

# Artigo Original

## Avaliação das características resistivas do sistema respiratório de indivíduos portadores de silicose pela técnica de oscilações forçadas\* Using the forced oscillation technique to evaluate respiratory resistance in individuals with silicosis

JAYME ALVES DE MESQUITA JÚNIOR<sup>1</sup>, AGNALDO JOSÉ LOPES<sup>2</sup>, JOSÉ MANOEL JANSEN<sup>3</sup>, PEDRO LOPES DE MELO<sup>4</sup>

### RESUMO

**Objetivo:** Avaliar o comportamento dos parâmetros resistivos obtidos por meio da técnica de oscilações forçadas em pacientes portadores de diferentes graus de obstrução respiratória em decorrência da silicose. **Métodos:** Foram analisados 40 indivíduos não tabagistas, sendo 10 saudáveis, sem história de doença pulmonar e exposição à sílica, e 30 portadores de silicose. Os voluntários foram examinados por meio da técnica de oscilações forçadas e da espirometria, técnica utilizada como referência para se classificar os diferentes níveis de obstrução. Desta classificação resultou a separação dos indivíduos em cinco grupos: controle (n = 10); normal ao exame, composto por indivíduos com laudo clínico e radiológico de silicose, porém normais ao exame espirométrico (n = 7); com obstrução leve (n = 10); com obstrução moderada (n = 8); e com obstrução acentuada (n = 5). **Resultados:** A redução dos parâmetros espirométricos correspondeu a um significativo aumento na resistência total do sistema respiratório (p < 0,001), assim como na resistência associada às vias aéreas (p < 0,003). Foi também observada uma significativa redução na homogeneidade do sistema respiratório (p < 0,004). **Conclusão:** As informações adicionais referentes às propriedades resistivas do sistema respiratório, obtidas por meio da técnica de oscilações forçadas, podem contribuir para a complementação dos dados obtidos a partir de exames espirométricos em indivíduos portadores de silicose, o que ressalta o elevado potencial desta técnica na análise desses pacientes.

**Descritores:** Pneumoconiose; Silicose; Volume expiratório forçado; Oscilometria; Testes de função respiratória

### ABSTRACT

**Objective:** To evaluate the resistance values obtained through the use of the forced oscillation technique in patients with varying degrees of airway obstruction resulting from silicosis. **Methods:** A total of 40 never-smoking volunteers were analyzed: 10 were healthy subjects with no history of pulmonary disease or silica exposure, and 30 had silicosis. The forced oscillation technique was used to examine the subjects, and spirometry was used as a reference in order to classify the obstruction by degree. This classification resulted in five groups: control (n = 10); normal exam, composed of individuals diagnosed clinically and radiologically with silicosis but presenting normal spirometry results (n = 7); mild obstruction (n = 10); moderate obstruction (n = 8); and severe obstruction (n = 5). **Results:** The reduction observed in the spirometric values corresponded to a significant increase in the total respiratory resistance (p < 0.001), as well as in airway resistance (p < 0.003). A significant reduction in ventilation homogeneity was also observed (p < 0.004). **Conclusion:** In individuals with silicosis, the additional respiratory resistance-related data obtained through the use of the forced oscillation technique can complement spirometric data. Therefore, the forced oscillation technique presents great potential for the analysis of such patients.

**Keywords:** Pneumoconiosis; Silicosis; Forced expiratory volume; Oscillometry; Respiratory function tests

\* Trabalho realizado na Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ - Rio de Janeiro (RJ) Brasil.

1. Engenheiro. Pesquisador do Laboratório de Instrumentação Biomédica e do Laboratório de Pesquisas em Microcirculação da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ - Rio de Janeiro (RJ) Brasil.

2. Chefe do Laboratório de Provas de Função Pulmonar do Hospital Universitário Pedro Ernesto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ - Rio de Janeiro (RJ) Brasil.

3. Professor Titular da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ - Rio de Janeiro (RJ) Brasil.

4. Engenheiro. Professor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ - Rio de Janeiro (RJ) Brasil.

Endereço para correspondência: Pedro Lopes de Melo. Rua São Francisco Xavier, 524, térreo, salas 104 e 105 - CEP 20550-013, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tel: 55 21 2587-7773. E-mail: plopel@uerj.br

Recebido para publicação em 18/7/05. Aprovado, após revisão, em 7/10/05.

## INTRODUÇÃO

A silicose é uma doença respiratória tipicamente ocupacional, caracterizada por provocar alteração irreversível em toda estrutura alveolar e intersticial.<sup>(1)</sup> No Brasil, o número estimado de trabalhadores potencialmente expostos a atividades de risco é superior a seis milhões.<sup>(2)</sup> A doença predispõe o organismo a uma série de co-morbidades pulmonares e extrapulmonares, como tuberculose, enfisema, limitação crônica ao fluxo aéreo, doenças auto-imunes e câncer do pulmão.<sup>(3)</sup>

