

1245

## ADSORÇÃO DE HALOTANO POR CARVÃO ATIVADO COMO MÉTODO DE REDUÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA HOSPITALAR

Estudo experimental e clínico.

DR. ALMIRO DOS REIS JÚNIOR, E.A. (\*)

*São estudadas diversas características do carvão ativado como adsorvente de halotano. São pesquisadas experimentalmente as influências de tipo de gás diluente, fluxo contínuo e intermitente de gases, concentração do halogenado e quantidade de carvão ativado utilizada bem como a resistência oferecida pelo adsorvente ao fluxo de gases, as perdas ativa e passiva de halotano a partir de carvão ativado esgotado e as possibilidades de reaproveitamento desse material. Finalmente, são analisados resultados obtidos com o uso clínico de carvão ativado para adsorção de halotano.*

Os problemas decorrentes da poluição atmosférica hospitalar por anestésicos gerais e de suas conseqüências para pessoal médico e paramédico que trabalha em centros cirúrgicos e unidades de recuperação pós-anestésica têm sido motivo de intensa preocupação.

Algumas possibilidades existem para a redução de tal poluição: uso de sistemas de ventilação ambiental sem circulação e de válvulas para exaustão de gases e vapores anestésicos para o exterior dos locais de trabalho.

Em 1944, Epstein (8) empregou o carvão ativado para adsorção de éter etílico. Posteriormente, ele foi utilizado para adsorção de tricloroetileno, halotano, metoxifluorano, enflurano e isofluorano (1,2,4,5,7,9,15,17,19,20).

(\*) Do Serviço Médico de Anestesia de São Paulo (Hospital Osvaldo Cruz).

Recebido em 11/4/79

Aprovado em 19/6/79

Com a introdução comercial do carvão ativado no meio anestesiológico brasileiro, desenvolvemos estudo experimental e clínico no sentido de testar o material disponível. Os resultados obtidos são aqui apresentados.

#### MATERIAL E MÉTODOS

O carvão ativado foi acondicionado por vibração manual em recipientes apropriados que permitissem livre eliminação de gases e vapores para a atmosfera, quando colocados em posição vertical. Tanto na parte superior como na inferior do recipiente foram colocados um disco de material plástico (0,6 cm de espessura, aproximadamente) e outro perfurado, para distribuição de fluxo de gases e vapores e prevenção de canalização. Foi deixado um espaço livre na parte superior do recipiente para facilitar a passagem dos fluídos através de todos os orifícios do disco perfurado.

Foi utilizado um único aparelho de anestesia (Draeger) com fluxômetros previamente recalibrados e um mesmo vaporizador (Fluotec 3), calibrado de fábrica. Os gases fluíram, após vaporização ou não de halotano, para o carvão ativado, diretamente ou após passagem pelo Ventilador de Takaoka Mod. 855. A temperatura da sala cirúrgica foi mantida em torno de 22°C. A quantidade de anestésico adsorvida foi medida pesando os recipientes cada 30 minutos em balança Sensível (peso máximo — 1.050 g).

Os estudos experimentais foram encerrados quando o adsorvente foi incapaz de reter pelo menos 10% do peso do halotano lançado no recipiente. Isto foi calculado através da fórmula (16,19):

$$P = F \cdot C \cdot T \cdot \frac{PB - P_{H_2O}}{760} \cdot \frac{273}{273 - t} \cdot \frac{P_m}{100 \cdot 22,4}$$

Onde: P = Peso de halotano lançado no recipiente (g), F = Fluxo de gases (l/min), C = Concentração de halotano (vol %), T = Tempo de duração do experimento (min), PB = Pressão barométrica (695 mmHg em São Paulo, em média, variando geralmente entre 685 e 705 mmHg), P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = Pressão de vapor d'água saturado (mmHg), t = Temperatura ambiente (°C) e P<sub>m</sub> = Peso molecular do halotano (197,4). Todos os experimentos foram repetidos três vezes.

71.01.111

A adsorção do halotano foi estudada sob diversos aspectos:

*Comportamento do carvão ativado exposto a diferentes gases* — O carvão ativado (1.000 g) foi exposto a fluxos de oxigênio, de oxigênio e óxido nitroso, misturados em partes iguais, e de óxido nitroso, durante várias horas. Posteriormente, foi colocado em repouso por 24 horas.

*Influência do fluxo constante de gases, da concentração e da massa total do halogenado* — Deixou-se fluir 3, 6 e 12 l/min de oxigênio (50%) e óxido nitroso (50%) mais vapor de halotano em concentrações de 1, 2 e 4% através de 500 g de carvão ativado não umidificado.

*Valor da quantidade de carvão ativado empregada* — Foram utilizados fluxos de 6 l/min de oxigênio (50%) e óxido nitroso (50%), halotano a 2% e 250, 500 e 1.000 g do adsorvente.

*Importância da separação da quantidade total de carvão ativado utilizada em dois recipientes superpostos* — Foram empregados 500 g do adsorvente em cada recipiente. Eliminou-se o superior quando este se aproximou do esgotamento e acoplou-se outro recipiente com material virgem por baixo daquele parcialmente utilizado, manobra esta repetida várias vezes. Fluxos de 6 l/min de oxigênio (50%) e óxido nitroso (50%). Halotano a 2%.

*Interferência do tipo de gás* — Foram utilizados fluxos de 3, 6 e 12 l/min de oxigênio, da mistura de oxigênio (50%) e óxido nitroso (50%), e de óxido nitroso puro. Carvão ativado: 500 g. Halotano em concentrações de 1, 2 e 4%.

*Influência de fluxo intermitente* — Foram usadas misturas de oxigênio (50%) e óxido nitroso (50%), e halotano a 2%. Ventilador de Takaoka Mod. 855, volume de 600 ml, frequência de 10 l/min e 500 g de carvão ativado não umidificado.

*Resistência oferecida ao fluxo de gases* — Foi medida em cm H<sub>2</sub>O antes e após uso do material adsorvente, em recipientes contendo 1.000 g de carvão ativado, empregando-se fluxos de 5-40 l/min de oxigênio.

*Perda de halotano a partir de carvão ativado utilizado* — Deixou-se o adsorvente em repouso durante vários dias ou passar através dele fluxos de oxigênio de 2-12 l/min.

*Possibilidade de reaproveitamento de carvão ativado parcialmente regenerado* — Após o experimento anterior, 500 g do adsorvente foram novamente expostos ao halotano (2%), carregado por fluxos de 6 l/min de oxigênio e óxido nitroso, em partes iguais.

*Adsorção de halotano em condições clínicas* — Conjuntos de dois recipientes contendo 500 g do adsorvente cada, superpostos, ou recipientes únicos com 1.000 g de carvão ativado foram utilizados em 56 anestésias com intubação traqueal e respiração controlada mecânica, com duração variável entre 0,7 e 5,0 horas (média: 2,2 horas) e intervaladas por 1 a 70 horas (média: 26 horas). Um recipiente com 250 g de carvão ativado, colocado abaixo do(s) que continha(m) 1.000 g deste, serviu como prova da eficiência da adsorção. Os fluxos da mistura de oxigênio (40%) e óxido nítrico (60%) variaram entre 3,5 e 4,0 l/min. As concentrações de halotano emitidas pelo vaporizador (Fluotec 2 ou 3) oscilaram entre 0,5% e 1,0%; eventualmente, por razões clínicas, concentrações mais altas ou baixas foram empregadas. Gases e vapores excedentes foram dirigidos, através de válvula especialmente construída, diretamente do circuito anestésico para o carvão ativado. Os sistemas foram retirados de uso pouco antes da extubação traqueal.

## RESULTADOS

*Comportamento do carvão ativado exposto a diferentes gases* — O recipiente contendo carvão ativado não sofreu variação ponderal quando por ele fluiu oxigênio puro. Fluxos de óxido nítrico ou da mistura oxigênio-óxido nítrico determinaram aumento quase imediato do peso do material, maior quando empregado apenas o gás anestésico, peso esse que se manteve posteriormente sem alteração (Fig. 1).

