

Ana Lúcia Pio Martins

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES
REOLÓGICAS DO MUCO
BRÔNQUICO DE PACIENTES SOB
FISIOTERAPIA RESPIRATÓRIA**

**São Carlos - SP
- 2004 -**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA



ESTUDO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DO MUCO BRÔNQUICO DE PACIENTES SOB FISIOTERAPIA RESPIRATÓRIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia, do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Fisioterapia, área de concentração: Processos de Avaliação e Intervenção em Fisioterapia.

ORIENTADOR: PROF. DR. DIRCEU COSTA
ORIENTANDA: ANA LÚCIA PIO MARTINS

São Carlos - SP
- 2004 -

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

M386ep

Martins, Ana Lúcia Pio.

Estudo das propriedades reológicas do muco brônquico de pacientes sob fisioterapia respiratória/ Ana Lúcia Pio Martins. -- São Carlos : UFSCar, 2004.
70 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2004.

1. Fisioterapia respiratória. 2. Hipersecreção. 3. Reologia. 4. Muco. 5. Viscoelasticidade. I. Título.

CDD: 615.836(20ª)

*Àqueles com quem aprendi a grande diferença entre estar viva e viver; e em cujo
amor busquei abrigo nos dias de tempestade: **MINHA FAMÍLIA.***

*Meus pais **André e Maria José**, meus irmãos **Sandra e André**, minha cunhada
Aline, meu sobrinho **Pedro** e meu noivo **Alexandre.***

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Dirceu Costa** que me iniciou no caminho árduo do conhecimento científico, mostrando-me as suas dificuldades e glórias.

Ao professor e amigo **Dr. Maurício Jamami** que sempre esteve à disposição para informar, esclarecer, sugerir e, sobretudo, compartilhar.

Às companheiras de profissão e pesquisa **Ft. Ms. Luciana Maria Malosá Sampaio, Ft. Luciana Kawakami e Ft. Ms. Audrey Borghi Silva**, pelo aprendizado pessoal e profissional que me proporcionaram nesse tempo de convívio.

À **Universidade Federal de São Carlos**, que me acolheu como uma de suas sementes e me regou com o conhecimento e convívio de tantas almas valorosas. Muito do que sou hoje devo a essa casa.

A **meus queridos pais, Maria José e André**, grandes alicerces de minha vida, pelo amor incondicional e pelo presente de uma educação moral e acadêmica, mesmo a custa de sacrifícios pessoais.

A **meus irmãos, Sandra e André**, pelos momentos de descontração e presença, por me apoiarem em minhas quedas e vibrarem com minhas conquistas.

A meu noivo **Alexandre**, por estar sempre me incentivando e reerguendo nos momentos de desânimo e com carinho me mostrando uma caminhada de crescimento e conquistas ao seu lado.

A minha **cunhada Aline**, pela amizade e apoio, tanto profissional como pessoal.

A meu sobrinho **Pedro**, que com tão tenra idade já é especialista na arte de ser feliz com as “pequenas grandes” coisas da vida.

Aos meus amigos de **graduação, de pós-graduação e de vida**, que tive a sorte de conhecer e que tornaram meu baú de tesouros ainda mais rico.

A **Cristiane Rodrigues Pedroni**, que, acima de qualquer título que lhe coroe as brilhantes conquistas, é uma pessoa incrível que tenho a honra de ter como amiga.

À chefe e, principalmente amiga, **Noemi Kunikoshita**, pelo ensinamento na arte do hashi e da tolerância nas longuíssimas conversas que me aliviaram a alma, inúmeras vezes atribulada.

A **Luciana Malosá e Tiemi Kunikoshita**, pelo socorro prestado durante os momentos de desespero com a estatística e os problemas do computador.

Aos funcionários da Unidade Especial de Fisioterapia Respiratória, **Judith, Ana Paula, Gualberto e D. Rosa**, que são nossa retaguarda no atendimento aos pacientes.

A **Ana Paula**, secretária da Pós-Graduação em Fisioterapia, sempre solícita em auxiliar nas questões burocráticas.

A **minha irmã, Sandra**, e a **meu pai, André**, pelo valioso auxílio no trato com a nossa Língua Mãe, fazendo a revisão gramatical deste trabalho.

Aos **pós-graduandos do Laboratório de Polímeros**, do DEMa, por me auxiliarem incondicionalmente nos meus primeiros contatos com reômetros.

À **Profa. Dra. Rosário E. S. Bretas**, pela colaboração e disponibilidade no início deste trabalho.

À **Dra. Virgínia C. Amaro Martins**, do Laboratório de Bioquímica do Instituto de Química da USP, pela realização das medidas reométricas e pelos conhecimentos compartilhados.

Aos amigos **Glauco, Ezer, Márcio e Fátima**, com quem passei bons momentos de descontração e aprendizado no Laboratório de Bioquímica.

À **Profa. Dra. Ana Plepes**, pela acolhida no Instituto de Química, permitindo o uso do reômetro que viabilizou as medidas reológicas deste trabalho.

Aos **meus pacientes**, que me fizeram ter orgulho de ser fisioterapeuta, por terem dividido um pouco de seu tempo, experiência, sofrimento e luta comigo.

Àos **meus professores de Graduação e Pós-Graduação**, por compartilharem seus conhecimentos e experiências de vida que para sempre guardarei em minha alma.

À **CAPES**, pelo apoio financeiro.

***“Embora ninguém possa voltar atrás e
fazer um novo começo, qualquer um pode
começar agora e fazer um novo fim.”***

Chico Xavier

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	vii
RESUMO.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1 AMOSTRA.....	15
3.2 MATERIAIS.....	16
3.2.1 Equipamentos.....	16
3.2.2 Materiais de Consumo.....	16
3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	17
3.3.1 Coleta do Muco Brônquico.....	17
3.3.2 Armazenamento do Muco Brônquico.....	19
3.3.3 Análise do Muco Brônquico.....	19
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	22
3.5 NORMAS PARA REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E CITAÇÕES.....	22
4. RESULTADOS.....	23

5. DISCUSSÃO.....	34
5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	43
6. CONCLUSÕES.....	44
7. ENCAMINHAMENTOS FUTUROS.....	46
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
ABSTRACT.....	54
APÊNDICES.....	55
APÊNDICE A: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	55
APÊNDICE B: Ficha de Avaliação.....	57
APÊNDICE C: Ficha de Acompanhamento.....	59
APÊNDICE D: Tabelas e Gráficos Gerais.....	60
ANEXO.....	69
ANEXO A: Equações.....	69

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1: Dados demográficos, antropométricos e espirométricos dos pacientes submetidos à Fisioterapia Respiratória.....	23
Tabela 2: Dados clínicos e informações coletadas durante a avaliação inicial. Os dados são expressos em média, desvio padrão e limites superiores e inferiores.....	24
Tabela 3: Parâmetros reológicos do muco brônquico coletado no pré e nos dias de tratamento nas freqüências de 1, 2, 10, 16 e 20 Hz (valores apresentados em média e desvio padrão).....	27
Tabela 4: Resultado da correlação de Spearman realizada entre o Índice de Purulência e os parâmetros reológicos mensurados.....	30
Tabela A1: Dados demográficos, antropométricos e correspondentes ao consumo de tabaco (se ex-fumante, tempo e quantidade de cigarros consumidos por dia) dos 9 pacientes que participaram do estudo.....	60
Tabela A2: Valores individuais absolutos e em porcentagem do previsto (entre parênteses) da CVL, CVF, VEF ₁ , VEF ₁ /CVF e PFE dos 9 pacientes, obtidos em espirometria realizada na avaliação.....	60
Tabela A3: Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas freqüências de 1, 2 e 10 Hz obtidos do muco brônquico coletado pré-tratamento.....	61
Tabela A4: Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas freqüências de 16 e 20 Hz obtidos do muco brônquico coletado pré-tratamento.....	62
Tabela A5: Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas freqüências de 1, 2 e 10 Hz obtidos do muco brônquico coletado no 1 ^o dia de tratamento.....	63
Tabela A6: Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas freqüências de 16 e 20 Hz obtidos do muco brônquico coletado no 1 ^o dia de tratamento.....	64
Tabela A7: Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas freqüências de 1, 2 e 10 Hz obtidos do muco brônquico coletado no 2 ^o dia de tratamento.....	65

- Tabela A8:** Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas frequências de 16 e 20 Hz obtidos do muco brônquico coletado no 2º dia de tratamento..... **66**
- Tabela A9:** Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas frequências de 1, 2 e 10 Hz obtidos do muco brônquico coletado no 3º dia de tratamento..... **67**
- Tabela A10:** Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas frequências de 16 e 20 Hz obtidos do muco brônquico coletado no 3º dia de tratamento..... **68**

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Esquema do reômetro <i>Dynamic Stress Rheometer AR 1000N</i>	21
Figura 2: Esquema do <i>gap</i> entre a ferramenta tipo placa e a Placa Peltier.....	21
Figura 3: Esquema do sistema de cobertura (<i>solvent trap</i>).....	21
Figura 4: Gráficos do comportamento das propriedades reológicas (em log) do muco brônquico coletado antes do tratamento (Pré) e após cada sessão de Fisioterapia Respiratória (1 ^o , 2 ^o e 3 ^o dias). Todos os gráficos são <i>plotados</i> pela varredura de freqüência, sendo que os parâmetros observados são: η' (A), η^* (B), G' (C), G'' (D) e $\tan \delta$ (E).....	25
Figura 5: Gráficos do volume e do Índice de Purulência do muco brônquico coletado antes do tratamento (Pré) e após cada sessão (1 ^o , 2 ^o e 3 ^o dias).....	29
Figura 6: Gráfico da correlação entre Índice de Purulência (IP) do muco coletado no 1 ^o dia de tratamento e o módulo viscoso (G'') a 20 Hz.....	30
Figura 7: Gráficos dos valores (em média e desvio padrão) de SpO ₂ (A), FC (B), PAS (C), PAD (D) e PF (E), mensurados antes e após a sessão de Fisioterapia Respiratória nos 3 dias de tratamento.....	31
Figura 8: Gráfico do comportamento da SpO ₂ durante cada etapa da sessão de Fisioterapia Respiratória em cada dia de tratamento.....	32
Figura 9: Gráfico do comportamento da FC durante cada etapa da sessão de Fisioterapia Respiratória em cada dia de tratamento.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFE	Aceleração de Fluxo Expiratório
AP	Ausculata Pulmonar
CNS	Conselho Nacional de Saúde
CVF	Capacidade Vital Forçada
CVL	Capacidade Vital Lenta
f	Frequência Respiratória
FC	Frequência Cardíaca
FR	Fisioterapia Respiratória
HMA	História da Moléstia Atual
HMP	História da Moléstia Progressiva
IP	Índice de Purulência
PA (éter etílico)	Tipo de solvente utilizado Para Análise
PA	Pressão Arterial
PAD	Pressão Arterial Diastólica
PAS	Pressão Arterial Sistólica
PF	Pico de Fluxo diário
PFE	Pico de Fluxo Expiratório
QP	Queixa Principal
SpO₂	Saturação periférica de Oxigênio
TEF	Técnica de Expiração Forçada
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
USP	Universidade de São Paulo
VEF₁	Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo
VEF₁/CVF	Índice de Tiffeneau
V/Q	Relação ventilação-perfusão

LISTA DE SÍMBOLOS

G'	Módulo de armazenamento (módulo elástico)
G''	Módulo de perda (módulo viscoso)
η'	Viscosidade dinâmica
η^*	Viscosidade complexa
tan δ	Fator de perda
Hz	ciclo por segundo
° C	graus Celsius
ml	mililitro
mm	milímetro
Kg	quilograma
cm	centímetro
bpm	batimentos por minuto
rpm	respirações por minuto
mmHg	milímetro de mercúrio
l/min	litro por minuto
Pa	Pascal
Pa.s	Pascal-segundo
σ	Tensão de cisalhamento
$\dot{\gamma}$	Taxa de cisalhamento
γ	Deformação de cisalhamento
G	Módulo de rigidez
η	Viscosidade
G*	Módulo Complexo
ω	Frequência angular
rad/s	radianos por segundo
δ	Ângulo de fase

RESUMO

Pacientes que apresentam doenças pulmonares hipersecretivas muito se beneficiam das técnicas de Fisioterapia Respiratória (FR). No entanto, o efeito destas no muco brônquico não está completamente elucidado. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi analisar amostras de muco brônquico de pacientes com hipersecreção brônquica submetidos à FR, sendo avaliadas as propriedades reológicas, o volume expectorado, o Índice de Purulência (IP) do muco e as variáveis fisiológicas mensuradas. O procedimento experimental constou de 3 sessões consecutivas de FR com protocolo de 7 minutos de inalação com soro fisiológico e terapia de higiene brônquica através de Drenagem Postural, Tapotagem, Aceleração do Fluxo Expiratório (AFE) e uso do aparelho Flutter[®], encerrando com mais 7 minutos de inalação. Foi coletado muco expectorado de 9 pacientes — antes do tratamento e após cada sessão de FR. O muco coletado foi armazenado em *ependorfs* e conservado a -20° C. As medidas reológicas foram realizadas no reômetro *Dynamic Stress Rheometer AR 1000N*, com a ferramenta placa paralela. O teste foi realizado a uma deformação constante de 0,01 Pa, em uma faixa de frequência de 1 a 20 Hz, com temperatura fixa de 37° C. Foram obtidos valores de G' (módulo elástico), G'' (módulo viscoso), η' (viscosidade dinâmica), η'' (viscosidade complexa) e $\tan \delta$ (razão entre módulo viscoso e módulo elástico) sendo que, para a análise estatística, foram utilizados valores observados nas frequências de 1, 2, 10, 16 e 20 Hz. Os resultados foram analisados segundo o teste de Friedman, de Wilcoxon e o coeficiente de correlação de Spearman ($p \leq 0,05$). Na análise dos parâmetros reológicos foi possível observar que G' e η'' caíram significativamente no 2^o e 3^o dias de tratamento em relação ao pré-tratamento em todas as frequências analisadas. O único parâmetro que não sofreu modificação significativa no decorrer dos dias de tratamento, em nenhuma das frequências estabelecidas, foi o $\tan \delta$. O volume de muco obtido pré-tratamento foi significativamente menor se comparado aos outros. E no que se refere ao IP, este reduziu significativamente no 3^o dia em relação aos demais. O IP mostrou uma relação de dependência com parâmetros reológicos do muco coletado no 1^o e no 2^o dias, sendo a mais alta a 20 Hz, com G'' ($r = 0,91$). Durante as sessões de FR, a SpO_2 aumentou significativamente com o uso do Flutter[®], permanecendo elevada na manobra de AFE, enquanto a FC se manteve similar no decorrer do procedimento. Das medidas realizadas antes e após a intervenção, houve diferença significativa apenas no PF do 2^o dia, em que a medida final ($245 \pm 95,02$) foi maior que a inicial ($230 \pm 94,21$). Concluímos que houve melhora no perfil reológico do muco coletado após intervenção fisioterapêutica, no 2^o e no 3^o dias de tratamento. O IP caiu significativamente no 3^o dia de intervenção. Além disso, ocorreu uma maior expectoração de muco em relação ao pré-tratamento.

Palavras-chave: muco, hipersecreção, Fisioterapia Respiratória, viscoelasticidade, reologia.

1. INTRODUÇÃO

A Fisioterapia Respiratória (FR) tem um importante papel no tratamento de pacientes com comprometimento respiratório, principalmente nos casos em que há complicações pelo excesso de secreção broncopulmonar com retenção da mesma na árvore brônquica. As técnicas de FR aplicadas em casos de hipersecreção têm relevância significativa em prevenir ou reduzir as conseqüências mecânicas da obstrução, tais como hiperinsuflação, atelectasia dos alvéolos, má distribuição da ventilação pulmonar, alteração da relação ventilação-perfusão (V/Q) e aumento do trabalho muscular respiratório (OBERWALDNER, 2000). O objetivo dessas técnicas é promover o aumento da *clearance* mucociliar da via aérea (AL- ALAIYAN et al., 1996; DULLOCK, 1991; LANGENDERFER, 1998; MORTENSEN et al., 1991; PHILLIPS et al., 1998; ROSSMAN et al., 1982).

A terapia de higiene brônquica já é utilizada há muitas décadas, sendo que as técnicas tradicionalmente aplicadas para esse fim, denominadas técnicas convencionais, são a drenagem postural, a percussão e a vibração. Novas técnicas têm sido descritas, dentre elas o ciclo ativo da respiração, Aceleração de Fluxo Expiratório (AFE) ou Técnica de Expiração Forçada (TEF), drenagem autógena, além de equipamentos de oscilação da caixa torácica a alta freqüência e aparelhos de pressão expiratória positiva oscilante, como o Flutter VRP1[®] e o *RC-Cornet*[®] (HARDY, 1994; PRYOR et al., 1999). Uma breve descrição de algumas das técnicas e aparelhos citados nas revisões de Hardy e de Pryor segue abaixo:

- Drenagem postural: este método requer a colocação do paciente em várias posições de drenagem que anatomicamente favorecem o movimento das secreções direcionadas pela gravidade à via aérea aberta. Geralmente é associada a exercício

respiratório profundo, percussão torácica ou vibração. E, quando a secreção alcança a via aérea superior, pede-se ao paciente que tussa.

- Tapotagem: realizada somente com as mãos ou com auxílio de equipamentos são percussões aplicadas na parede torácica enquanto o paciente respira tranquilamente em posição de drenagem.

- Vibração: pode ser realizada manualmente ou com o uso de aparelhos. É difícil de aplicar manualmente e, geralmente, não é padronizada. No entanto, pode aumentar o fluxo expiratório e auxiliar na mobilização de secreções.

- Técnica de Expiração Forçada (TEF): consiste de um ou dois *huffs* (expirações forçadas) de médio a baixos volumes, seguidos por um período de respiração diafragmática controlada e relaxada. Esta técnica muda a posição do ponto de igual pressão na via aérea, deste modo estabiliza essa via aérea e melhora a *clearance*.

