

## REGULAGEM DE RESPIRADORES AUTOMÁTICOS (\*)

DR. KENTARO TAKAOKA, E.A.

*“Após resolver QUANDO indicar uma assistência respiratória, QUAL o tipo de respirador utilizar, QUE valores de ventilação empregar... Resta saber ONDE estudar, COMO regular um respirador automático.”*

AF 2140

*Com vistas a sua regulagem, os respiradores automáticos são classificados em “sistemas de controle”, baseados em valores de volume corrente, frequência e relações ins e expiração sendo analisada e representada esquematicamente a combinação destes controles e suas funções. Desta maneira é estudado o método de regulagem, tendo por base esta análise esquemática. Além disso, os diversos sistemas de controle são comparados, destacando-se suas analogias e facilidades.*

A crescente necessidade de assistência respiratória em unidades cardiológicas, unidades respiratórias, centros de terapia intensiva e salas de recuperação, ocasionou a atual deficiência no número e na qualidade de pessoal médico e técnico habilitado ao uso de respiradores automáticos. O problema é agravado pela multiplicidade de tipos e modelos desses aparelhos, associada a uma complexidade estrutural e funcional cada vez maior.

Em 1969, Mushin, e col (1) descreveram em um livro de 349 páginas, 150 modelos de respiradores. Esse número vem aumentando consideravelmente, e grande quantidade de trabalhos tem sido publicada, descrevendo novos respiradores, discutindo formas de curvas, tipos de ciclagem, respiração assistida, relação inspiração-expiração, pressão negativa, pressão positiva contínua, pressão positiva expiratória, retardo expiratório, equilíbrio ácido-básico e muitos outros aspectos da fisiologia da respiração controlada.

(\*) Tese de doutoramento apresentada à Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. (Departamento de Cirurgia). — 1972 — Aprovada com distinção, grau 10.

Não obstante, há falta quase total de publicações sobre o manejo propriamente dito dos respiradores automáticos e absoluta falta de padronização no seu emprego. (1,2)

Considerando estes fatos, elaborou-se esta tese, cujos objetivos são:

1 — *Classificar* os respiradores automáticos em “sistemas” de acordo com a combinação dos seus controles.

2 — *Analisar e representar* esquematicamente as funções dos controles.

3 — *Estudar* um método de regulagem, baseado na análise esquemática, destinado a ajustar os valores desejados de volume corrente, frequência respiratória e relação inspiração-expiração.

4 — *Comparar* os diferentes sistemas de controle, destacando as analogias e as facilidades de regulagem.

Não será, portanto, discutido: *quando* indicar uma assistência respiratória, *qual* o tipo de respirador empregar e *que* valores de ventilação utilizar. Somente serão debatidos assuntos relacionados a *como* regular um respirador.

#### MATERIAL E MÉTODO

O presente estudo foi realizado com “sistemas de controle” utilizados por respiradores automáticos de distintas marcas e modelos. Denominou-se “sistema de controle” ou simplesmente “sistema”, a uma determinada combinação de controles. Entende-se por controle, a peça mecânica do respirador cuja função consiste em variar um parâmetro. Cada controle regula um dos seguintes parâmetros: fluxo inspiratório, pressão inspiratória, volume corrente, frequência respiratória (frequência), relação inspiração-expiração, tempo de inspiração e tempo de expiração.

A Tabela I relaciona os parâmetros, estabelece as abreviaturas utilizadas e enuncia a sua terminologia. Volume corrente, frequência respiratória e relação inspiração-expiração são parâmetros básicos, porque ajustá-los aos valores desejados, constitui o objetivo da regulagem dos respiradores automáticos.

Os controles dos parâmetros básicos foram denominados de diretos por ajustarem diretamente esses parâmetros. Os controles de fluxo inspiratório, pressão inspiratória, relação inspiração-expiração, tempo de inspiração e tempo de expiração, são indiretos porque regulam indiretamente os parâmetros básicos. Frequência respiratória, relação inspiração-expiração, tempo de inspiração e tempo de expiração são parâ-

metros relacionados a períodos de tempo. O controle indireto de pressão inspiratória sempre ajusta o volume corrente, por ser a complacência pulmonar uma relação entre volume e pressão.

