

# A COMPLEXIDADE DO MERGULHO SATURADO



Capitão de Corveta Wallace Felipe de Paiva Santos

## 1. UM BREVE HISTÓRICO

Os primeiros relatos da história do mergulho datam de 4 mil anos antes de Cristo, no Japão e na Coreia. Esse mergulho primitivo limitava-se à busca de alimentos e armamentos perdidos embaixo da água e à coleta de materiais de valor comercial. Com o passar dos anos, o mergulho foi evoluindo e dividido em três tipos: o mergulho livre, que é praticado apenas com o ar armazenado nos pulmões; o mergulho autônomo, em que o mergulhador armazena e carrega consigo todo o suprimento de ar necessário ao mergulho por meio de cilindros pressurizados e, por fim, o mergulho dependente, no qual o suprimento de ar é enviado da superfície até o mergulhador, por meio de mangueiras (CUNHA, 1999).

O salto histórico segue para 1531, quando Guglielmo de Lorena projetou o primeiro sino de mergulho. Equipamento rudimentar, semelhante ao sino de uma igreja, que possibilitava o acúmulo de ar no seu interior. Esse projeto foi evoluindo ao longo do tempo e foi reduzindo de tamanho, até que o sino deu origem a um capacete que recebia ar bombeado da superfície. Esse capacete acoplado a uma roupa impermeável deu origem ao escafandro, que foi largamente utilizado na atividade de mergulho (MIGUEL, 2018).

Os objetivos e desafios tornavam-se cada vez maiores, tanto na busca por atingir maiores profundidades quanto de tempo de permanência no fundo. Nesse sentido, além da evolução dos equipamentos ocorria também a evolução científica sobre fisiologia e decompressão por meio das experiências de Paul Bert e Haldane. Descobriu-se que o gás inerte em maior concentração no ar atmosférico, o nitrogênio, quando em determinadas pressões, possuía propriedades narcóticas que o tornava impróprio para mergulhos com profundidades elevadas. Desse modo, o nitrogênio deveria ser substituído por outro gás inerte com peso molecular

menor. Passou-se então a adotar como suprimento para os mergulhos profundos uma mistura gasosa artificial de hélio e oxigênio (heliox).

A utilização da mistura heliox elevou bastante a profundidade dos mergulhos, entretanto ainda havia outro problema: os longos períodos de decompressão após cada mergulho. Cada minuto embaixo d'água correspondia a horas de decompressão em uma câmara hiperbárica, o que impossibilitava mergulhos mais prolongados. Nesse contexto, foi percebido que, após um período entre 24 e 36 horas de exposição prévia a uma determinada pressão, o corpo humano para de absorver gás inerte, atingindo um estado de saturação. Atualmente sabemos que esse período é de 12 horas. Uma vez alcançado esse estado, não importa o tempo de exposição à pressão, ou seja, a duração do mergulho em altas profundidades, o tempo de decompressão não se altera.

Segundo Cunha (1999), após essas descobertas, em 1957, o Doutor Bond iniciou junto à Marinha dos Estados Unidos o projeto "Genesis" com o objetivo de aprofundar os estudos sobre a teoria da saturação. Em 1963, ingressando na última etapa do estudo, o objetivo era provar que o homem poderia viver 12 dias em estado de saturação respirando uma mistura heliox a uma profundidade de 60 metros. Ao final do projeto, e com o sucesso da experiência, o Doutor Bond abriu novos caminhos para o estudo da saturação e determinou o nascimento da inovadora técnica de mergulho.

## 2. O MERGULHO SATURADO

Com aplicações militares e civis, os procedimentos foram evoluindo e aperfeiçoados ao longo do tempo. No presente, a técnica de saturação está regulamentada para mergulhos até 300 metros de profundidade, com excursões excepcionais até 350 metros, embora, em 1992, tenha sido registrado pela empresa francesa

COMEX um mergulho experimental à profundidade de 701 metros. Nesse contexto, os cálculos de quantidades e percentuais de misturas gasosas ficaram cada vez mais específicos, e a quantidade e eficiência de equipamentos que visam tornar o ambiente hiperbárico menos insalubre e desconfortável também se elevou. Além disso, os dispositivos de monitoramento e controle de parâmetros físicos, essenciais para manutenção da saúde e prevenção de doenças relativas à pressão, também evoluíram ao longo dos anos. Desse modo, a necessidade de regulamentações de todas essas variáveis tornou-se inevitável. Atualmente, existem diversas leis, resoluções, publicações e manuais que regulam o mergulho saturado dentro e fora da Marinha do Brasil. Esse conjunto de regras estabelece velocidades de pressurização e descompressão, limites de operação, duração máxima e intervalos mínimos entre mergulhos, além de critérios para autorizar uma plataforma a realizar a atividade.