- Ciclo ativo da respiração: é a combinação de três componentes – exercícios de expansão torácica, respiração controlada (diafragmática) e TEF – em um ciclo. É baseado no princípio de que o aumento da interação gás-líquido proporcionado pelo aumento do fluxo expiratório é importante para a *clearance* da via aérea, além do paciente participar ativamente na manobra. O ciclo pode ser adaptado às necessidades de cada paciente.

- Drenagem autógena: o paciente é treinado a respirar em três volumes pulmonares, iniciando a volumes baixos para desprender o muco, depois a volumes médios para coletá-lo e, então, manobras a altos volumes para expelí-lo. Em teoria, esta técnica aumenta o fluxo aéreo em vias aéreas inferiores facilitando o movimento do muco para vias aéreas superiores e posterior expectoração.

- Oscilação da caixa torácica a alta frequência: são pulsos de pressão positiva de ar aplicados à parede torácica por meio de uma veste tipo jaqueta inflável. Estes pulsos

são variáveis causando oscilações de alta frequência. Em teoria, estas vibrações causam aumentos transientes do fluxo da via aérea, resultando em aumento da interação gás-líquido e o movimento do muco.

- Flutter VRP1[®] : é um aparelho em forma de cachimbo com uma esfera de aço de alta densidade fechada frouxamente em um cone e coberta por uma tampa perfurada. Durante a expiração no aparelho, a subida e a descida da esfera e seu movimento ao longo da superfície do cone cria uma pressão expiratória positiva e vibração oscilatória do ar dentro da via aérea. E, ainda, intermitentes acelerações de fluxo aéreo são produzidas pelo mesmos movimentos da esfera. Estes três fenômenos ajudam a desgarrar secreções, que são mobilizadas para a via aérea central e expectoradas por exalações profundas através do aparelho com subsequente tosse ou expirações forçadas.

- RC-Cornet[®] : é um aparelho composto por um tubo de plástico curvado contendo uma válvula de borracha flexível livre. Durante a expiração através do aparelho são geradas pressão expiratória positiva e vibração oscilatória do ar dentro da via aérea. Secreções mobilizadas da via aérea central são eliminadas pela tosse ou expirações forçadas.

Os critérios de seleção das diferentes técnicas incluem um número considerável de itens, como motivação e objetivos do paciente, objetivos do terapeuta, efetividade da técnica, idade e capacidade de concentração do paciente, facilidade de aprender e ensinar, habilidade do terapeuta, fadiga ou trabalho requerido, necessidade de assistentes ou equipamentos, limitações da técnica baseadas no tipo de doença e severidade, custo e possibilidade de combinar técnicas (HARDY, 1994).

As técnicas e aparelhos citados visam ao mesmo objetivo: proporcionar a *clearance* da via aérea, diminuindo a obstrução e promovendo a melhora na distribuição da ventilação e na troca gasosa (HARDY, 1994). Todas essas técnicas vêm sendo alvo de estudos experimentais e revisões (BLAZEY et al., 1998; DALLIMORE et al., 1998; GALLON, 1992; McILWAINE et al., 1997; PRYOR et al., 1979; ROCHESTER & GOLDBERG, 1980; ROSSMAN et al., 1982; SUTTON et al., 1983; van HENGSTUM et al., 1988; WILLEPUT, 1993). Porém, permanecem muitos questionamentos a respeito de como elas interferem nas propriedades reológicas do muco brônquico.

Pacientes que apresentam doenças hipersecretivas muito se beneficiam dessas técnicas. Entretanto, o alvo principal atingido por elas - o muco - ainda não está completamente elucidado. Sabe-se que pacientes com bronquite crônica apresentam hiperplasia das glândulas mucosas e podem produzir muco com propriedades reológicas alteradas e *clearance* mucociliar anormal (MAY & MUNT, 1979). Uma melhor compreensão da reologia do muco brônquico poderia representar um avanço no conhecimento das alterações mecânicas apresentadas pelo muco em decorrência de diversas patologias. Possibilitaria, também, verificar se as terapias de higiene brônquica modificam as condições reológicas do muco, facilitando sua expectoração.

Toda a via aérea é recoberta por uma fina camada de muco, uma secreção viscoelástica que forma um filtro sobre toda a superfície epitelial. Essa barreira mecânica e biológica protege a mucosa epitelial da desidratação, de invasões, de lesões químicas e físicas de microorganismos e agentes nocivos (LOPEZ-VIDRIERO, 1987; MACCHIONE et al., 1995b). E, por formar a primeira linha de defesa do sistema respiratório contra inalantes tóxicos, os eventos que ocorrem

nestas regiões podem ser relevantes para a patogênese de doenças respiratórias induzidas pelo fumo, como a Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) (MAESTRELLI et al., 2001).

A eficiência da *clearance* da via aérea pelo sistema mucociliar depende, principalmente, de 3 fatores: da magnitude do *input* ciliar, da quantidade e profundidade da camada periciliar e das propriedades viscoelásticas do muco-gel (SLEIGH et al., 1988).

Em estados patológicos, muitos fatores afetam o transporte do muco: mudanças na morfologia epitelial, resultando em um menor número de células ciliadas; maior produção de muco e mudanças nas propriedades físicas do muco, que pode ser o principal fator prejudicial de sua *clearance*. Dessa forma, o acúmulo de muco é uma característica comum a várias doenças da via aérea, incluindo bronquite crônica e asma (MACCHIONE et al., 1995a; MACCHIONE et al., 1995b).

Outro fator vinculado à hipersecreção brônquica é o consumo de cigarros. Maestrelli et al. (2001) relataram que em estudos realizando biópsia, fumantes com DPOC apresentavam um número aumentado de “*globet cells*” ou células caliciformes — um dos tipos de células que compoem o chamado aparelho mucossecrator — quando comparado com não fumantes com a mesma patologia. Mas, quando comparado com fumantes saudáveis, esta diferença não foi observada. Além disso, a falta de correlação com o VEF₁ (Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo) sugere que o maior fator determinante de hiperplasia de “*globet cells*” é o fumo do cigarro em si, no entanto, o mecanismo pelo qual isto ocorre ainda é desconhecido.

O muco da via aérea é uma mistura complexa de produtos de grande variedade no sentido qualitativo e quantitativo, sendo de diversas origens: líquido

alveolar, produtos secretados por variadas células e glândulas e transudato seroso (HOUTMEYERS et al., 1999).

O muco respiratório é um fluido bifásico composto de uma fase aquosa sol e uma fase gel. A camada superior é um gel viscoelástico (muco com ligações cruzadas de glicoproteínas) que sobrepõe uma camada sol (serosa). A camada sol banha os cílios que se projetam da superfície epitelial. Dessa forma, o muco pode ser propelido pelos batimentos dos cílios acima da camada sol (FOSTER, 2002; KALINER et al., 1986; PUCHELLE et al., 2002).

A produção desse muco é realizada pelo chamado aparelho mucossecretor, composto de células caliciformes (*"globet cells"*), glândulas submucosas e células de Clara, as quais produzem mucoproteínas ácidas e neutras. A mistura dessas mucoproteínas forma o muco propriamente dito. O muco associado a fluidos do tecido plasmático e alveolar, detritos celulares, células de descamação, dentre outras, recebe o nome de secreção brônquica. Essa secreção, por sua vez, se mistura a secreções não brônquicas (orais, salivares e nasais) e ambas formam a expectoração (BLASI & OLIVIERE, 1982).

Apesar desses conceitos que diferenciam o material expectorado de acordo com cada etapa de sua formação, na literatura corrente o termo muco ou esputo é usado de forma genérica.

O muco, como outros materiais biológicos tipo gel, apresenta propriedades reológicas características. Ele é composto estruturalmente por macromoléculas de glicoproteína, proteína e lipídeo (LOPEZ-VIDRIERO, 1980; TATENUMA et al., 1991) e as propriedades mecânicas desse material estão vinculadas à função fisiológica que ele apresenta, de diferentes maneiras. Por exemplo, o muco brônquico age como uma matriz para capturar partículas que então são levadas pela atividade dos

cílios. Se o muco está muito espesso e viscoso (como no caso de pacientes com fibrose cística), o movimento ciliar é inibido e a eficiência em expulsá-lo, juntamente com partículas de células mortas e patógenos, fica prejudicada (NOSSAL, 1996).

O muco brônquico, bem como uma variedade de materiais biológicos, apresentam características particulares de viscoelasticidade que lhes conferem comportamentos importantes para o desempenho de suas funções. E uma forma de investigar estas características com profundidade é através da reologia. A reologia é o ramo da Física que estuda o deslocamento e a deformação dos corpos sob o efeito das forças que a eles são aplicadas (BLASI & OLIVIERE, 1982).

A relação entre tensão e deformação, que caracteriza reologicamente um material, pode apresentar-se de diferentes formas. Se for constante, independentemente da deformação e do tempo, o fluido é chamado Newtoniano. Entretanto, se a resposta do fluido varia para cada taxa de deformação, apresentando uma relação não-linear com as forças aplicadas a ele, esse fluido apresenta comportamento não-Newtoniano (BRETAS & D'ÁVILA, 2000).

A viscosidade, tanto Newtoniana como não-Newtoniana, quantifica a resistência ao escoamento de um dado material (BRETAS & D'ÁVILA, 2000; HARDING, 1997; HENEINE, 1996).

O comportamento mais comum apresentado por fluidos não-Newtonianos é a diminuição da viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento aplicada a ele.

Segundo King & Rubin, 1994 (apud: AUBUCHON & RUBIN, 2003), o muco é um gel viscoelástico cujo comportamento é o de um material não-Newtoniano, variando de acordo com a tensão a que está exposto. Tal afirmativa torna-se evidente durante a tosse, quando o muco flui facilmente, pois, nessa condição, ele está recebendo altas forças de cisalhamento e sua viscosidade efetiva (ou seja, a

resistência ao fluxo) é baixa. Quando cessa a tosse, a força de cisalhamento dada pela gravidade não é suficiente para levar o muco em direção ao pulmão, uma vez que sua viscosidade efetiva está alta novamente.

A viscoelasticidade é a capacidade de certos materiais de oferecerem uma resistência ao fluxo durante a aplicação de uma força (viscosidade) e quando essa força é retirada, apresentam um recuo ou tendência a voltar ao ponto de repouso (elasticidade). Essa propriedade é inerente a materiais de alto peso molecular (BRETAS & D'ÁVILA, 2000; HOUTMEYERS et al., 1999).

O muco apresenta essa característica de um material semi-sólido viscoelástico, pois quando uma força lhe é aplicada ele se comporta, simultaneamente, como líquido e como sólido (MARRIOTT, 1981). Como líquido, o muco se escoia sob a ação das forças aplicadas a ele, dispendendo energia (viscosidade). Como sólido, ele se deforma devido a força aplicada, acumulando energia (elasticidade) (LOPEZ-VIDRIERO, 1987; PUCHELLE et al., 2002).

Outra característica do muco é a pseudoplasticidade (BLASI & OLIVIERE, 1982). Materiais pseudoplásticos apresentam uma deformação não permanente quando uma força externa, acima de um dado limiar, é aplicada (COLLYER, 1993).

A tixotropia também é uma propriedade reológica apresentada por certos materiais e determina um fluxo dependente do tempo. Essa característica é definida como a capacidade de um material, que foi submetido a agitação constante e sofreu tendência de fluidificação progressiva, retornar às suas características iniciais após um período relativamente longo de repouso (BLASI & OLIVIERE, 1982). O muco apresenta essa propriedade de forma parcial, uma vez que, após o período de repouso, o retorno às suas características não é total (BLASI & OLIVIERE, 1982; HOUTMEYERS et al., 1999; LIEBERMAN, 1968a).

Assim, o muco pode ser conceituado como um fluido não-Newtoniano, viscoelástico, pseudoplástico e parcialmente tixotrópico.

As propriedades reológicas apresentadas pelo muco brônquico são atribuídas principalmente à sua estrutura polimérica de moléculas de glicoproteínas e ao grau de ligações cruzadas devidas a pontes covalentes ou a barreiras físicas ou a ambas. No entanto, outros componentes, como proteínas, íons e lipídios, também influenciam seu comportamento reológico (LOPEZ-VIDRIERO, 1987).

A avaliação das propriedades reológicas do muco é essencial para a compreensão de sua propriedade funcional normal e para determinar os fatores responsáveis por sua anormalidade durante as doenças (MACCHIONE et al., 1995b).

As propriedades reológicas do muco têm sido estudadas principalmente nas situações de hipersecreção brônquica, como fibrose cística, bronquiectasia e bronquite crônica, uma vez que se torna difícil conseguir material em quantidade suficiente para análise em indivíduos sem comprometimento do sistema pulmonar. Assim, as observações feitas sobre comportamento reológico se referem a um muco que, provavelmente, já apresenta alguma modificação física e/ou química em sua estrutura devido à patologia instalada.

A natureza complexa do muco e sua heterogeneidade tornam difícil o estudo de seu comportamento reológico e a padronização de dados nesta área.

Uma grande variedade de instrumentos e diferentes métodos já foram empregados para a análise reológica do muco, desde viscosímetros capilares a viscosímetros com tecnologia de ponta.

Dulfano & Adler (1975) utilizaram um viscosímetro duplo capilar, modificado por Philippoff et al. em 1970. O mesmo sistema foi utilizado por Kim et al. (1982) e

Ramos et al. (2003). Esse tipo de viscosímetro consiste essencialmente de um tubo com dimensões conhecidas, onde o material sofre a influência de um gradiente de pressão que gera o seu fluxo. Um equipamento eficiente é necessário para a medida acurada da taxa de cisalhamento (WILKINSON, 1960).

Segundo Harding (1997), um dos viscosímetros mais utilizados para soluções diluídas é o tipo capilar de “Ostwald”. Entretanto, o autor não relata se esse equipamento já foi usado em medidas de muco brônquico, afirmando apenas que, para soluções diluídas, o capilar de “Ostwald” apresenta melhor precisão que o rotacional.

O tubo capilar é um exemplo de fluxo parcialmente controlável; longe da entrada onde o fluxo está completamente desenvolvido, as linhas de fluxo são sempre paralelas ao eixo do tubo, mas o perfil de velocidade dependerá da natureza do fluido (BRETAS & D'ÁVILA, 2000).

Deneuille et al. (1997), Lieberman (1968a e 1968b) e Lopez-Vidriero & Reid (1978) mediram as propriedades reológicas do muco brônquico em um viscosímetro rotacional de tensão controlada com ferramenta cone-placa. Neste tipo de equipamento, a medida das propriedades reológicas é feita a partir da imposição de um fluxo de arraste dado pela rotação (no caso de fluxo permanente de cisalhamento) ou pela oscilação (no caso de fluxo oscilatório) da placa superior a uma dada velocidade angular (BRETAS & D'ÁVILA, 2000).

Na geometria ideal desse equipamento, o ápice do cone de ângulo obtuso, apenas toca a placa inferior plana sem transmitir nenhum torque para ela. O fluido preenche o estreito intervalo entre o cone e a placa. De forma similar, esse viscosímetro pode ser utilizado com uma ferramenta do tipo placa paralela, como realizado por Shibuya et al. (2003). Tanto na geometria cone-placa como na placa

paralela, a taxa de cisalhamento é praticamente constante. Usualmente, o controle da temperatura é aplicado à placa inferior (COLLYER, 1993; WILKINSON, 1960).

Equipamentos de tensão controlada, com ferramenta do tipo cone-placa ou placa, podem ser utilizados para investigar parâmetros viscoelásticos de fluidos biológicos humanos, por exemplo as secreções das vias aéreas, e similares (AUBUCHON & RUBIN, 2003).

Outro tipo de viscosímetro utilizado com a mesma finalidade é o microrreômetro magnético de esfera (GIORDANO et al., 1978; KING et al., 1997; MAJIMA et al., 1999; TATENUMA et al., 1991). Uma esfera de aço ou ferro, dentro de um tubo de dimensões conhecidas, é submetida a forças magnéticas sinusoidais provenientes de fonte externa. Esse campo magnético causa uma oscilação da esfera. A amostra é colocada envolvendo a esfera e a resistência à oscilação é captada e interpretada pelo equipamento (COLLYER, 1993).

Dentre os vários cuidados que devem ser tomados para a realização de medidas reológicas do muco brônquico, um dos mais relevantes é a necessidade de se fazer testes em diferentes freqüências de aplicação da força deformante. Tais dados podem ser obtidos facilmente de testes oscilatórios dinâmicos (LITT et al., 1976). Dessa maneira, é possível obter importantes informações sobre o comportamento biológico do muco diante das diferentes solicitações funcionais, tanto de baixa freqüência (batimento ciliar normal), como de alta freqüência (tosse). Esse tipo de teste pode então determinar se um dado muco é mais facilmente transportado por batimento ciliar ou pela tosse, dados que permitem a realização de importantes correlações fisiopatológicas (SALDIVA, 1990).

O sistema ciliar funciona em um padrão cíclico com um batimento efetivo rápido seguido de recolhimento lento a cerca de 10 Hz no trato respiratório. No

entanto, sob o peso do muco, essa freqüência cai e fica entre 1 e 3 Hz (WIDDICOMBE & WELLS, 1982 *apud* MAJIMA et al., 1999).

O transporte mucociliar é influenciado tanto pela atividade do cílio como pelas propriedades da camada de muco (BOEK et al., 2002).

O conhecimento das propriedades reológicas de materiais biológicos é muito importante do ponto de vista dos processos biológicos e fisiológicos. E os equipamentos precisam, necessariamente, ser sensíveis e considerar a complexidade apresentada por materiais como o muco (PHILIPPOFF et al., 1970). Dessa forma, é possível fornecer informações a respeito de situações funcionais, como, por exemplo, a relação da viscoelasticidade do muco com o transporte realizado pelo aparelho mucociliar, a que está constantemente submetido, ou durante uma manobra de tosse ativa, assistida ou estimulada.

