

# CONTRADIFUSÃO ISOBÁRICA



## Como Duas Agências de Mergulho Técnico Abordam a Contradifusão Isobárica

A NAUI é uma das poucas agências de treinamento que oferece protocolos específicos para lidar com a Contradifusão Isobárica (ICD). Aqui, o Instrutor Treinador e Examinador da NAUI TEC, Daniel Millikovsky, explica a abordagem deles para minimizar os riscos de ICD com base em seu Modelo de Bolhas de Gradiente Reduzido (RGBM). Em seguida, o Instrutor Treinador e Avaliador da GUE, Richard Lundgren, explica a posição da GUE sobre o assunto. O gás se difunde nos dois sentidos!

### **Não é Teoria — É Fato! Como a NAUI TEC Gerencia a Contradifusão Isobárica**

por Daniel Millikovsky

Existe certa confusão na comunidade de mergulho técnico sobre se devemos ou não prestar atenção a essa lei física ao planejar trocas de gás, particularmente durante a subida. Aqui estão alguns fundamentos sobre o tema e como a divisão técnica da NAUI, a NAUI TEC, tem tratado essa questão em treinamentos e operações de mergulho desde 1997.

**Fato:** A contradifusão isobárica é um mecanismo real de transporte de gases. Precisamos prestar atenção a isso em mergulhos com gases mistos.

**Ficção:** A contradifusão isobárica é apenas um conceito teórico de laboratório e não afeta os mergulhadores.

Do livro NAUI Technical Diver (manual):

A contradifusão isobárica (ICD) descreve um mecanismo real de transporte de gases no sangue e nos tecidos de mergulhadores que utilizam hélio e nitrogênio. Não é apenas uma invenção teórica, e tem impactos importantes no mergulho técnico. Foi primeiramente observada em laboratório por Kunkle e Strauss em experimentos com bolhas, é uma lei física básica, foi estudada pela primeira vez em mergulhadores por Lambertsen e Idicula, amplamente relatada em revistas médicas e de fisiologia, e é aceita pela comunidade científica da descompressão em todo o mundo.

Isobárico significa “pressão igual”. Contradifusão significa dois ou mais gases difundindo-se em direções opostas. Para mergulhadores, os gases envolvidos são os gases inertes nitrogênio e hélio, e não gases metabólicos como oxigênio, dióxido de carbono, vapor de água ou gases traço da atmosfera. Especificamente, a ICD em mergulhos com misturas gasosas refere-se a esses dois gases inertes movendo-se em direções opostas sob a mesma pressão ambiente em tecidos e sangue. Para entender isso, é preciso considerar suas velocidades relativas de difusão. Gases mais leves se difundem mais rápido que gases mais pesados. Na verdade, o hélio (He) é sete vezes mais leve que o nitrogênio ( $N_2$ ) e se difunde 2,65 vezes mais rápido.

Se um mergulhador tem tecido saturado de nitrogênio, e o sangue estiver carregado de hélio, isso resultará em maior carga total de gás, porque o hélio se difunde para dentro dos tecidos e sangue mais rápido do que o nitrogênio se difunde para fora, aumentando as tensões de gases inertes.

Por outro lado, se um mergulhador tem tecidos carregados de hélio e o sangue estiver carregado de nitrogênio, ocorre o efeito oposto: o hélio será eliminado mais rapidamente do que o nitrogênio será absorvido, e a carga total de gases inertes será menor. Esse último caso é o que podemos chamar, no planejamento de descompressão, de um “ICD positivo”, mas é necessário escolher com cautela as frações de  $N_2$  durante a subida.

Além disso, o estudo de Doolette e Mitchell sobre a Doença Descompressiva do Ouvido Interno (IEDCS) mostra que o ouvido interno pode não ser bem modelado pelos algoritmos comuns (por exemplo, o de Bühlmann). Doolette e Mitchell propõem que a troca de uma mistura rica em hélio para uma mistura rica em nitrogênio — como é comum no mergulho técnico ao mudar de trimix para nitrox durante a subida — pode causar uma supersaturação transitória de gases inertes no ouvido interno e resultar em IEDCS.