O mergulho saturado começa com um sistema principal denominado complexo hiperbárico, cuja função é prover moradia hiperbárica segura e confortável aos mergulhadores. Esse sistema consiste em um conjunto de câmaras hiperbáricas com camas, banheiros, capacidade de receber refeições e insumos para manter os mergulhadores em saturação por até 28 dias. Além disso, conta também com um sino de mergulho responsável por levar os mergulhadores até o local do trabalho submerso. Por se tratar de um espaço confinado, o ambiente hiperbárico apresenta diversas peculiaridades, como risco acentuado de incêndios, maior proliferação de parasitas e dificuldades de manutenção de condições de habitabilidade, como temperatura e umidade. Para isso, o complexo necessita de sistemas auxiliares capazes de monitorar e controlar em tempo integral toda a atmosfera em seu interior, bem como tudo o que ocorre dentro das câmaras. Assim, em todo complexo de saturação temos fônias individuais e de emergência, circuitos interno de TV, sistema de fornecimento de água potável, sistema de combate a incêndios locais e remotos, regeneradores capazes de renovar a atmosfera das câmaras, retirando o gás carbônico exalado pela respiração humana e fornecendo oxigênio, e sistema para controlar temperatura e umidade em seu interior. Além disso, o complexo também conta com um sistema

de recuperação que, devido ao elevado valor comercial dos gases empregados no mergulho, tem a função de recuperar todas as misturas utilizadas na saturação, a fim de reutilizá-las em mergulhos posteriores. Esse conjunto de equipamentos opera de forma ininterrupta e não permite falhas ou restrições, uma vez que a vida de todos que estão no interior da câmara depende integralmente do perfeito funcionamento desse complexo.

### 3. LOGÍSTICA

A respeito dos suprimentos que são fornecidos aos mergulhadores, temos um conjunto de misturas gasosas preparadas artificialmente com precisão ao décimo da porcentagem. Essas misturas são divididas por funções e faixas de profundidades, a fim de manter os níveis de pressões parciais de oxigênio dentro dos limites compatíveis com a vida humana, evitando assim uma hipóxia ou intoxicação. Elas podem ser fabricadas de forma manual, por diferenças de pressão ou por meio de equipamentos específicos, denominados *mixmakers*. Deve-se levar em consideração que a confecção manual é um processo lento e ineficiente, pois, além da imprecisão nas concentrações, o tempo para a homogeneização das misturas é bastante elevado. As principais misturas utilizadas serão descritas a seguir.

**Mistura de Pressurização:** essa é uma mistura pobre, isto é, com baixa concentração de oxigênio, pois já leva em consideração os 21% contidos no ar atmosférico dentro das câmaras. É esta mistura responsável por pressurizar todo o complexo hiperbárico, colocando-o na profundidade de trabalho.

**Mistura de Reboque:** consiste em uma mistura mais rica que a de pressurização, com a finalidade de repor as perdas diárias do complexo. Essas perdas ocorrem devido às passagens de refeições e equipamentos para o interior das câmaras, além das manobras sanitárias e drenos realizados nos banheiros. Essa mistura é responsável por manter a pressão no interior do complexo.

**Mistura de Mergulho:** essa é a mistura fornecida diretamente ao capacete dos mergulhadores quando estão, efetivamente, no local de trabalho. Possui elevada concentração de oxigênio, a fim de suprir os gastos calóricos gerados pelo trabalho submerso.

Junto com as misturas principais, o mergulho ainda necessita de misturas para situações específicas. No caso de uma contaminação acidental da atmosfera das câmaras, são utilizadas as “Misturas de Emergência”, que são divididas em concentrações e faixas de profundidades. Na concentração de 21% de oxigênio, para a faixa de 0 a 45 metros; de 8,5% de oxigênio, para a faixa de 45 a 120 metros; e 3,7% de oxigênio, para a faixa de 120 a 300 metros. Para as situações de tratamentos de possíveis doenças relacionadas à pressão temos as “Misturas Terapêuticas”, que também são divididas de forma análoga à anterior. Na concentração de 100% de oxigênio, para a faixa de 0 a 15 metros; 60% de oxigênio, para a faixa de 15 a 30 metros; 35% de oxigênio, para a faixa de 30 a 55 metros; 21% de oxigênio, para a faixa de 55 a 110 metros; 12,5% de oxigênio, para a faixa de 110 a 180 metros; e 8% de oxigênio, para a faixa de 180 a 300 metros. Além das misturas citadas acima, soma-se o armazenamento de oxigênio puro para a reposição do consumo diário gerado pelo metabolismo dos mergulhadores.