Para que o aparelho mucociliar do epitélio respiratório atue de forma eficiente na homeostase do sistema respiratório, o muco brônquico precisa apresentar um comportamento mecânico ideal, ou seja, ter um componente elástico capaz de transferir o movimento do cílio à camada de muco, juntamente com um componente deformável, capaz de propiciar o deslocamento do filme de muco diante da energia a ele transmitida pelo batimento ciliar (SALDIVA, 1990).

Assim, a FR atua em doenças pulmonares hipersecretivas baseada na suposição de que esse tratamento é capaz de promover a *clearance* do muco da via aérea em função do aumento no mecanismo de transporte. Uma forte hipótese levantada como causa desse aumento no mecanismo de transporte seria a possível alteração nas propriedades viscoelásticas do muco propiciada pelas técnicas de FR (APP et al., 1998).

A reologia do muco brônquico permanece como um campo de muitos questionamentos ainda sem respostas precisas e, como materiais biológicos apresentam comportamento reológico complexo, justifica-se a necessidade de estudos que visem a uma análise mais aprofundada desse muco, com fundamentação científica que possa ampliar a compreensão do seu comportamento mecânico, especialmente mediante manobras de higiene brônquica.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento reológico do muco brônquico de pacientes com hipersecreção brônquica submetidos a sessões consecutivas de Fisioterapia Respiratória. Para estudar o referido comportamento reológico foi utilizado um reômetro rotacional com ferramenta do tipo placa. E a partir disso, procurou-se propor embasamento e buscar maior esclarecimento sobre os efeitos das manobras fisioterapêuticas de higiene brônquica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar alterações quanto ao volume e Índice de Purulência (IP) do muco brônquico no decorrer dos dias de tratamento.
- Verificar correlações entre o IP do muco coletado e o tempo de fumo, quantidade de cigarros consumidos por dia, idade do paciente, valores espirométricos de fluxo (Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo - VEF₁ - e Pico de Fluxo Expiratório - PFE) e propriedades reológicas do muco.
- Verificar correlações entre as propriedades reológicas do muco brônquico e o tempo de fumo, quantidade de cigarros consumidos por dia, idade do paciente.
- Analisar modificações nos parâmetros fisiológicos observados durante o tratamento (Saturação Periférica de Oxigênio - SpO₂ e Frequência Cardíaca - FC) que possam ter sido causadas pelo protocolo proposto.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. AMOSTRA

Foram avaliados 33 pacientes — encaminhados à Unidade Especial de Fisioterapia Respiratória da Universidade Federal de São Carlos, localizada na Santa Casa de Misericórdia de São Carlos — 17 homens e 16 mulheres que apresentavam hipersecreção brônquica, independentemente da pneumopatia de base. Esses pacientes, ou seus responsáveis, deram seu consentimento por escrito em um termo de autorização (APÊNDICE A), em atendimento ao Comitê de Ética em Pesquisa da UFSCar, conforme estabelece a Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde (CNS).

Dos pacientes avaliados, 24 (72,7%) foram excluídos do estudo; 12 pacientes (36,36%) apresentaram expectoração insuficiente ou dificuldade de expectorar; 3 (9,09%) não puderam comparecer nos dias de atendimento; 3 (9,09%) apresentaram exacerbação do quadro, requerendo outros tipos de procedimentos e terapia; e as amostras de 6 pacientes (18,18%) ficaram estocadas por um período superior a 90 dias (acima do aconselhável na literatura). Todos os pacientes excluídos deste estudo, mas que necessitavam de tratamento fisioterapêutico, foram atendidos separadamente. Assim, 9 pacientes participaram efetivamente do estudo, sendo 4 homens e 5 mulheres, com idades variando de 55 a 74 anos ($69 \pm 6,0$ anos).

Permaneceram no estudo os pacientes com hipersecreção brônquica que se submeteram a 3 sessões consecutivas de FR, expectorando no mínimo 1 ml de muco após cada sessão.

Todos os procedimentos utilizados estavam sob rigoroso acompanhamento de profissional qualificado e monitoração contínua.

3.2. MATERIAIS

Os materiais utilizados neste estudo pertenciam à Unidade Especial de Fisioterapia Respiratória e Laboratório de Espirometria e Eletromiografia do Departamento de Fisioterapia da UFSCar.

3.2.1 Equipamentos

- Oxímetro de pulso DIXTAL, modelo DX 2405, *Dixtal Biomédica*;
- Estetoscópio, marca *Dyasist*;
- Esfignomanômetro aneróide, marca *Dyasist*;
- Espirômetro marca *Vitalograph*, modelo *Hand Held 2120*;
- Peak Flow meter, modelo *Assess*;
- Recipiente de vidro milimetrado;
- Pinça anatômica;
- *Freezer* (-20° C);

3.2.2 Materiais de Consumo

- *Ependorfs* (1,5 ml);
- Soro fisiológico 0,9 %;
- Óleo mineral;
- Éter etílico PA, marca *Synth*;
- Espátulas de plástico;

- Luvas descartáveis;
- Material de consumo (papel absorvente, álcool, detergente, hipoclorito de sódio a 1%).

Além disso, foram utilizados os seguintes equipamentos do Laboratório de Bioquímica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, sob a responsabilidade da Dra. Virgínia C. Amaro Martins:

- *Dynamic Stress Rheometer AR 1000N*, marca *TA Instruments*;
- Capela.

3.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os pacientes que apresentavam todos os pré-requisitos para a participação neste estudo foram submetidos a uma avaliação clínica, conforme detalhamento contido na ficha de avaliação do APÊNDICE B.

3.3.1. Coleta do Muco Brônquico

Após a avaliação, os pacientes foram submetidos a três dias consecutivos de FR. Cada sessão constou de medidas iniciais e finais de Saturação periférica de Oxigênio (SpO_2), Frequência Cardíaca (FC), Pressão Arterial Sistólica (PAS) e Diastólica (PAD), Pico de Fluxo (PF) e Ausculta Pulmonar (AP). Após as medidas iniciais, os pacientes receberam 7 minutos de inalação apenas com soro fisiológico, para evitar alteração estrutural da secreção causada por qualquer tipo de medicamento inalado. A fim de prevenir a possível interferência na análise reológica do material, os pacientes foram orientados a expectorar antes da terapia de higiene brônquica, para eliminar o muco retido na via aérea superior, que poderia apresentar

uma grande variabilidade celular e interferir na mensuração da viscoelasticidade do muco.

Com os pacientes em posição de drenagem postural (Trendelenburg), foram realizados aproximadamente 3 minutos de Tapotagem em cada região torácica correspondente às áreas pulmonares acometidas. Sentados, todos fizeram, então, 3 séries de 10 repetições no aparelho Flutter[®], o qual promove oscilação durante a expiração, com intervalos suficientes entre as séries para que não ocorresse fadiga muscular respiratória nos mesmos. Encerrando os procedimentos de FR, eles foram instruídos a realizar a manobra de Aceleração de Fluxo Expiratório (AFE) ativo. Posteriormente, foi solicitado a cada um que realizasse tosse ativa e expectorasse o muco brônquico em um recipiente plástico.

A medicação via oral utilizada pelos pacientes não foi alterada durante o tratamento de FR. Os pacientes foram monitorados continuamente por meio de um oxímetro de pulso, sendo que os valores de FC e SpO₂ foram anotados imediatamente ao término de cada etapa da sessão: Tapotagem associada à Drenagem Postural, Flutter[®] e AFE.

Em seguida, todos receberam uma nova inalação somente com soro fisiológico durante mais 7 minutos.

Dessa forma, foram coletadas 4 amostras de cada paciente: uma antes de iniciar a FR (controle) e uma após cada dia de intervenção. No total foram coletadas 36 amostras de muco.

O volume de muco coletado foi medido e o seu aspecto macroscópico foi visualmente analisado por meio do Índice de Purulência (DENEUVILLE et al., 1997). A ficha de acompanhamento utilizada durante as sessões está apresentada no APÊNDICE C.

3.3.2. Armazenamento do Muco Brônquico

O muco obtido na expectoração foi separado o máximo possível da saliva e a porção menos aquosa dividida em alíquotas de 1,5 ml colocadas em *ependorfs*. A fim de minimizar os efeitos de desidratação causados pelo resfriamento e período de armazenamento, o muco foi colocado em *ependorfs* revestidos internamente e cobertos com óleo mineral (GASTALDI, 1994; MACCHIONE et al., 1995a; RAMOS et al., 2003). Neste estudo a quantidade de óleo mineral utilizada foi cerca de 0,15 ml. As amostras selecionadas foram armazenadas em um congelador com temperatura de -20°C , por no máximo 3 meses, para análise posterior.

3.3.3 Análise do Muco Brônquico

Para a análise da reologia do muco, utilizou-se o reômetro *Dynamic Stress Rheometer AR 1000N* (Figura 1), com a ferramenta do tipo placa (Figura 2). A placa utilizada era de aço inox, com 40 mm de diâmetro. O intervalo entre as placas (*gap*) foi de 0,1 mm. Com a ferramenta utilizada e este *gap*, o volume de amostra necessário para a mensuração foi de cerca de 0,5 ml. A temperatura para a análise, obtida por meio da placa de Peltier, foi fixada em 37°C . Alguns minutos de espera eram necessários para que todo o sistema ficasse na mesma temperatura, evitando oscilações durante o teste. Para evitar o ressecamento da amostra durante a mensuração, foi utilizado um sistema de cobertura denominado *solvent trap* (Figura 3), o qual permite a manutenção da umidade local. Previamente foi realizado um mapeamento para verificar se o equipamento estava calibrado.

Após toda a preparação do equipamento, o muco foi retirado dos *ependorfs* e colocado dentro de uma capela onde recebia algumas gotas de éter etílico PA (cerca de 0,25 ml) e permanecia até que este se exalasse. Para a quantidade de éter

utilizada o tempo para que ocorresse completa exalação foi em torno de 5 minutos. Dessa forma, ficava garantido que a amostra não estaria contaminada nem com óleo nem com éter, pois ambos seriam passíveis de modificar o resultado da viscoelasticidade mensurada.

Em estudo piloto, foram realizados testes de oscilação de tensão em algumas amostras para se verificar o intervalo de tensão ou deformação em que o material apresentasse regime de viscoelasticidade linear. A partir daí, foi determinada a porcentagem de deformação em que seria realizada a varredura de frequência. A deformação escolhida para o teste foi de 0,01 Pa, em uma faixa de frequência de 1 a 20 Hz.

O reômetro de placas paralelas possibilita a análise de inúmeros parâmetros. Dentre eles, os principais para a análise reológica do muco são a viscosidade complexa (η^*), que engloba o comportamento viscoelástico do material analisado, a viscosidade dinâmica (η'), o módulo elástico (G'), o módulo viscoso (G'') e a tangente de delta ($\tan \delta$), que equivale à razão entre o módulo viscoso e o módulo elástico (G''/G').

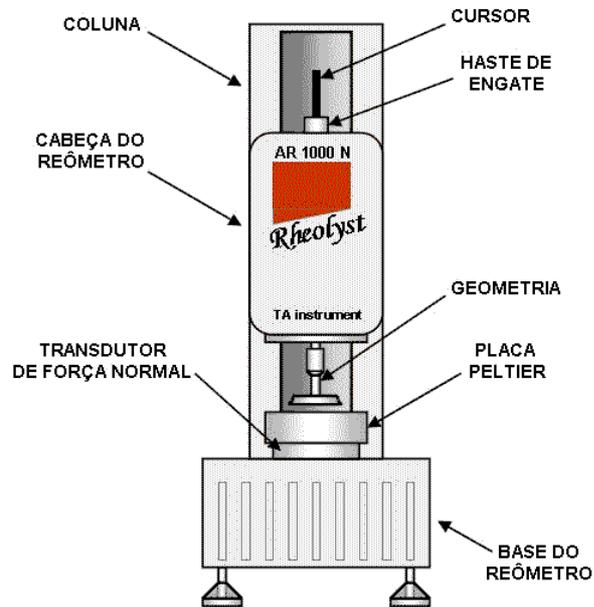


Figura 1: Esquema do reômetro *Dynamic Stress Rheometer AR 1000N*

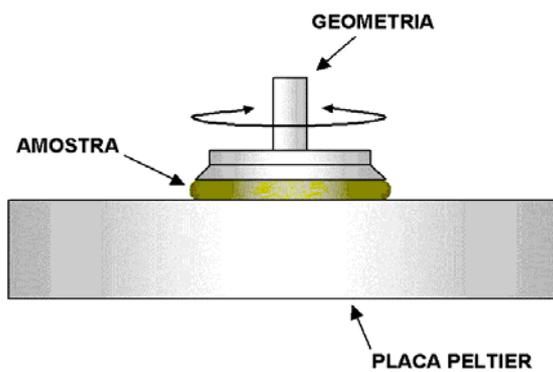


Figura 2: Esquema do *gap* entre a ferramenta tipo placa e a Placa Peltier

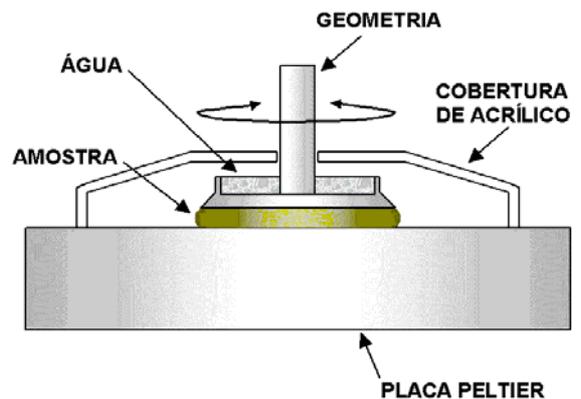


Figura 3: Esquema do sistema de cobertura (*solvent trap*)

3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis de classificação dos dados são apresentadas em tabelas de contingência, nas quais constam média, desvio padrão e intervalo de variação.

Previamente à utilização de métodos de análise para a obtenção de medidas de centralidade, dispersão e correlação, os dados coletados foram submetidos ao agrupamento no diagrama de Gauss. Como os dados não apresentaram distribuição normal, foram realizados testes não-paramétricos de Friedman e Wilcoxon, para análise de variância; e para analisar correlações, o Coeficiente de Spearman . O nível de significância adotado foi de 5% ($p \leq 0,05$).

3.5. NORMAS PARA REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E CITAÇÕES

As referências bibliográficas e citações utilizadas nesta dissertação foram expressas segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6023 e 10520, respectivamente (ABNT, 2002).

4. RESULTADOS

Os dados demográficos, antropométricos e espirométricos obtidos durante a avaliação dos 9 pacientes que compuseram a amostra final estão apresentados em média, desvio padrão e limites superior e inferior na tabela 1.

Tabela 1: Dados demográficos, antropométricos e espirométricos dos pacientes submetidos à Fisioterapia Respiratória.

	VALOR	VARIAÇÃO
n	9	
IDADE (anos)	69± 6,0	55 - 74
SEXO (M/F)	4/5	
PESO (Kg)	67,1 ± 12,7	44,7 - 82,5
ALTURA (cm)	158,0 ± 7,8	147 - 171
CVF (% do previsto)	74,2 ± 19,3	45 - 106
VEF ₁ (% do previsto)	52,0 ± 15,5	23 - 76
Tiffeneau (% do previsto)	70,3 ± 17,9	51 - 102
PFE (% do previsto)	55,9 ± 25,4	17 - 91

CVF = Capacidade Vital Forçada; VEF₁ = Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo; Índice de Tiffeneau = relação entre VEF₁ e CVF; PFE = Pico de Fluxo Expiratório.

Por meio dos dados da tabela 1, é possível observar que os pacientes formam um grupo com estreita faixa etária e com número similar de homens (4) e mulheres (5). Todos apresentaram alteração espirométrica obstrutiva e/ou restritiva, sendo que 7 deles obtiveram valores de VEF₁ abaixo de 60% do previsto.

Na tabela 2, estão apresentadas as informações clínicas coletadas na avaliação, bem como dados sobre o tempo de fumo e a quantidade de cigarros consumidos pelos pacientes.

Tabela 2: Dados clínicos e informações coletadas durante a avaliação inicial. Os dados são expressos em média, desvio padrão e limites superiores e inferiores.

	VALOR	VARIAÇÃO
TEMPO DE FUMO (anos)	44,6 ± 22,7	0 - 64
QUANTIDADE (cig./dia)	12,3 ± 9,2	0 - 20
SpO ₂ (%)	90,4 ± 4,7	83 - 96
FC (bpm)	89,1 ± 20,7	64 - 131
f (rpm)	20,3 ± 3,9	15 - 28
PAS (mmHg)	130,0 ± 19,2	110 - 170
PAD (mmHg)	75,0 ± 12,3	60 - 95
PF (l/min)	236,7 ± 113,4	110 - 320

Com exceção de um paciente que nunca fumou, todos os outros eram ex-fumantes. Sendo que 7 pacientes do grupo apresentavam SpO₂ em repouso abaixo de 95%, o que conferia ao grupo uma característica de dessaturação.

Na figura 4: A, B, C, D e E, encontra-se representado o comportamento reológico das amostras de muco brônquico segundo a varredura de frequência. Os parâmetros ilustrados são: G' (módulo elástico); G'' (módulo viscoso); η' (viscosidade dinâmica); η^* (viscosidade complexa) e, $\tan \delta$ (razão entre módulo viscoso e módulo elástico).

