

**Artigo Original**

recebido: 17/10/97 e aceito: 10/12/98

**Estação para avaliação  
*in vitro* de oxigenadores  
e permutadores de calor**

*Station for "in vitro"  
evaluation of oxygenators  
and heat exchangers.*

**W.P. Novello**

Pesquisador Dr.,  
Universidade de Campinas – UNICAMP,  
Caixa Postal 6131, Cep.: 13083-970 – Campinas – SP.

**M.M. Ferreira**

Projetista Mecânico Senior,  
Depto. de Pesquisas e Desenvolvimento,  
Braile Biomédica Ind. Com. Rep. S/A  
Av. Juscelino Kubitschek, 3.101,  
Cep.: 15091-450 - S. J. Rio Preto, SP.

**R. Succi**

Projetista Eletrônico Senior  
Braile Biomédica Ind. Com. Rep. S/A

**J.R. Pecorario**

Projetista Mecânico  
Depto. de Pesquisas e Desenvolvimento  
Braile Biomédica Ind. Com. Rep. S/A

**D.M. Braile**

Prof. Dr. da FAMERP – S.J. Rio Preto  
Chefe dos Serviços de Cirurgia Cardíaca do  
HC-UNICAMP, Hospital Beneficência Portuguesa  
e Hospital de Base, São José do Rio Preto, SP.

**Resumo**

Apesar do grande número de procedimentos extracorpóreos realizados no Brasil, poucos centros têm condições de avaliar com segurança os parâmetros funcionais básicos de trocadores de gases (oxigenadores) e trocadores de calor. Este trabalho descreve o projeto, construção e utilização de uma central de testes "in vitro" capaz de avaliar a transferência de oxigênio, transferência de calor e gradiente de pressão. A central é composta por um monitor contínuo dos gases sanguíneos, bombas peristálticas com controle e indicação do fluxo sanguíneo, misturadores de gases, manômetros, termômetros, bomba de água magnética, reservatório de água com controle de temperatura, suportes para os dispositivos de teste, rotômetros e suportes para cilindros de nitrogênio, dióxido de carbono e oxigênio. O projeto inclui circuitos elétricos para controle da temperatura de água e medição do fluxo de sangue e circuito hidráulico para circulação d'água. São apresentados os circuitos de teste e os resultados quantitativos de avaliações de oxigenadores de membrana e trocadores de calor com diferentes materiais e estruturas. **Palavras chave:** Circulação Extracorpórea, oxigenadores, trocadores de gás e trocadores de calor.

**Abstract**

*In spite of the great number of extracorporeal procedures performed in Brazil, few places can evaluate the basic function parameters of gas exchangers (oxygenators) and heat exchangers. This paper describe the project, construction and utilization of a station for "in vitro" tests to evaluate the oxygen transfer, heat transfer and pressure drop. It is composed by an on line blood gas monitor, peristaltic pumps with control and indication of blood flow, a gas blender, manometers, thermometers, a magnetic water pump, a water reservoir with temperature control, supports of test devices, flow meters and supports for Nitrogen, Carbon dioxide and oxygen cylinders. The project includes electric circuits for water temperature and flow management and hydraulic circuit for water circulation. The test circuits and quantitative results of evaluations of blood membrane oxygenators and heat exchangers with different materials and designs are presented. The tests carried out were able to quantify some of the main performance parameters of gas and heat exchangers with easily and safely. **Keywords:** Extracorporeal circulation, oxygenators, gas exchangers and heat exchangers.*

## Introdução

Os avanços da cirurgia cardíaca contribuíram para o aumento de procedimentos com circulação extracorpórea (CEC). Entre os principais componentes do circuito extracorpóreo destacam-se o permutador de gases (oxigenador), que promove a oxigenação e a remoção do dióxido de carbono do sangue, e o permutador de calor, que permite o controle da temperatura sanguínea durante a CEC (Gravlee *et alii.*, 1993).