A espirometria é o exame recomendado na avaliação da função pulmonar de indivíduos portadores de silicose.<sup>(4)</sup> Não existem padrões de disfunção típicos em silicose, sendo que a detecção de alterações funcionais precoces é tecnicamente muito difícil, pois a doença se inicia nas vias aéreas distais. Na silicose simples, sem outras doenças associadas, geralmente a espirometria é normal. Na doença mais grave ocorrem dois efeitos na função pulmonar: fibrose causando restrição e desenvolvimento de enfisema secundário causando hiperinsuflação e redução do fluxo aéreo.<sup>(5)</sup>

Alguns autores<sup>(6)</sup> observaram que as alterações na resistência de vias aéreas, medida por meio de pletismografia, apresentaram significativa importância no prognóstico do estado de saúde de indivíduos expostos a poeira. Outros<sup>(7)</sup> observaram uma significativa dependência da resistência de vias aéreas em relação ao *status* da doença, elevação da resistência de vias aéreas com a redução da capacidade vital e do volume expiratório forçado no primeiro segundo ( $VEF_1$ ), assim como com o aumento do volume residual. A silicose não apresenta sintomatologia própria e, conforme ressaltado anteriormente, espirometrias normais são comuns nas fases iniciais,<sup>(8)</sup> o que sugere a necessidade de exames mais sensíveis às alterações induzidas pelo processo fisiopatológico.

Descrita originalmente em 1956,<sup>(9)</sup> a técnica de oscilações forçadas (TOF) baseia-se na aplicação de oscilações de baixa pressão e baixa amplitude no sistema respiratório de um indivíduo por meio de um dispositivo externo.<sup>(10-11)</sup> As oscilações de pressão aplicadas permitem a estimativa da impedância do sistema respiratório, descrevendo tanto as propriedades relacionadas à dissipação de calor no sistema respiratório (resistência), quanto as associadas ao armazenamento de energia (com-

placência e inertância). Requerendo apenas cooperação passiva, sendo efetuada durante respiração espontânea e fornecendo novos parâmetros para análise, esta técnica apresenta características complementares às das técnicas clássicas, e contribui para um exame mais detalhado, assim como para facilitar a realização de testes de função pulmonar em condições em que as técnicas tradicionais não são adequadas.<sup>(10-11)</sup> Exemplos importantes incluem a análise de distúrbios respiratórios em crianças,<sup>(11)</sup> apnéia do sono<sup>(11-12)</sup> e avaliação da obstrução nasal.<sup>(11,13)</sup> No entanto, a TOF ainda é uma técnica experimental, cuja aplicação clínica ainda depende de diversos fatores, como a exata identificação dos parâmetros mais adequados ao diagnóstico e acompanhamento de cada doença respiratória em particular. Neste sentido, um grande esforço de pesquisa vem sendo efetuado pelo nosso grupo para investigar a contribuição da TOF na análise das anormalidades de mecânica respiratória associadas a doenças como a asma,<sup>(14)</sup> doença pulmonar obstrutiva crônica,<sup>(15)</sup> sarcoidose<sup>(16)</sup> e doenças intersticiais,<sup>(17)</sup> assim como os efeitos do uso de broncodilatadores na asma,<sup>(18)</sup> doença pulmonar obstrutiva crônica<sup>(19)</sup> e sarcoidose.<sup>(20)</sup> Estes estudos permitirão otimizar a metodologia e o sistema de medida em função das características específicas de cada uma das diversas doenças respiratórias.

A elevada sensibilidade na detecção de obstrução das vias respiratórias em estado inicial, teoricamente apresentada pela TOF, torna esta técnica interessante na avaliação de indivíduos expostos a riscos ocupacionais.<sup>(21)</sup> Estudos anteriores nessa área indicaram que as alterações nos índices estimados por meio dos ensaios de TOF refletiram as modificações presentes nos resultados obtidos com técnicas tradicionais.<sup>(22)</sup> Informações complementares aos ensaios de espirometria foram fornecidas pela TOF durante a investigação de indivíduos expostos a agentes respiratórios irritantes.<sup>(23)</sup> Os resultados promissores obtidos anteriormente em pesquisas relacionadas às doenças respiratórias citadas, assim como resultados preliminares obtidos na investigação da própria silicose,<sup>(24)</sup> fornecem suporte adicional à hipótese de que a TOF pode ser útil na avaliação de indivíduos portadores desta doença.

No entanto, apesar do elevado potencial da TOF em Medicina Ocupacional,<sup>(21-23,25-26)</sup> relativamente poucos estudos estão disponíveis na literatura

sobre o assunto e, em nosso conhecimento, não existem estudos comparando resultados de TOF em indivíduos apresentando diferentes níveis de redução de volumes e fluxos respiratórios em decorrência da silicose.

Nesse contexto, o presente trabalho visa a investigar o potencial das avaliações de impedância respiratória por TOF no exame de indivíduos portadores de silicose. Para esse fim, a TOF foi utilizada na análise das alterações nas propriedades resistivas do sistema respiratório de indivíduos portadores de silicose com diferentes graus de redução de fluxos e volumes respiratórios, determinados mediante exame espirométrico.