Eles sugerem que as trocas de gases respiratórios de misturas ricas em hélio para misturas ricas em nitrogênio devem ser cuidadosamente programadas, ou em profundidade (considerando a narcose por nitrogênio) ou em águas rasas, para evitar o período de máxima supersaturação resultante da descompressão. As trocas também devem ser realizadas durante a respiração da maior pressão parcial de oxigênio inspirada que possa ser tolerada com segurança, levando em conta a toxicidade do oxigênio.

No caso de roupas secas preenchidas com gases leves, enquanto o mergulhador respira gases mais pesados, as lesões cutâneas resultantes são um efeito superficial, e a sintomatologia é denominada “ICD subcutânea”. Já as bolhas resultantes da troca de gases respiratórios de pesados para leves são chamadas de “ICD em tecidos profundos”, claramente não sendo um fenômeno superficial da pele. A conclusão é simples: não preencha suas roupas de exposição com um gás mais leve do que aquele que está respirando e evite trocas de gases de pesados para leves durante a descompressão. Em ambos os casos, o risco de formação de bolhas aumenta com o tempo de exposição.

De forma mais simples: procedimentos de leve para pesado reduzem a carga de gases, enquanto procedimentos de pesado para leve aumentam a carga de gases. É importante notar, no entanto, que nenhuma dessas questões de transporte cruzado ocorre no mergulho com rebreathers de circuito fechado (CCR).

## O Método NAUITEC

A ICD não é teoria científica, é fato. Compreender e evitar a ICD é a forma de reduzir a formação de bolhas e o aumento do risco de DCS (doença descompressiva), além de permitir uma prática de descompressão mais eficiente a longo prazo.

Mergulhos profundos com trimix requerem uma mistura com alto teor de hélio e baixo teor de nitrogênio [Nota: a NAUITEC estabelece uma profundidade narcótica equivalente (END) de 30 m, semelhante à da Global Underwater Explorers (GUE)]. A NAUITEC adota uma abordagem hierárquica para a descompressão com trimix baseada na redução de riscos.

Na sua regra preferida, chamada “Regra de Ordem Zero” (risco zero de ICD), a NAUITEC recomenda que os mergulhadores não troquem de misturas respiratórias de hélio para nitrogênio (nitrox) durante a subida. Em vez disso, os mergulhadores devem descomprimir utilizando o gás de fundo (trimix) até atingirem a parada de 6 m/20 pés, e então fazer a descompressão com oxigênio puro (O<sub>2</sub>). Isso reduz a carga de tarefas e minimiza as trocas de mistura.



Se o mergulhador quiser reduzir sua obrigação de descompressão e/ou adicionar um gás de descompressão profundo, deve mudar para uma mistura intermediária de descompressão, especificamente um trimix hiperóxico, também chamado de helitrox ou triox, com uma fração de oxigênio superior a 23,5%. Na prática, isso é feito substituindo o hélio por oxigênio, mantendo a fração de  $N_2$  igual, ou idealmente menor. Dessa forma, evita-se um “golpe de  $N_2$ ” ( $N_2$  slam) causado pela ICD. Importante notar que a NAUI recomenda que os mergulhadores mantenham sempre uma profundidade equivalente ao ar (END) de no máximo 30 m / 100 pés.

Essa é a prática que recomendamos e seguimos, acreditando que oferece menos risco do que a troca de um gás de fundo trimix para um nitrox enriquecido (EAN50) — isto é, 50%  $O_2$  / 50%  $N_2$  — a 21 m / 70 pés, que é uma prática comum na comunidade. O ponto central aqui é que os gradientes de absorção de nitrogênio são minimizados ao evitar a troca isobárica. **DEVE HAVER UMA ALTA RELAÇÃO BENEFÍCIO/RISCO** para se desviar da Regra de Ordem Zero!

As regras adicionais apresentam maior risco:

Primeira Regra de Ordem: Não realizar trocas de misturas respiratórias de hélio para nitrogênio abaixo de 30 m / 100 pés.

Segunda Regra de Ordem: Não realizar trocas de misturas respiratórias de hélio para nitrogênio abaixo de 21 m / 70 pés.