TABELA I

## TERMINOLOGIA DOS PARÂMETROS E RESPECTIVAS ABBREVIATURAS

- |  |
|--|
| 1 — FLUXO inspiatório (FLUXO, F)<br>volume inspiado na unidade de tempo.                                 |
| 2 — PRESSÃO inspiatória (PRESSÃO, P)<br>pressão no final da fase inspiatória.                            |
| 3 — VOLUME corrente (VOLUME, V)<br>volume inspiado em cada movimento respiratório.                       |
| 4 — FREQUÊNCIA respiratória (Frequência, FREQ., f)<br>número de ciclos por minuto de respiração.         |
| 5 — RELAÇÃO inspição-expiração (REL. I:E, R)<br>relação entre os tempos de inspição e de expiração.      |
| 6 — TEMPO de inspição (TEMPO I, I)<br>período de tempo entre o início e o fim do fluxo inspiatório.      |
| 7 — TEMPO de expiração (TEMPO E, E)<br>período de tempo entre o fim de uma inspição e o início de outra. |

Os sistemas foram classificados em onze tipos identificados pelas letras A a K (Tabela II), conforme os seus controles:

*Sistema A:* fluxo inspiatório, pressão inspiatória e tempo de expiração.

*Sistema B:* fluxo inspiatório, volume corrente e tempo de expiração

*Sistema C:* volume corrente, tempo de inspição e tempo de expiração.

*Sistema D:* fluxo inspiatório, tempo de inspição e tempo de expiração.

*Sistema E:* pressão inspiatória, frequência respiratória e tempo de expiração.

*Sistema F:* fluxo inspiatório, volume corrente e frequência respiratória.

*Sistema G:* fluxo inspiatório, frequência respiratória e relação inspição-expiração.

*Sistema H:* fluxo inspiatório, pressão inspiatória e relação inspição-expiração.

*Sistema I:* fluxo inspiratório e frequência respiratória. Relação inspiração-expiração fixa.

*Sistema J:* fluxo inspiratório e pressão inspiratória. inspiração-expiração fixa.

*Sistema K:* fluxo inspiratório e volume corrente. Relação inspiração-expiração fixa.

TABELA II  
SISTEMAS DE CONTROLE

SISTEMAS DE CONTROLE	CONTROLES						
	INDIRETOS		DIRETOS			INDIRETOS	
	FLUXO	PRESSÃO	VOLUME	FREQ.	REL. I/E	TEMPO I	TEMPO E
A	(F)	(P)					(E)
B	(F)		(V)				(E)
C			(V)			(I)	(E)
D	(F)					(I)	(E)
E		(P)		(f)			(E)
F	(F)		(V)	(f)			
G	(F)			(f)	(R)		
H	(F)	(P)			(R)		
I	(F)			(f)	*		
J	(F)	(P)			*		
K	(F)		(V)		*		

\* RELAÇÃO INSPIRAÇÃO-EXPIRAÇÃO FIXA

Os diagramas das figs. 4, 5 e 6, mostram exemplos de respiradores automáticos com a localização dos seus controles.

Os parâmetros, os controles e a regulação de um sistema (análise funcional), estão apresentadas esquematicamente nas Figs. 1, 2 e 3.

Os parâmetros estão representados por quadrados com as abreviaturas mencionadas na Tabela I, sendo os três do centro os parâmetros básicos (Fig. 1). Os controles estão

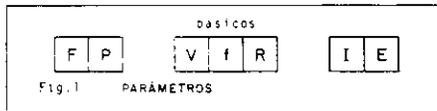


FIGURA 1

Os parâmetros estão representados nos quadrados.  
As abreviaturas estão indicadas na Tabela I.

representados por círculos no interior dos parâmetros, sendo os do centro, controles diretos e os laterais, indiretos (Fig. 2).