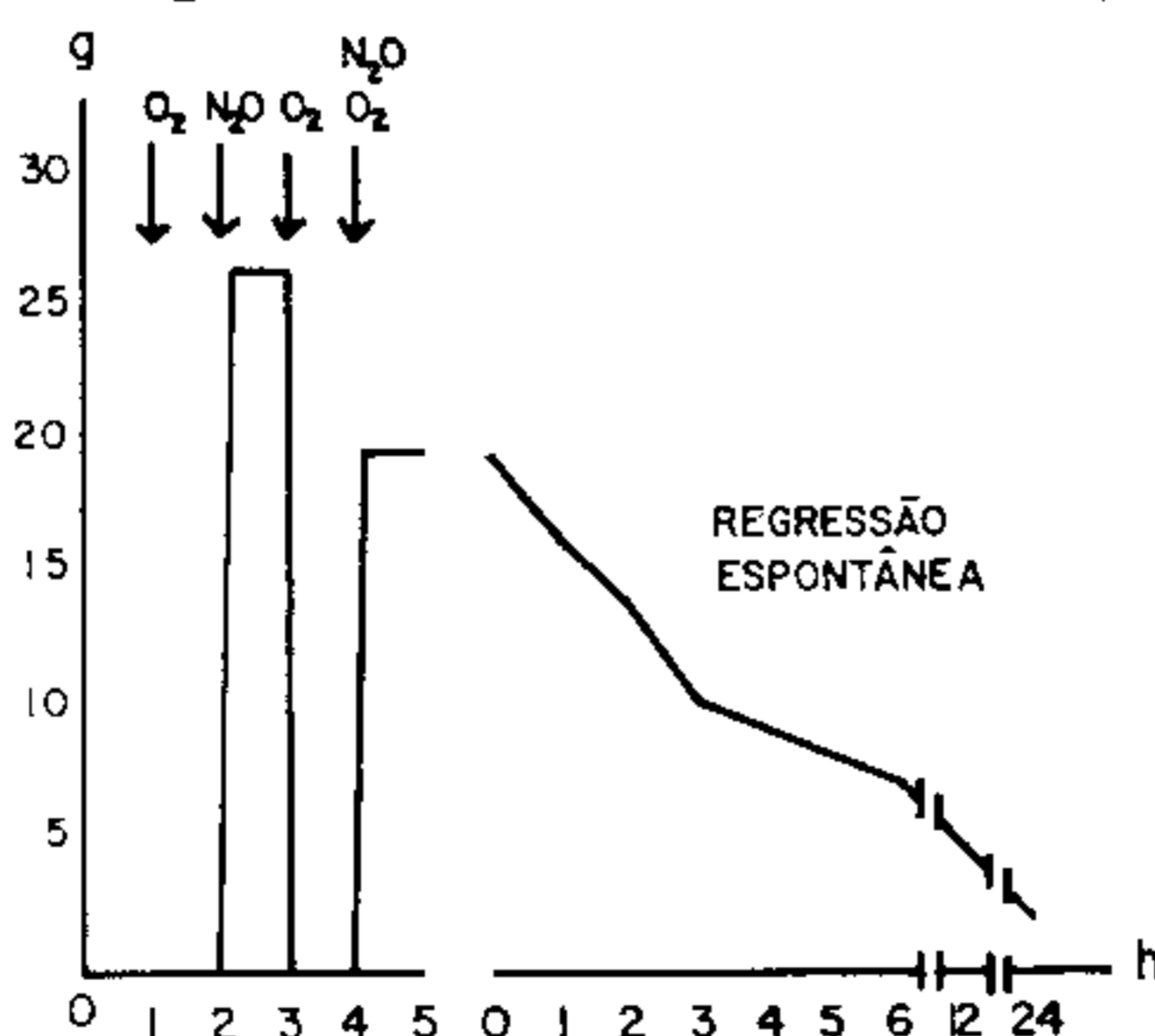


FIGURA 1

Representativa das variações de peso do carvão ativado (500 g) quando exposto a diferentes gases e posteriormente colocado em repouso por 24 horas.

Houve regressão rápida dos valores anteriormente obtidos quando o óxido nitroso foi substituído por oxigênio (Fig. 1). Também ocorreu aquecimento do material adsorvente quando usado o anestésico gasoso.

*Influência do fluxo constante de gases, da concentração e da massa total do halogenado* — A Fig. 2 permite observar que: a) a quantidade total de halotano adsorvida até o final dos vários experimentos variou pouco (156,2 g a 183,4 g — média: 165,8g); b) até determinado momento, quando usada a mesma concentração de halotano (Curvas B, C e D), quanto

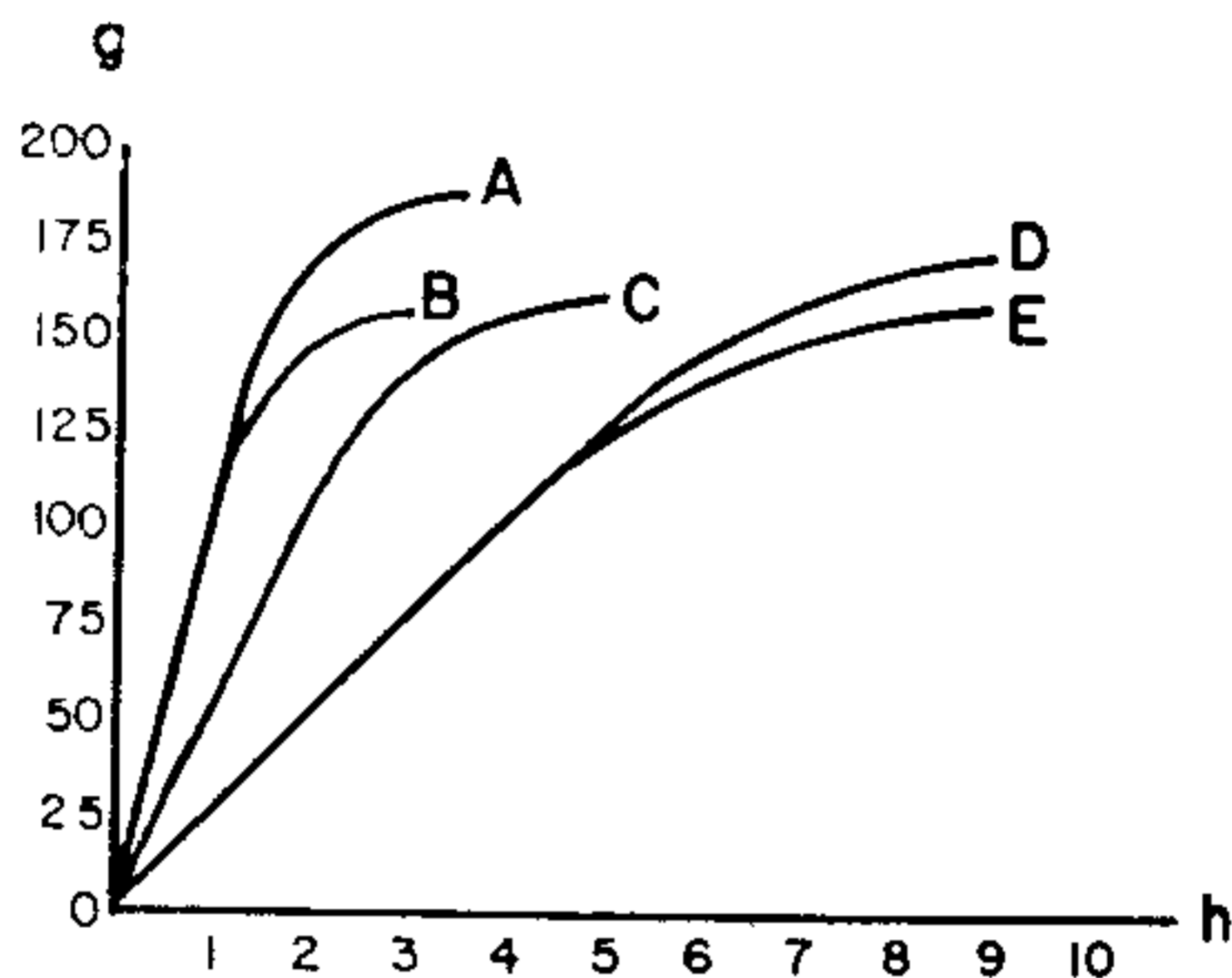


FIGURA 2

Demonstrativa dos aumentos de peso do carvão ativado (500 g) exposto a diferentes fluxos de  $N_2O$  (50%) e  $O_2$  (50%) e concentrações de halotano, ao longo do tempo. Curvas: A (6 l/min — 4%), B (12 l/min — 2%), C (6 l/min — 2%), D (3 l/min — 2%) e E (6 l/min — 1%).

mais alto o fluxo gasoso empregado tanto maior foi a quantidade de anestésico adsorvida cada 30 minutos e mais curto o tempo necessário para esgotamento do material adsorvente; c) quando foram utilizados fluxos gasoso iguais (Curvas A, C e E) e até as proximidades do esgotamento, quanto maior a concentração de halotano empregada tanto maior foi o peso ganho pelo carvão ativado cada 30 minutos e menor o período de uso útil do material e d) quanto maior a massa de halotano lançada no recipiente por unidade de tempo maior foi o peso ganho pelo carvão ativado cada 30 minutos e mais rapidamente ocorreu o esgotamento do material adsorvente. Por outro lado, quando uma mesma massa de halotano (Curvas A e B ou D e E) foi lançada por minuto em recipiente

contendo carvão ativado, a quantidade de droga adsorvida cada 30 minutos foi, no período inicial dos procedimentos, bastante semelhante; entretanto, a queda da eficiência da adsorção do halotano começou mais precocemente e a quantidade total de droga adsorvida foi menor quando utilizados fluxos mais altos e concentrações mais baixas (Curvas B e E).