Essa última regra parece ser comum no mergulho técnico, mas certamente nunca foi formalmente testada. A recomendação é simples: diga não quando os riscos superarem os benefícios. Muitas vezes, o benefício de uma troca de gás não compensa o risco. A redução do risco deve ser sempre o objetivo principal.

# A GUE sobre a Contradifusão Isobárica

Por Richard Lundgren

A GUE não contesta a existência da Contradifusão Isobárica (ICD), já que ela é uma parte natural de como alcançamos eficiência na descompressão, ou seja, maximizando o gradiente entre os diferentes gases inertes nos tecidos do mergulhador e o gás que está sendo respirado. Isso é, às vezes, chamado de efeito positivo da ICD.

O outro lado da moeda, o efeito negativo da ICD, envolve um risco potencialmente maior de doença descompressiva (DCI), mais comumente em manifestações subclínicas que afetam o ouvido interno, causando a doença descompressiva do ouvido interno (IEDCS).

Embora a mecânica exata ainda não seja totalmente conhecida, um fator agravante potencial pode ser justamente a ICD, quando o gradiente resultante de uma troca de mistura de hélio para nitrox é muito grande. Isso é, por vezes, chamado de “golpe de nitrogênio” (nitrogen slam). Esse efeito ocorre quando um gás de difusão lenta é transportado para dentro de um tecido mais rapidamente do que um gás de difusão rápida é eliminado.

Um exemplo é a troca do gás de fundo, como um Trimix 15/55 (15% O<sub>2</sub>, 55% hélio, restante N<sub>2</sub>), para um gás de descompressão como o Nitrox 50 (50% O<sub>2</sub>, 50% N<sub>2</sub>) a 21 m / 70 pés. Isso pode resultar em supersaturação de alguns tecidos e, conseqüentemente, na formação de bolhas.

Com base apenas na teoria da ICD, alguém poderia concluir que qualquer troca de gás que não contenha hélio após um mergulho com trimix/heliox seria provocativa e aumentaria o estresse de descompressão. É aqui que a teoria acadêmica precisa ser ajustada à aplicação prática e às evidências empíricas.

A prática de “abandonar a mistura cedo e em profundidade”, que levou alguns mergulhadores a trocar para ar em grandes profundidades a fim de maximizar a liberação de hélio, foi comum nos primórdios da comunidade técnica. Porém, essa prática provavelmente resultava em maior risco não apenas de DCI, mas também de narcose por gases inertes e dos problemas associados a ela. Essa prática, como a maioria provavelmente sabe, nunca foi adotada pela GUE.



Pelo contrário, a GUE foi a primeira organização a defender o uso de gases enriquecidos com hélio em mergulhos mais profundos que 30 m / 100 pés, tanto para gás de fundo quanto para gás de descompressão. Fomos também defensores precoces da troca de um gás de fundo à base de hélio para Nitrox 50 em circunstâncias especiais.

É importante deixar muito claro, no entanto, que, entre a comunidade de mergulhadores ativos da GUE, não observamos indícios nem estatísticas significativas que indiquem aumento do risco ou da ocorrência de DCI ao trocar para Nitrox 50 como primeiro gás de descompressão após um mergulho a 72 m / 250 pés respirando Trimix 15/55. Para mergulhos mais profundos, utilizam-se gases adicionais de descompressão — todos eles contendo hélio.

Outro possível problema poderia ocorrer quando mergulhadores retornam temporariamente ao gás de fundo à base de hélio após descomprimir com Nitrox 50, mas antes de trocar para oxigênio puro, e/ou durante uma pausa de oxigênio na descompressão a 6 m / 20 pés. No entanto, com base em milhares de mergulhos de descompressão na comunidade GUE, não há relatos de que essas trocas tenham causado problemas. É importante observar que essas trocas ocorrem em profundidades rasas, e, portanto, com gradientes de pressão reduzidos.

A ICD superficial — isto é, quando o corpo está envolvido por um gás menos denso em comparação com o que está sendo respirado — é mais um problema teórico para mergulhadores, já que não utilizamos misturas com hélio para inflar roupas secas, por razões óbvias de condutividade térmica.