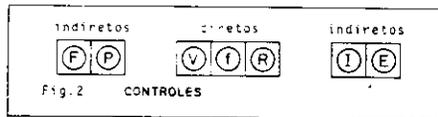


FIGURA 2

Os círculos representam os controles dos respectivos parâmetros.

Para indicar os parâmetros regulados pelos controles indiretos foram empregadas setas. O parâmetro básico com círculo, significa que possui controle próprio, de ajuste direto.

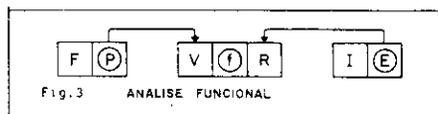


FIGURA 3

No sistema tomado como exemplo, as setas indicam os parâmetros regulados pelos controles; o controle de frequência regula o parâmetro correspondente; o controle de pressão inspiratória regula o volume corrente; o controle de tempo de expiração regula a relação inspiração-expiração.

A Fig. 3 representa esquematicamente o funcionamento do sistema de controle escolhido como exemplo. As setas indicam: o controle de pressão inspiratória regula o volume corrente; o controle de tempo de expiração regula a relação inspiração-expiração. O controle de frequência respiratória regula o parâmetro correspondente.

#### RESULTADOS E COMENTÁRIOS

Procurou-se reunir nos onze sistemas, as combinações de controles, utilizadas pela maioria dos respiradores (tabela II

e III). Existem outras combinações, todavia, as apresentadas são suficientes para a análise e dedução do método de regulagem cujo objetivo consiste em ajustar os parâmetros básicos aos valores desejados.

A classificação dos respiradores automáticos em sistemas de controle propicia a oportunidade de comparar respiradores e, eventualmente verificar que embora de aparência distinta, na realidade são idênticos (figs. 4a e 4b).

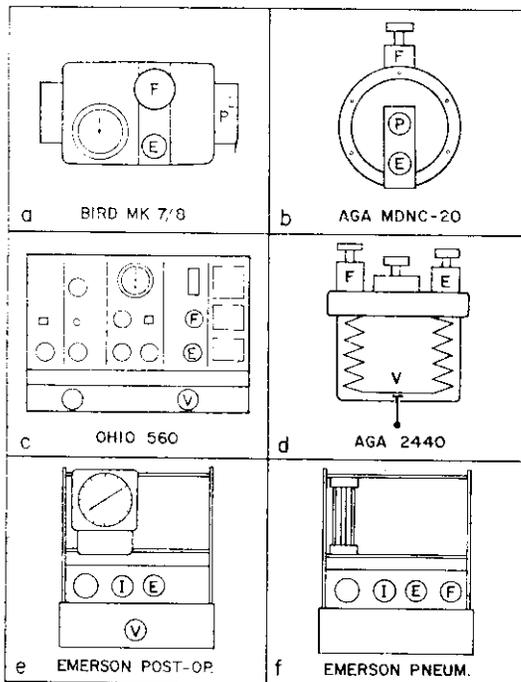


FIGURA 4

Por outro lado, respiradores, com características diversas, podem fazer parte do mesmo sistema (figs. 4e e 4d).

Os sistemas com relação inspiração- expiração variável possuem três controles e os de relação fixa, dois. Esses números coincidem com o número de parâmetros básicos controlados.

A representação esquemática da análise funcional indica, para cada sistema, como os controles regulam o volume cor-

TABELA III  
ANÁLISE FUNCIONAL

SISTEMAS DE CONTROLE	MARCA OU MODELO	CONTROLES		
		INDIRETOS	DIRETOS	INDIRETOS
A	BIRD MARK 7/8 AGA MDNC-20			
B	OHIO 560 AGA ME 2440 NARCOFOLEX			
C	EMERSON POST-OP.			
D	AIR SHIELDS EMERSON PNEUM. BIRD MARK 2			
E	BENNETT PR 1/2			
F	BOURNS LS104-150 BENNETT MA-1			
G	TAKAOKA 960 PULMOVENTILADOR LOOSCO AMSTERDAM			
H	TAKAOKA 670			
I	ENGSTRÖM ER 300 CELOG 2			
J	TAKAOKA 600			
K	TAKAOKA 850			

R\* RELAÇÃO INSPIRAÇÃO-EXPIRAÇÃO FIXA

rente, a frequência respiratória e a relação inspiração-expiração (tabela III).