Nas Fig. 3 e 4 estão indicadas as quantidades de droga que foram adsorvidas ao final de cada período de 30 minutos e após intervalos acumulados também de 30 minutos cada,

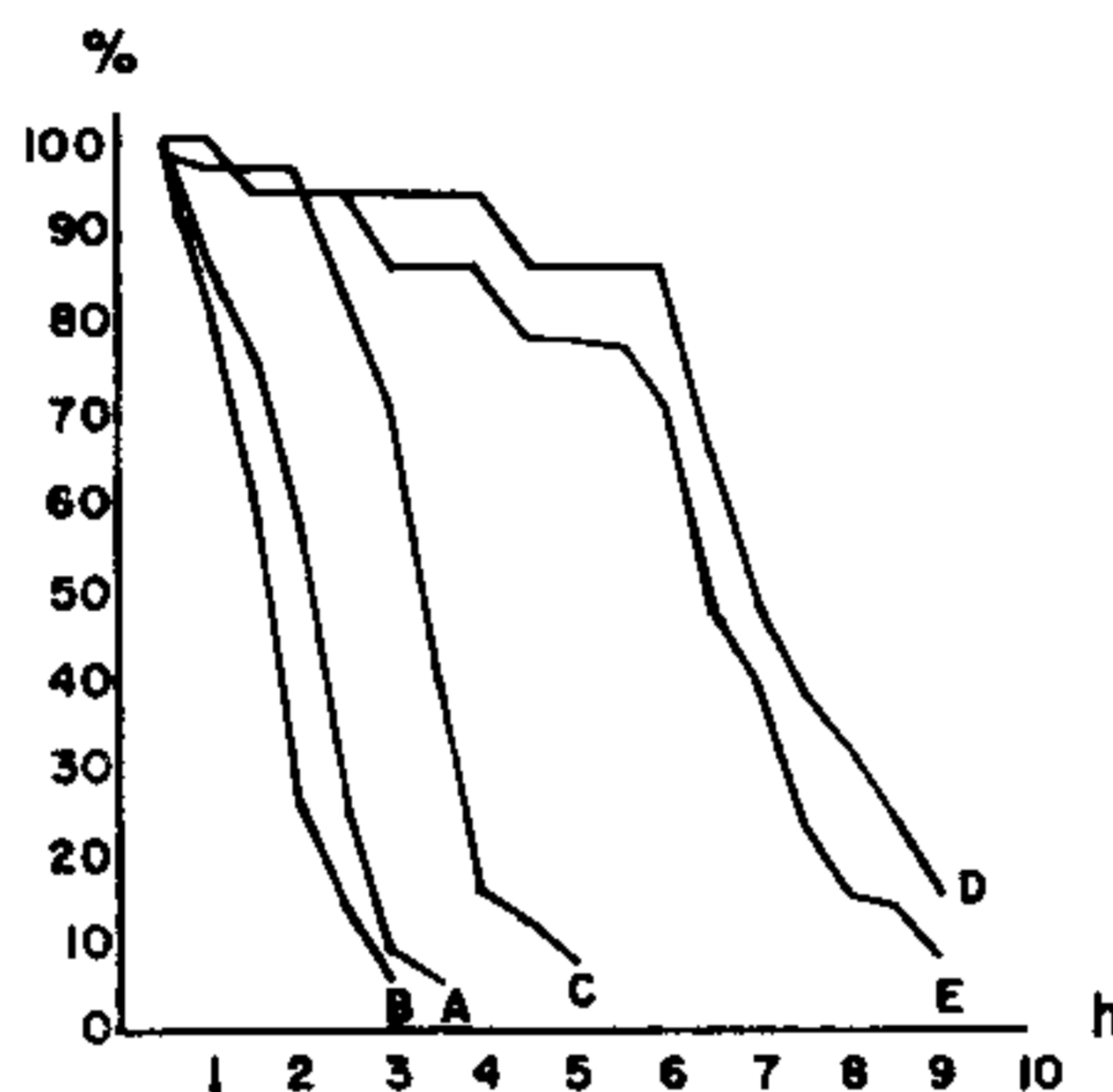


FIGURA 3

Percentagem de halotano adsorvida por carvão ativado (500 g) após períodos individualizados de 30 minutos. Fluxos de 3, 6 e 12 l/min de  $N_2O$  (50%) mais  $O_2$  (50%) e halotano em concentrações de 1, 2 e 4%. Para caracterização das curvas A, B, C, D e E ver legenda da Fig. 2.

respectivamente. Deduz-se que: a) para massas iguais (A e B ou D e E), quanto maior o fluxo gasoso empregado (B e E), mais rapidamente diminuiu a porcentagem de droga adsorvida, sofrendo o processo pequena influência do fluxo usado e b) para massas diferentes, quanto maior a massa de halotano posta em contacto com o carvão ativado ( $A = B > C > D = E$ ) com maior precocidade ocorreu a perda da capacidade de adsorção do carvão ativado.

Na dependência das condições em que foram usados, recipientes contendo 500 g de carvão ativado foram capazes de reter, até o encerramento dos experimentos, entre 49% e 73% da droga que por eles passou (Fig. 4).

*Valor da quantidade de carvão ativado empregada* — Quando utilizados gases, fluxos e concentrações iguais mas

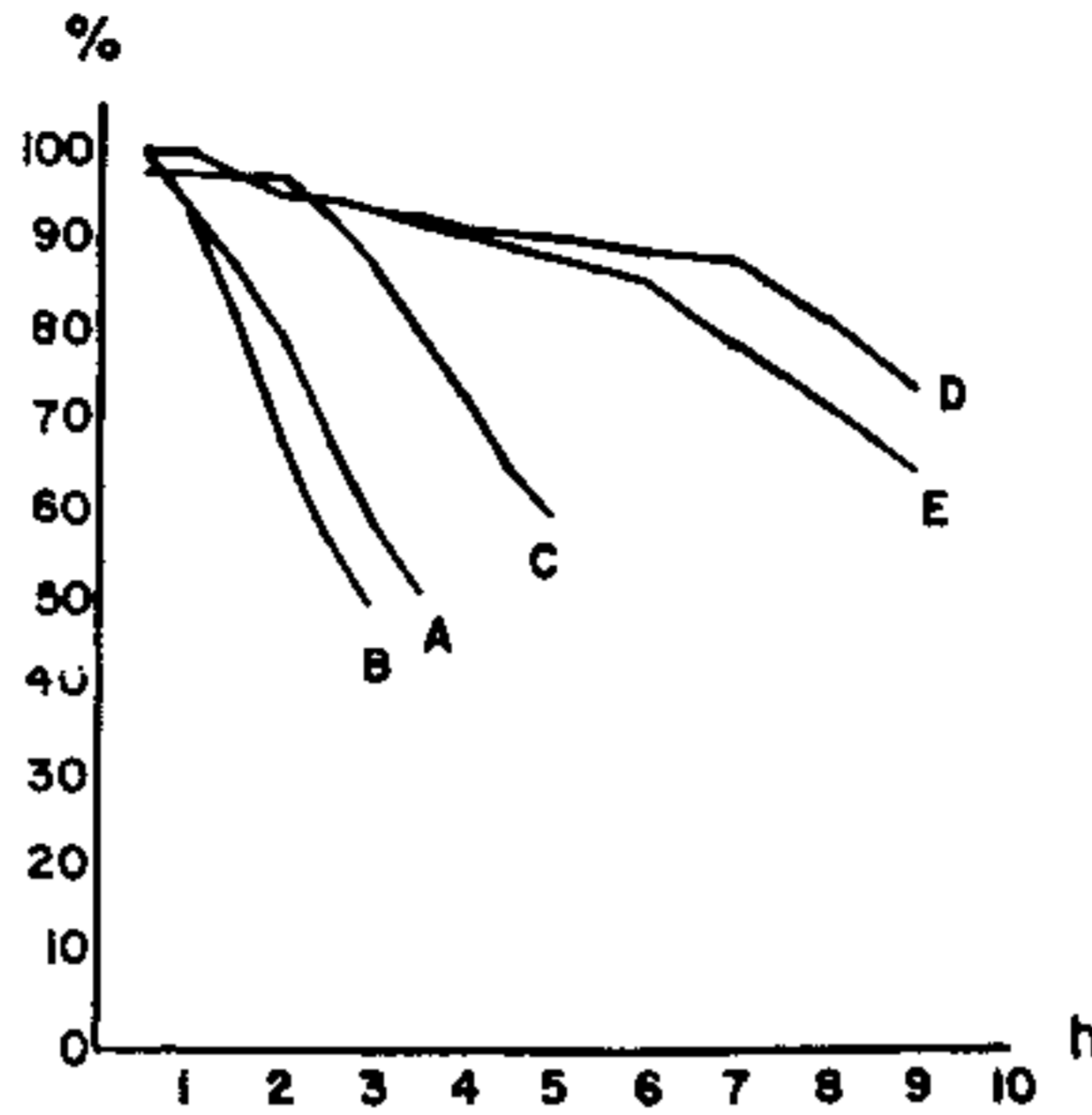


FIGURA 4

Porcentagem total de halotano adsorvida por carvão ativado (500 g) ao longo de tempos variáveis (resultados acumulados). Fluxos de 3, 6 e 12 l/min de  $N_2O$  (50%) mais  $O_2$  (50%) e halotano em concentrações de 1, 2 e 4%. Para caracterização das curvas A, B, C, D e E ver legenda da Fig. 2.