## MÉTODOS

Foram analisados parâmetros resistivos obtidos pela TOF em cinco grupos de indivíduos: sem história de doenças respiratórias (grupo controle,  $n = 10$ ); indivíduos portadores de silicose, porém com laudo espirométrico dentro da normalidade ( $n = 7$ ); portadores de silicose com obstrução respiratória considerada leve ( $n = 10$ ); com obstrução moderada ( $n = 8$ ); e com obstrução acentuada ( $n = 5$ ). Todos os indivíduos apresentavam-se sem história de tabagismo ou asma.

Os exames foram realizados no Laboratório de Provas de Função Pulmonar da Disciplina de Pneumologia da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade do Estado do Rio de Janeiro e o processamento dos dados e análise estatística no Laboratório de Instrumentação Biomédica, laboratório interdisciplinar ligado ao Instituto de Biologia e à Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em pesquisa do Hospital Universitário Pedro Ernesto. Nenhuma imposição foi exercida aos participantes e os resultados foram sempre mantidos confidenciais. Antes da realização do exame, os pacientes receberam orientações sobre a técnica e o procedimento do estudo. Estando de acordo, os mesmos assinaram um termo de consentimento informado. Os experimentos estão em conformidade com a declaração de Helsink.

Os exames espirométricos foram efetuados utilizando-se os instrumentos *Vitatrace* modelo 130 SL e *Collins/SG*. Os ensaios seguiram os procedimentos sugeridos pelo Consenso Brasileiro de Espirometria.<sup>(27)</sup> Os laudos relacionados à gravidade

da obstrução respiratória foram baseados nos parâmetros da espirometria, sendo utilizados os valores percentuais das relações entre  $VEF_1$  e capacidade vital forçada (CVF), e fluxo expiratório forçado e CVF, de acordo com a classificação proposta por Jansen.<sup>(28)</sup> Os valores de normalidade foram obtidos a partir dos estudos de Knudson et al.<sup>(29)</sup> e Pereira et al.<sup>(30)</sup>

O instrumental utilizado para a realização dos exames envolvendo a TOF foi desenvolvido pelos autores, tendo sido descrito anteriormente.<sup>(31-32)</sup> Basicamente, o sistema aplica um sinal pseudo-aleatório de pressão com baixa amplitude ( $1 \text{ cmH}_2\text{O}$ ), contendo todos os harmônicos de 2 Hz entre 4 e 32 Hz, ao sistema respiratório do indivíduo. A pressão de entrada é medida por um transdutor *Honeywell 176* e o fluxo aéreo medido por um pneumotacógrafo acoplado a um transdutor similar. Os sinais de pressão e fluxo são medidos em períodos de 16 s e a estimativa da impedância é efetuada por meio da razão entre a transformada de Fourier das pressões aplicadas e a transformada de Fourier do fluxo resultante, obtida em cada uma das frequências aplicadas. Este procedimento permite a avaliação das propriedades mecânicas de natureza resistiva, assim como de armazenamento de energia, associada às propriedades elásticas e inertivas do sistema.<sup>(10)</sup> O presente trabalho enfoca a análise das propriedades resistivas do sistema respiratório calculadas na faixa compreendida entre 4 e 16 Hz, por esta ter-se apresentado mais discriminativa em estudos realizados anteriormente.<sup>(15-17,19-20,24)</sup>

Durante a realização dos exames de TOF, os indivíduos permaneceram sentados utilizando um clipe nasal, suportando suas bochechas e queixo com as mãos e respirando calmamente por meio de um bocal. A função de coerência mínima para aceitação dos exames foi de 0,9.<sup>(10-11)</sup> A Figura 1 apresenta uma foto ilustrativa de um voluntário durante a realização do exame por TOF.

Nos estudos envolvendo a TOF, uma regressão linear dos valores de resistência entre 4 e 16 Hz foi utilizada para a estimativa de resistência no intercepto ( $R_0$ ) e coeficiente angular da resistência ( $S$ ). O intercepto da reta resultante foi utilizado para a estimativa da  $R_0$ , enquanto que a inclinação foi empregada para a estimativa do  $S$ . A média dos valores de resistência na faixa citada foi empregada para a estimativa da resistência média ( $R_m$ ). O total da perda de energia por produção de calor no sistema respiratório é descrito

por R0, enquanto que a Rm descreve a perda de energia relacionada às vias aéreas. A inclinação dos valores de resistência (S) relaciona-se aos desequilíbrios nas constantes de tempo do sistema respiratório, assim como ao efeito das vias aéreas superiores.<sup>(10-11)</sup> Os resultados são apresentados como média mais ou menos desvio-padrão. Visando a permitir uma análise comparativa entre as variações apresentadas pelos parâmetros fornecidos pela TOF e pela espirometria, foram realizadas comparações dos dados obtidos pelas duas técnicas. Para este fim, a análise estatística foi efetuada por meio de um pacote comercial (*Estatística 5.0*) utilizando-se o teste ANOVA para se avaliar as alterações entre os grupos, e correções de Bonferroni na realização de comparações entre o controle e os pacientes, assim como entre os diversos grupos de pacientes. As diferenças entre as médias foram consideradas significativas quando  $p \leq 0,05$  ao teste ANOVA e  $p < 0,005$  após as correções de Bonferroni.