Nota-se, portanto, que o método de regulagem é consequência direta da análise funcional.

Os onze sistemas de controle serão analisados funcionalmente e, os resultados representados esquematicamente, conforme preconizado no método de estudo (tabela III). Esta tabela apresenta, na coluna referente a "marca ou modelo", exemplos de respiradores automáticos, a maioria deles representada nas figs. 4, 5 e 6.

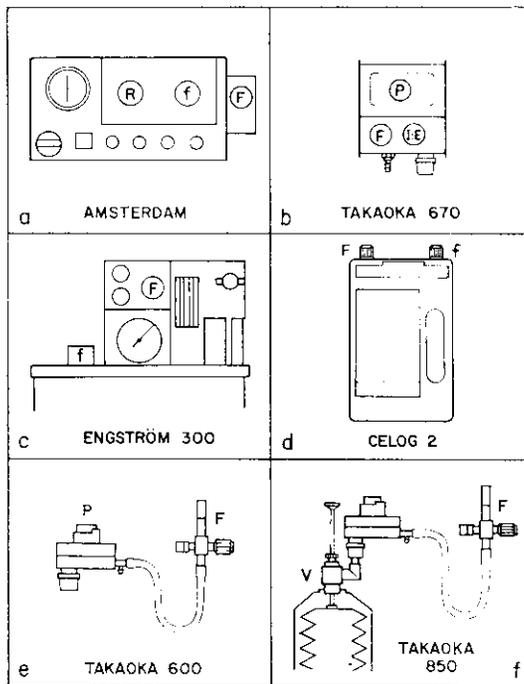


FIGURA 5

#### ANÁLISE FUNCIONAL DOS SISTEMAS DE CONTROLE

*Sistema A:* O controle indireto de pressão inspiratória regula o volume corrente, por ser a complacência pulmonar, uma relação entre volume e pressão. Sendo o fluxo inspiratório, o volume inspirado na unidade de tempo (Tabela

I), para o volume corrente, por ser a complacência pulmonar, uma relação entre volume inspirado na unidade de tempo (Tabela I), para o volume corrente determinado pela pressão inspiratória, o tempo de inspiração é ajustado pelo controle de fluxo inspiratório. O ajuste da frequência e da relação inspiração-expiração é consequência automática da regulagem dos tempos de inspiração e de expiração. Este sistema não possui nenhum controle direto; todos os parâmetros básicos são regulados por controles indiretos. Exemplos: figs. 4a e 4b

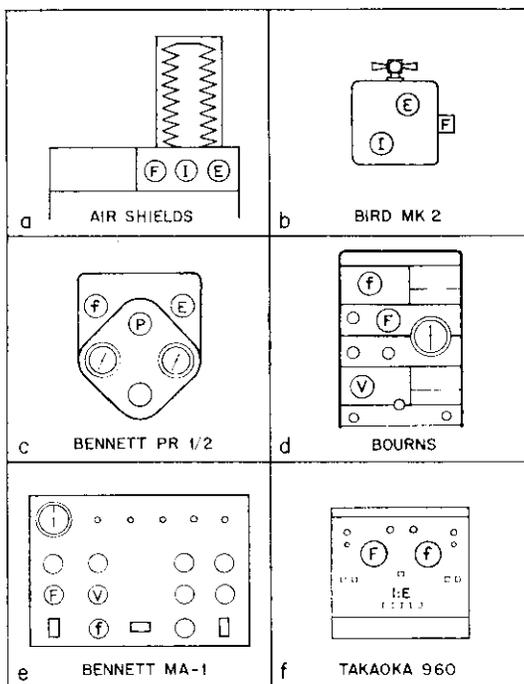


FIGURA 6

*Sistema B:* O controle direto de volume corrente regula o parâmetro básico correspondente. O controle indireto de fluxo inspiratório regula o tempo de inspiração. Este tempo, juntamente com o tempo de expiração, ajustado pelo controle correspondente, regula a frequência e a relação inspiração-expiração. Exemplos: figs. 4c e 4d.