quantidades diferentes de carvão ativado, o aumento de peso do material adsorvente cada 30 minutos, no início dos experimentos, foi igual nos três casos. Posteriormente, a diferença que entre eles se fez notar, aumentou com o passar do tempo. O período de adsorção eficiente variou diretamente

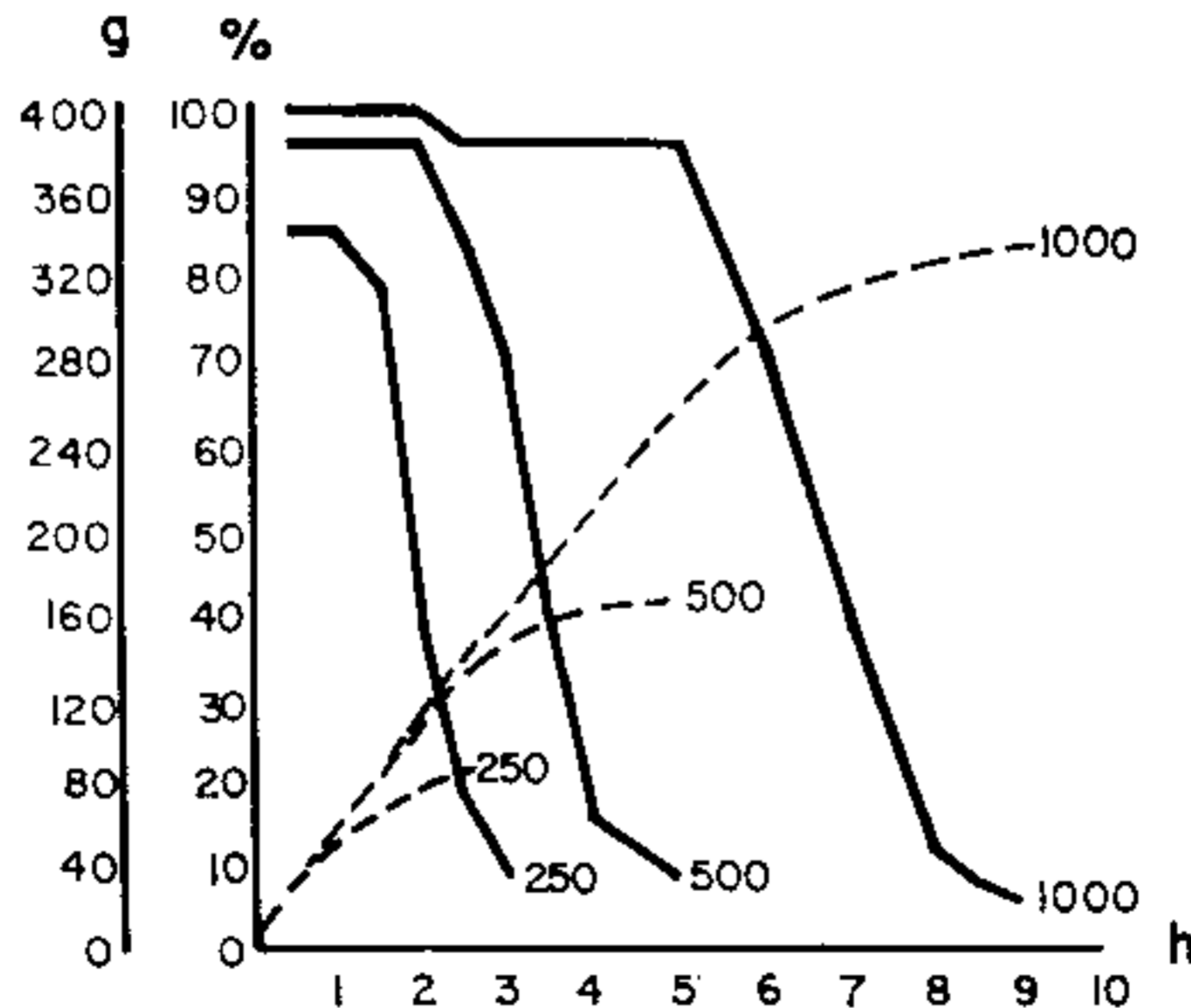


FIGURA 5

Importância da quantidade de carvão ativado empregada (250 g, 500 g e 1.000 g) na adsorção de halotano. Curvas ascendentes: aumento de peso (g). Curvas descendentes: percentagem de adsorção medida em períodos isolados de 30 minutos. Fluxo de 6 l/min de  $N_2O$  mais  $O_2$  em partes iguais. Halotano a 2%.

com a quantidade de carvão empregada. A quantidade de halotano adsorvida foi diretamente proporcional à de carvão ativado utilizada: 0,33 g de halotano por grama de carvão ativado, aproximadamente (Fig. 5). Quando empregados 1.000 g de material adsorvente, foi possível reter, por tempo superior a 5 horas, mais de 90% do halotano lançado no recipiente, ocorrendo evidente redução da adsorção quando o peso do carvão ativado atingiu pouco mais de 260 g acima do inicial.

*Importância da separação da quantidade de carvão ativado utilizada em dois recipientes superpostos* — A condução de substituição de parte do adsorvente empregado tornou possível manter a adsorção de halotano acima de 93% (Fig. 6).

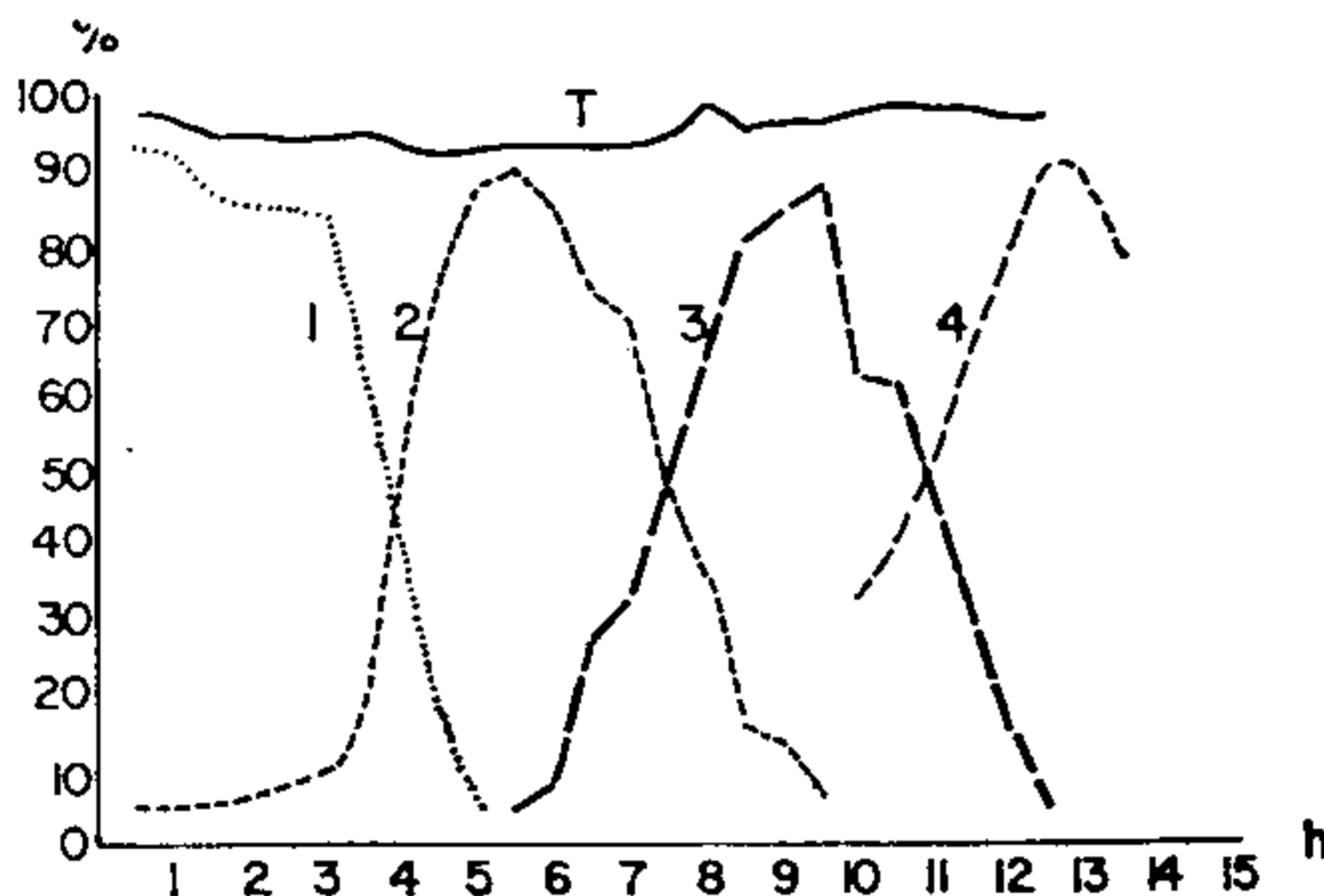


FIGURA 6

Adsorção de halotano por carvão ativado colocado em recipientes independentes (curvas 1, 2, 3 e 4), acoplados dois a dois, contendo cada um 500 g do material, e submetidos a fluxos de  $N_2O - O_2$  (50% — 50%) de 6 l/min e halotano a 2%. A curva T representa a porcentagem total de anestésico adsorvida por 1.000 g de carvão ativado. Maiores detalhes no texto.