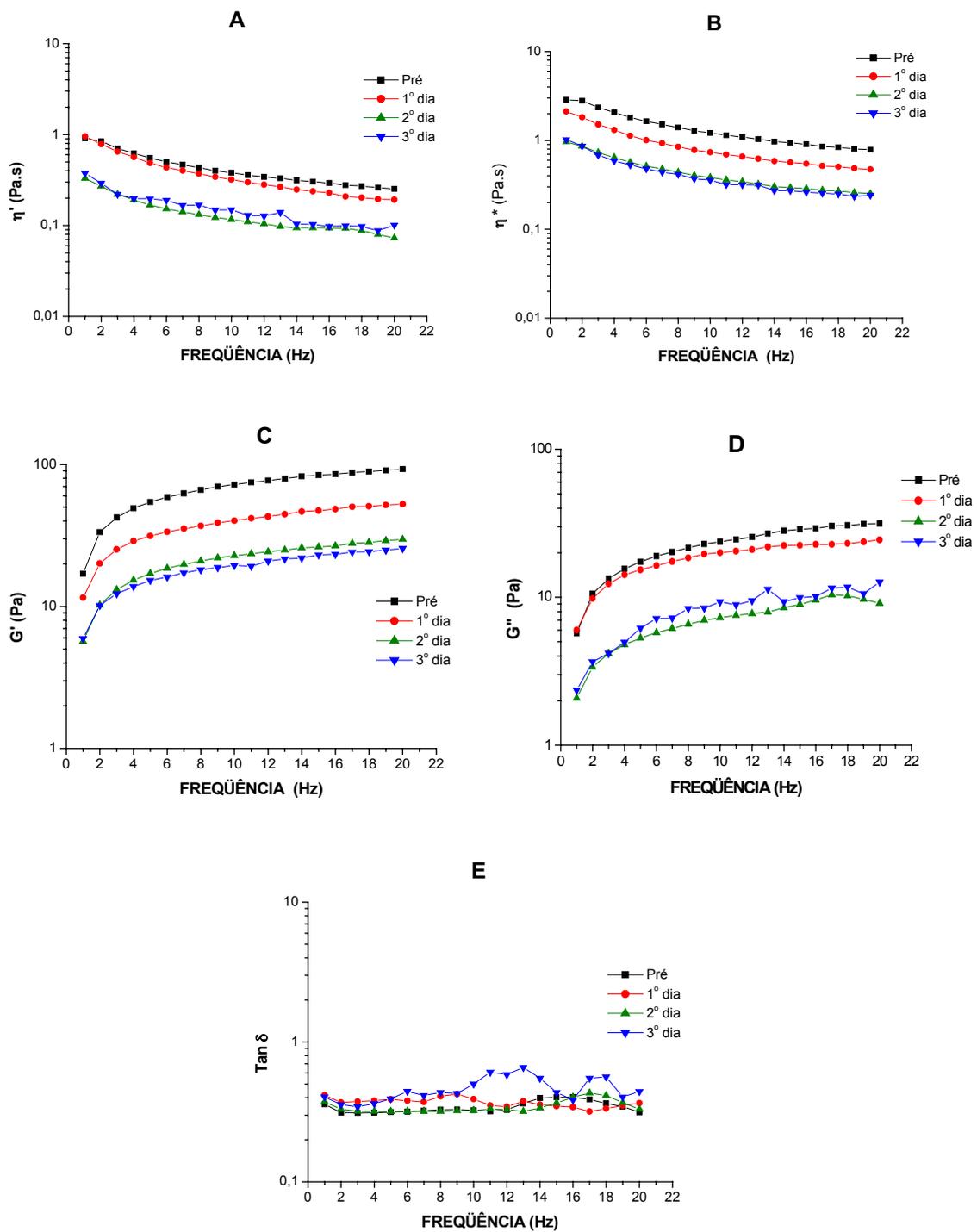


Figura 4: Gráficos do comportamento das propriedades reológicas (em log) do muco brônquico coletado antes do tratamento (Pré) e após cada sessão de Fisioterapia Respiratória (1^o, 2^o e 3^o dias). Todos os gráficos são *plotados* pela varredura de frequência, sendo que os parâmetros observados são: η' (A), η^* (B), G' (C), G'' (D) e $\tan \delta$ (E).

As medidas reológicas dos parâmetros expostos nos gráficos da figura 4, a uma dada variação de frequência, possibilitam observar um espectro amplo do comportamento do muco. As curvas ilustram o comportamento tipicamente viscoelástico do muco, em que G' e G'' se elevam com o aumento da frequência enquanto a viscosidade tanto dinâmica quanto complexa diminuem.

Essa tendência viscoelástica do muco e a sua variação com a mudança da frequência nos permitem fazer inferências com condições respiratórias fisiológicas. A altas frequências, é possível observar o comportamento do muco quando exposto a manobras de tosse e, a baixas, quando sob influência apenas do batimento ciliar. Por isso, a análise subsequente será feita em frequências específicas.

As frequências baixas observadas para fazer inferência sobre a viscoelasticidade em que o muco se encontra durante o transporte através do batimento ciliar foram de 1 e 2 Hz. Enquanto a 10, 16 e 20 Hz, tem-se pontos de frequência nos quais é possível associar a resposta reológica com o transporte do muco pela tosse. Dessas frequências, a mais comumente utilizada na literatura para correlações com o transporte pela tosse é a de 16 Hz, que equivale em velocidade angular (ω) a 100 rad/s (APP et al., 1998; JEANNERET-GRONSJEAN et al., 1988; KING et al., 1997; MACHIONE et al., 1995a).

Segundo os valores apresentados na tabela 3, podemos observar que os dados apresentam variabilidade alta, uma vez que os pacientes não apresentavam a mesma patologia e a presença de hipersecreção foi o principal critério de inclusão. No entanto, esse fator não apresentou muita interferência, já que a análise verificou a variação dos parâmetros reológicos no decorrer dos dias de tratamento.

O único parâmetro reológico que não apresentou alteração significativa em nenhuma frequência foi o $\tan \delta$.

Tabela 3: Parâmetros reológicos do muco brônquico coletado no pré e nos dias de tratamento nas frequências de 1, 2, 10, 16 e 20 Hz (valores apresentados em média e desvio padrão).

FREQ.	PARÂMETRO	Pré	1º dia	2º dia	3º dia
1 Hz	G' (Pa)	17,00 ± 10,97	11,56 ± 9,53	5,67 ± 3,66 *	5,95 ± 2,77 * †
	G'' (Pa)	5,70 ± 3,09	6,01 ± 8,81	2,08 ± 1,35 *	2,36 ± 1,09 *
	η' (Pa.s)	0,91 ± 0,49	0,96 ± 1,40	0,33 ± 0,22 *	0,38 ± 0,17 *
	η*(Pa.s)	2,86 ± 1,80	2,12 ± 2,00	0,96 ± 0,62 *	1,02 ± 0,47 * †
	tan δ	0,36 ± 0,08	0,42 ± 0,22	0,37 ± 0,04	0,41 ± 0,09
2 Hz	G' (Pa)	33,39 ± 19,26	20,06 ± 18,60	10,24 ± 6,10 *	10,15 ± 5,28 *
	G'' (Pa)	10,55 ± 6,78	9,81 ± 15,93	3,38 ± 2,08 *	3,66 ± 2,19 *
	η' (Pa.s)	0,84 ± 0,54	0,78 ± 1,27	0,27 ± 0,17 *	0,29 ± 0,18 *
	η*(Pa.s)	2,80 ± 1,62	1,82 ± 1,91	0,86 ± 0,51 *	0,87 ± 0,45 *
	tan δ	0,31 ± 0,07	0,37 ± 0,20	0,33 ± 0,03	0,36 ± 0,10
10 Hz	G' (Pa)	72,11 ± 52,03	40,25 ± 35,88	22,77 ± 15,67 *	19,43 ± 13,78 *
	G'' (Pa)	23,77 ± 18,79	20,03 ± 31,26	7,27 ± 4,53	9,31 ± 10,23
	η' (Pa.s)	0,38 ± 0,30	0,32 ± 0,50	0,12 ± 0,07	0,15 ± 0,16
	η*(Pa.s)	1,22 ± 0,88	0,74 ± 0,74	0,38 ± 0,26 *	0,36 ± 0,26 *
	tan δ	0,33 ± 0,07	0,39 ± 0,23	0,32 ± 0,07	0,50 ± 0,38
16 Hz	G' (Pa)	85,33 ± 65,24	48,50 ± 42,10	26,75 ± 18,58 *	23,29 ± 15,49 *
	G'' (Pa)	29,29 ± 22,89	22,77 ± 34,46	9,57 ± 4,88 *	10,13 ± 10,54 *
	η' (Pa.s)	0,29 ± 0,23	0,23 ± 0,35	0,10 ± 0,05	0,11 ± 0,10
	η*(Pa.s)	0,91 ± 0,69	0,55 ± 0,53	0,27 ± 0,19 *	0,26 ± 0,18 *
	tan δ	0,40 ± 0,24	0,34 ± 0,21	0,40 ± 0,19	0,39 ± 0,31
20 Hz	G' (Pa)	92,43 ± 72,80	52,58 ± 45,01	29,63 ± 20,21 *	25,63 ± 16,11 *
	G'' (Pa)	31,56 ± 26,22	24,47 ± 35,89	9,10 ± 7,12	12,68 ± 10,15
	η' (Pa.s)	0,26 ± 0,20	0,20 ± 0,29	0,07 ± 0,06	0,10 ± 0,13
	η*(Pa.s)	0,79 ± 0,62	0,47 ± 0,45	0,25 ± 0,17 *	0,24 ± 0,16 *
	tan δ	0,31 ± 0,16	0,37 ± 0,20	0,33 ± 0,28	0,44 ± 0,48

* significativamente diferente do valor médio pré-tratamento

† significativamente diferente do valor médio do 1º dia.

As alterações significativas observadas em todas as freqüências foram obtidas na análise do muco coletado no 2º e 3º dias em relação ao pré-tratamento. Apenas na freqüência de 1 Hz, foi observada diferença significativa do 3º dia, não só em relação ao pré-tratamento, mas também em relação ao 1º dia, tanto para G' quanto para η^* . Os parâmetros reológicos de G' e η^* do muco coletado caíram significativamente em todas as freqüências analisadas. Outros parâmetros que apresentaram diminuição significativa foram G'' , nas freqüências de 1, 2 e 16 Hz, e η' , nas freqüências de 1 e 2 Hz.

Os dados referentes ao volume e ao Índice de Purulência (IP) do muco expectorado nos períodos pré-tratamento, e no 1º, 2º e 3º dias de FR são ilustrados na figura 5. De acordo com a análise estatística, pode-se observar que o volume expectorado no pré-tratamento foi significativamente menor quando comparado aos outros dias. Já, para cada um dos dias, os volumes expectorados não foram diferentes entre si.

Em relação ao Índice de Purulência, houve uma redução desde o pré-tratamento, sendo que essa redução foi significativa no 3º dia de tratamento quando comparada à dos demais.

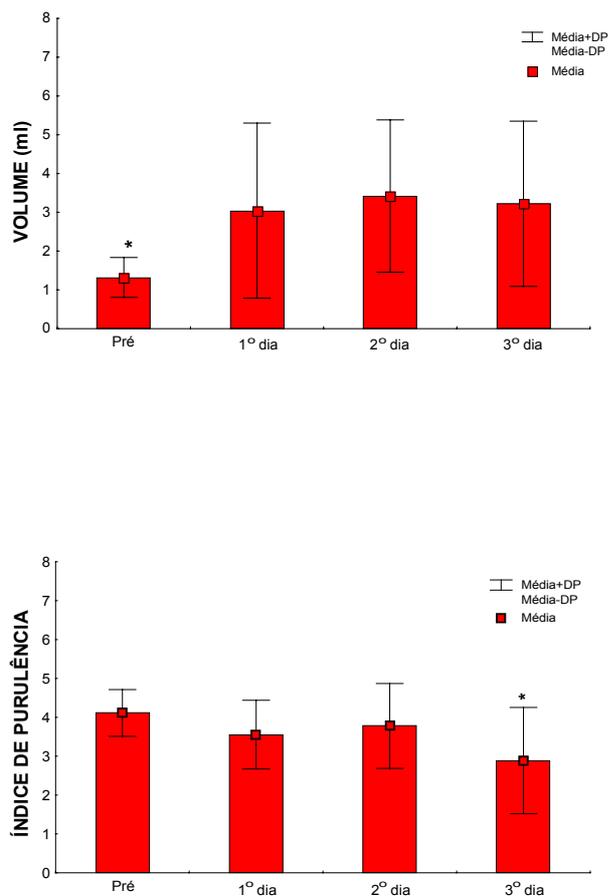


Figura 5: Gráficos do volume e do Índice de Purulência do muco brônquico coletado antes do tratamento (Pré) e após cada sessão (1º, 2º e 3º dias).
* $p \leq 0,05$

Não foi observada dependência dos parâmetros reológicos ou do IP do muco coletado antes de qualquer intervenção fisioterapêutica com os dados obtidos na avaliação referentes a tempo de tabagismo, quantidade de cigarros consumidos por dia, idade e valores espirométricos de fluxo (VEF_1 e PFE).

Houve, contudo, correlação significativa positiva entre o IP e alguns parâmetros reológicos no 1º e 2º dias (Tabela 4). Não foi observada correlação significativa do IP com parâmetros reológicos no 3º dia de tratamento. A correlação que se mostrou mais alta ($r = 0,91$) foi a do IP com o G'' , a 20 Hz no 1º dia (Figura 6).

tratamento, em que a medida final ($245 \pm 95,02$ l/min) foi maior que a inicial ($230 \pm 94,21$ l/min). Todos esses resultados estão ilustrados na figura 7: A, B, C, D e E.

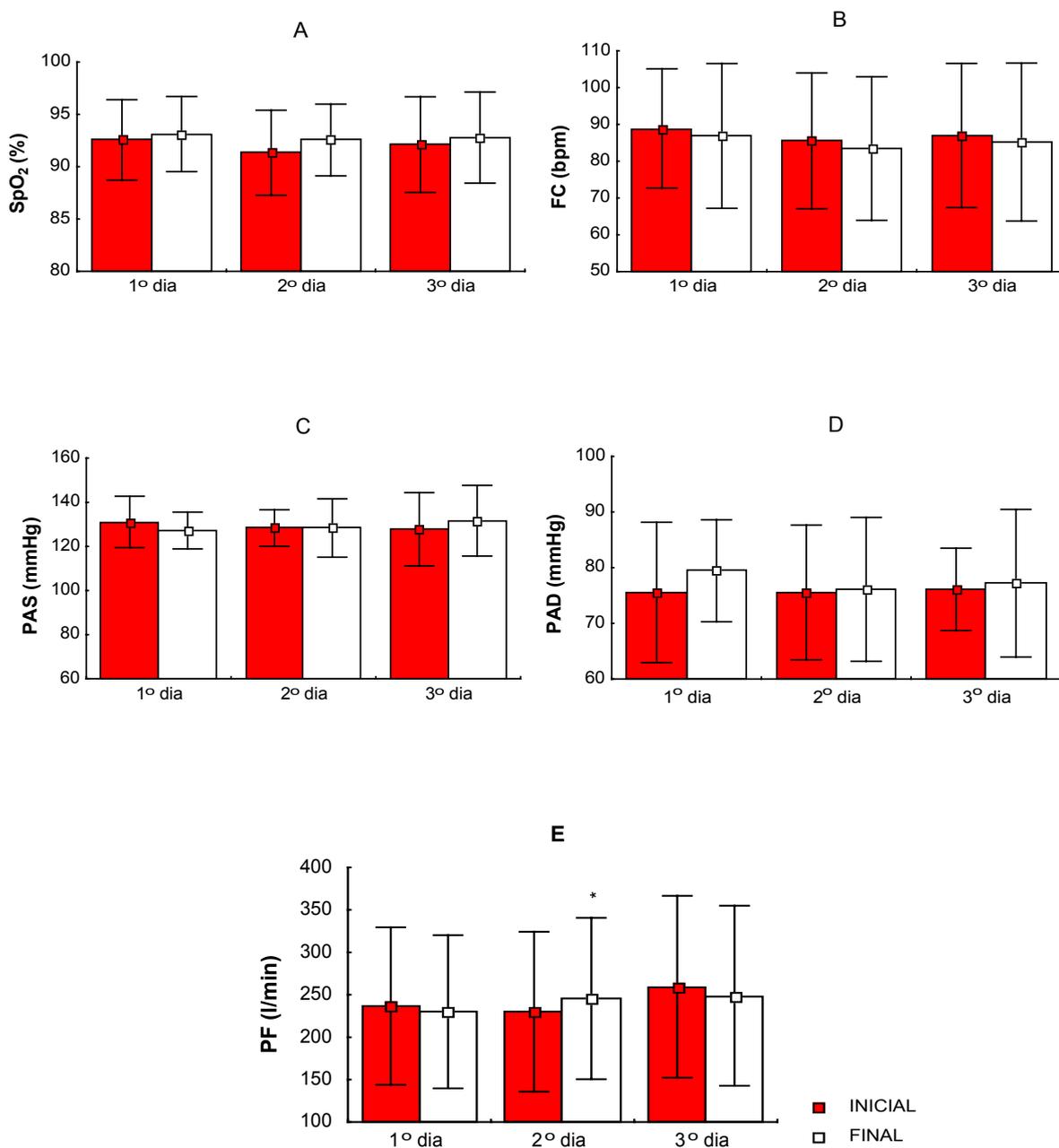


Figura 7: Gráficos dos valores (em média e desvio padrão) de SpO₂ (A), FC (B), PAS (C), PAD (D) e PF (E), mensurados antes e após a sessão de Fisioterapia Respiratória nos 3 dias de tratamento.

* $p \leq 0,05$

Legenda: equivalente para todos os gráficos desta figura

Na análise do comportamento da SpO₂ e FC no decorrer das sessões de tratamento, observou-se que a SpO₂ mensurada imediatamente após a utilização do equipamento Flutter[®] (FL), bem como após a manobra de AFE, foi significativamente maior que os valores de base (mensurados antes e após a sessão). No entanto, não houve diferenciação entre esses dois momentos da sessão (Flutter[®] e AFE). Também não foi observada alteração significativa após a Tapotagem associada à Drenagem Postural (DP+TAP). Tal comportamento permaneceu similar nos três dias de tratamento, não havendo diferença para cada etapa quando analisada inter-sessão, conforme ilustrado na figura 8.