O volume corrente é ajustado pelo controle direto correspondente. A regulagem da frequência e da relação inspi-

ração-expiração é consequência automática da ajustagem dos tempos de inspiração e de expiração. Exemplo: fig. 4e.

*Sistema D:* A regulagem da frequência e da relação inspiração-expiração é feita como no sistema "C". O fluxo inspiratório, sendo o volume introduzido na unidade de tempo, e estando definido o tempo de inspiração, o volume corrente é função do controle indireto de fluxo inspiratório. Exemplos: figs. 4f, 5a e 5b.

*Sistema E:* O volume corrente é regulado pelo controle indireto de pressão inspiratória, como no sistema "A". A frequência é regulada pelo controle correspondente. A relação inspiração-expiração é ajustada pelo controle indireto de tempo de expiração, uma vez que, estando determinada a frequência, o tempo de inspiração dependerá do tempo de expiração. Exemplo: fig. 5c.

*Sistema F:* O volume corrente e a frequência são regulados diretamente. A relação inspiração-expiração é regulada pelo controle de fluxo inspiratório, porque, estando ajustados os parâmetros de frequência e de volume corrente, as modificações do fluxo inspiratório alteram os tempos de inspiração havendo ao mesmo tempo variações nos tempos de expiração. Exemplos: figs. 5d e 5e.

*Sistema G:* A frequência e a relação inspiração-expiração são reguladas diretamente pelos respectivos controles. Sendo o fluxo inspiratório, o volume na unidade de tempo, o volume corrente depende do fluxo inspiratório, de vez que, o tempo de inspiração foi determinado pela regulagem da frequência e da relação inspiração-expiração. Exemplos: figs. 5f e 6a.

*Sistema H:* O volume corrente é regulado pelo controle indireto de pressão inspiratória como nos sistemas A e E. A relação inspiração-expiração é ajustada pelo controle direto correspondente. Estando regulados os parâmetros de volume corrente e de relação inspiração-expiração, o tempo de inspiração, portanto a frequência, depende do fluxo inspiratório. Exemplo: fig. 6b.

*Sistema I:* Possuindo uma relação inspiração-expiração fixa e controle direto de frequência, o volume corrente é regulado pelo controle de fluxo inspiratório como no sistema G. Exemplos: figs. 6c e 6d.

*Sistema J:* O volume corrente é regulado pelo controle de pressão inspiratória, como nos sistemas A, E e H. Sendo fixa a relação inspiração-expiração e ajustado a volume corrente, a frequência depende do fluxo inspiratório. Exemplo: fig. 6e.

*Sistema K:* Sendo fixa a relação inspiração-expiração e o volume corrente regulado diretamente, a frequência é

ajustada pelo controle de fluxo inspiratório, como no sistema J. Exemplo: fig. 6f.

O simples aspecto da representação esquemática da análise funcional (tabela III), dá idéia da regulagem de cada sistema, como também permite reconhecer analogias entre diferentes sistemas.

Observa-se uma semelhança na regulagem da frequência respiratória e da relação inspiração-expiração nos sistemas de controle A, B, C, e D. A relação inspiração-expiração e a frequência são reguladas por do's controles em todos os quatro sistemas.