*Interferência do tipo de gás* — Absorção de quantidades cada vez maiores de halotano foram obtidas quando o óxido nitroso foi substituído por oxigênio-óxido nitroso ou por oxigênio. Isto foi observado com todos os fluxos gasosos e todas as concentrações anestésicas. A Fig. 7 ilustra os dados encontrados com fluxos de 6 l/min e concentrações de 2%. Quando, depois do encerramento do experimento, o óxido nitroso foi substituído por oxigênio, houve possibilidade de adsorção de pequena quantidade adicional de halogenado,



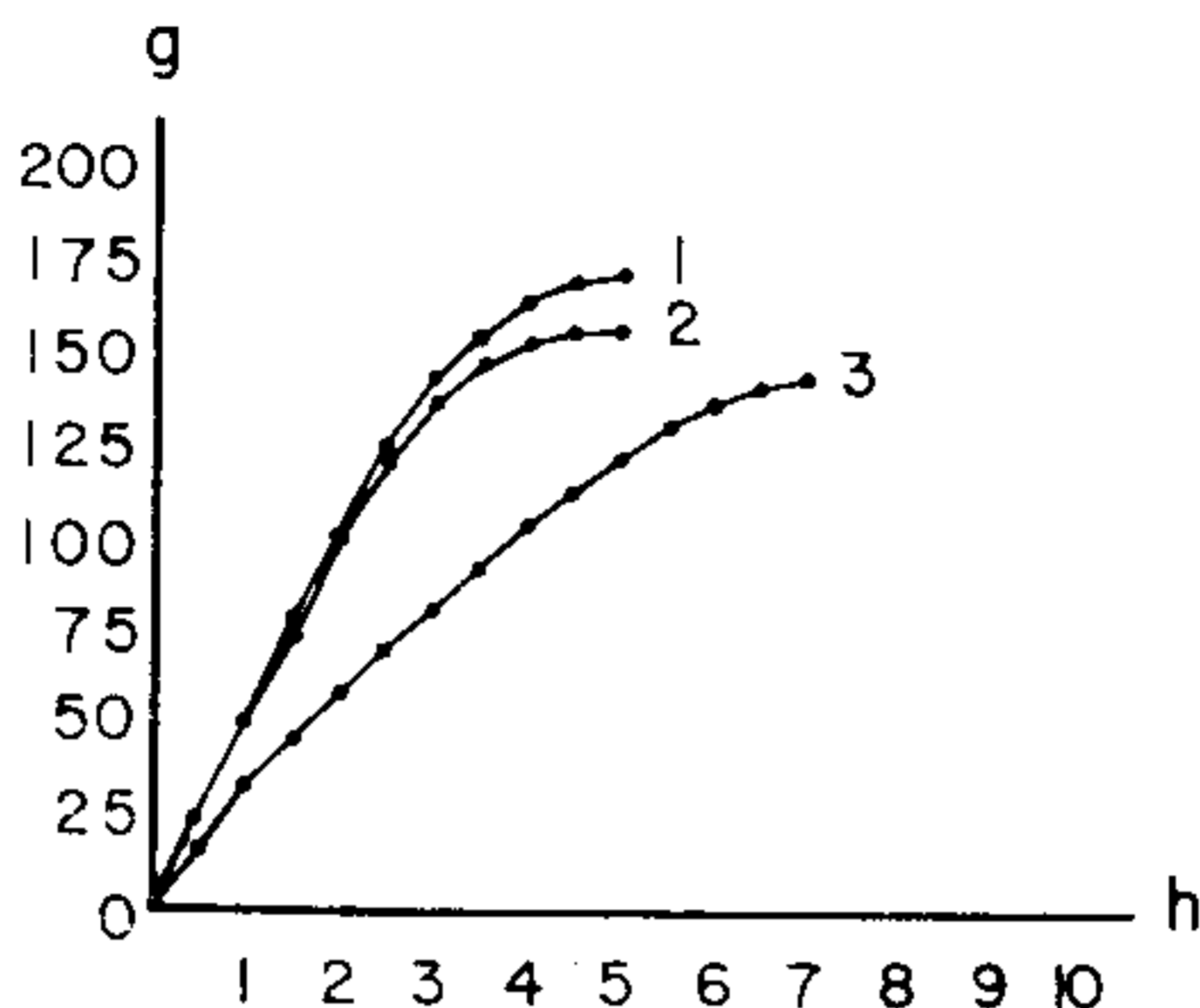


FIGURA 7

Adsorção de halotano por carvão ativado (500 g) utilizando-se fluxos de 6 l/min e, como gás diluente, oxigênio (1), óxido nitroso mais oxigênio em partes iguais (2) e óxido nitroso (3); halotano em concentração de 2%.

embora inicialmente tenha sido observada ligeira perda de peso.

*Influência de fluxo intermitente* — Quando utilizados fluxos de gases e concentrações de halotano idênticos, mas de modo a que penetrassem intermitentemente no recipiente com carvão ativado, o ganho de peso deste e a duração da

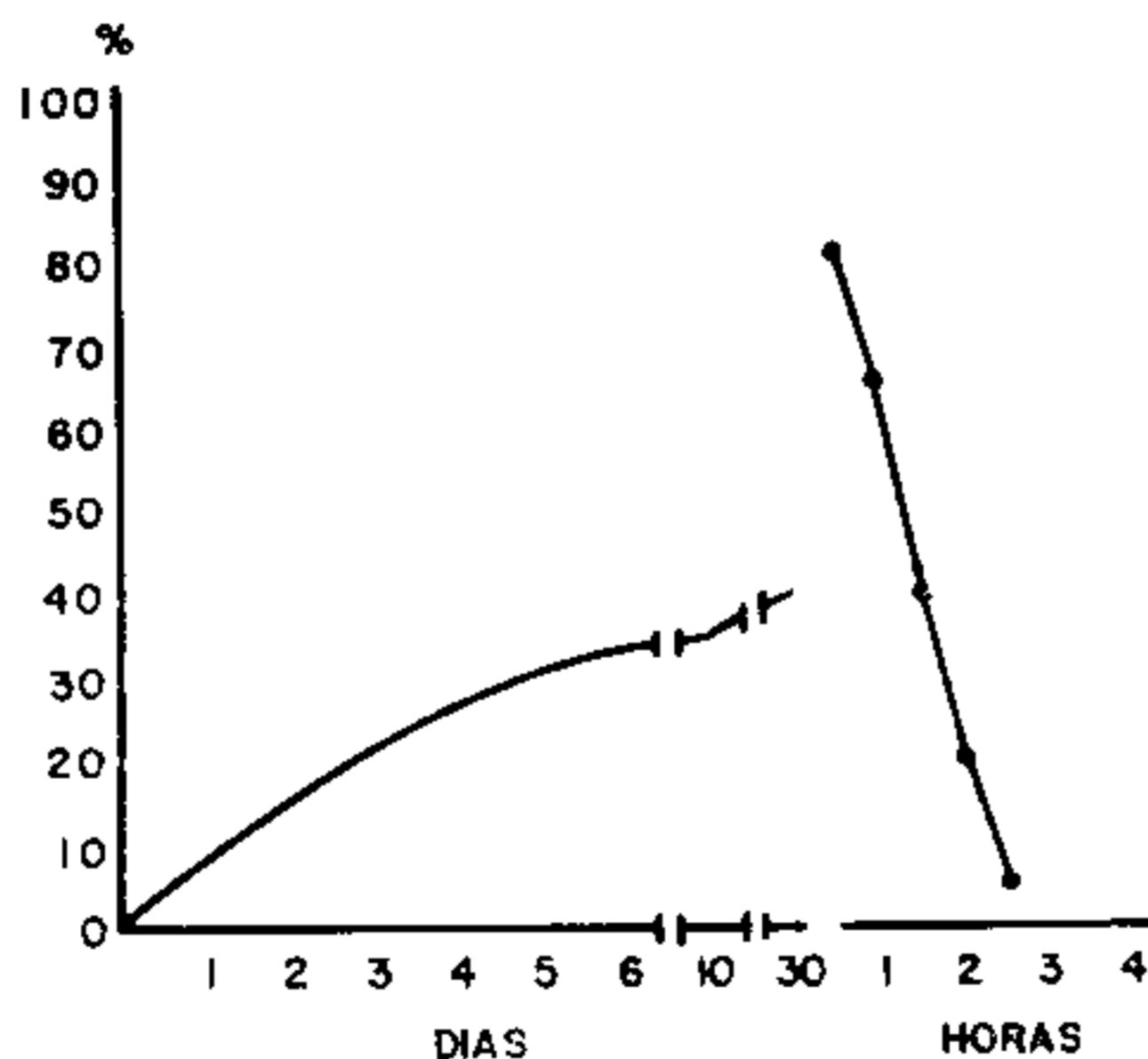


FIGURA 8

Curva ascendente: porcentagem de halotano eliminada espontaneamente no ambiente por 500 g de carvão ativado esgotado e deixado em repouso. Curva descendente: reaproveitamento do mesmo material para adsorção, utilizando-se fluxo de 6 l/min de  $N_2O - O_2$  em partes iguais e halotano a 2%.

adsorção foram ligeiramente menores do que quando empregados fluxos contínuos.