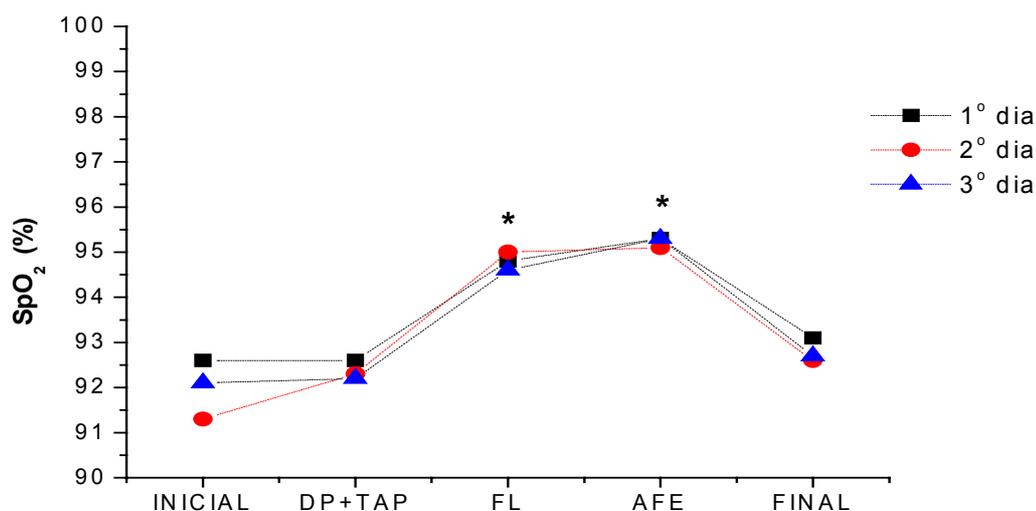


Figura 8: Gráfico do comportamento da SpO₂ durante cada etapa da sessão de Fisioterapia Respiratória, em cada dia de tratamento.

* $p \leq 0,05$

É importante ressaltar que, em nenhum momento do tratamento, houve queda significativa da saturação que representasse uma dessaturação decorrente das técnicas de FR ou do aparelho aplicado.

Quanto ao comportamento da FC, esta permaneceu sem alterações significativas durante o tratamento quando comparada às mensurações realizadas em repouso antes e após a sessão, bem como não se alterou de uma manobra para outra. Da mesma forma que ocorreu com a SpO₂, esse comportamento se manteve durante os 3 dias (Figura 9).

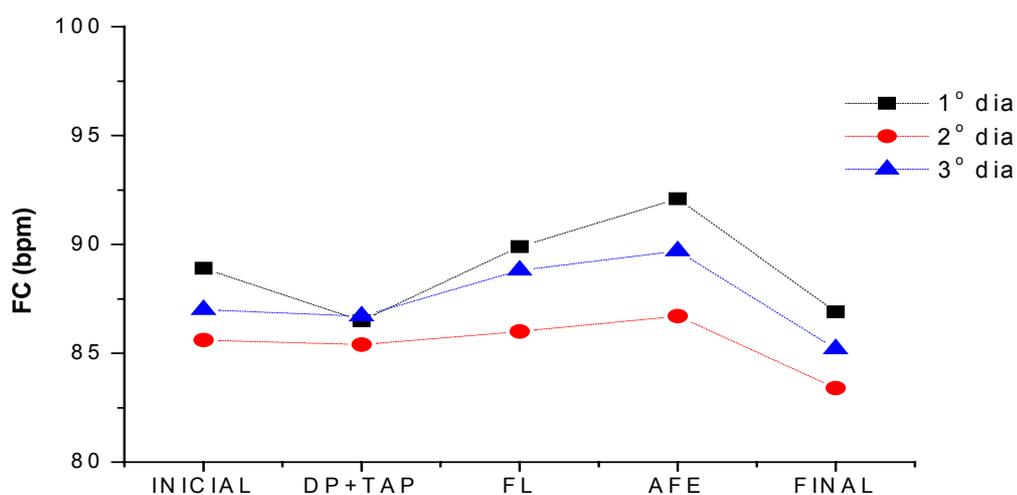


Figura 9: Gráfico do comportamento da FC durante cada etapa da sessão de Fisioterapia Respiratória, em cada dia de tratamento.

5. DISCUSSÃO

Este estudo objetivou avaliar o comportamento reológico do muco brônquico de pacientes hipersecretivos sob tratamento agudo de Fisioterapia Respiratória. Dessa forma, analisou-se os possíveis efeitos do tratamento proposto sobre a reologia, bem como sobre o volume e Índice de Purulência do muco expectorado e os dados fisiológicos mensurados durante tal tratamento.

PRYOR et al. (1999) descreveram técnicas de higiene brônquica ditas convencionais e outras consideradas novas. No entanto, nessa revisão o autor concluiu que permanece em debate qual “regime” para *clearance* da via aérea deve ser usado e quando usá-lo, bem como sua efetividade. Na revisão de Hardy (1994), também foi levantada a questão da dificuldade em selecionar a técnica mais apropriada. Um dos motivos da escassez de estudos relativos à eficácia das técnicas de higiene brônquica é a limitação de ferramentas que possibilitem medidas acuradas das mesmas.

No local onde este trabalho foi desenvolvido, como em muitos outros atendimentos ambulatoriais, vem sendo utilizada uma associação de técnicas para a higiene brônquica. Este estudo elegeu o conjunto de Drenagem Postural com Tapotagem, Flutter[®] e AFE para um protocolo de higiene brônquica.

Acreditamos que a associação de manobras de percussão, pressão expiratória positiva oscilante e expiração forçada seja ideal para auxiliar na higiene brônquica, uma vez que visam ao desgarramento e condução do muco, melhorando sua transportabilidade por meio da interação ar-líquido mais adequada e, possivelmente, da alteração no perfil reológico do muco.

Por meio da análise das propriedades reológicas do muco brônquico coletado do paciente antes de qualquer intervenção fisioterapêutica e após o protocolo proposto foi possível observar grande variabilidade nos valores individuais, o que provavelmente deve estar relacionado ao fato de os pacientes apresentarem diagnósticos diversos, como bronquite crônica, bronquiectasia e DPOC. Assim, o muco brônquico, que em patologia já apresenta maior variabilidade que o muco normal, estaria ainda mais influenciado pela diversidade de patologias apresentadas pelo grupo que concluiu o estudo.

Entretanto, como o intuito neste caso não foi estudar o comportamento reológico padrão em uma determinada patologia, mas sim comparar as possíveis implicações do tratamento de FR sobre o muco, não houve a preocupação em formar um grupo segundo critério de patologia específica. Lopez-Vidriero & Reid (1978) analisaram a viscosidade aparente ($a\ 1,35\ \text{seg}^{-1}$) do muco de pacientes com bronquite crônica, asma, fibrose cística e bronquiectasia, segundo seu aspecto macroscópico (mucóide, mucopurulento e purulento) e constituintes químicos. E a diferença encontrada relacionou-se mais ao aspecto macroscópico do muco do que à patologia em si. Não que isto descarte a possibilidade do padrão diferenciado das propriedades reológicas do muco ser em decorrência do tipo de patologia apresentada pelo paciente, mas levanta a hipótese do aspecto macroscópico se relacionar com sua conformação estrutural e, conseqüentemente, com seu comportamento reológico.

Conhecendo-se a pouca homogeneidade do muco brônquico dos pacientes deste estudo, alguns cuidados técnicos foram tomados para minimizar efeitos que pudessem influenciar as medidas reológicas. Desta forma, escolheu-se cuidadosamente uma amostra visualmente mais homogênea de cada volume

expectorado pelo paciente. Além disso, o muco foi separado tanto quanto possível da saliva que o contamina durante sua passagem pela cavidade oral.

Um método para tentar evitar essa possível contaminação de saliva, que teoricamente influenciaria as condições do muco, é a colocação de chumaço de algodão nas saídas das glândulas salivares, mas a grande maioria dos estudos que analisam muco expectorado, não utilizam esta técnica. Gastaldi et al. (2000) utilizaram esse método e não constataram diferença significativa em termos de velocidade relativa no palato de rã, tanto para as amostras coletadas protegidas quanto para as não protegidas.

Uma vez que o muco é estruturalmente diferente da saliva e que o método de proteção com o chumaço de algodão não foi conclusivo, o método de escolha do muco mais homogêneo e separado da saliva, usado neste estudo, parece suficiente.

A mensuração dos parâmetros reológicos do muco foi feita a partir de um teste dinâmico, em que foi imposta uma força de deformação fixa durante uma varredura de variação de frequência para observar seu comportamento reológico. A partir dessa curva, foi obtido o resultado dos parâmetros reológicos nas frequências estipuladas de 1, 2, 10, 16 e 20 Hz.

Neste estudo, tanto os parâmetros relacionados à viscosidade (G'' , η'), quanto o relacionado à elasticidade (G') ou a ambos (η^*) mostraram dependência com a frequência, como relatado por Tatenuma et al. (1991), sendo que G' e G'' se elevam à medida que a frequência aumenta, enquanto η' e η^* diminuem. Este comportamento é típico de materiais não-Newtonianos, que apresentam uma variação não linear na resposta viscoelástica frente a uma variação na frequência com que uma determinada deformação lhes é imposta. Nenhuma variação foi encontrada no parâmetro $\tan \delta$ no decorrer das sessões. O $\tan \delta$ se relaciona ao

fator de perda, ou seja, a capacidade de dissipação ou fluidez do material analisado. Portanto, é possível inferir que o muco, apesar de apresentar um comportamento reológico melhor com o decorrer do tratamento, continuou tendo a característica de um “sólido” viscoelástico, em que o módulo elástico (G') permaneceu maior que o viscoso (G'').

Puchelle et al. (1987) já questionavam a relação entre transporte e reologia do muco e reforçaram em seu estudo a teoria de que a capacidade de transporte do muco respiratório seria, em parte, dependente de suas propriedades reológicas. Citando Chen & Dulfano (1983), relatam que a faixa intermediária de viscosidade em torno de 15 Pa.s e a do módulo elástico em torno de 1 Pa seria a ideal para um transporte mucociliar eficiente. Em nosso estudo foram encontrados, em frequências baixas, valores médios de η' em torno de 1 Pa.s, enquanto G' variou mais, ficando acima de 15 Pa na maioria dos casos. A partir do segundo dia de tratamento, os valores de G' caíram, ainda não atingindo, no entanto o considerado ideal para a transportabilidade ciliar. Dessa forma, é possível inferir que pacientes que apresentem muco com o mesmo tipo de comportamento reológico que o dos que fizeram parte deste estudo sejam mais beneficiados pelas possíveis alterações causadas com aplicação de manobras e aparelhos que diminuam, principalmente, sua elasticidade. E, na seqüência, expectorar através da manobra de tosse, mais indicada para remoção de muco com essas características.

Apesar da transportabilidade não ter sido enfocada neste estudo, valores altos de G' foram observados em todas as frequências, principalmente a 20 Hz, a mesma frequência em que Giordano et al. (1978) observaram maior correlação negativa entre G' e taxa de *clearance*. King et al. (1985) obtiveram correlações

similares entre viscoelasticidade e índice de *clearance* a 16 Hz. Assim, quanto maior o G' , mais lentamente o muco era transportado.

As análises reológicas foram realizadas no muco coletado pré-tratamento e nos 3 dias consecutivos de FR. Em todas as freqüências de análise, houve queda significativa da viscoelasticidade, observada pelos parâmetros G' e η^* no 2º e 3º dias em relação ao pré-tratamento. Da mesma forma, G'' apresentou diminuição significativa a 1, 2 e 16 Hz, enquanto η' caiu significativamente apenas nas freqüências de 1 e 2 Hz; nesses últimos casos, também do valor obtido no 2º e 3º dias em relação ao pré-tratamento.

A queda da viscoelasticidade observada no 2º e 3º dias em relação ao pré-tratamento caracteriza a melhora no perfil reológico do muco após a intervenção fisioterapêutica com o protocolo proposto. Provavelmente, essa alteração foi determinada pelo uso do Flutter® e a realização da manobra de AFE, pois as duas estão relacionadas a fluxos expiratórios altos, os quais ocorrem nos primeiros segundos produzindo altas taxas de cisalhamento (van der SCHANS et al., 1999), que são responsáveis pela redução na viscosidade do muco.

Uma melhora do perfil reológico de muco coletado após intervenção fisioterapêutica também foi observada no estudo de App et al. (1998). Os autores realizaram um estudo em 14 pacientes com fibrose cística, tratando-os com drenagem autógena e Flutter separadamente, 2 vezes por dia, durante 4 semanas consecutivas. A terapia com Flutter® resultou em uma redução significativa da viscoelasticidade do muco, tanto em alta quanto em baixa freqüência de análise, quando comparada com o tratamento apenas com drenagem autógena.

Ao contrário, Ramos et al. (2003) observaram que em seu estudo pacientes bronquiectásicos tratados com Drenagem Postural ou Tapotagem ou Técnica de

Expiração Forçada (TEF), expectoraram muco com pior perfil reológico, em comparação com aquele expectorado apenas pela tosse ativa.

Outro aspecto relevante observado em nossos resultados foi o volume de muco expectorado pré-tratamento e em cada um dos dias de FR, sendo que este volume foi significativamente menor antes de qualquer intervenção, quando comparado ao dos outros dias. Este resultado concorda com os apresentados por Bellone et al. (2000), Giles et al. (1995) e Ramos et al. (2003), que observaram aumento na quantidade de muco expectorado após um procedimento fisioterapêutico.

Essa maior quantidade de muco expectorado após o tratamento sugere uma melhora nas condições de transportabilidade do muco, possivelmente por alterações reológicas causadas pelas manobras aplicadas, como sugerido por App et al. (1998).

Além dos parâmetros reológicos e do volume expectorado de muco, outro fator importante apontado por diversos autores é o aspecto macroscópico apresentado pelo muco expectorado ou aspirado. Neste estudo analisamos este aspecto por meio do Índice de Purulência (IP) proposto por Deneuille et al. (1997). Segundo tal análise, o muco coletado após 3 dias de intervenção foi significativamente menor se comparado aos demais. Apesar da redução do IP ter sido significativa apenas no 3º dia, enquanto o padrão reológico do muco melhorou no 2º e 3º dias (em que os valores de viscoelasticidade diminuíram), os resultados demonstram uma tendência da queda no IP ter sofrido influência da melhora reológica do muco no decorrer das sessões.

Ao contrário do que esperávamos, não foi observada dependência dos parâmetros reológicos e do IP do muco coletado antes de qualquer intervenção fisioterapêutica com o tempo de fumo, quantidade de cigarros consumidos por dia,

idade e valores espirométricos de VEF₁ e PFE. No entanto, houve correlação significativa entre IP e parâmetros reológicos observados no 1º e 2º dias, sendo a correlação mais elevada a obtida entre IP e G'', a 20 Hz, no 1º dia ($r = 0,91$). Estes resultados sugerem que muco purulento apresenta pior perfil reológico, como proposto por Lopez-Vidriero & Reid (1978). Os autores concluíram em seu estudo que quanto mais purulento o muco se apresentava, mais elevados valores de viscosidade aparente ele tinha. Similarmente, Deneuille et al. (1997) também encontraram uma correlação positiva, porém fraca, do IP com a viscosidade ($r = 0,53$) e G' ($r = 0,52$). Em seu estudo, as medidas reológicas não foram obtidas com teste dinâmico, mas sim com um teste chamado "creep", em que é obtida uma medida única de viscosidade e elasticidade a uma tensão constante, sem relação com a frequência.

Das medidas de SpO₂, FC, PAS, PAD e PF, realizadas no início e no final de cada sessão de tratamento, houve diferença significativa apenas no PF do 2º dia, em que a medida final foi maior que a inicial. Como esse comportamento do PF não se repetiu nos outros dias, torna-se difícil fazer inferências sobre a causa ou possível relação da redução do PF com os valores de volume e propriedades reológicas do muco expectorado.

A SpO₂ e a FC também foram mensuradas no decorrer de cada etapa do protocolo proposto e uma das ferramentas utilizadas na literatura para avaliar a intervenção fisioterapêutica sobre o sistema cardiorrespiratório tem sido justamente a resposta de SpO₂ frente aos estímulos provocados pelos procedimentos impostos (BELLONE et al. 2000; DALLIMORE et al., 1998; GILES et al., 1995; POELAERT et al., 1991; PRYOR et al., 1999).

Durante as sessões de FR, nos três dias de tratamento, a SpO₂ não apresentou alteração significativa com a manobra de tapotagem associada à drenagem postural, mas aumentou significativamente com o uso do Flutter[®], mantendo-se elevada com a manobra de AFE. A FC permaneceu inalterada no decorrer do procedimento em todos os dias.

Na literatura os resultados encontrados sobre a resposta da SpO₂ frente a intervenções fisioterapêuticas são controversos. Poelaert et al. (1991), avaliando os efeitos da drenagem postural e da vibração ou percussão sobre a SpO₂ em pacientes sob ventilação mecânica, encontraram uma diminuição da medida realizada imediatamente depois e 2 horas após a FR. Mas, é preciso considerar que a condição em que estavam aqueles pacientes era muito mais grave e delicada que a dos nossos pacientes. Além disso, apesar de Poelaert et al. (1991) terem observado diminuição estatisticamente significativa da SpO₂, elas foram clinicamente discretas.

Também diferente dos nossos resultados, Giles et al. (1995) observaram uma queda significativa da SpO₂ em pacientes com fibrose cística tratados com drenagem associada a tapotagem, o que não ocorreu com aqueles tratados com drenagem autógena. No entanto, os autores não esclarecem se os pacientes foram instruídos a manter um padrão respiratório diafragmático durante a tapotagem associada à drenagem, o que pode ter causado esta dessaturação.

Nossos resultados estão de acordo com os apresentados por Dallimore et al. (1998), em que a SpO₂ aumentou significativamente após percussão associada a exercícios de expansão torácica, bem como quando estes últimos foram realizados sozinhos. Durante a percussão isolada, estes autores não encontraram alteração significativa.