TABELA IV  
TEMPOS

Frequência	Inspiração + Expiração	RELAÇÃO			
		1:1	1:1 1/2	1:2	1:3
10	6	3 00:3,00	2,40:3,60	2,00:4,00	1,50:4,50
12	5	2,50:2,50	2,00:3,00	1,66:3,34	1,25:3 75
14	4,28	2,14:2,14	1,70:2,58	1,42:2,86	1,07:3,21
16	3,75	1,87:1,87	1,50:2,25	1,25:2 50	0,93:2,82
18	3 33	1,66:1,66	1,32:2,01	1,11:2,22	0 83:2,50
20	3	1,50:1,50	1,20:1,80	1,00:2,00	0,75:2 25
22	2,72	1,36:1,36	1,08:1,64	0,90:1,82	0,68:2,04
24	2,50	1 25:1,25	1,00:1,50	0,83:1,67	0,62:1,88
26	2,30	1,15:1,15	0,92:1,38	0,76:1,54	0,57:1,73
28	2,14	1,07:1,07	0,84:1,30	0,71:1,43	0,53:1,61
30	2	1,00:1,00	0,80:1,20	0,66:1,34	0,50:1,50
35	1,71	0,85:0 85	0 68:1,03	0,57,1,14	0,42:1,29
40	1,50	0,75:0,75	0,60:0,90	0,50:1,00	0,37:1,13
45	1,33	0,66:0,66	0,52:0,81	0,44:0,89	0,33:1,00
50	1,20	0,60:0,60	0,48:0,72	0,40:0,80	0,30:0,60
55	1,09	0,54:0,54	0,42:0,67	0,36:0,73	0,27:0,82
60	1	0,50:0,50	0,40:0,60	0,33:0,67	0,25:0,75
65	0,92	0,46:0,46	0,36:0,56	0,30:0,62	0,23:0,69
70	0,85	0,42:0,42	0 34:0,51	0,28:0,57	0,21:0,64
75	0 80	0,40:0,40	0,32:0,48	0 26:0,54	0,20:0,60
80	0 75	0,37:0,37	0,30:0,45	0,25:0 50	0,18:0,57

Tempos em segundos, de inspiração e expiração para diferentes frequências e relações I:E

1 — Os sistemas A e B diferem somente na regulagem do volume corrente. No primeiro caso este parâmetro é regulado pelo controle de pressão inspiratória e no segundo caso á ajustado diretamente. Exemplos: figs. 4a, 4b, 4c, 4d e 4e.

2 — Os sistemas C e D também diferem apenas na regulagem do volume corrente. No primeiro caso este parâmetro é regulado diretamente e no segundo caso pelo controle de fluxo inspiratório. Exemplos: figs. 4f, 5a, 5b e 5c.

As figuras mostram uma grande diferença estrutural entre os respiradores acima citados como exemplos, no entanto, a regulagem é feita de maneira semelhante.

A representação esquemática da análise funcional desses sistemas mostra uma intrincada relação entre os controles indiretos e os parâmetros básicos de frequência e de relação inspiração-expiração. Esta complicação se traduz em maiores problemas na regulagem.

O valor destes parâmetros é alterado por qualquer modificação dos tempos de inspiração ou de expiração.

É importante ajustar corretamente estes tempos, porque, a frequência determina o volume minuto e a relação inspiração-expiração, o fluxo inspiratório. Para melhor avaliar este importante problema na regulagem dos respiradores automáticos, organizou-se a tabela IV. Esta tabela apresenta os tempos, em segundos, de inspiração e de expiração, para distintas frequências e relações inspiração-expiração. A verificação dos valores apresentados mostra que os tempos devem ser regulados com a precisão de décimos e mesmo centésimos de segundos. As dificuldades de regulagem são óbvias, principalmente nas frequências mais altas e nas relações inspiração-expiração mais altas (1:2 e 1:3).

A regulagem da frequência é mais fácil nos sistemas que possuem somente um controle, mesmo indireto, desse parâmetro (Todos os sistemas de E a K).

O exame da coluna I + E da Tabela IV mostra que é possível, nas frequências abaixo de 40, regular este parâmetro, cronometrando-se apenas um ciclo respiratório. Na falta de um cronômetro ou no caso de frequências mais altas, estas podem ser ajustadas pelo ponteiro de segundos de um relógio, como se faz classicamente, isto é, contando-se os ciclos respiratórios durante 10, 15, 30 ou 60 segundos.