*Resistência oferecida ao fluxo de gases* — Quando utilizados fluxos gasosos de 5 l/min, em nenhum dos recipientes testados, antes ou após o esgotamento do carvão ativado, foi encontrada resistência superior a 0,2 cm H<sub>2</sub>O. Com fluxos de 40 l/min, ela foi, em média, 0,6 cm H<sub>2</sub>O (aproximadamente 1 cm H<sub>2</sub>O / 1 / seg).

*Perda de halotano a partir de carvão ativado utilizado* — Colocado em repouso após ter sido usado, o carvão ativado permitiu perda de halotano inicialmente de maneira bem evidente. Depois de 10 dias, o processo tornou-se extremamente lento (Fig. 8). Quando fluxos de 2 l/min ou de 12 l/min fluíram através de recipientes recentemente esgotados, inicialmente houve perda de grandes quantidades do haloge-

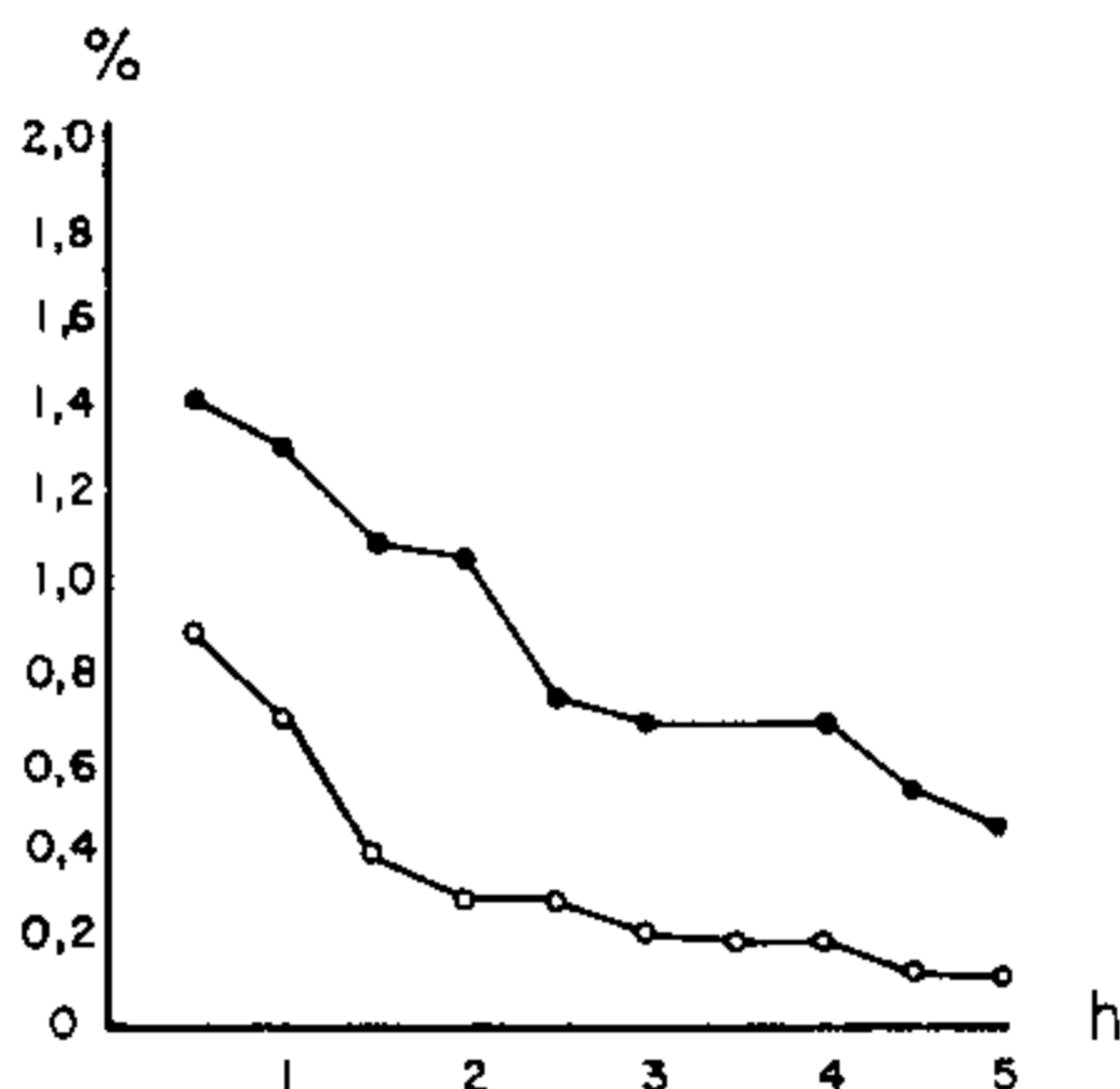


FIGURA 9

Porcentagem de halotano perdida de carvão ativado (500 g) esgotado, quando por ele fluíram 2 l/min (●) ou 12 l/min (○) de oxigênio.

nado, que diminuíram na medida em que o tempo passou (Fig. 9). O mesmo fato foi observado quando testado carvão ativado parcialmente usado.

*Possibilidade de reaproveitamento de carvão ativado parcialmente regenerado* — Houve evidente perda da eficiência da adsorção quando carvão ativado previamente utilizado foi testado (Fig. 8).

*Absorção de halotano em condições clínicas* — Os resultados obtidos com o uso clínico de carvão ativado podem ser vistos na Fig. 10. A duração da capacidade de adsorver com-

pletamente o halogenado variou entre 15,3 e 19,6 horas (média: 17,8 horas). Nesse tempo, 1.000 g de carvão ativado puderam reter, em média, 142 g de halotano.