No estudo de Bellone et al. (2000), os autores compararam a eficiência de 3 métodos (*ELTGOL*, Flutter e drenagem postural) e não observaram diferença significativa na SpO₂ durante nenhum procedimento.

A melhora da oxigenação, evidenciada pelo aumento significativo da SpO₂ observada em nossos pacientes, se deve provavelmente ao fato das manobras de AFE potencializarem os efeitos causados pela utilização do Flutter[®], promovendo uma melhora momentânea na ventilação pulmonar nesses pacientes.

Em pacientes com doenças da via aérea, a hipersecreção e a expectoração de muco são sintomas comuns. Os efeitos dessas características sobre o sistema respiratório são controversos, mas alguns estudos assumem que a estase do muco na via aérea pode contribuir para a sua obstrução ou predispor o desenvolvimento de infecções pulmonares ou, ainda, formar certa barreira contra substâncias inaladas, como, por exemplo, medicamentos (van der SCHANS et al., 1999).

Apesar de recursos de FR serem muito utilizados no tratamento de pacientes hipersecretivos, sua atuação sobre as propriedades reológicas do muco ainda é pouco estudada. A reologia do muco é explorada principalmente para verificar a eficácia de medicamento mucolítico (BANERJEE et al., 2001; LIEBERMAN, 1968b), a interação entre reologia e transportabilidade sem qualquer intervenção (KING et al., 1997) ou, mais recentemente, a relação da reologia com a concentração de água no muco ou osmolalidade (SHIBUYA et al., 2003).

Sendo assim, as perspectivas apresentadas neste estudo instigam a busca por maior conhecimento na área de reologia do muco, bem como a relação entre aplicação e eficiência clínica das intervenções fisioterapêuticas respiratórias sobre pacientes hipersecretivos.

5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O estudo apresentou algumas limitações que podem ter interferido em alguns resultados.

- Houve dificuldade na determinação da metodologia ideal para realizar as medidas reológicas, pois não há uma padronização nem em relação ao equipamento mais adequado para essas medidas e nem quanto ao tipo de teste que melhor descreva seu comportamento reológico.
- O equipamento que seria primeiramente utilizado sofreu uma avaria, o que atrasou as medidas em mais de 6 meses, período este em que várias amostras já coletadas tiveram que ser descartadas por terem excedido o tempo de armazenamento máximo preconizado na literatura.
- O período em que as amostras foram coletadas estava muito seco (baixa umidade relativa do ar), sendo necessária a realização de inalação prévia para viabilizar a expectoração. Apesar de este procedimento ser passível de causar mudanças nas propriedades reológicas do muco, esse foi um erro padronizado, uma vez que todos os pacientes realizaram exatamente o mesmo procedimento.
- Não existe padronização na quantidade de óleo e éter a ser colocada, nem no tempo de espera necessário para realizar as medidas após a colocação do último.
- O número de pacientes que efetivamente terminaram o estudo caiu significativamente em relação aos que o iniciaram. As intercorrências que acontecem durante o curto espaço de tempo disponível para o mestrado é uma das dificuldades apresentadas no desenvolvimento de estudos experimentais envolvendo intervenções fisioterapêuticas em seres humanos.

6. CONCLUSÕES

- O tipo de ferramenta e de parâmetros de ensaio determinados para as medidas reológicas do muco correspondem aos necessários para investigar seu padrão de comportamento, uma vez que a resposta reológica do muco frente a uma variação de frequência foi compatível com a esperada de um material viscoelástico não-Newtoniano, como preconizado na literatura.
- A diminuição dos valores dos parâmetros reológicos a partir do 2º dia de tratamento, sugere que a intervenção fisioterapêutica com o protocolo proposto foi capaz de alterar o muco melhorando seu perfil reológico.
- Não foi observada dependência dos parâmetros reológicos e do IP do muco coletado pré-tratamento com tempo de fumo, quantidade de cigarros consumidos por dia, idade e parâmetros de fluxo aéreo (VEF₁ e PFE), que nos permitisse inferir sobre as possíveis alterações causadas nas glândulas pelo fumo, idade ou patologia que interferisse na “qualidade” do muco em relação às suas características reológicas e à sua purulência.
- O IP apresentou correlação positiva com alguns parâmetros, indicando que, quanto mais purulento for o muco, pior seu perfil reológico.
- A secreção expectorada tornou-se menos purulenta no decorrer das sessões. Isto indica possível correlação com dados reológicos que também diminuíram seus valores no decorrer das sessões, reforçando os efeitos benéficos da Fisioterapia Respiratória.
- A intervenção fisioterapêutica provocou uma maior expectoração de muco, sendo significativa a diferença entre o volume coletado pré-tratamento, em relação aos

outros dias, levando-nos a concluir que as técnicas de FR empregadas foram eficientes.

- Não houve alteração significativa na SpO₂, FC, PAS e PAD após cada dia de tratamento, indicando que o protocolo de higiene brônquica estipulado não causou alterações agudas nestas variáveis fisiológicas que pudessem prejudicar os pacientes. Além disso, as mensurações destes parâmetros são importantes para a monitoração dos pacientes a fim de assegurar controle sobre possíveis alterações decorrentes das manobras aplicadas.
- A medida final de PF aumentou significativamente no 2º dia, no entanto, este resultado nos pareceu um tanto isolado, não sendo pertinente fazer uma inferência sobre o fato deste fenômeno ter sido provocado por uma melhora na *clearance* da via aérea.
- Durante todo o procedimento de higiene brônquica a SpO₂ apresentou um comportamento constante nos três dias de tratamento, com aumento significativo durante a utilização do Flutter® e realização de AFE. Provavelmente, a associação das duas condutas proporcionam aumento momentâneo da ventilação pulmonar, causando melhora da SpO₂. A FC não se alterou de uma conduta para outra.

7. ENCAMINHAMENTOS FUTUROS

Registramos sugestões para futuros empreendimentos que busquem novas respostas e, provavelmente, novos questionamentos sobre a reologia do muco brônquico.

- Necessidade de um estudo para padronizar a quantidade de óleo necessária para conservar o muco em resfriamento, bem como a quantidade de éter e o tempo de espera necessário para que o mesmo se exale, sem que nenhuma das substâncias (óleo e éter) interfira nas medidas.
- Estudos utilizando vários tipos de geometrias tanto com a ferramenta placa quanto com a cone-placa, com a finalidade de definir qual delas é a mais indicada para mensurações reológicas deste tipo de material biológico no reômetro rotacional.
- Trabalhos que englobem ampla faixa etária, de bebês a idosos, para verificar a correlação das propriedades mecânicas do muco com o grau de “cronicidade” da patologia.
- Estudos com grupos de pacientes submetidos a diferentes protocolos de higiene brônquica ou separar técnicas manuais de recursos por aparelhos com a finalidade de comparar eficácia de associações de tratamentos.
- Avaliar as propriedades reológicas do muco brônquico de pacientes sob ventilação mecânica com o objetivo de controlar a umidificação dos respiradores.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-ALAIYAN, S.; DYER, D.; KHAN, B. Chest physiotherapy and post-extubation atelectasis in infants. **Pediatric Pulmonol.**, v. 21, n. 4, p. 227-230, 1996.

APP, E.M., KIESELMANN, R.; REINHARDT, D.; LINDEMANN, H.; DASGUPTA, B.; KING, M.; BRAND, P. Sputum rheology changes in cystic fibrosis lung disease following two different types of physiotherapy: flutter vs autogenic drainage. **Chest**, v. 114, p. 171-177, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: **informação e documentação: referências: elaboração**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: **informação e documentação: citações em documentos: apresentação**. Rio de Janeiro, 2002.

AUBUCHON, S. R.; RUBIN, B. K. Application of viscoelastic transformations to rheological analysis of human biological fluids. Disponível em: **<<http://www.tainst.com.html>>**. Acesso em: 29 jun. 2003, 13h59min.

BANERJEE, R.; BELLARE, J. R.; PUNIYANI, R. R. Effect of phospholipid mixtures and surfactant formulations on rheology of polymeric gels, simulating mucus, at shear rates experience in the tracheobronchial tree. **Biochemical Engineering Journal**, v. 7, p. 195-200, 2001.

BELLONE, A.; LASCIOLI, R. RASCHI, S.; GUZZI, L.; ADONE, R. Chest physical therapy in patients with acute exacerbation of chronic bronchitis: effectiveness of three methods. **Arch. Phys. Med. Rehabil.**, v. 81, p. 558-560, 2000.

BLAZEY, S.; JENKIS, S.; SMITH, R. Rate and force of application of manual chest percussion by physiotherapists. **Aust. Physiother.**, v. 44, n.4, p. 257-264, 1998.

BLASI, A.; OLIVIERI, D. **Hipersecreção brônquica: fisiopatologia, clínica e terapia**. São Paulo - SP. Organização Andrei Editora Ltda, 1982, 303 páginas.

BOEK, W. M.; GRAAMANS, K.; NATZIJL, H.; van RIJK, P.; HUIZING, E. H. Nasal mucociliary transport: new evidence for a key role of ciliary beat frequency. **Laryngoscope**, v. 112, p.570-573, 2002.

BRETAS, R. E. S.; D'ÁVILA, M. A. **Reologia de polímeros fundidos**. 1ª ed. São Carlos: EDUFSCar, 2000.

CHEN, T. M.; DULFANO, M. J. Mucus viscoelasticity and mucociliary transport rate, 1983. *Apud*: PUCHELLE, E.; ZAHM, J. M.; QUEMADA, D. Rheological properties controlling mucociliary frequency and respiratory mucus transport. **Biorheology**, v. 24, p. 557-563, 1987.

COLLYER, A. A. **Techniques in rheological measurements**. 1ª ed. London: Chapman & Hall, 1993.

DALLIMORE, K.; JENKINS, S. TUCKER, B. Respiratory and cardiovascular responses to manual chest percussion in normal subjects. **Aust. Physiother.**, v. 44, n. 4, p. 274-277, 1998.

DENEUVILLE, E.; PERROT-MINOT, C.; PENNAFORTE, F.; ROUSSEY, M.; ZAHM, J. M.; CLAVEL, C.; PECHELLE, E.; de BENTZMANN, S. Revisited physicochemical and transport properties of respiratory mucus in genotyped cystic fibrosis patients. **Am. J. Resp. Crit. Care Med.**, v. 156, p. 166-172, 1997.

DULFANO, M. J. & ADLER, K. B. Physical properties of sputum. VII. Rheologic Properties and mucociliary transport. **Am. Rev. Respir. Dis.**, v. 112, p. 341-347, 1975.

DULLOCK, H. L. Chest physiotherapy in neonates: a review. **AACN Clin. Issues Crit. Care Nurs.**, v. 2, n. 3, p. 446-452, 1991.

FOSTER, W. M. Mucociliary transport and cough in humans. **Pulmonary Pharmacology & Therapeutics**, v. 15, p. 277-282, 2002.

GALLON, A. The use of percussion. **Physiotherapy**, v. 78, n. 2, p. 85-89, 1992.

GASTALDI, A. C. **Estudo comparativo entre as secreções brônquicas obtidas com material expectorado, de orofaringe, traquéia, brônquio principal e brônquio lobar, analisando sua transportabilidade no palato de rã e na máquina de tosse**. 1994. 64p. Dissertação (Mestrado em Reabilitação). Escola Paulista de Medicina, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo.

GASTALDI, A. C.; JARDIM, J. R.; KING, M. The influence of temperature and length of time of storage of frog mucus samples. **Biorheology**, v. 37, p. 203-211, 2000.

GILES, D. R.; WAGENER, J. S.; ACCURSO, F. J.; BUTLER-SIMON, N. Short-term effects of postural drainage with clapping vs autogenic drainage on oxygen saturation and sputum recovery in patients with cystic fibrosis. **Chest**, v. 108, p. 952-954, 1995.

GIORDANO, A. M.; HOSCLAW, D.; LITT, M. Mucus rheology and mucociliary clearance: normal physiologic state. **Am. Rev. Respir. Dis.**, v. 118, p. 245-250, 1978.

HARDING, S. E. The intrinsic viscosity of biological macromolecules. Progress in measurement, interpretation and application to structure in dilute solution. **Prog. Biophys. Molec. Biol.**, v. 68, n. 2/3, p. 207-262, 1997.

HARDY, A. K. A review of airway clearance: new techniques, indications and recommendations. **Respiratory Care**, v. 39, n. 5, p. 440-452, 1994.

HENEINE, I. F. **Biofísica básica**. 2^a ed. São Paulo: Atheneu, 1996.

HOUTMEYERS, E.; GOSSELINK, R.; GAYAN-RAMIREZ, G. DECRAMER, M. Regulation of mucociliary clearance in health and disease. **Eur. Resp. J.**, v. 13, p. 1177-1188, 1999.

JEANNERET-GROSJEAN, A.; KING, M.; MICHOU, M. C.; LIOTE, H. AMYOT, R. Sampling technique and rheology of human tracheobronchial mucus. **Am. Rev. Respir. Dis.**, 1988, v. 137, p. 707-710, 1988.

KALINER, M.; SHELHAMER, J. H.; BORSON, B.; NADEL, J.; PATOW, C.; MAROM, Z. Human respiratory mucus. **Am. Rev. Respir. Dis.**, v. 134, p. 612-621, 1986.

KIM, C. S.; BERKLEY, B. B.; ABRAHAM, W. M., WANNER, A. A micro double capillary method for rheologic measurements of lower airway secretions. **Bull. Europ. Physiopath. Resp.**, v. 18, p. 915-927, 1982.

KING, M.; BROCK, G.; LUNDELL, C. Clearance of mucus by cough. **J. Appl. Physiol.**, v. 58, n. 6, p. 1776-1782, 1985.

KING, M.; RUBIN, B. Rheology of airway mucus, 1994. Airway secretion: physiological bases for the control of mucus hypersecretion, 1994 . *Apud*: AUBUCHON, S. R.; RUBIN, B. K. Application of viscoelastic transformations to rheological analysis of human biological fluids. Disponível em: <<http://www.tainst.com.html>>. Acesso em: 29 jun. 2003, 13h59min.

KING, M.; DASGUPTA, B.; TOMKIEWICZ, R. P.; BROWN, N. E. Rheology of cystic fibrosis sputum after in vitro treatment with hypertonic saline alone and in combination with recombinant human deoxyribonuclease I. **Am. J. Respir. Crit. Care Med.**, v. 156, p. 173-177, 1997.

LANGENDERFER, B. Alternatives to percussion and postural drainage. A review of mucus clearance therapies: percussion and postural drainage, autogenic drainage, positive expiratory pressure, flutter valve, intrapulmonary percussive ventilation, and high-frequency chest compression with the thAIRapy Vest. **Journal Cardiopulm. Rehabil.**, v. 18, n. 4, p. 283-289, 1998.

LIEBERMAN, J. Measurement of sputum viscosity in a cone-plate viscometer. I. Characteristics of sputum viscosity. **Am. Rev. Respir. Dis.**, v. 97, p. 654-661, 1968a.

LIEBERMAN, J. Measurement of sputum viscosity in a cone-plate viscometer. II. An evaluation of mucolytic agents in vitro. **Am. Rev. Respir. Dis.**, v. 97, p. 662-672, 1968b.

LITT, M.; KHAN, M. A.; WOLF, D. P. Mucus rheology: relation to structure and function. **Biorheology**, v. 13, p. 37-48, 1976.

LOPEZ-VIDRIERO, M.T.; REID, L. Chemical markers of mucus and serum glycoproteins and their relation to viscosity in mucoid and purulent sputum from various hypersecretory diseases. **Am. Rev. Resp. Dis.**, v. 117, p. 465-477, 1978.

LOPEZ-VIDRIERO, M.T. Airway mucus : production and composition. **Chest**, v. 80, n.6, p. 465-477, 1980.

LOPEZ-VIDRIERO, M. T. Biochemical basis of physical properties of respiratory tract secretions. **Eur. J. Respir. Dis.**, v. 71, suppl. n. 153, p. 130-135, 1987.

MAESTRELLI, P.; SAETTA, M.; MAPP, C. E.; FABBRI, L. M. Remodeling in response to infection and injury — Airway inflammation and hypersecretion of mucus in smoking subjects with chronic obstructive pulmonary disease. **Am. J. Respir. Crit. Care Med.**, v. 164, p. S76-S80, 2001.

MACCHIONE, M.; KING, M.; LORENZI-FILHO, G.; GUIMARÃES, E. T.; ZIN, W. A.; BÖHM, G. M.; SALDIVA, P. H. N. Rheological determinants of mucociliar transport in the nose of the rat. **Respiration Physiology**, v. 99, p. 165-172, 1995a.

MACCHIONE, M.; GUIMARÃES, E. T.; SALDIVA, P. H. N.; LORENZI-FILHO, G. Methods for studying respiratory mucus and mucus clearance. **Braz. J. Med. Biol. Res.**, v. 28, n. 11-12, p. 1347-1355, 1995b.

MAJIMA, Y.; HARADA, T.; SHIMIZU, T.; TAKEUCHI, K.; SAKAKURA, Y.; YASUOKA, S.; YOSHINAGA, S. Effect of biochemical components on rheologic properties of nasal mucus in chronic sinusitis. **Respir. Crit. Care Med.**, v. 160, n. 2, p. 421-426, 1999.

MARRIOTT, C. The viscoelastic nature of mucus secretion. **Chest**, v. 80, n. 6 (suppl), p. 804-808, 1981.

MAY, D. B.; MUNT, P. W. Physiologic effects of chest percussion and postural drainage in patients with stable chronic bronchitis. **Chest**, v. 75, n. 1, p. 29-32, 1979.

McILWAINE, P. M.; WONG, L. T.; PEACOCK, D.; DAVIDSON, A. G. Long term comparative trial of conventional postural drainage and percussion versus positive expiratory pressure physiotherapy in the treatment of cystic fibrosis. **J. Pediatrics**, v. 131, n. 4, p. 570-574, 1997.

