

# Novo Método para Medição de Resistência e Complacência do Sistema Respiratório: Análise de Sensibilidade

André D. Quelhas e Antonio Giannella-Neto

Programa de Engenharia Biomédica - PEB - COPPE / UFRJ  
Caixa Postal 68.510 CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - Brasil. E-mail: Andreq@serv.peb.ufrj.br

**Resumo** - O presente estudo pretende verificar a confiabilidade das estimativas de resistência e complacência do sistema respiratório obtidas resolvendo-se a expressão matemática do modelo unicompartmental ao qual foi adicionada uma carga de perfil parabólico durante expiração passiva. Para sinal de fluxo com ruído de desvio padrão igual a 0,01 l/s a incerteza dos resultados foi menor que 8% dos valores reais.

**Abstract** - This study aims to verify the reliability of estimates of resistance and compliance of the respiratory system obtained by solving the mathematical expression of a single compartment model with additional parabolic resistance during passive expiration. For a flow signal with a noise standard deviation of 0,01 l/s the uncertainties from results were less than 8% of actual values.

## Introdução

A despeito da existência de modelos mais elaborados, o modelo unicompartmental do sistema respiratório é ainda bastante usado na prática clínica em virtude de sua boa acurácia na descrição das propriedades mecânicas em indivíduos normais respirando na faixa do volume corrente. Seu grande atrativo é a simplicidade, já que emprega apenas dois parâmetros: uma resistência e uma complacência lineares dispostas em série.

Técnicas, como a de repetida adição de cargas lineares, apresentada por McIlroy<sup>1</sup>, ou a do ciclo respiratório único, por Zin<sup>2</sup>, têm sido propostas como meios de acessar estes parâmetros.

O presente estudo propõe a obtenção da resistência e complacência do sistema respiratório ( $R_{SR}$  e  $C_{SR}$ ) pela análise do sinal de fluxo expiratório em indivíduos normais respirando espontaneamente por uma resistência de perfil parabólico. Como etapa inicial do trabalho, apresenta-se a análise das incertezas dos parâmetros associadas a dado nível de ruído nas medições.

## Métodos

O fluxo de ar,  $\dot{V}$ , que flui pelo conjunto sistema respiratório e carga de perfil parabólico,  $R_p$ , pode ser descrito pela equação diferencial:

$$\frac{\dot{V}(t)}{C_{SR}} + R_{SR} \cdot \frac{d\dot{V}(t)}{dt} + 2 \cdot R_p \cdot \dot{V}(t) \cdot \frac{d\dot{V}(t)}{dt} = 0$$

cuja solução é:

$$\dot{V}(t) = \frac{R_{SR}}{2 \cdot R_p} \cdot W\left(\frac{2 \cdot R_p}{R_{SR}} \cdot \exp(A)\right), \text{ onde}$$

$$A = \frac{C_{SR} \cdot \ln(i_0) \cdot R_{SR} + 2 \cdot C_{SR} \cdot i_0 \cdot R_p - t}{R_{SR} \cdot C_{SR}}$$

$i_0$  - fluxo de ar no início da expiração

$t$  - tempo de expiração

$W$  - função de Lambert:  $W(x) \cdot \exp(W(x)) = x$

A relação funcional proposta coloca o fluxo de ar como função do tempo e de três parâmetros:  $C_{SR}$ ,  $R_{SR}$  e  $i_0$ . Este último, o fluxo em  $t = 0$ , está relacionado ao volume de ar inspirado e é estimado por imposição da formulação matemática, não sendo de interesse do método.

Dado o vetor dos parâmetros,  $\theta$ , e definida uma função objetivo,  $\phi(\theta)$ , cujo mínimo está associado à melhor estimativa de  $\theta$ , cabe definir, no espaço- $\theta$ , a forma da região dentro da qual os desvios entre os mínimos estimados e os valores reais,  $\theta^*$ , são menores que um valor estipulado,  $\varepsilon$ :

$$|\phi(\theta) - \phi^*| \leq \varepsilon$$

Conforme demonstrado por Bard<sup>3</sup> e aplicado por Lutchen<sup>4</sup>, aproximando-se  $\phi(\theta)$  por uma série de Taylor nas vizinhanças de  $\theta^*$ , esta região é delimitada por um hiper-elipsóide de dimensão  $p=n^o$  de parâmetros. Esta superfície é dada, para dado nível de confiança  $\alpha$ ,  $n$  dados, e com  $S_{ij} = \partial \dot{V}(t_i) / \partial \theta_j$ , por:

$$(\theta - \theta^*)^T \cdot (S^T \cdot S) \cdot (\theta - \theta^*) = 2 \cdot p \cdot s^2 \cdot F_{1-\alpha}(p, n-p)$$

onde  $F$  é a distribuição  $F$  com  $(p, n-p)$  graus de liberdade. Considerando-se um ruído de média zero

e desvio-padrão estimado  $s$  sobreposto ao sinal de fluxo, esta superfície descreverá a região de valores esperados para os parâmetros.