## RESULTADOS

As características biométricas dos grupos estudados são descritas na Tabela 1. Os grupos são comparáveis em termos de idade, peso e altura, não sendo observadas diferenças significativas tanto em termos de teste ANOVA quanto nas comparações entre os grupos.

A Figura 2 apresenta os resultados dos valores percentuais teóricos de  $VEF_1$ ,  $VEF_1/CVF$  e  $FEF/CVF$  dos grupos estudados. Foram observadas reduções significativas tanto no  $VEF_1$  (%) (ANOVA,  $p < 0,0001$ ) e  $VEF_1/CVF$  (%) (ANOVA,  $p < 0,0005$ ) quanto em fluxo expiratório forçado/ $CVF$  (%) (ANOVA,  $p < 0,0001$ ).

A Figura 3 mostra os resultados médios de resistências totais obtidas nos grupos estudados, enquanto que a Figura 4 apresenta os resultados referentes a R0, Rm e S. Do ponto de vista estatís-



Figura 1 - Posicionamento de um voluntário durante a realização do exame por técnica de oscilações forçadas. Notar a presença do clipe nasal e o uso do suporte para reduzir o efeito das vias aéreas superiores

tico, foram observadas significativas tendências de crescimento nas médias da R0 (ANOVA,  $p < 0,0001$ ), Rm (ANOVA,  $p < 0,003$ ), assim como do S (ANOVA,  $p < 0,004$ ).

## DISCUSSÃO

Em concordância com a metodologia utilizada,<sup>(28)</sup> observamos alterações significativas em  $FEF/CVF$  (%) nas fases iniciais, incluindo os grupos controle e com obstrução leve e moderada, enquanto que reduções de maior relevância estatística foram observadas em  $VEF_1$  nas fases mais avançadas. Funções pulmonares normais são comuns na silicose simples, mas nos casos mais complicados são encontradas reduções médias na capacidade de difusão, volumes pulmonares e complacência.<sup>(33)</sup> Em concordância com os resultados do presente trabalho, alguns autores<sup>(34)</sup> observaram uma significativa redução do  $VEF_1$  (%) com a progressão do enfisema em portadores de silicose.

TABELA 1

Característica dos grupos estudados (média  $\pm$  desvio-padrão) juntamente com ANOVA e correções de Bonferroni para comparações entre grupos adjacentes.

	Grupo A Controle (n=10)	Grupo B Normais (n=7)	Grupo C Leves (n=10)	Grupo D Moderados (n=8)	Grupo E Acentuados (n=5)	ANOVA/ Bonferroni
Idade (anos)	43,9 $\pm$ 14,3	48,9 $\pm$ 10,0	50,1 $\pm$ 13,7	53,0 $\pm$ 14,1	44,0 7,5	ns/A,B,C,D,E
Massa corporal (kg)	61,4 $\pm$ 12,2	67,7 $\pm$ 17,1	69,2 $\pm$ 09,7	65,5 $\pm$ 9,6	62,9 $\pm$ 8,9	ns/A,B,C,D,E
Altura (cm)	162,1 $\pm$ 10,7	162,0 $\pm$ 10,8	170,0 $\pm$ 6,7	159,7 $\pm$ 16,2	165,8 9,4	ns/A,B,C,D,E

Traços indicam diferenças significativas e vírgulas diferenças não significativas.

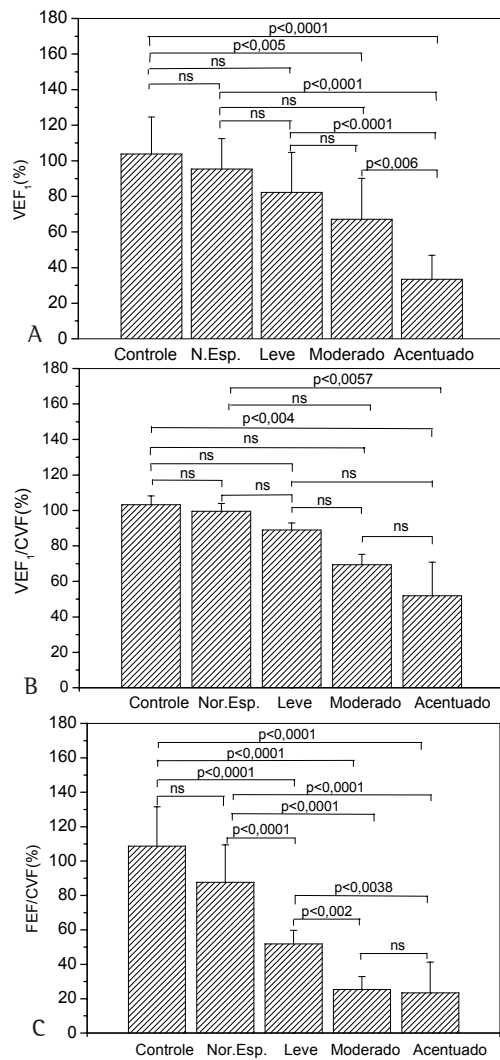


Figura 2 - Comportamento dos valores percentuais teóricos de  $VEF_1$ ,  $VEF_1/CVF$  e  $FEF/CVF$  nos grupos controle, normais à espirometria e nos portadores de obstrução associada a silicose em níveis leve, moderado e acentuado.  $VEF_1$ : volume expiratório forçado no primeiro segundo; CVF: capacidade vital forçada; FEF: fluxo expiratório forçado