Curiosamente, as preocupações com a ICD podem parecer, à primeira vista, irrelevantes para mergulhadores de rebreather (CCR), partindo do pressuposto de que seu diluente permanece o mesmo durante todo o mergulho. Mas é importante lembrar que a maioria dos mergulhadores de CCR depende de bailout em circuito aberto, o que pode exigir trocas de gás.

## Mergulhe Mais Fundo:

Contracultura e Contradifusão: A Contradifusão Isobárica no Mundo Real

Nota: O British Sub Aqua Club (BSAC) recomenda que os mergulhadores considerem um máximo de 0,5 bar de diferença na  $PN_2$  no momento da troca de gás. Segundo o ex-líder técnico do BSAC, Mike Rowley,

“A recomendação não é absoluta, mas sim um valor orientativo flexível — então, uma diferença de 0,7 bar não vai trazer a Espada de Dâmoques sobre você.”

## Não é Teoria — É Fato! Referências:

NAUI Technical Diver, National Association of Underwater Instructors, 2000.

Wienke, B. R.; O’Leary, T. “Ins and Outs of Mixed Gas Counter Diffusion.” Tech Corner. Sources 3Q 2004: 45–47.

Wienke, B. R.; O’Leary, T. R. Isobaric Counterdiffusion, Fact And Fiction. Advanced Diver Magazine.

Wienke, B. R. Technical Diving in Depth.

Lambertsen, C. J.; Bornmann, R. C.; Kent, M. B. (eds). Isobaric Inert Gas Counterdiffusion. 22º Workshop da Undersea and Hyperbaric Medical Society. UHMS Publication Number 54WS(IC)1-11-82. Bethesda: Undersea and Hyperbaric Medical Society; 1979; 182 páginas.

Doolette, David J.; Mitchell, Simon J. (junho de 2003). “Biophysical basis for inner ear decompression sickness.” Journal of Applied Physiology, 94(6): 2145–2150.



Daniel Millikovsky é membro vitalício da NAUI (NAUI #30750). Ele atua exclusivamente como instrutor NAUI há 22 anos, sendo Course Director há 20 anos, e em 2016 tornou-se Course Director Trainer e representante na Argentina. Daniel é um NAUI Technical Instructor Examiner muito ativo (#30750L) em diversos cursos, incluindo mergulho com misturas de gases em OC (circuito aberto) e CCR (circuito fechado). Desde 2020, também faz parte do Comitê de Treinamento da NAUI. É proprietário da Argentina Diving, um centro NAUI Premier, de Desenvolvimento Profissional e de Treinamento Técnico, localizado em Buenos Aires, Argentina.

Daniel começou a mergulhar em 1993 como mergulhador CMAS e depois seguiu sua carreira na NAUI, tornando-se instrutor em 1998. Ele abriu seu primeiro NAUI Pro Scuba Center (DIVECOR) em Córdoba, Argentina. Entusiasta do ensino e treinamento, Daniel é um palestrante requisitado em várias conferências e feiras internacionais de mergulho.



Richard Lundgren é fundador dos grupos de mergulho Baltic Sea Divers e Ocean Discovery, na Escandinávia. Ele é Instrutor Trainer da GUE, Instrutor Examinador e membro do Conselho Diretor da organização.

Participou de inúmeras expedições subaquáticas em todo o mundo e é um dos mergulhadores de trimix mais experientes da Europa. Com mais de 4.000 mergulhos em seu histórico, Richard Lundgren integrou as expedições da GUE que mergulharam no Britannic (navio-irmão do infamado Titanic) em 1997 e 1999, além de ter participado de vários projetos de exploração de minas e cavernas na Suécia, Noruega e Finlândia.

Em 1997, em condições árticas, realizou o mergulho em caverna mais longo já executado na Escandinávia. Outros trabalhos de exploração de Richard incluem:

as filmagens do famoso submarino M1 para a BBC em 1999;

levantamentos com sonar de varredura lateral de galeões espanhóis carregados de ouro em Key West, Flórida, no ano 2000;

e a busca pela Frota do Almirante, um projeto em andamento que já resultou na descoberta de mais de 40 naufrágios intocados, perfeitamente preservados nas águas frias do Mar Báltico sueco