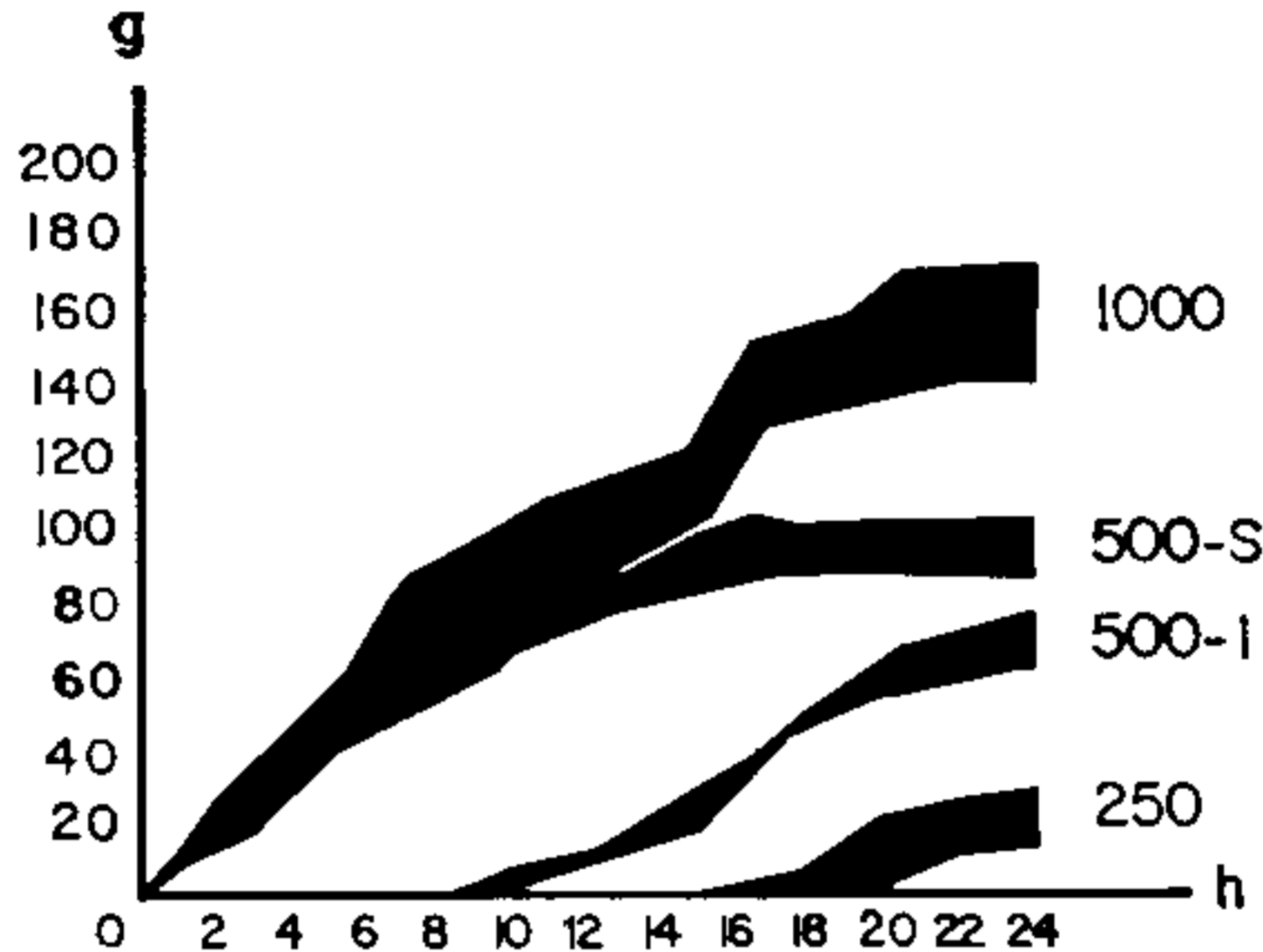


FIGURA 10

Adsorção de halotano por carvão ativado, em procedimentos clínicos. Em negro, são observadas as faixas de variação de peso, ao longo do tempo, dos diversos conjuntos contendo 250 g (controle), 500 g (inferior e superior) e 1.000 g (num só recipiente ou separados nos recipientes I e S). Maiores detalhes no texto.

## DISCUSSÃO

A adsorção de halotano por carvão ativado foi estudada anteriormente através da determinação da concentração da droga na entrada e na saída do recipiente portador do adsorvente (2,6,10,13,15,17,19). Ficou evidenciado que tais resultados podem ser perfeitamente comparados àqueles obtidos pelo controle do peso do material, que é indicador útil para a verificação do grau de exaustão do carvão ativado. Em estudos deste tipo, tanto a temperatura ambiente como a pressão barométrica local deveriam ser registradas durante o transcorrer das experiências; contudo, pequenas variações desses dois fatores não têm efeito apreciável nos resultados (19), o que também pode ser deduzido pela aplicação da fórmula anteriormente apresentada. É possível que uma série de pequenos erros em fluxômetros, vaporizadores, peso e acondicionamento do carvão ativado etc, possam alterar resultados de pesquisas semelhantes; também é sabido que tubos de plástico ou de borracha permitem difusão de halotano através de suas paredes (6,15).

A adsorção de anestésicos por carvão ativado é um processo físico, ao contrário, por exemplo, da absorção de gás carbônico pela cal sodada (11,13). Diferenças na atração intermolecular entre os componentes da mistura gasosa e o adsorvente sólido são responsáveis pelo fenômeno; dessa forma, componentes selecionados da mistura são concentrados na superfície sólida, em maior proporção que outros, e removidos da fase gasosa (11). Sendo um processo exotérmico, a temperatura do carvão ativado eleva-se durante a adsorção de um anestésico (11). Isto pode produzir interferência no funcionamento do adsorvente (4,11,18), mais evidente quando altas concentrações de éter etílico são empregadas (4).

O óxido nitroso é fracamente adsorvido por carvão ativado, excepto em temperaturas inferiores a  $-50^{\circ}\text{C}$  (10). Em virtude de seu baixo peso molecular, ele tem possibilidade de penetrar em poros menores do carvão ativado, que não são acessíveis a outros anestésicos de maior peso molecular (11).

A adsorção de halotano por carvão ativado varia na dependência de vários fatores. Nossos resultados demonstraram que a quantidade de halogenado adsorvida por certo peso de adsorvente num determinado tempo foi tanto maior quanto mais alto o fluxo gasoso para certa concentração, quanto mais elevada a concentração do halogenado num fluxo gasoso fixo e, portanto, quanto maior a massa de halotano lançada no recipiente. A observação das curvas D e E da Fig. 4, que representam de maneira mais próxima aquilo que mais comumente ocorre em clínica, permite deduzir que o emprego do processo ocasiona alta porcentagem de adsorção do halogenado, por bom tempo, e, portanto, possibilidade de grande diminuição da poluição da sala cirúrgica.

O valor da quantidade de carvão ativado empregada pode ser deduzida dos resultados que obtivemos, semelhantes aos encontrados por Murrin (14). Este autor obteve adsorção de 0,17-0,37g de halotano por grama de carvão ativado. Tem sido recomendado que na prática clínica se use 1.000 g do adsorvente. Foi possível obter adsorção eficiente e por bom tempo quando utilizamos tal quantidade de material. Entretanto, a observação da Fig. 5 proporciona verificar que, mesmo com o emprego dessa quantidade de carvão ativado, a adsorção do halogenado só foi verdadeiramente adequada por determinado tempo de uso, após o qual diminuiu rapidamente. Isso implica em adsorção efetiva por determinado período e perda de parte do material adsorvente ou uso de carvão ativado até seu esgotamento e, naturalmente, emprego do mesmo em condições cada vez mais desfavoráveis.

Os dados que obtivemos com respeito à influência do gás diluente nas quantidades de halotano adsorvidas não confirmaram aqueles de Vaughan e col. (19). Estes autores não encontraram diferenças nos resultados quando empregaram óxido nitroso, gás carbônico ou oxigênio. A possibilidade de adsorção de pequena quantidade adicional de halotano quando o óxido nitroso foi substituído por oxigênio, em nossos estudos, provavelmente decorreu da eliminação imediata do gás anestésico.

O uso de fluxo gasoso intermitente reduziu a quantidade de halotano adsorvida e o tempo de utilidade do carvão ativado. Resultados semelhantes foram encontrados por Vaughan e col. (19). Também Hawkins (10) e McIntyre e col. (13) chamam a atenção para a influência do fluxo gasoso na quantidade final de droga adsorvida. A observação tem importância dado o amplo uso da respiração controlada em anestesiologia.

Quanto à resistência oferecida pelo carvão ativado, resultados semelhantes aos nossos foram encontrados por Vaughan e col. (19). Também Hawkins (10), estudando vários tipos de recipientes, obteve valores que oscilaram entre 0,4 e 1,6 cm H<sub>2</sub>O. Resistência consideravelmente altas podem resultar pelo uso de carvão ativado moído; assim, o acondicionamento correto do material adsorvente é essencial (19).

Um recipiente com carvão ativado utilizado não pode ser mantido em lugar que não deve ser poluído. Nossos resultados mostraram isso. Também Enderby e col. (7) encontraram emissão de halotano por carvão ativado mesmo depois de 150 dias de repouso. Assim, uma vez saturado, é imperiosa a eliminação do material por incineração ou por outro meio adequado, se se quiser evitar contaminação ambiental desnecessária (7). A passagem de fluxos de oxigênio por carvão ativado total ou parcialmente usado pode contaminar o ambiente. Observações no mesmo sentido foram registradas por McIntyre e col. (13) e Murrin (14). Entretanto, os dados que obtivemos não confirmaram os de Murrin (13) quanto a relação fluxo de oxigênio / concentração de halotano emitida pelo carvão ativado. Na verdade, encontramos perda de halogenado em quantidades mais baixas, mas em concentrações mais elevadas, quando um fluxo menor de oxigênio foi empregado; é possível que a diferença de resultados tenha dependido das distintas condições de emprego do material adsorvente e de estudo, inclusive, como demonstrou esse autor, da massa de halotano adsorvida em cada recipiente durante os períodos diversos de uso do carvão ativado. De qualquer forma, o fato tem importância pois durante o emprego clíni-

co do carvão ativado, poderia acontecer o lançamento de halotano no ambiente cirúrgico desde que, embora a droga não tenha sido usada no procedimento anestésico ou seu uso tenha sido descontinuado, o recipiente com carvão ativado, parcial ou totalmente esgotado, permaneça conectado ao ramo expiratório do circuito anestésico.