Na Figura 3 observa-se um aumento da obstrução respiratória de acordo com o avanço da doença, sendo mais discriminativo na faixa de 4 a 16 Hz. A comparação do grupo de indivíduos normais ao exame espirométrico com o grupo controle revela um pequeno aumento de resistência do grupo de pacientes normais à espirometria em relação ao grupo controle. Esta pequena alteração pode estar associada às pequenas modificações funcionais do sistema respiratório em decorrência

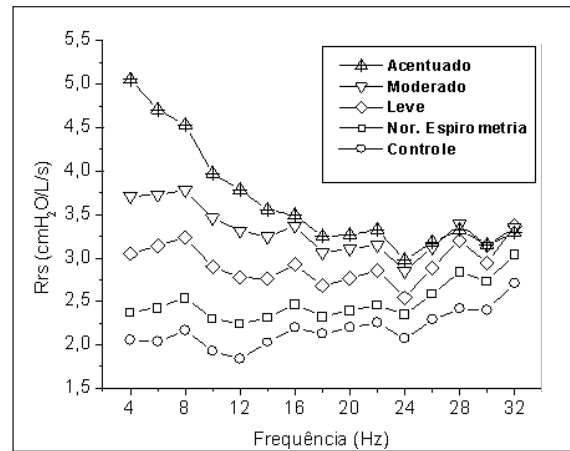


Figura 3 - Curvas de resistência total ( $Rrs$ ) entre 4 e 32 Hz nos grupos controle, normais à espirometria e nos portadores de obstrução associada a silicose em níveis leve, moderado e acentuado

do estágio inicial da doença. Cabe ressaltar que estas alterações podem ser indicativas de risco de efeitos adversos em longo prazo na função respiratória.

O grupo controle apresentou  $R_0$  mais baixas em relação aos demais grupos (Figura 4A). Estes resultados encontram-se em estreita concordância com as menores obstruções respiratórias apresentadas por estes pacientes e com valores reportados anteriormente na literatura.<sup>(10,25,35-36)</sup> Por inspeção visual pode-se observar claramente o aumento de  $R_0$  com a redução nos parâmetros espirométricos. Este aumento reflete, provavelmente, a elevação da resistência de vias aéreas, assim como alterações teciduais. Resultados similares foram obtidos em estudos da progressão dos parâmetros resistivos associados à redução de fluxos e volumes em indivíduos portadores de doença pulmonar obstrutiva crônica<sup>(14)</sup> e asma.<sup>(15)</sup> Estudos epidemiológicos<sup>(35-36)</sup> foram desenvolvidos com trabalhadores propensos a desenvolver doenças ocupacionais. Os autores sugeriram que a  $R_0$  pode ser um parâmetro sensível para descrever a obstrução de vias aéreas nestes indivíduos. Os resultados da presente pesquisa encontram-se em estreita concordância com a proposição desses autores, considerando-se os valores mais elevados de  $R_0$  obtidos em indivíduos portadores de silicose em comparação com o grupo controle. Cabe ressaltar a presença de resistências totais mais elevadas no grupo de pacientes normais ao exame espirométrico em relação ao grupo controle, fato que,



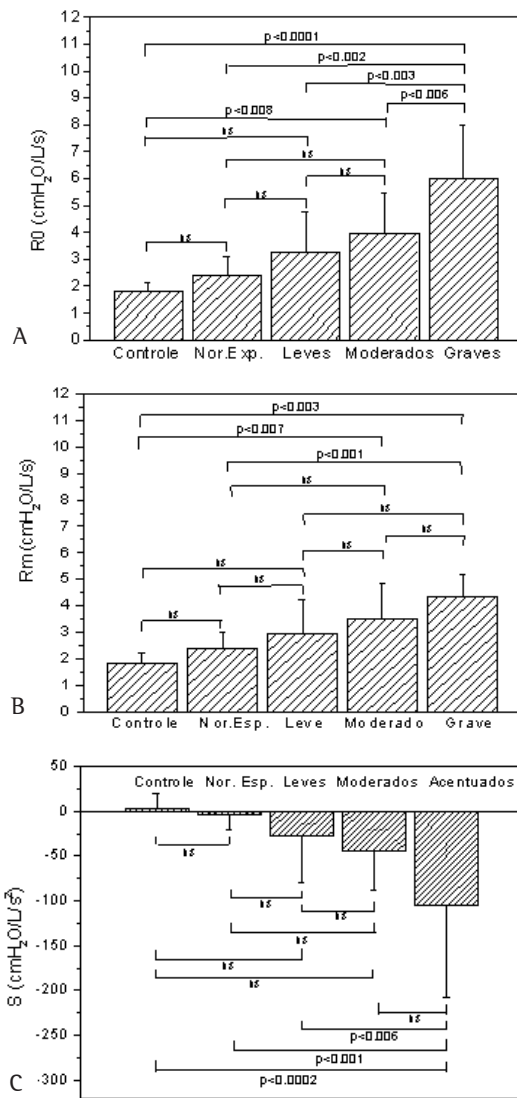


Figura 4 - Comportamento de R0, Rm e S, nos grupos controle, normais à espirometria e nos portadores de obstrução associada a silicose em níveis leve, moderado e acentuado; R0: resistência no intercepto; Rm: resistência média; S: coeficiente angular da resistência