Nos sistemas E e F, a relação inspiração-expiração é regulada pelos controles de tempo de expiração e de fluxo inspiratório respectivamente. Ambos possuem controle direto da frequência. O ajuste da relação é feito cronometrando-se os tempos de inspiração e de expiração (tabela IV).

Os três últimos sistemas de controle I, J, e K, possuem relação fixa de inspiração-expiração.

Face às dificuldades de regulagem dos respiradores automáticos com a relação inspiração-expiração variável é, perfeitamente compreensível que existam respiradores com essa

relação fixa proposital (figs. 6c, 6d, 6e e 6f). A facilidade de regulagem destes sistemas pode ser constatada pelo exame da representação esquemática; o número de controles fica reduzido a dois, sendo a regulagem simples, mesmo com ambos indiretos.

É importante discutir as funções do controle de fluxo inspiratório, tendo em vista a regulagem dos parâmetros básicos.

A relação abaixo mostra os parâmetros básicos regulados pelo controle de fluxo nos diferentes sistemas:

Sistemas A e B	—	Frequência e relação inspiração-expiração
Sistemas D, G e I	—	Volume corrente
Sistema F	—	Relação inspiração-expiração
Sistemas H, J e K	—	Frequência respiratória

A regulagem do fluxo inspiratório depende, portanto, dos valores escolhidos para os parâmetros básicos. Este fluxo é menor para as relações mais baixas de inspiração-expiração (1:1 e 1:1.1/2).

#### RESUMO E CONCLUSÕES

Os respiradores automáticos foram classificados, de acordo com a combinação de seus controles, em onze "sistemas de controle". As funções dos controles foram analisadas e representadas esquematicamente. O exame dessa representação permitiu:

1 — Estabelecer um método de regulagem destinado a ajustar os valores desejados de volume corrente, frequência respiratória e relação inspiração-expiração.

2 — Comparar os vários sistemas, especialmente quanto às analogias e facilidades de regulagem.

Os conhecimentos assim adquiridos, permitiram as seguintes conclusões:

1 — Respiradores, aparentemente distintos, são reconhecidos como pertencentes ao mesmo sistema.

2 — Outros respiradores, com características diversas, podem fazer parte do mesmo sistema de controle.

3 — Existem analogias nos métodos de regulagem de respiradores de sistemas diferentes.

4 — Os respiradores automáticos com relação inspiração-expiração variável possuem três controles; esse número fica reduzido a dois quando essa relação é fixa.

5 — A regulagem da frequência respiratória é mais difícil quando depende de dois controles.

6 — A regulagem é fácil nos respiradores com relação inspiração-expiração fixa, mesmo com os dois controles indiretos.

7 — O fluxo inspiratório depende exclusivamente dos valores escolhidos para os parâmetros básicos, sendo menor para as relações mais baixas de inspiração-expiração (1:1 e 1:1 1/2).

8 — A representação esquemática adotada facilita o ensino de como regular um respirador automático.

### SUMMARY

#### THE ADJUSTMENT OF AUTOMATIC RESPIRATORS

Automatic respirators are classified into «systems» according to a combination of their controls. The functions of each control is analysed and represented diagrammatically. The adjustment of any known or new respirator can be managed easily by using the schematic functional analysis as proposed. Tidal volume, respiratory rate and inspiratory expiratory ratio can be adjusted as desired.

Different «control systems» were compared showing their analogies and the ease of their adjustments. A «control system» is a certain combination of controls. A «control» is any mechanical piece of the respirator that will control any of the following parameters: inspiratory flow, inspiratory pressure, tidal volume, respiratory rate, the proportion of inspiratory to expiratory time, time of inspiration and time of expiration. Eleven control systems are presented including most respirators but in any one of them there are at most only three controls to be adjusted, to control all parameters.

### REFERENCIAS

1. Mushin W W, Rendell-Baker L, Thompson P W & Mapleson W W — Automatic Ventilation of the Lungs. Second Ed Oxford. Blackwell, 1969.
2. Schreiber P — Anaesthesia Equipment. Performance, Classification and Safety. New York, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1972.