MORTENSEN, J.; FALK, M.; GROTH, S.; JENSEN, C. The effects of postural drainage e positive expiratory pressure on tracheobronquial clearance in cystic fibrosis. **Chest**, v. 100, p. 1350-1357, 1991.

NOSSAL, R. Mechanical properties of biological gels. **Physica A**, 231: 265-276, 1996.

OBERWALDNER, B. Physiotherapy for airway clearance in paediatrics. **Eur. Resp. J.**, v. 15, n. 1, p. 196-204, 2000.

PHILIPPOFF, W.; HAN, C. D.; BARNETT, B.; DULFANO, M. J. A method for determining the viscoelastic properties of biological fluids. **Biorheology**, v. 7, p. 55-67, 1970.

PHILLIPS, C. E.; PIKE, S. E.; ROSENTHAL, M.; BUSH, A. Holding the baby: head downwards positioning for physiotherapy does not cause gastro-oesophageal reflux. **Eur. Resp. J.**, v. 12, n. 4, p. 954-957, 1998.

POELAERT, J.; LANNOY, B.; VOGELAERS, D.; EVERAERT, J.; DECRUYENAERE, J.; CAPIAU, P.; COLARDYN, F. Influence of chest physiotherapy on arterial oxygen saturation. **Acta Anaesth. Belg.**, v. 42, p. 165-170, 1991.

PRYOR, J. A.; WEBBER, B. A.; HODSON, M. E.; BATTEN, J. C. Evaluation of the forced expiration technique as an adjunct to postural drainage in treatment of cystic fibrosis. **British Medical Journal**, v. 2, p. 417-418, 1979.

PRYOR, J. A. et al. Physiotherapy for airway clearance in adults. **Eur. Respir. J.**, v. 14, n. 6, p. 1418-1424, 1999.

PUCHELLE, E.; ZAHM, J. M.; QUEMADA, D. Rheological properties controlling mucociliary frequency and respiratory mucus transport. **Biorheology**, v. 24, p. 557-563, 1987.

PUCHELLE, E.; BAJOLET, O.; ABÉLY, M. Airway mucus in cystic fibrosis. **Paediatric Respir. Rev.**, v. 3, p. 115-119, 2002.

RAMOS, E. M. C.; RAMOS, D.; JARDIM, J. R. B.; FARESIN, S. M.; SALDIVA, P. H. N.; MACHIONE, M.; TIGRE, E. Drenagem postural x tapotagem x técnica de expiração forçada: análise da transportabilidade do muco brônquico. **Rev. Bras. Fisiot.**, v. 7, n. 3, p. 223-228, 2003.

ROCHESTER, D. F.; GOLDBERG, S. K. Techniques of respiratory physical therapy. **Am. Rev. Respir. Dis.**, v. 122, p. 133-146, 1980.

ROSSMAN, C. M.; WALDES, R.; SAMPSON, D. Effect of chest physiotherapy on the removal of mucus in patients with cystic fibrosis. **Am. Rev. Respir. Dis.**, v.126, p. 131-135, 1982.

SALDIVA, P. H. N. Aparelho mucociliar: aspectos funcionais e métodos de estudo. **Jornal de Pneumologia**, v. 16, n. 3, p. 161-170, 1990.

SHIBUYA, Y.; WILLS, P. J.; COLE, P. J. Effect of osmolality on mucociliary transportability and rheology of cystic fibrosis and bronchiectasis sputum. **Respirology**, v. 8, p. 181-185, 2003.

SLEIGH, M. A.; BLAKE, J. R.; LIRON, N. The propulsion of mucus by cilia. **Am. Rev. Respir. Dis.**, v.137, p. 726-741, 1988.

SUTTON, P. P.; PARKER, R. A.; WEBBER, B. A.; NEWMAN, S. P.; GARLAND, N.; LOPEZ-VIDRIERO, M. T.; PAVIA, D.; CLARKE, S. W. Assessment of the forced expiration technique, postural drainage and directed coughing in chest physiotherapy. **Eur. J. Respir. Dis.**, v. 64, p. 62-68, 1983.

TATENUMA, Y.; YASUOKA, S.; OGURA, T.; MAJIMA, Y.; SAKURA, Y. Relationship between dynamic viscoelasticity and biochemical parameters in whole sputum from patients with hypersecretory respiratory diseases. **Tokushima J. Exp. Med.**, v. 38, p. 49-59, 1991.

WIDDICOMBE, J.C.; WELLS, U. M. Airways secretions, 1982. *Apud*: MAJIMA, Y.; HARADA, T.; SHIMIZU, T.; TAKEUCHI, K.; SAKAKURA, Y.; YASUOKA, S.; YOSHINAGA, S. Effect of biochemical components on rheologic properties of nasal mucus in chronic sinusitis. **Respir. Crit. Care Med.**, v. 160, n. 2, p. 421-426, 1999.

WILLEPUT, R. L` accélération du flux expiratoire. **Ann. Kinésithér.**, v. 20, n. 5, p. 277-280, 1993.

WILKINSON, W. L. **Non-Newtoniano fluids - Fluids mechanics, mixing and heat transfer**. 1 volume. 1^a ed. New York: Pergamon Press, 1960.

van der SCHANS, C. P.; POSTMA, D. S.; KÖETER, G. H.; RUBIN, B. K. Physiotherapy and bronchial mucus transport. **Eur. Respir. J.**, v. 13, p. 1477-1486, 1999.

van HENGSTUM, M.; FESTEN, J.; BEURSKENS, C.; HANKEL, M.; BEEKMAN, F.; CORSTENS, F. Conventional physiotherapy and forced expiration manouevres have similar effects on tracheobronchial clearance. **Eur. Respir. J.**, v. 1, p. 758-761, 1988.

ABSTRACT

Patient with hypersecretive pulmonary disease are very beneficiary for the Chest Physiotherapy (CPT) techniques. However, the effect of these in the bronchial mucus is not completely elucidated. Thus, the aim of the present study was analyze bronchial mucus samples of patients with bronchial hypersecretion subjected to CPT, and it was evaluated its rheological properties, expectorated mucus volume, Purulence Index (PI) of the mucus and the respiratory and cardiovascular responses. The experimental procedure consisted of 3 CPT sessions: 7 minutes of inhalation with physiologic serum and therapy of bronchial hygiene through Postural Drainage, Chest Percussion, Forced Exhalation Technique (FET) and Flutter[®] device, concluding with more 7 minutes of inhalation. It was collected mucus sample from 9 patients before the treatment and after each CPT session. The collected mucus was stored in ependorfs and conserved at -20° C. The rheological properties of mucus was evaluated using a Dynamic Stress Rheometer AR 1000N, equipped with a parallel plate. A constant strain of 0,01 Pa was applied, in a frequency range of 1 to 20 Hz. The measurements were done at 37° C. It was obtained G' (storage modulus), G'' (loss modulus), η' (dynamic viscosity), η^* (complex viscosity) and $\tan \delta$ (loss factor) values. Values observed in the 1, 2, 10, 16 and 20 Hz frequencies were used in the statistical analysis. Variance of rheological parameters during the course of treatment were tested with Friedman and Wilcoxon test. Correlation between different parameters were tested with Spearman test. Comparing with values before treatment, rheological parameters G' and η^* decreased significantly on 2nd and 3rd days of treatment in all frequencies. Only parameter $\tan \delta$ has not modified significantly in the course of the treatment days, in none of frequencies. The mucus volume collected before treatment was significantly smaller if compared to the other ones. About the PI, it is decreased significantly in the 3rd day regarding to the others. PI showed a dependence relationship with rheological parameters of the mucus collected on 1st and 2nd days, and the highest at 20 Hz, with G'' ($r = 0,91$). During the CPT sessions, oxygen saturation increased significantly with Flutter[®] device and it remained elevated in the FET manoeuvre, while heart rate stayed similar in the procedure course. There was not significant changes in the respiratory and cardiovascular responses after intervention, only in Peak Flow of the 2nd day, that the final measure ($245 \pm 95,02$) was larger than the initial ($230 \pm 94,21$). Those findings suggest that there was improvement on mucus rheological profile collected after physiotherapy, on 2nd and 3rd days of treatment. PI decreased significantly on 3rd day of intervention. Moreover, there was a larger expectorated mucus volume than before treatment.

Keywords: mucus, hypersecretion, Chest Physiotherapy, viscoelasticity, rheology.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, portador do RG n.º _____, residente: Rua _____ n.º _____ Bairro _____, Cidade de _____ Estado _____, voluntariamente concordo em participar do projeto de pesquisa proposto pela Fisioterapeuta e pesquisadora Ana Lúcia Pio Martins, que será realizado na Unidade Especial de Fisioterapia Respiratória do Departamento de Fisioterapia da UFSCar.

A pesquisa tem como finalidade avaliar as propriedades reológicas do muco brônquico em pacientes com hipersecreção brônquica submetidos à Fisioterapia Respiratória, cujo tratamento proposto são manobras de higiene brônquica a saber: posições de Drenagem, Tapotagem, Aceleração do Fluxo Expiratório (AFE) e Flutter.

Antes do início do tratamento, serei submetido a uma avaliação constando de anamnese, exame físico e postural, cirtometria, espirometria e verificação da Frequência Cardíaca (FC), Saturação periférica de Oxigênio (SpO₂), Frequência Respiratória (f), Pressão Arterial (PA), Pico de Fluxo (PF) e Ausculta Pulmonar (AP); com o objetivo de detectar possíveis alterações neurológicas, cardiovasculares, musculares ou articulares que contra-indiquem minha participação na pesquisa.

Serei submetido a manobras de higiene brônquica que visam ao desprendimento e condução do muco brônquico para vias aéreas superiores, facilitando a expectoração; caso seja necessário, serei submetido à aspiração nasotraqueal. Serei monitorizado durante toda a sessão através de um Oxímetro de Pulso, que fornecerá minha SpO₂ e FC constantemente.

Antes de iniciar o tratamento, serei instruído sobre os sinais e sintomas que devo relatar para interromper a seqüência de manobras; ainda serei observado por um profissional capacitado que estará alerta a qualquer alteração que possa sugerir a interrupção do esforço exigido.

As sessões de fisioterapia não implicarão nenhum desconforto para mim, exceto os que normalmente ocorrem durante a execução das manobras de higiene brônquica, como o aumento da tosse e expectoração. Os benefícios que terei com tais procedimentos incluem a melhora na *clearance* mucociliar e, conseqüentemente, na ventilação e na troca gasosa.

As informações obtidas durante as avaliações serão mantidas em sigilo e não poderão ser consultadas por pessoas leigas sem minha expressa autorização por escrito. As informações assim obtidas, no entanto, poderão ser usadas para fins estatísticos ou científicos, sempre resguardando minha privacidade.

Eu li e entendi as informações precedentes. Além disso, todas as dúvidas que me ocorreram já foram sanadas completamente. Porém, em qualquer etapa da pesquisa eu terei acesso aos responsáveis para eventuais esclarecimentos.

Não haverá despesas pessoais para minha participação no estudo, incluindo exames e consultas. Também não haverá compensação financeira relacionada à minha participação. As despesas para o projeto que por ventura ocorram serão supridas pela instituição.

Comprometo-me, por meio deste, seguir com o programa até sua finalização, visando à melhora de minha ventilação pulmonar através da higiene brônquica, além de me empenhar para a continuidade do estudo proposto, salvo algum problema que possa surgir que me impossibilite de participar, ficando garantida minha liberdade para retirar meu consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo, sem qualquer prejuízo da continuidade de meu tratamento na instituição.

São Carlos, ____ de _____ de 2003

Assinatura do paciente/Responsável

Responsáveis:

Prof. Dr Dirceu Costa
Orientador

Ft. Ana Lúcia Pio Martins
Orientanda

APÊNDICE B: Ficha de Avaliação**FICHA DE AVALIAÇÃO**

DATA: ___ / ___ / ___

I. DADOS PESSOAIS

Nome:.....
 Idade:.....Altura:.....Peso:.....Sexo:.....
 Diagnóstico:.....Médico:.....
 Endereço:.....Telefone:.....

II. ANAMNESEQP:.....
.....HMP:.....
.....HMA:.....
.....Exames complementares:.....
.....
.....**Medicamentos atuais**

Nome:.....Dose:.....Horário:.....
 Nome:.....Dose:.....Horário:.....
 Nome:.....Dose:.....Horário:.....
 Nome:.....Dose:.....Horário:.....

Patologias associadas

() adenóide () desvio de septo () diabete
 () otites () ronco () cardiopatia
 () sinusite () coronariopatias () rinite
 () neuropatia () disfunções ortopédicas () outras
 () alergias (a que):.....

Antecedentes Familiar:

() bronquite () asma () rinite
 () adenóide () sinusite () otite.

Tratamentos anteriores: () não () sim. Qual?.....

Uso de broncodilatador: () não () sim Freqüência:.....
 Tipo:.....

APÊNDICE C: Ficha de Acompanhamento

ACOMPANHAMENTO (Pcte:.....)

Data:..... Cód. Ependorf:.....

Evolução:.....

Medidas iniciais e finais

SpO ₂ :	SpO ₂ :
FC:	FC:
PA:	PA:
PF:	PF:
AP:	AP:

Monitorização:

	DP+TAP	FL/SH	AFE
SpO ₂			
FC			

ÍNDICE DE PURULÊNCIA	
1	sec. fluidas e mucosas
2	sec. opacas e fluidas
3	sec. brancas e moderadamente espessa
4	sec. pobremente coloridas e espessa
5	sec. muito coloridas (verde/amarela) e espessa

Quantidade	
------------	--

Data:..... Cód. Ependorf:.....

Evolução:.....

Medidas iniciais e finais

SpO ₂ :	SpO ₂ :
FC:	FC:
PA:	PA:
PF:	PF:
AP:	AP:

Monitorização:

	DP+TAP	FL/SH	AFE
SpO ₂			
FC			

ÍNDICE DE PURULÊNCIA	
1	sec. fluidas e mucosas
2	sec. opacas e fluidas
3	sec. brancas e moderadamente espessa
4	sec. pobremente coloridas e espessa
5	sec. muito coloridas (verde/amarela) e espessa

Quantidade	
------------	--

Data:..... Cód. Ependorf:.....

Evolução:.....

Medidas iniciais e finais

SpO ₂ :	SpO ₂ :
FC:	FC:
PA:	PA:
PF:	PF:
AP:	AP:

Monitorização:

	DP+TAP	FL/SH	AFE
SpO ₂			
FC			

ÍNDICE DE PURULÊNCIA	
1	sec. fluidas e mucosas
2	sec. opacas e fluidas
3	sec. brancas e moderadamente espessa
4	sec. pobremente coloridas e espessa
5	sec. muito coloridas (verde/amarela) e espessa

Quantidade	
------------	--

APÊNDICE D: Tabelas e Gráficos Gerais

Tabela A1: Dados demográficos, antropométricos e correspondentes ao consumo de tabaco (se ex-fumante, tempo e quantidade de cigarros consumidos por dia) dos 9 pacientes que participaram do estudo.

PACIENTE	SEXO	IDADE (anos)	PESO (Kg)	ALTURA (cm)	EX. FUM. (S/N)	TEMPO (anos)	QUANT. (cig/dia)
1	F	73	73,8	152	S	40	3
2	F	70	73	155	S	50	2
3	F	67	44,7	157	N	0	0
4	M	55	78	167	S	15	20
5	M	73	53,3	171	S	64	20
6	F	73	63	153	S	60	6
7	F	73	59	147	S	63	20
8	M	67	76,5	156	S	50	20
9	M	74	82,5	164	S	59	20
MÉDIA		69,44	67,09	158		44,56	12,33
DP		6,04	12,74	7,76		22,65	9,21
MEDIANA		73	73	156		50	20

F= feminino; M= masculino

S/N= sim/não

Tabela A2: Valores individuais absolutos e em porcentagem do previsto (entre parênteses) da CVL, CVF, VEF₁, VEF₁/CVF e PFE dos 9 pacientes, obtidos em espirometria realizada na avaliação.

PACIENTE	CVL (%)	CVF (%)	VEF ₁ (%)	VEF ₁ /CVF (%)	PFE (%)	
1	1,16 (61)	1,12 (58)	0,94 (59)	83 (102)	277 (91)	
2	1,64 (76)	1,6 (73)	1,04 (57)	65 (79)	224 (70)	
3	1,91 (85)	2,11 (93)	1,43 (76)	67 (82)	236 (72)	
4	1,69 (43)	1,71 (45)	0,71 (23)	41 (51)	100 (21)	
5	3,23 (86)	3,25 (90)	1,49 (54)	45 (59)	252 (56)	
6	1,17 (60)	1,17 (59)	0,55 (34)	46 (57)	159 (52)	
7	1,32 (79)	1,27 (74)	0,66 (48)	51 (64)	49 (17)	
8	2,25 (75)	2,04 (70)	1,39 (61)	68 (87)	326 (80)	
9	3,24 (99)	3,38 (106)	1,35 (56)	39 (52)	185 (44)	
MÉDIA		1,96 (73,8)	1,96 (74,2)	1,06 (52)	56,11 (70,3)	200,89 (55,9)
DP		0,81 (16,8)	0,85 (19,3)	0,37 (15,5)	15,15 (17,9)	87,38 (25,4)
MEDIANA		1,69 (76)	1,71 (73)	1,04 (56)	51 (64)	224 (56)

Tabela A3: Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas frequências de 1, 2 e 10 Hz obtidos do muco brônquico coletado pré-tratamento.

