de mini compressor não manual, para garantir a reprodutibilidade. O suporte deve ser feito em material não aderente, por questões de higiene, uma possibilidade sendo o uso de fórmica. O gás de admissão pode ser gás carbônico obtido, por exemplo, pela compra de extintores de incêndio de baixo custo, como os usados em automóveis. Por outro lado, testes quantitativos exigem melhor adaptação, adicionando-se uma interface para aquisição de dados, descrição pormenorizada do teste, padrão para comparação além de treinamento de pessoal.

Muito embora o equipamento desenvolvido tenha sido testado apenas para ambiente gasoso, sua adaptação para ambientes líquidos só exige mudança de válvulas e enchimento da cela de teste.

### ***Agradecimentos***

Ao CNPq e a Engezer – SP pelo apoio financeiro.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- BERTOTTI, M.; Eletroanálise com Microeletrodos: Aplicações na Determinação de Espécies Químicas e Perspectivas na Associação com Análise por Injeção em Fluxo. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, CT21, Setembro, 1996. **Resumos.**
- HEUBERGER, A.; Silicon Microsystems. **Microelectronic Engineering**. Elsevier. Vol 21, p. 445 - 458, 1993.
- LANÇAS, F. M.; Avanços Recentes em Métodos de Separação e Análise de Alta Resolução: Cromatografia Unificada. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA., CO5, Setembro, 1996. **Resumos.**
- PETERSEN, K. MEMS: What lies ahead? - Digest of Technical papers. In: **Euroensors IX**. Transducers'95, Stockholm, Sweden, v. 1, n. 25 - 29, p. 894 – 897, June, 1995.
- SILVA, L.M. **Retenção de Compostos Orgânicos em Microcanais Modificados por Filmes Adsorventes**. 2005. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, São Paulo.
- TERRY, S. C. et. al. A Gas Chromatographic Air Analyzer Fabricated on a Silicon Wafer. **IEEE Transactions on Electron Devices**, v. ED-26, n. 12, p. 1980 – 1986, December, 1979.
- WEGENG, R. S., et. al. Chemical System Miniaturization. In: SPRING NATIONAL MEETING OF THE AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, February 25-29, 1996, **Anais**. New Orleans, LA.
- WILDING, P. et. al. Manipulation and Flow of Biological Fluids in Straight Channels Micro machined in Silicon - **Clin. Chem.** n. 40, v. 1, p. 43-47, 1994.

### **DEVELOPMENT OF PROTOTYPE FOR GAS DETECTION AND SENSORS STUDY IN ENGINEERING EDUCATION**

**Abstract:** *The aim of this work was the development of a prototype, small equipment for gas sensor demonstration. The system is especially developed for oxygen detection and has as main characteristics low cost, versatility, and easiness of use, maintenance besides access to all parts of the instrument and portability. It was also produced didactic material on sensors theme. This material facilitates comprehending of sensors fundamentals. The prototype shows easiness of use and reproducibility for oxygen. The material used on this production can be easily obtained on bric-a-brac shops of any city.*

**Key-words:** *Sensors, Education in Engineering, Gas Detector.*