Uma vez descrita a região de expectativa de  $\theta$ , resta determinar o valor da carga não linear,  $R_p$ , que, adicionada ao circuito de expiração, propicia estimativas de  $R_{SR}$  e  $C_{SR}$  com maior imunidade às perturbações do sinal. O critério escolhido foi o de minimizar o volume do hiper-elipsóide. Isto equivale a maximizar determinante  $\Delta = |S^T \cdot S|$ . Porém, no presente caso, não há qualquer interesse na melhoria da estimativa de  $i_o$ . Encontra-se então o valor ótimo de  $R_p$  pelo critério de Bard<sup>3</sup>, que propõe a maximização de  $\Delta/|S_2^T S_2|$ , onde  $S_2$  é a matriz feita pelas colunas de  $S$  correspondentes aos parâmetros sem interesse.

### Simulação

A figura 1 apresenta os valores ótimos da carga parabólica,  $R_p$ , para valores de  $R_{SR}$  e  $C_{SR}$  para pessoas normais. O valor estimado para a carga linear é composto por  $R_{SR}$  mais a resistência do pneumotacógrafo ( $R_{pnt}$ ) que mede o fluxo de ar, estimada em 0,7 cmH<sub>2</sub>O/l/s. À resistência estimada pelo modelo deve ser deduzido este valor.

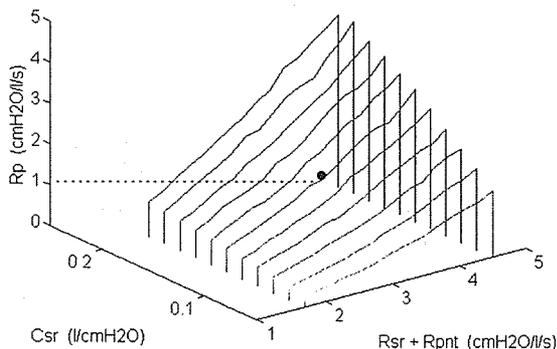


Figura 1 - Valores ótimos para a carga parabólica

Para a obtenção das regiões de confiança utilizou-se, como estimativa do desvio-padrão do ruído, o valor encontrado quando de experimentos realizados com modelo pulmonar isotérmico. Estes experimentos apresentaram  $s = 1/100$  l/s. A figura 2 mostra a região de confiança para o par de parâmetros  $R_{SR} = 2$  cmH<sub>2</sub>O/l/s e  $C_{SR} = 0,1$  l/cmH<sub>2</sub>O e  $R_p = 1,07$  cmH<sub>2</sub>O/l<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> (ponto assinalado na figura 1). Como verificação de acurácia, são mostrados também os resultados de 20 estimativas destes parâmetros obtidas de um sinal teórico de fluxo contaminado com ruído desta intensidade.

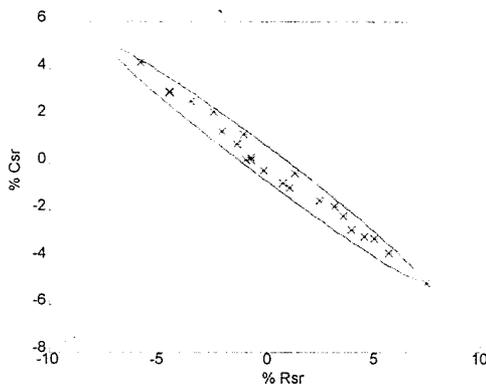


Figura 2 - Elipse - Região de confiança no nível de 95% em valores de desvios percentuais para estimativas de  $R_{SR}$  e  $C_{SR}$ . Valores reais:  $R_{SR}$ : 2 cmH<sub>2</sub>O/l/s;  $C_{SR}$ : 0,1 l/cmH<sub>2</sub>O.  $R_p = 1,07$  cmH<sub>2</sub>O/l<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> - valor ótimo para estes valores de  $R_{SR}$  e  $C_{SR}$ . Pontos - Estimativas de  $R_{SR}$  e  $C_{SR}$  para sinal de fluxo mais ruído.

### Conclusões

Dentro das condições apresentadas, o método proporciona estimativas de  $R_{SR}$  e  $C_{SR}$  cujas incertezas associadas (máximo de 8%) não são de ordem tal que possa inviabilizá-lo.

No seu desenvolvimento, é ainda necessário o estabelecimento de um critério para a escolha do valor ótimo da carga parabólica a ser usado como representativo para toda a região de valores de  $R_{SR}$  e  $C_{SR}$  fisiologicamente possíveis. O valor ótimo de  $R_p$  para cada par  $R_{SR}$  e  $C_{SR}$  também corresponde ao menor volume da região de confiança, que varia ao longo do plano  $R_{SR}$ - $C_{SR}$ . Em vista da magnitude desta variação, um critério passível de ser adotado seria a média dos  $R_p$  ótimos ponderados pelo seu volume correspondente.

### Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

### Referências

- 1- McIlroy, M.B.; Therney, D.F.; Nadel, J.A.: "A New Method for Measurements of Compliance and Resistance of Lungs and Thorax", *Journal of Applied Physiology*, vol. 19, pp. 745-749, 1964
- 2- Zin, W.A.; Pengelly, L.D.; Milic-Emili, J.: "Single-Breath Method for Measurement of Respiratory Mechanics in Anesthetized Animals", *Journal of Applied Physiology*, vol. 52, pp. 1266-1271, 1982.
- 3 - Bard, Y., "Nonlinear Parameter Estimation", New York, Academic Press, 1974
- 4 - Lutchen, K.R.; Jackson, A.C.: "Reliability of Parameter Estimates from Models Applied to Respiratory Impedance Data", *Journal of Applied Physiology*, vol. 62, pp. 403-413, 1987.