#### 4. PESSOAL

Tão importante quanto toda a logística, equipamentos e plataforma é a mão de obra empregada em sua realização. Segundo a publicação que regula o mergulho profundo na Marinha do Brasil, além de uma equipe médica composta por médico e enfermeiros hiperbáricos permanentemente guarnecida, a equipe mínima para realizar um mergulho saturado é composta por 22 pessoas com funções indispensáveis a uma operação, entre elas mergulhadores, técnicos de saturação, mecânicos, técnicos de eletrônica, eletricitas e demais especializações que se revezarão em turnos de serviço de 8 ou 12 horas por até 28 dias, a fim de manter a operação assistida em tempo integral.

Apesar da formação básica, habilitar o militar a realizar a técnica e compor uma escala de serviço, o conhecimento e experiência apenas virão com o volume de operações realizadas. Todo o pessoal envolvido na saturação, junto com os responsáveis pela condução da plataforma, necessita de adestramentos intensos e constantes, pois, dessa maneira, é possível realizar uma operação com o nível adequado de segurança.

#### 5. O DESAFIO DO MERGULHO SATURADO NA SUBSAR

Como exposto, a técnica do mergulho saturado requer grande mobilização de pessoal e sistemas. A elevada disponibilidade dos equipamentos é condição imprescindível para sua realização. Todo esse aparato logístico requer tempo e um planejamento minucioso para sua execução, e isso nos leva a fazer o seguinte questionamento: como podemos estar prontos para realizar uma operação de mergulho saturado para apoio a um submarino sinistrado, quando muitas das vezes desconhecemos a profundidade do sinistro? De fato, isso é perfeitamente possível, entretanto alguns fatores irão determinar o tempo de reação para intervir em um submarino antes do seu oxigênio se esgotar.

Partindo da premissa de que todos os equipamentos e sistemas estão operando de forma satisfatória e todo o pessoal necessário para compor uma operação encontra-se adestrado e disponível, esbarramos nas questões logísticas de suprimentos e insumos. É possível diminuir de forma considerável o tempo de reação com a estocagem prévia das Misturas de Emergência e Misturas Terapêuticas, pois estas não dependem da profundidade do mergulho. Sendo assim, já de posse dos gases primários para a confecção das misturas principais, e com a utilização de um misturador de gases, é possível fabricar as Misturas de Pressurização, Reboque e Mergulho de forma mais expedita e até mesmo já em um possível deslocamento do navio para o local do sinistro. Desta forma, o tempo de reação se torna consideravelmente abreviado, o que possibilita uma intervenção ou resgate com sucesso.

#### 6. O FUTURO DO MERGULHO SATURADO

Apesar do conhecimento das técnicas e fisiologia humana, assim como todo avanço tecnológico obtido, o mergulho saturado continua sendo uma atividade perigosa. O risco se dá devido ao grande número de variáveis que entram na equação para uma operação bem-sucedida. No passado, ocorreram acidentes que serviram de ensinamentos, porém o mais importante foi o legado que essa atividade deixou. Entre diversos exemplos, podemos citar: o resgate de tripulações de submarinos sinistrados; a implementação e

reparos de campos submarinos dos setores energéticos e a ampliação da capacidade de comunicação, com passagem e manutenção de cabos submarinos.

Cabe ainda ressaltar que, como em diversos segmentos da sociedade, o homem vem perdendo espaço para as máquinas, e no mergulho não é diferente. Além disso, devido ao elevado custo de uma operação e os riscos normais característicos da atividade, é preferível, sempre que possível, a substituição dos mergulhadores por máquinas subaquáticas capazes de realizar diversos tipos de trabalho. Com capacidade de carga maior que a de um ser humano e dotadas de sensores de última geração, os chamados *Remoted Operated Vehicle* (ROVs) são, em diversas situações, opções mais eficientes para determinados serviços.

No entanto, mesmo com toda a tecnologia embarcada e a ausência de fatores fisiológicos limitantes, os ROVs ainda possuem suas restrições. Tarefas com elevado grau de precisão, locais confinados, baixa visibilidade e necessidade de

improviso ainda são desempenhadas melhor por humanos. Isso nos leva à conclusão de que, por mais que a tecnologia venha para dividir espaço, o homem ainda continua sendo a ferramenta mais completa, o que garante a perpetuação do mergulho saturado por muitos anos.

## REFERÊNCIAS

Comando da Força de Submarinos. **Manual de Procedimentos de Mergulho Profundo** (ComForS-657). 1ª Revisão. 2011.

CUNHA, Pedro Paulo. História do Mergulho: Nos tempos do Escafandro. **Revista Scuba**, n. 35, 1999. Disponível em: <http://www.techdiving.com.br/>. Acesso em: 11 mar. 2023.

MIGUEL, Luis. **Conheça a História do Mergulho**. Letsdive, 2018. Disponível em: <http://www.letsdive.com.br/>. Acesso em: 12 mar. 2023.