A regeneração completa do carvão ativado é difícil. Tentativas que fizemos no sentido do reaproveitamento do material utilizado também produziram resultados precários, havendo evidente queda da eficiência, no que respeita à parcela de halotano adsorvida e ao tempo de uso. McIntyre e col. <sup>(13)</sup> encontraram resultados semelhantes. Capon <sup>(3)</sup> propôs condições especiais de tratamento do material em autoclave, buscando seu reaproveitamento, tendo conseguido repetidas vezes completa regeneração do adsorvente. Por outro lado, como decorrência da substancial quantidade de halotano que é adsorvida por cada grama de carvão ativado, a possibilidade de recuperação comercial da droga tem sido estudada <sup>(3,10)</sup> mas, dadas as dificuldades técnicas do procedimento, tal objetivo não pode ser ainda integralmente considerado.

Em clínica, o uso do carvão ativado mostrou-se extremamente útil, determinando adsorção praticamente completa do halotano, por várias horas. Assim, a substancial redução da poluição aérea da sala cirúrgica justifica o emprego do método em centros cirúrgicos mal ventilados ou inadequadamente equipados com sistemas de exaustão de gases e vapores anestésicos para o meio exterior. Outros autores encontraram resultados semelhantes, embora trabalhando em condições diferentes. Murrin <sup>(15)</sup> observou 73% de redução média da contaminação ambiental, dado considerado altamente significativo. Vaughan e col. <sup>(19)</sup> admitem que a utilização de halotano a 1% e de fluxo de gases de 2,5 l/min em sistema com absorção de gás carbônico permite supor um "tempo de adsorção" (tempo que leva o carvão ativado para deixar fluir pela parte inferior do recipiente que o contém 0.05% de halotano) de 18 horas, aproximadamente. Capon <sup>(3)</sup> acredita que o carvão ativado deve ser considerado esgotado quando o halotano efluente do recipiente possa ser detectado pelo sentido de olfato (5-10 p.p.m., fato este comprovado em diversas ocasiões e com vários pesquisadores portando detector de halotano). Para Enderby e col. <sup>(7)</sup>, deve-se considerar o carvão ativado como esgotado quando este não for capaz de reter pelo menos 100 p.p.m. de halotano; lembremos, entretanto, que a tendência atual é para permitir no máximo 1 p.p.m. dessa droga no meio ambiente.

Como pode ser deduzido dos dados apresentados, adsorção praticamente completa ocorre por tempo limitado. Posteriormente, a intensidade do processo cai progressivamente, tornando-se de uso cada vez menos interessante. Isto implica em controle rigoroso da eficiência da adsorção do anestésico, na prática nem sempre fácil, a fim de detectar o momento exato em que o carvão ativado deve ser substituído.

Poder-se-ia tomar como base o tempo de utilização do material adsorvente; isto implicaria em técnica padronizada e, assim mesmo, não seria procedimento totalmente seguro, já que o comportamento intra-operatório do adsorvente varia com as condições clínicas de trabalho e impede previsão precisa do tempo útil de emprego do carvão ativado.

Na rotina anestesiológica, apenas um método é passível de emprego: a determinação do peso do recipiente. Entretanto, deve ser levado em consideração que podem influenciar no controle periódico do peso do recipiente: o uso opcional de óxido nítrico e oxigênio em mistura ou deste último gás isoladamente, a maior ou menor participação do vapor d'água exalado pelo paciente, a eliminação de halotano e de óxido nítrico para o meio ambiente durante períodos de repouso do adsorvente e a canalização de gases e vapores que ocorre quando o recipiente é colocado em posição horizontal.

A possibilidade de uso de dois recipientes superpostos apresentaria como vantagem uma maior economia de carvão ativado; ele poderia ser utilizado até seu esgotamento praticamente completo, desde que haveria garantia de boa adsorção pelo material do recipiente inferior. Mesmo assim, para perfeita adequação às suas finalidades, o procedimento exigiria o controle cuidadoso do peso de cada recipiente, o que aumentaria ainda mais as necessidades de atenção para o problema. Dessa forma, para fins práticos, parece-nos que o melhor seria realmente eliminar o carvão ativado quando este atingir sua capacidade média de reter completamente o halotano. Uma garantia maior, embora implicando em conduta mais dispendiosa, poderia ser dada pelo emprego de um recipiente adicional com uma pequena quantidade de carvão ativado (controle), acoplado na parte inferior do conjunto principal. O início da adsorção do halotano pelo sistema controle indicaria o momento correto para descartar o carvão ativado em uso.

Deve ser reconhecido, ainda, que, além das dificuldades de controle da adsorção do anestésico, outros fatores impedem a perfeita profilaxia de contaminação do ambiente cirúrgico. O óxido nítrico é desprezivelmente adsorvido pelo carvão ativado, embora a inalação deste anestésico pela equipe

cirúrgica possa ser minimizada pela colocação do recipiente que contém o adsorvente no assoalho da sala operatória. Há muitas vezes escape de halotano pelas diversas conexões dos aparelhos de anestesia e entre a máscara e a face do paciente, bem como difusão do halogenado através de tubos de borracha ou plástico. Considerável poluição também pode acontecer quando do término de uma anestesia, enquanto o paciente aguarda transferência da sala operatória para outros ambientes hospitalares, período em que permanece eliminando anestésicos através da respiração; tal dificuldade poderia ser parcialmente contornada mantendo-se a máscara acoplada à face do paciente de tal forma a fazer com que anestésicos voláteis expirados passem pelo carvão ativado e a impedir sejam eles lançados no interior da sala cirúrgica.

### SUMMARY

#### HALOTHANE ADSORPTION BY ACTIVATED CHARCOAL AND PREVENTION OF ATMOSPHERIC POLLUTION IN HOSPITALS. CLINICAL AND EXPERIMENTAL STUDY

Several properties of activated charcoal as an adsorbent of halothane are studied. An experimental research on the influence of the type of diluting gas, continuous and intermittent flux of gases, hallogen concentration and the quantity of activated charcoal used as well as the resistance presented by the adsorbent to the flux of gases, the active and passive loss of halothane caused by exhausted activated charcoal and the possibility of reusing that material is made.

Concluding, the results obtained by the clinical use of activated charcoal for the adsorption of halothane are analysed.

### REFERÊNCIAS

1. Aono M, Sano M, Sawa T, Hori T & Ikezono E — Apud 14.
2. Bushman J A, Enderby D H & Askill S — The use of charcoal in a totally closed circuit for removal of halothane. *Br J Anaesth* 48:269, 1976.
3. Capon J H — A method of regenerating activated charcoal anaesthetic adsorbers by autoclaving. *Anaesthesia* 29:611, 1974.
4. Cundy J M — Adsorption of ether by activated charcoal. *Anesthesiology* 48:77, 1978.
5. Eichler J, Kukulinius K & Naumann P — Apud 10.
6. Enderby D H, Askill S & Busman J A — Investigations of some aspects of atmospheric pollution by anaesthetic gases. I: Difusion of halothane across plastic and rubber tubes. *Br J Anaesth* 49:567, 1977.
7. Enderby D H, Bushman J A & Askill S — Investigations of some aspects of atmospheric pollution by anaesthetic gases. II: Aspects of adsorption and emission of halothane by different charcoals. *Br J Anaesth* 49:567, 1977.
8. Epstein H G — Removal of ether vapour during anaesthesia. *Lancet* 1:114, 1944.
9. Faria M G & Nonato L B P — Uso de carvão ativado em canestrel de plástico como método antipoluidor em anestesia. *Rev Bras Anest* 26:284, 1976.



10. Hawkins T J — Atmospheric pollution in operating theatres — a review and a report on the use of re-useable activated charcoal canisters. *Anaesthesia* 28:490, 1973.
11. Kim B M & Sircar S — Adsorption characteristics of volatile anesthetics on activated carbons and performance of carbon canisters. *Anesthesiology* 46:159, 1977.
12. Maggs F A P & Smith M E — Adsorption of anaesthetic vapours on charcoal beds. *Anaesthesia* 31:30, 1976.
13. McIntyre J W R & Russell J C — Removal and recovery of halothane and methoxyflurane from waste anaesthetic vapours. *Can Anaesth Soc J* 14:333, 1967.
14. Murrin K R — Adsorption of halothane by activated charcoal further studies. *Anaesthesia* 29:458, 1974.
15. Murrin K R — Atmospheric pollution with halothane in operating theatres — a clinical study using activated charcoal. *Anaesthesia* 30:12, 1975.
16. Nesi J A — Nociones de física aplicada a la anestesiología. *Rev Argent Anest* 32:3, 1974.
17. Schulze H H, Kästner D & Lange P — Zur frage der chronischen toxicität von halothankonzentrationen in der operationssaalluft. *Anaesthesist* 18:378, 1969.
18. Sircar S & Kim B M — Correspondence. *Anesthesiology* 48:78, 1978.
19. Vaughan R S, Mapleson W W & Mushin W W — Prevention of pollution of operating theatres with halothane vapour by adsorption with activated charcoal. *Br Med J* 1:727, 1973.
20. Vaughan R S, Willis B A, Mapleson W W & Vickers M D — The Cardiff Aldavac anaesthetic-scavenging system. *Anaesthesia* 32:339, 1977.