FREQ.	PACIENTE	G' (Pa)	G'' (Pa)	η' (Pa.s)	η^* (Pa.s)	$\tan \delta$
1Hz	1	20,62	7,23	1,15	3,48	0,35
	2	14,29	7,22	1,15	2,55	0,51
	3	5,10	1,82	0,29	0,86	0,36
	4	10,37	3,73	0,59	1,75	0,36
	5	33,68	11,29	1,80	5,65	0,34
	6	18,13	7,29	1,16	3,11	0,40
	7	6,09	2,33	0,37	1,04	0,38
	8	34,66	7,12	1,13	5,63	0,21
	9	10,08	3,31	0,53	1,69	0,33
	MÉDIA	17,00	5,70	0,91	2,86	0,36
	DP	10,98	3,09	0,49	1,80	0,08
	MEDIANA	14,29	7,12	1,13	2,55	0,36
2Hz	1	53,79	15,28	1,22	4,47	0,28
	2	31,87	14,1	1,13	2,78	0,44
	3	5,886	1,845	0,15	0,50	0,31
	4	16,82	5,521	0,44	1,4	0,33
	5	68,13	23,47	1,86	5,76	0,35
	6	42,45	14,64	1,17	3,59	0,35
	7	19,3	5,37	0,43	1,60	0,28
	8	34,38	6,62	0,53	2,80	0,19
	9	27,87	8,07	0,65	2,32	0,29
	MÉDIA	33,39	10,55	0,85	2,80	0,31
	DP	19,27	6,80	0,54	1,62	0,07
	MEDIANA	31,87	8,07	0,65	2,78	0,31
10Hz	1	125,60	34,71	0,56	2,09	0,28
	2	62,18	29,48	0,47	1,10	0,47
	3	9,69	3,232	0,05	0,16	0,33
	4	30,95	10,34	0,17	0,52	0,33
	5	167,50	62,09	0,99	2,86	0,37
	6	113,80	37,21	0,60	1,91	0,33
	7	32,77	9,322	0,15	0,55	0,29
	8	55,04	11,29	0,18	0,90	0,21
	9	51,49	16,28	0,26	0,87	0,32
	MÉDIA	72,11	23,77	0,38	1,22	0,33
	DP	52,02	18,79	0,30	0,88	0,07
	MEDIANA	55,04	16,28	0,26	0,90	0,33

Tabela A4: Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas frequências de 16 e 20 Hz obtidos do muco brônquico coletado pré-tratamento.

FREQ.	PACIENTE	G' (Pa)	G'' (Pa)	η' (Pa.s)	η^* (Pa.s)	$\tan \delta$
16Hz	1	149,10	41,92	0,42	1,55	0,28
	2	64,93	35,30	0,35	0,74	0,54
	3	8,912	8,712	0,09	0,13	0,98
	4	37,87	11,86	0,12	0,40	0,31
	5	207,10	76,59	0,77	2,21	0,37
	6	141,40	46,54	0,47	1,49	0,33
	7	37,98	10,00	0,10	0,39	0,26
	8	62,89	12,77	0,13	0,64	0,20
	9	57,76	19,87	0,20	0,61	0,34
	MÉDIA	85,33	29,29	0,29	0,91	0,41
	DP	65,24	22,89	0,23	0,69	0,24
	MEDIANA	62,89	19,87	0,20	0,64	0,33
20Hz	1	161,80	45,51	0,3643	1,35	0,28
	2	61,31	38,11	0,305	0,58	0,62
	3	7,95	0,07	0,06	0,06	0,01
	4	43,05	14,38	0,12	0,36	0,33
	5	229,40	84,82	0,68	1,96	0,37
	6	156,70	51,72	0,41	1,32	0,33
	7	41,03	12,94	0,10	0,34	0,32
	8	69,72	14,47	0,12	0,57	0,21
	9	60,88	21,99	0,18	0,52	0,36
	MÉDIA	92,43	31,56	0,26	0,79	0,31
	DP	72,80	26,22	0,20	0,62	0,16
	MEDIANA	61,31	21,99	0,18	0,57	0,33

Tabela A5: Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas frequências de 1, 2 e 10 Hz obtidos do muco brônquico coletado no 1^o dia de tratamento.

FREQ.	PACIENTE	G' (Pa)	G'' (Pa)	η' (Pa.s)	η^* (Pa.s)	$\tan \delta$
1Hz	1	3,35	1,26	0,20	0,57	0,38
	2	8,02	2,84	0,45	1,35	0,35
	3	29,19	28,65	4,56	6,51	0,98
	4	4,48	1,84	0,29	0,77	0,41
	5	25,29	8,84	1,41	4,26	0,35
	6	5,20	1,95	0,31	0,89	0,38
	7	11,67	4,14	0,66	1,97	0,35
	8	4,14	1,11	0,18	0,68	0,27
	9	12,67	3,47	0,55	2,09	0,27
	MÉDIA	11,56	6,01	0,96	2,12	0,42
	DP	9,53	8,81	1,40	2,01	0,22
	MEDIANA	8,02	2,84	0,45	1,35	0,35
2Hz	1	3,16	1,06	0,08	0,27	0,33
	2	14,14	4,56	0,37	1,19	0,32
	3	57,84	51,14	4,07	6,17	0,88
	4	9,73	3,42	0,27	0,82	0,35
	5	36,91	12,08	0,97	3,10	0,33
	6	8,17	2,52	0,20	0,68	0,31
	7	33,54	9,06	0,72	2,776	0,27
	8	4,12	1,15	0,09	0,34	0,28
	9	12,96	3,34	0,27	1,07	0,26
	MÉDIA	20,06	9,81	0,78	1,82	0,37
	DP	18,60	15,93	1,27	1,91	0,20
	MEDIANA	12,96	3,42	0,27	1,07	0,32
10Hz	1	4,16	2,40	0,04	0,08	0,58
	2	25,29	9,09	0,15	0,43	0,36
	3	109,20	100,10	1,60	2,37	0,92
	4	21,86	8,35	0,13	0,38	0,38
	5	75,35	29,04	0,47	1,29	0,39
	6	30,58	7,31	0,12	0,50	0,24
	7	69,45	18,14	0,29	1,15	0,26
	8	8,91	1,09	0,02	0,14	0,12
	9	17,42	4,77	0,08	0,29	0,27
	MÉDIA	40,25	20,03	0,32	0,74	0,39
	DP	35,88	31,26	0,50	0,74	0,23
	MEDIANA	25,29	8,35	0,13	0,43	0,36

Tabela A6: Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas frequências de 16 e 20 Hz obtidos do muco brônquico coletado no 1º dia de tratamento.

FREQ.	PACIENTE	G' (Pa)	G'' (Pa)	η' (Pa.s)	η^* (Pa.s)	$\tan \delta$
16Hz	1	7,96	1,25	0,01	0,08	0,16
	2	28,66	10,29	0,10	0,31	0,36
	3	136,10	110,3	1,11	1,76	0,81
	4	24,25	10,67	0,11	0,27	0,44
	5	77,83	34,79	0,35	0,86	0,45
	6	45,23	8,59	0,09	0,46	0,20
	7	81,16	21,44	0,22	0,84	0,26
	8	13,22	2,33	0,02	0,14	0,18
	9	22,05	5,31	0,05	0,23	0,24
	MÉDIA	48,50	22,77	0,23	0,55	0,34
	DP	42,10	34,46	0,35	0,53	0,21
	MEDIANA	28,66	10,29	0,10	0,31	0,26
20Hz	1	10,49	4,60	0,037	0,09	0,44
	2	27,56	10,82	0,07	0,24	0,39
	3	149,50	115,50	0,93	1,51	0,77
	4	25,94	10,82	0,09	0,23	0,42
	5	75,11	37,57	0,30	0,67	0,50
	6	55,29	11,21	0,09	0,45	0,20
	7	87,13	23,09	0,19	0,72	0,27
	8	18,01	1,91	0,02	0,15	0,11
	9	24,16	4,73	0,04	0,20	0,20
	MÉDIA	52,58	24,47	0,20	0,47	0,37
	DP	45,02	35,89	0,29	0,45	0,20
	MEDIANA	27,56	10,82	0,09	0,24	0,39

Tabela A7: Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas frequências de 1, 2 e 10 Hz obtidos do muco brônquico coletado no 2º dia de tratamento.

FREQ.	PACIENTE	G' (Pa)	G'' (Pa)	η' (Pa.s)	η^* (Pa.s)	$\tan \delta$
1Hz	1	8,69	3,17	0,50	1,47	0,36
	2	3,39	1,31	0,21	0,58	0,39
	3	1,89	0,76	0,12	0,32	0,40
	4	3,81	1,56	0,25	0,66	0,41
	5	10,65	3,66	0,58	1,80	0,34
	6	2,89	1,16	0,19	0,50	0,40
	7	11,37	4,50	0,72	1,95	0,40
	8	2,56	0,91	0,15	0,43	0,36
	9	5,80	1,68	0,27	0,96	0,29
	MÉDIA	5,67	2,08	0,33	0,96	0,37
	DP	3,66	1,35	0,21	0,62	0,04
	MEDIANA	3,81	1,56	0,25	0,66	0,39
2Hz	1	17,59	5,68	0,45	1,48	0,32
	2	6,41	2,18	0,17	0,54	0,34
	3	4,54	1,61	0,13	0,39	0,35
	4	7,10	2,70	0,22	0,61	0,38
	5	15,44	5,10	0,41	1,30	0,33
	6	11,17	3,26	0,26	0,93	0,29
	7	20,03	7,05	0,56	1,70	0,35
	8	3,18	1,07	0,09	0,27	0,34
	9	6,68	1,80	0,14	0,55	0,27
	MÉDIA	10,24	3,39	0,27	0,86	0,33
	DP	6,10	2,08	0,17	0,51	0,03
	MEDIANA	7,10	2,70	0,22	0,61	0,34
10Hz	1	42,15	12,48	0,20	0,70	0,30
	2	12,02	3,64	0,06	0,20	0,30
	3	13,07	4,98	0,08	0,22	0,38
	4	15,2	6,31	0,10	0,26	0,42
	5	20,26	7,66	0,12	0,35	0,38
	6	50,49	12,54	0,20	0,83	0,25
	7	34,62	13,40	0,22	0,59	0,39
	8	7,32	1,60	0,03	0,12	0,22
	9	9,83	2,83	0,05	0,16	0,29
	MÉDIA	22,77	7,27	0,12	0,38	0,32
	DP	15,67	4,53	0,07	0,26	0,07
	MEDIANA	15,20	6,31	0,10	0,26	0,30

Tabela A8: Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas frequências de 16 e 20 Hz obtidos do muco brônquico coletado no 2º dia de tratamento.

FREQ.	PACIENTE	G' (Pa)	G'' (Pa)	η' (Pa.s)	η^* (Pa.s)	$\tan \delta$
16Hz	1	53,37	14,84	0,15	0,56	0,28
	2	16,31	7,28	0,07	0,18	0,47
	3	11,43	8,36	0,08	0,14	0,73
	4	19,80	8,64	0,09	0,22	0,44
	5	17,63	9,79	0,10	0,20	0,56
	6	59,47	14,88	0,15	0,62	0,25
	7	37,33	15,70	0,16	0,41	0,42
	8	12,31	0,95	0,010	0,12	0,08
	9	13,08	5,73	0,06	0,14	0,44
	MÉDIA	26,75	9,57	0,10	0,29	0,40
	DP	18,58	4,88	0,05	0,19	0,18
	MEDIANA	17,63	8,64	0,09	0,20	0,44
20Hz	1	62,79	17,20	0,14	0,52	0,27
	2	20,34	0,66	0,01	0,16	0,03
	3	11,22	10,47	0,08	0,12	0,93
	4	21,98	7,62	0,06	0,19	0,35
	5	17,67	7,84	0,06	0,16	0,44
	6	63,28	16,77	0,13	0,52	0,27
	7	36,78	18,35	0,15	0,33	0,50
	8	15,87	0,15	0,001	0,13	0,01
	9	16,71	2,88	0,02	0,14	0,17
	MÉDIA	29,63	9,10	0,07	0,25	0,33
	DP	20,21	7,12	0,06	0,17	0,28
	MEDIANA	20,34	7,84	0,06	0,16	0,27

Tabela A9: Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas frequências de 1, 2 e 10 Hz obtidos do muco brônquico coletado no 3^o dia de tratamento.

FREQ.	PACIENTE	G' (Pa)	G'' (Pa)	η' (Pa.s)	η^* (Pa.s)	$\tan \delta$
1Hz	1	3,05	1,11	0,18	0,52	0,36
	2	6,39	3,84	0,61	1,19	0,60
	3	3,55	1,40	0,22	0,61	0,40
	4	2,71	1,39	0,22	0,48	0,51
	5	9,33	3,56	0,57	1,59	0,38
	6	4,22	1,58	0,25	0,72	0,36
	7	9,10	3,27	0,52	1,54	0,36
	8	5,80	1,82	0,29	0,97	0,31
	9	9,41	3,25	0,52	1,58	0,35
	MÉDIA	5,95	2,36	0,38	1,02	0,41
	DP	2,77	1,10	0,17	0,47	0,09
	MEDIANA	5,80	1,82	0,29	0,97	0,38
2Hz	1	4,73	1,61	0,13	0,40	0,34
	2	12,45	7,23	0,58	1,15	0,58
	3	4,66	1,46	0,12	0,39	0,31
	4	4,33	1,77	0,14	0,37	0,41
	5	15,03	5,73	0,46	1,29	0,38
	6	16,57	4,75	0,38	1,38	0,29
	7	16,67	5,42	0,43	1,40	0,33
	8	6,14	1,62	0,13	0,51	0,26
	9	10,77	3,35	0,27	0,90	0,31
	MÉDIA	10,15	3,66	0,29	0,87	0,36
	DP	5,28	2,19	0,18	0,45	0,10
	MEDIANA	10,77	3,35	0,27	0,90	0,33
10Hz	1	3,23	2,96	0,05	0,07	0,92
	2	25,33	34,55	0,55	0,69	1,36
	3	7,73	2,74	0,04	0,13	0,35
	4	14,50	3,97	0,06	0,24	0,27
	5	23,02	8,44	0,14	0,39	0,37
	6	47,81	13,65	0,22	0,80	0,29
	7	30,06	10,18	0,16	0,51	0,34
	8	9,82	2,37	0,04	0,16	0,24
	9	13,40	4,89	0,08	0,23	0,37
	MÉDIA	19,43	9,31	0,15	0,36	0,50
	DP	13,78	10,23	0,16	0,26	0,38
	MEDIANA	14,50	4,89	0,08	0,24	0,35

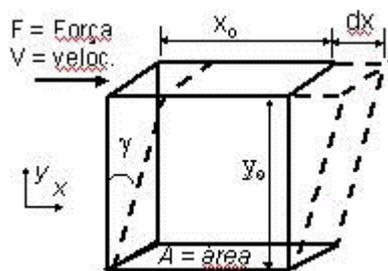
Tabela A10: Valores individuais, média, desvio padrão (DP) e mediana dos parâmetros reológicos (G' , G'' , η' , η^* e $\tan \delta$) nas frequências de 16 e 20 Hz obtidos do muco brônquico coletado no 3º dia de tratamento.

FREQ.	PACIENTE	G' (Pa)	G'' (Pa)	η' (Pa.s)	η^* (Pa.s)	$\tan \delta$
16Hz	1	0,85	0,05	0,05	0,01	0,06
	2	31,50	34,64	0,35	0,47	1,10
	3	12,79	1,73	0,02	0,13	0,14
	4	25,17	4,04	0,04	0,26	0,16
	5	25,64	11,17	0,11	0,28	0,44
	6	53,03	16,24	0,16	0,56	0,31
	7	34,70	11,55	0,12	0,37	0,33
	8	11,86	7,07	0,07	0,14	0,60
	9	14,10	4,70	0,05	0,15	0,33
	MÉDIA	23,30	10,13	0,11	0,261482	0,39
	DP	15,50	10,54	0,10	0,177002	0,31
	MEDIANA	25,17	7,09	0,07	0,2556	0,33
20Hz	1	1,31	0,22	0,02	0,01	0,17
	2	33,11	52,68	0,42	0,50	1,59
	3	17,73	1,60	0,01	0,14	0,09
	4	34,06	8,40	0,07	0,28	0,25
	5	24,62	11,42	0,09	0,22	0,46
	6	54,70	16,17	0,13	0,46	0,30
	7	38,02	14,46	0,12	0,36	0,38
	8	14,91	0,01	0,01	0,12	0,0004
	9	12,20	9,11	0,07	0,12	0,75
	MÉDIA	25,63	12,68	0,10	0,24	0,44
	DP	16,11	16,15	0,13	0,16	0,48
	MEDIANA	24,62	9,11	0,07	0,22	0,30

ANEXO

ANEXO A: Equações

As equações e figuras abaixo foram obtidas no CD Educativo fornecido na II Jornada de Reologia, ministrada pelo Dr. Abel Gaspar Rosas.



$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dot{\gamma} = \frac{V}{x}$$

$$\gamma = \frac{dx}{x} \quad G = \frac{\sigma}{\gamma}$$

$$\eta = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}}$$

Onde,

σ = tensão de cisalhamento

$\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento

F = força

γ = deformação de cisalhamento

A = área

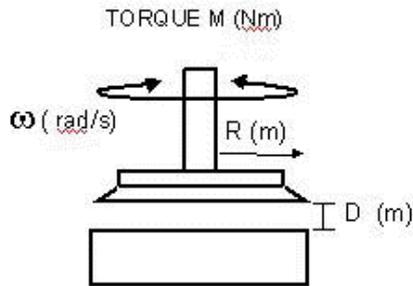
d = deslocamento

x = comprimento

V = velocidade

G = módulo de rigidez

η = viscosidade



$$\dot{\gamma}_{placa} = \frac{R\omega}{D}$$

$$\sigma_{placa} = \frac{2M}{\pi R^3}$$

Onde,

σ_{placa} = tensão de cisalhamento

$\dot{\gamma}_{placa}$ = taxa de cisalhamento

R = raio da placa

ω = frequência angular

D = intervalo entre as placas

M = torque

$$G^* = \frac{stress}{strain}$$

$$G^* = G' + iG''$$



$$G' = G^* \cdot \cos \delta$$

$$G'' = G^* \cdot \sin \delta$$

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'}$$

Onde,

G^* = módulo complexo

G' = módulo elástico

G'' = módulo viscoso

δ = ângulo de fase