No Brasil são utilizados aproximadamente 3.000 oxigenadores integrados a permutadores de calor por mês, dos quais mais de 95% são produzidos no Brasil. Apesar da grande demanda, poucos centros têm condições de realizar *in vitro* os testes básicos de avaliação destes dispositivos, ou seja quantificar a transferência gasosa e o gradiente de pressão dos oxigenadores e a eficiência de troca calórica dos permutadores de calor. Os testes *in vitro* foram realizados de acordo com a norma ISO/DIS7199, 1995 e fornecem dados quantitativos dos parâmetros analisados, permitindo estudos comparativos entre oxigenadores sem a interferência dos inúmeros parâmetros envolvidos na circulação extracorpórea (Novello, 1996).

Este trabalho descreve o projeto hidráulico e elétrico de uma compacta estação de testes e os circuitos envolvidos nos testes realizados, apresentando também alguns resultados obtidos.

## Materiais e Método

O projeto da estação compreende uma estrutura (Figura 1) com acabamento em laminado de fórmica, cuba de aço inox, equipamento para monitoração contínua do pH e dos gases sanguíneos, 2 bombas peristálticas com controle de velocidade e indicadores digitais para litros por minuto e rotações por minuto (uma para fluxos de sangue de até 2 L/min. e outra para fluxos de até 6 L/min), misturador de gases, manômetros, termômetros digitais, bomba magnética de água com capacidade para 20 L/min, reservatório de água com aquecimento controlado,

suportes variáveis para dispositivos em teste, rotâmetros, iluminação direcionada, locais para armazenamento de materiais de consumo e suportes para cilindros de nitrogênio, dióxido de carbono e oxigênio.

Para calibração dos instrumentos são utilizados os seguintes equipamentos: analisador de gases estático AVL para o monitor contínuo de gases, analisador de oxigênio Hudson RCI para o misturador

de gases, rotâmetros Gemü para vazões das bombas peristálticas, tubos de Pitot para rotâmetros de gases, aferição anual por Instituto certificador de manômetros e termômetros.

O projeto incluiu circuitos elétricos para controle de temperatura (Figura 2) e circuito hidráulico para circulação da água (Figura 3).

A estação permite avaliar parâmetros como transferência gasosa, transferência calórica, queda de pressão, resis-

tência a altas pressões, hermeticidade, volume interno e distribuição de fluxo.

O teste de transferência de oxigênio ( $TO_2$ ) foi efetuado com sangue bovino fresco heparinizado com Hematócrito de 36% em um circuito com 2 oxigenadores (utilizados para remover o oxigênio e adicionar dióxido de carbono) insuflados com nitrogênio e dióxido de carbono (Figura 4).

Os resultados foram obtidos em mililitros de oxigênio transferidos por minuto e calculados por:

$$TO_2 = Q_s \left\{ \left[ \frac{(PaO_2 - PvO_2)}{760} \cdot aO_2 \right] + \left[ \left( \frac{SaO_2 - SvO_2}{100} \right) \cdot \left( \frac{1,34 \cdot Hb}{100} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

onde:  $Q_s$  = fluxo de sangue (ml/min),  $PaO_2$  = pressão parcial arterial de oxigênio,  $PvO_2$  = pressão parcial venosa de oxigênio (mmHg),  $aO_2$  = solubilidade de oxigênio no plasma (ml  $O_2$  /ml sangue),  $SaO_2$  = saturação arterial de oxigênio,  $SvO_2$  = saturação venosa de oxigênio e  $Hb$  = concentração da hemoglobina (g/dl).

O teste de transferência calórica foi efetuado com sangue bovino fresco heparinizado com Hematócrito

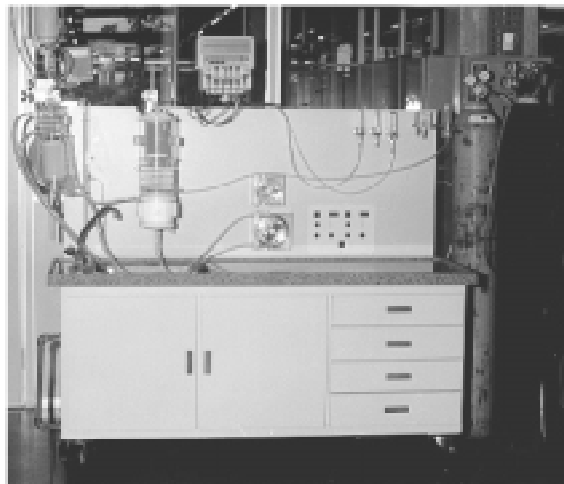


Figura 1. Visão frontal da estação.