conforme ressaltado anteriormente, pode estar associado às alterações presentes no estágio inicial da doença. Embora a elevação dos valores de R0 com a redução dos parâmetros espirométricos seja visualmente muito clara, do ponto de vista estatístico, as diferenças entre as médias não se apresentaram significativas, quando se consideraram os grupos controle, normais à espirometria e com obstrução leve e moderada ( $p > 0,005$ ). Por outro lado,

todas as comparações entre o grupo de indivíduos com obstrução grave e os demais grupos estudados mostraram valores muito próximos ao limite da significância ( $p < 0,006$ ) ou significantes. Uma análise comparativa das médias de R0 obtidas no presente trabalho com as obtidas em trabalho semelhante conduzido em pacientes portadores de asma<sup>(15)</sup> mostra que as médias nos pacientes asmáticos foi mais elevada em todas as classes estudadas. Este fato é coerente com as diferenças na fisiopatologia das duas doenças, tendo em vista a natureza essencialmente obstrutiva da asma e o predomínio da restrição na silicose.

Resultados referentes à Rm são apresentados na Figura 4B. Em relação ao grupo controle, o valor médio deste parâmetro é semelhante a valores descritos anteriormente na literatura.<sup>(26,37)</sup> Embora não tenha sido observada uma diferença estatisticamente significativa nas comparações entre as classes adjacentes ( $p > 0,005$ ), houve uma significativa elevação dos valores médios, acompanhando a classificação espirométrica da obstrução brônquica (ANOVA,  $p < 0,0003$ ). Desta maneira, estes resultados são coerentes com a interpretação apresentada em Métodos, onde a Rm foi relacionada às vias aéreas. Encontram-se também de acordo com os obtidos com o emprego da pletismoграфия por outros autores.<sup>(7)</sup> Conforme ressaltado na seção introdutória do presente trabalho, esses pesquisadores observaram uma elevação da resistência associada às vias respiratórias com a redução do VEF<sub>1</sub> em pacientes portadores de silicose. A obstrução ao fluxo aéreo na silicose deve-se à conglomeração das massas de fibrose que, pela retração, determina distorção dos brônquios, bronquíolos e enfisema. Comparando-se os valores médios da resistência total do sistema respiratório descrita na Figura 4A com os respectivos valores médios de Rm, associada à resistência de vias aéreas, observamos um progressivo aumento da diferença entre as duas resistências (R0 - Rm). Este aumento sugere que a redução dos índices espirométricos pode também estar relacionada, ao menos parcialmente, à elevação da resistência tecidual.

A Figura 4C apresenta os resultados referentes à variação da resistência com a frequência (S), associada à não homogeneidade pulmonar. Os indivíduos do grupo controle apresentaram pulmões homogêneos que podem ser descritos por um modelo unicomportamental simples. Essa simpli-

cidade traduz-se nos ensaios de TOF em um valor de resistência aproximadamente constante. Indivíduos portadores de não homogeneidades pulmonares demandam modelos mais complexos, incluindo diversos compartimentos. Neste caso, inclinações negativas são introduzidas na curva de resistência.<sup>(10-11,14-15)</sup> Por inspeção visual, observa-se nitidamente o incremento da não homogeneidade pulmonar de acordo com a redução dos parâmetros espirométricos de obstrução brônquica nos pacientes com silicose. Os indivíduos do grupo considerado normal à espirometria mostraram maiores não homogeneidades em relação ao grupo controle, fato que pode estar relacionado com as alterações iniciais decorrentes da instalação da doença. Embora as diferenças entre as médias de classes adjacentes não tenham sido significativas, os resultados descritos na Figura 4C demonstram claramente que a redução dos índices espirométricos é acompanhada de uma redução da homogeneidade do sistema respiratório.

Cabe ressaltar que a TOF, utilizada neste trabalho, não deve ser confundida com a técnica de oscilometria por impulso, que, embora semelhante, apresenta diferenças relacionadas ao método de excitação, processamento e apresentação dos resultados.<sup>(11,38)</sup>

De maneira semelhante ao que ocorre com as outras técnicas de avaliação funcional, as limitações da TOF precisam ser reconhecidas. Uma das principais limitações está associada à impedância das vias aéreas superiores, incluindo as bochechas. Esta encontra-se mecanicamente em paralelo com o sistema respiratório,<sup>(10-11)</sup> introduzindo uma fonte de erro que se torna significativo quando a impedância do indivíduo que está sendo examinado é elevada, condição encontrada nos pacientes estudados no presente trabalho. Note-se que, neste caso, as impedâncias efetivamente medidas serão menores que as presentes no sistema respiratório e que este efeito aumenta com a frequência em análise.<sup>(10-11)</sup> Pelo exposto observamos que este efeito também é importante em relação à estimativa da variação da resistência com a frequência. Desta maneira, quando a obstrução se apresentar elevada, o S descreverá não apenas a homogeneidade do sistema respiratório, mas também a influência das vias aéreas superiores. Com a finalidade de diminuir este efeito os indivíduos foram requisitados a suportar firmemente suas bochechas e o queixo com as mãos.

Nos estudos envolvendo a TOF, o processo de ventilação espontânea introduz erros na faixa compreendida entre 0,25 e 8 Hz que poderiam limitar a confiabilidade dos resultados nesta faixa.<sup>(10-11)</sup> No presente trabalho, estes erros foram reduzidos com a utilização de uma função de coerência mínima de 0,9, o que garante a presença de erros menores que 5%.

Os resultados do presente estudo indicam que as reduções nos parâmetros espirométricos em indivíduos portadores de silicose estão associadas a profundas modificações nas propriedades resistivas do sistema respiratório destes pacientes. Elevações nos valores de resistência total do sistema respiratório e, em menor grau, na resistência das vias respiratórias, são observadas com a progressão da obstrução ao fluxo aéreo. Adicionalmente, os efeitos dessa progressão também incluem a redução da homogeneidade do sistema respiratório. As informações adicionais referentes às propriedades resistivas do sistema respiratório, obtidas por meio da TOF, podem contribuir para complementar os dados obtidos a partir de exames espirométricos em indivíduos portadores de silicose, o que ressalta o elevado potencial de aplicação desta técnica na análise destes pacientes.

## AGRADECIMENTOS

Aos residentes e técnicos do Laboratório de Provas de Função Pulmonar do Hospital Universitário Pedro Ernesto, pelo auxílio na realização dos exames; ao Senhor Josiel Gonçalves dos Santos, pelo apoio técnico; e ao CNPq e à FAPERJ, pelo financiamento.

## REFERÊNCIAS

1. Tarantino AB. Doenças pulmonares. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1990.
2. Algranti E. Epidemiologia das doenças ocupacionais respiratórias no Brasil. *Epidemiol Doenças Respir.* 2001;1(3):119-43.
3. Calvert GM, Rice FL, Boiano JM, Sheehy JW, Sanderson WT. Occupational silica exposure and risk of various diseases: an analysis using death certificates from 27 states of the United States. *Occup Environ Med.* 2003;60(2):122-9.
4. Bagatin E, Jardim JRB, Nery LE, Capitani EM de, Marchi E, Sabino MO, et al. Ocorrência de silicose pulmonar na região de Campinas-SP. *J Pneumol.* 1995;21(1):17-26.
5. Pereira CAC, Carvalho CRR, Nakafani PJ. Temas de pneumologia. São Paulo: Atheneu; 1996. 336 p.
6. Mandi A, Galgoczy G, Galambos E, Nemeth L, Dombos