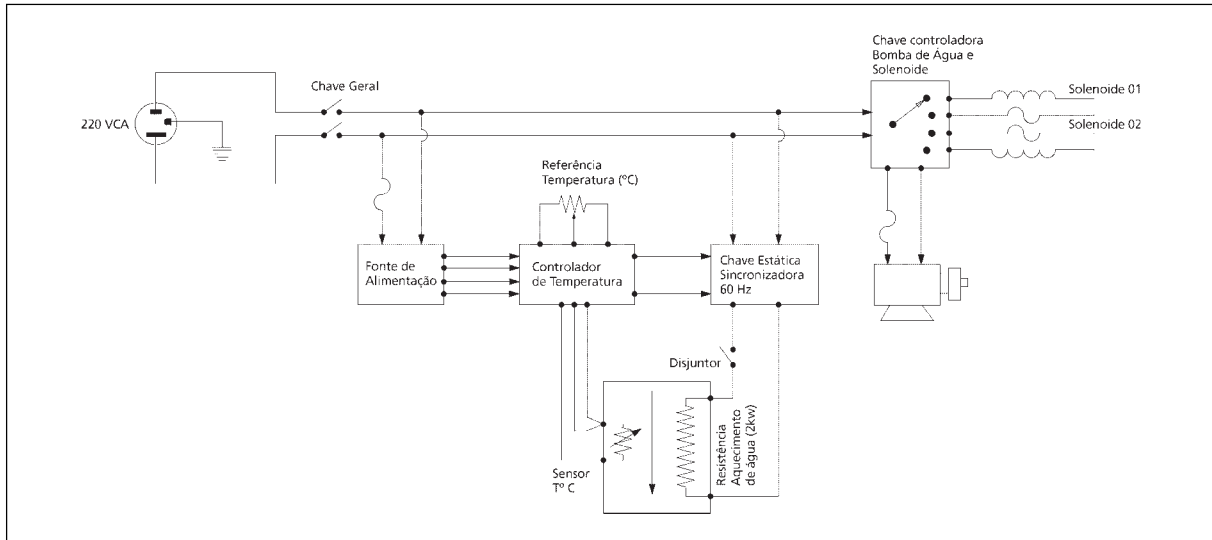


Figura 2. Circuito elétrico

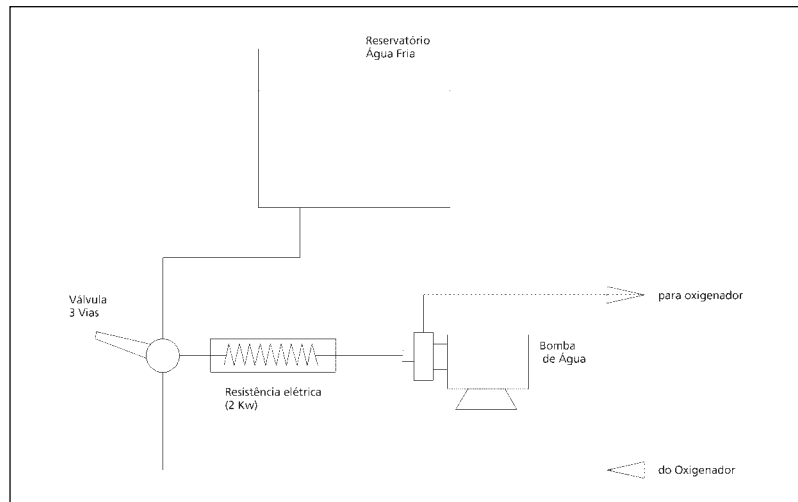


Figura 3. Circuito hidráulico

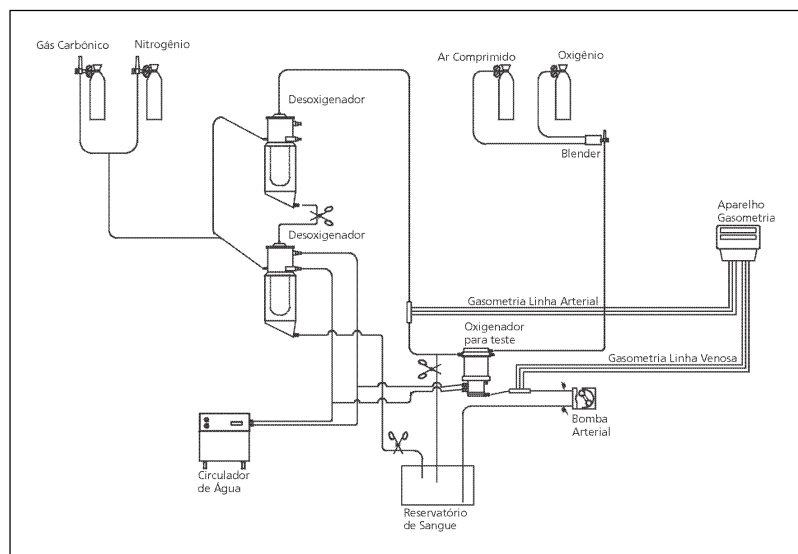


Figura 4. Circuito do teste de transferência gasosa.

de 36% em um circuito com 2 reservatórios de sangue, bomba peristáltica, termômetros e sistema de circulação e aquecimento de água (Figura 5).

O fator de troca calórica (FTC) foi calculado por:

$$FTC = \frac{T_{ss} - T_{es}}{T_{es} - T_{ea}} \quad (2)$$

onde,  $T_{ss}$  = temperatura na saída de sangue,  $T_{es}$  = temperatura na entrada de sangue e  $T_{ea}$  = temperatura na entrada de água do trocador de calor.

O teste do gradiente de pressão foi efetuado com sangue bovino fresco heparinizado com hematócrito

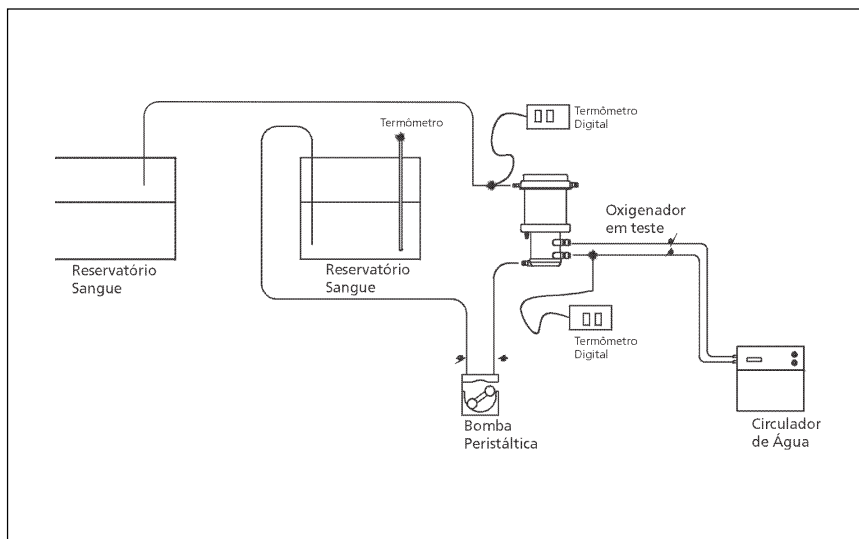
de 25%, em um circuito com manômetros calibrados, bomba peristáltica, sistema de circulação e aquecimento de água (Figura 6).