- K. Changes in clinical status and lung functions of patients with chronic respiratory diseases over 10 years. *Respiration*. 1984;46(2):151-9.
7. Krause M, Mahrlein W. [Bodyplethysmographic analysis in patients with silicosis]. *Z Erkr Atmungsorgane*. 1976;145(3):327-30. German.
  8. Davis GS. Silicosis in occupational disorders of the lung. In: Hendrick DJ, Burge PS, Beckett WS, Churg A, editors. *Occupational disorders of the lung: recognition, management and prevention*; New York, WB Saunders; 2002. p.105-28.
  9. Dubois AB, Brody AW, Lewis DH, Burgess Jr BF. Oscillation mechanics of lungs and chest in man. *J Appl Physiol*. 1956;8(6):587-94.
  10. Melo PL, Werneck MM, Giannella-Neto A. Avaliação de mecânica ventilatória por oscilações forçadas: fundamentos e aplicações clínicas. *J Pneumol*. 2000;26(4):194-206.
  11. MacLeod D, Birch M. Respiratory input impedance measurement: forced oscillation methods. *Med Biol Eng Comput*. 2001;39(5):505-16.
  12. Lemes LNA, Melo PL. Forced oscillation technique in the sleep apnea/hypopnoea syndrome: identification of respiratory events and nasal continuous positive airway pressure titration. *Physiol Meas*. 2003;24(1):11-25.
  13. Lemes LN, Melo PL. Simplified oscillation method for assessing nasal obstruction non-invasively and under spontaneous ventilation: a pilot study. *Med Biol Eng Comput*. 2003;41(4):439-44.
  14. Cavalcanti, JV, Lopes AJ, Jansen JM, Melo PL. Alterations in respiratory mechanics resulting from the progression of airway obstruction in asthmatic subjects analyzed by the Forced Oscillation Technique (FOT) [abstract]. *Chest*. 2003;124(Suppl 4):137S.
  15. Melo PL, Mango AMG, Cavalcante JV, Lopes AJ, Jansen JM. Forced Oscillation Technique vs spirometry to assess COPD stage [abstract]. *Chest*. 2002;122(Suppl 4):138S-9.
  16. Melo PL, Andrade WS, Lopes AJ, Jansen JM. Evaluation of respiratory mechanics by forced oscillation technique in sarcoidosis [abstract]. *Chest*. 2002;122(Suppl 4):100S.
  17. Souza LC, Lopes AJ, Jansen JM, Melo PL. Respiratory mechanics in interstitial lung diseases patients with and without functional alterations in spirometry by forced oscillation [abstract]. *Chest*. 2003;124(Suppl 4):192S.
  18. Cavalcanti JV, Jansen JM, Lopes AJ, Melo PL. Técnica de oscilações forçadas (TOF) no estudo da resposta broncodilatadora em indivíduos portadores de asma brônquica. *J Pneumol*. 2003;29(Supl 1):32.
  19. Mango AMGT, Cavalcanti JV, Lopes AJ, Jansen JM, Melo PL. Forced Oscillation Technique assessing bronchodilator response in asthmatics and COPD patients [abstract]. *Chest*. 2002;122(Suppl 4):138S.
  20. Tramont CVV, Lopes AJ, Jansen JM, Melo PL. Resultados preliminares do estudo das modificações introduzidas na mecânica respiratória de pacientes com sarcoidose pelo uso de broncodilatadores. In: IX Congresso de Pneumologia e Tisiologia do Estado do Rio de Janeiro, 2003. Anais. Rio de Janeiro; 2003.
  21. Demedts M, Noord JA, Woestijne KP. Clinical applications of the forced oscillation technique, *Chest*. 1991;99(4):795-6.
  22. Keman S, Willense B, Wesselling GJ, Kusters E, Borm PJA. A five year follow-up of lung function among chemical workers using flow-volume and impedance measurements. *Eur Respir J*. 1996;9(10):2109-15.
  23. Jorna T, Koiter N, Slanger J, Henderson P, Wouters E, Borm P. Effects of inorganic dust exposure on lung function measured by spirometry and forced oscillation technique (FOT). *Am Rev Respir Dis*. 1992;145:a539.
  24. Melo PL, Cruz NK, Mesquita Junior JÁ, Lopes AJ, Jansen JM. Variações nos índices oscilométricos em indivíduos portadores de obstrução respiratória associada à silicose leve e moderada. In: XVIII Congresso Brasileiro De Engenharia Biomédica 2002. Anais, São José dos Campos; 2002. p. 61-6.
  25. Brochard L, Pelle G, de Palmas J, Brochard P, Carre A, Lorino H, et al. Density and frequency dependence of resistance in early airway obstruction. *Am Rev Respir Dis*. 1987;135(3):579-84.
  26. Pasker HG, Peeters M, Genet P, Clement J, Nemery B, Van de Woestijne KP. Short-term ventilatory effects in workers exposed to fumes containing zinc oxide: comparison of forced oscillation technique with spirometry. *Eur Respir J*. 1997;10(7):1523-9.
  27. Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia. I Consenso Brasileiro sobre Espirometria. *J Pneumol*. 1996;22(3):105-64.
  28. Jansen JM. Classificação da síndrome obstrutiva crônica - uma proposta estatística [tese]. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense; 1994.
  29. Knudson RJ, Lebowitz MD, Holberg CJ, Burrows B. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. *Am Rev Respir Dis*. 1983;127(6):725-34.
  30. Pereira CAC, Barreto SP, Simões JG, Pereira FWL, Gerstler JG, Nakatami J. Valores de referência para espirometria em uma amostra da população brasileira adulta. *J Pneumol*. 1992;18(1):10-22.
  31. de Melo PL, Werneck MM, Giannella-Neto A. Effect of the pressure generator non-linearities in the accuracy of respiratory input impedance measured by forced oscillation. *Med Biol Eng Comput*. 2000;33(1):102-8.
  32. de Melo PL, Werneck MM, Gianella-Neto A. New impedance spectrometer for scientific and clinical studies of the respiratory system. *Rev Sci Instrum*. 2000;71(7):2867-72.
  33. Cordova FC, Junior DS. Occupational lung diseases pulmonary. *Pathophysiology*. 1999;19:383-403.
  34. Cowie RL, Hay M, Thomas RG. Association of silicosis, lung dysfunction, and emphysema in gold miners. *Thorax*. 1993;48(7):746-9.
  35. Pairon JC, Iwatsubo Y, Hubert C, Lorino H, Nouaigui H, Gharbi R, et al. Measurement of bronchial responsiveness by forced oscillation technique in occupational epidemiology. *Eur Respir J*. 1994;7(3):484-9.
  36. Pham QT, Bourgard E, Chau N, Willim G, Megherbi SE, Teculescu D, et al. Forced oscillation technique (FOT): a new tool for epidemiology of occupational lung diseases? *Eur Respir J*. 1995;8(8):1307-13.
  37. Landser FJ, Clement J, Van de Woestijne KP. Normal values of total respiratory resistance and reactance determined by forced oscillations: influence of smoking. *Chest*. 1982;81(5):586-91.
  38. Hellinckx J, Cauberghs M, De Boeck K, Demedts M. Evaluation of impulse oscillation system: comparison with forced oscillation technique and body plethysmography. *Eur Respir J*. 2001;18(3):564-70.