O gradiente de pressão (DP) foi calculado segundo:

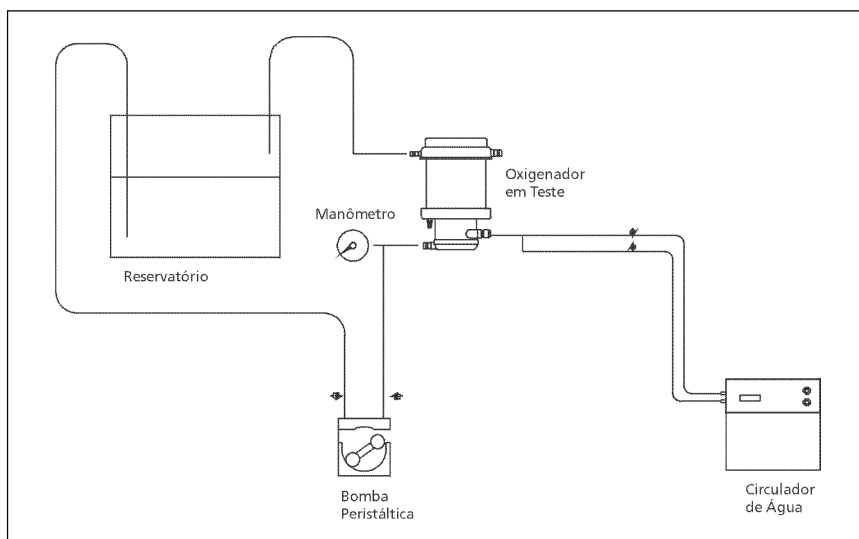
$$\Delta P = P_e - P_s \quad (3)$$

onde,  $P_e$  = pressão na entrada e  $P_s$  = pressão na saída do oxigenador.

Foram avaliados quatro tipos de oxigenadores de membrana com diferentes estruturas de fibras ocas microporosas e com permutadores de calor (PC) integrados: (A) PC com tubos de aço inox, (B) PC com tubos de



**Figura 5.** Circuito de testes de transferência calórica.



**Figura 6.** Circuito de testes do gradiente de pressão.

alumínio revestidos com epoxi, (C) PC com tubo sanfonizado de aço inox e (D) PC com chapas de aço inox.

### Resultados

Nas figuras 7, 8 e 9 são apresentadas as curvas em função do fluxo sanguíneo da transferência de oxigênio, transferência de calor e gradiente de pressão.

Os resultados obtidos mostram que os oxigenadores dos tipos A e C apresentaram melhor performance, isto é, alta transferência gasosa e calórica com baixos gradientes de pressão. O oxigenador D apresentou baixa capacidade de troca calórica e o oxigenador B mostrou os mais altos níveis do gradiente de pressão, tornando-o mais suscetível ao rompimento de hemácias.

### Discussão e Conclusões

A integração dos circuitos e equipamentos para testes *in vitro* facilita a realização dos testes e permite sua realização em laboratórios de pequeno porte.

A seleção dos equipamentos que compõe a central de testes assegura a fidelidade dos resultados, principalmente utilização do monitor contínuo de pH e dos gases sanguíneos que proporciona agilidade e reduz os erros ocasionados por coletas de amostras e mudanças de condições até o momento da análise. Com este monitor é possível efetuar avaliações com menor tolerância das condições iniciais da saturação de  $O_2$  e da pressão parcial de  $CO_2$  (Ueyama *et alii.*, 1996; Fried *et alii.*, 1994), tornando a análise mais sensível à pequenas variações.

Portanto, com a estação desenvolvida, foi possível avaliar com segurança alguns dos principais parâmetros relacionados a eficiência e confiabilidade de oxigenadores e permutadores de calor utilizados em

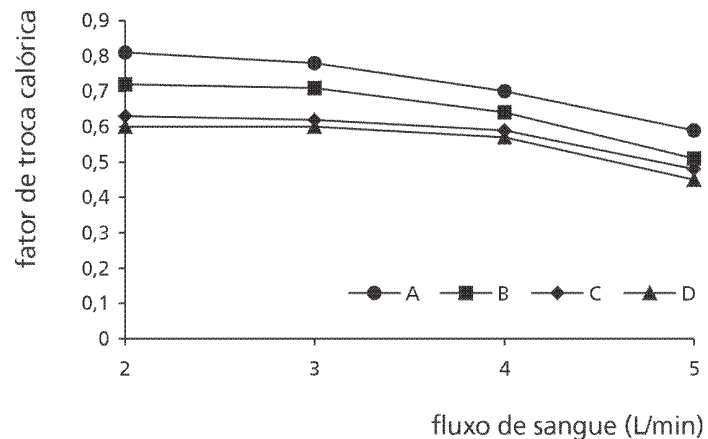


Figura 7. Transferência de calor em função do fluxo de sangue.

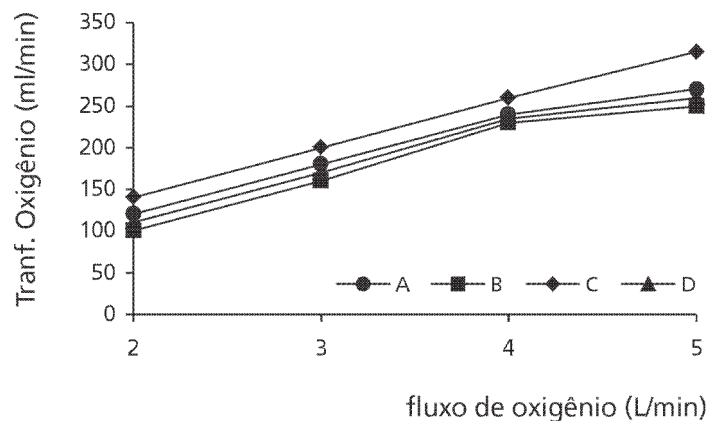


Figura 8. Transferência do oxigênio em função do fluxo de sangue.

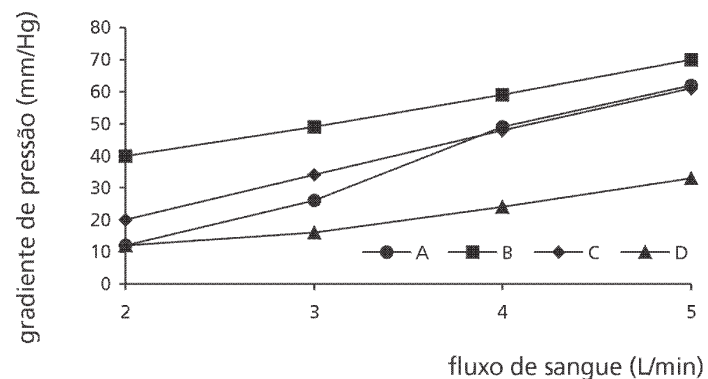


Figura 9. Queda de pressão em função do fluxo de sangue.

circulação extracorpórea, determinando as estruturas e os materiais mais adequados para a construção destes dispositivos.

Com a implantação de um capnógrafo, a estação estará completa, permitindo a realização de testes mais precisos da transferência de dióxido de carbono.

### **Referências**

- Fried, D.W., De Benedetto, N., Leo, J.J. (1994). "Rethinking the AAMI/ISSO "International Standard" for Oxygen Transfer Performance of Artificial Lungs". *Perfusion*, v. 9, p. 335-342.
- Gravlee, G.P., Davis, R.F. & Utley J.R. (1993). *Cardio-pulmonary Bypass - Principles and Practice*. Williams & Wilkins, Baltimore, p. 55-92.
- International Organization For Standardization (1995). *Cardiovascular Implants and Artificial Organs - Blood Gas Exchangers*, ISO/DIS 7199, 16 p.
- Novello, W.P. (1996). *Dispositivo para Oxigenação e Remoção de Dióxido de Carbono do Sangue*. Tese de Doutorado apresentada na faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. Campinas. 100p.
- Ueyama, K., Niimi, Y., Nosé, Y. (1996). "How to Test Oxygenators for Extracorporeal Membrane Oxygenation: Is the Association for the Advancement of Medical Instrumentation's Protocol Enough?". *Artificial Organs*, v. 20, n. 7, p. 741-742.