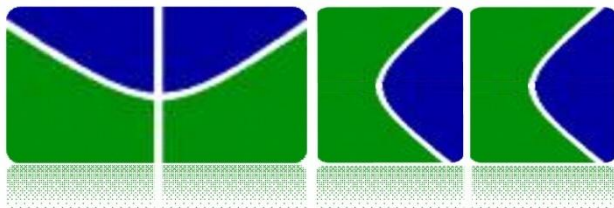


Trabalho de Conclusão de Curso

Licenciatura em Ciências Naturais



A Física do mergulho

José Edinaldo Rodrigues dos Santos

Orientador: Armando de Mendonça Maroja

Universidade de Brasília

Faculdade UnB Planaltina

Março / 2013

Agradecimentos

Agradeço aos meus familiares (esposa, filha, mãe e irmãos) por me apoiarem, estimularem e por serem pacientes; ao meu orientador professor Armando Maroja por dirimir as minhas dúvidas, pela paciência e pela compreensão dispensadas; ao professor Ismael pela compreensão, ajuda e disposição em participar da banca; aos demais professores por compartilharem seus conhecimentos; aos colegas e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma forma para que esse sonho se realizasse. Finalmente agradeço a Deus por sempre permitir o recomeço e a transposição dos obstáculos ao longo do caminho.

A Física do mergulho

José Edinaldo Rodrigues dos Santos¹

Armando de Mendonça Maroja², orientador

Resumo

O homem sempre teve fascínio pelo desconhecido e, desde a antiguidade busca meios de explorar o ambiente subaquático. O mergulho subaquático começou em uma época em que o homem desconhecia os perigos desse meio e das mudanças fisiológicas às quais o nosso organismo fica submetido dentro dele. Os primeiros mergulhos foram motivados pela pesca, mas posteriormente, também tiveram fins militares e econômicos. Esses mergulhos inicialmente foram feitos prendendo-se a respiração ou usando “aparatos rudimentares” que permitiram que o homem ficasse submerso e, mesmo assim, conseguisse respirar embaixo da água. Ao entrarmos no mundo subaquático, sentimos a influência dos principais fatores que trazem risco à nossa saúde e que dificultam o mergulho: a falta de ar para a respiração, a elevada pressão da água e a baixa temperatura. Assim, por meio de uma análise bibliográfica este Trabalho de Conclusão de Curso busca mostrar os princípios físicos e químicos envolvidos na prática do mergulho, relacionando-os à saúde do mergulhador.

Palavras chave: mergulho, mergulhador, subaquático, apneia, narcose.

1. Introdução

Desde a Antiguidade o homem buscou meios de conseguir explorar um lugar até então desconhecido, o ambiente subaquático. A história do mergulho começa em uma época em que o homem desconhece os perigos desse meio e das mudanças fisiológicas às quais o organismo fica submetido dentro dele.

Edmonds, Lowry e Pennefather (1992) dizem que as origens do mergulho ficaram perdidas no tempo, mas que arqueólogos afirmam que o homem de Neanderthal, um humano primitivo, mergulhou em busca de alimento. Segundo os autores, a exploração subaquática avançou de um mergulho tímido em busca de alimentos às explorações maiores que abasteceram a comunidade com conchas, alimentos e pérolas.

Wienke (1994) diz que, além da procura por alimentos marinhos, os mergulhadores da antiguidade usaram o mergulho como estratégia militar para realizar emboscadas, pois, submersos conseguiam danificar ou, até mesmo, sequestrar navios inimigos. Segundo este autor, o historiador grego Herodotus registrou evidências de mergulhos realizados na época do rei persa Xerxes (519 AC), e também na época de Alexandre, O Grande (356 AC). Como os mergulhadores antigos conseguiam ficar

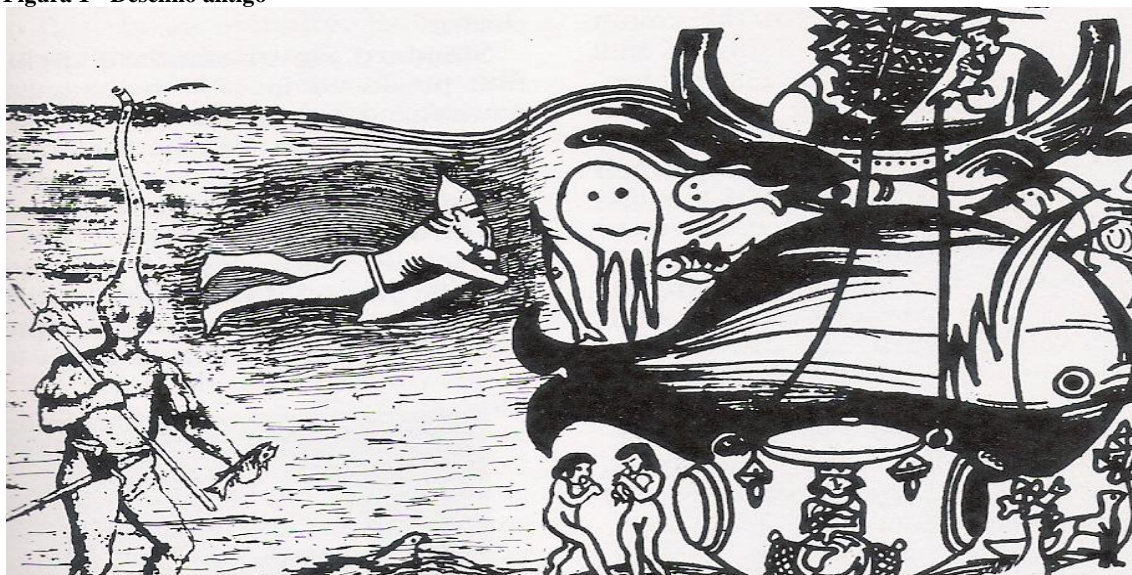
¹ Graduando do curso de Licenciatura em Ciências Naturais, UnB, Planaltina, DF.

² Doutor em Física, Coordenador do curso de Licenciatura em Ciências Naturais, UnB, Planaltina, DF

submersos? O autor nos diz que na antiguidade os mergulhadores submergiam prendendo a respiração (apneia) ou usando aparatos rudimentares (tais como tubos vegetais, etc.) que permitiam que eles ficassem submersos.

Edmonds, Lowry e Pennefather (1992) dizem que a história do mergulho com a utilização de algum artefato, aparato ou equipamento é longa e complexa e, que nessas histórias há um misto de verdade e lendas. A figura 1 retrata bem o que dizem os autores acerca do que fizeram os mergulhadores antigos para desbravar esse novo ambiente. Segundo eles, os mergulhadores pioneiros usaram tubos de madeira para a respiração e que, ao longo dos séculos foram testados aparatos como roupas especiais e receptáculos invertidos (os chamados sinos de mergulho), e que o próprio Alexandre, O Grande, teria feito uso de um desses receptáculos por volta do século III A.C. Segundo os autores, estudiosos famosos como, por exemplo, Leonardo da Vinci, contribuíram com esboços de conjuntos de mergulho, na grande empreitada de desenvolver trajes ou roupas que permitissem ao homem permanecer o maior tempo possível embaixo da água.

Figura 1 - Desenho antigo

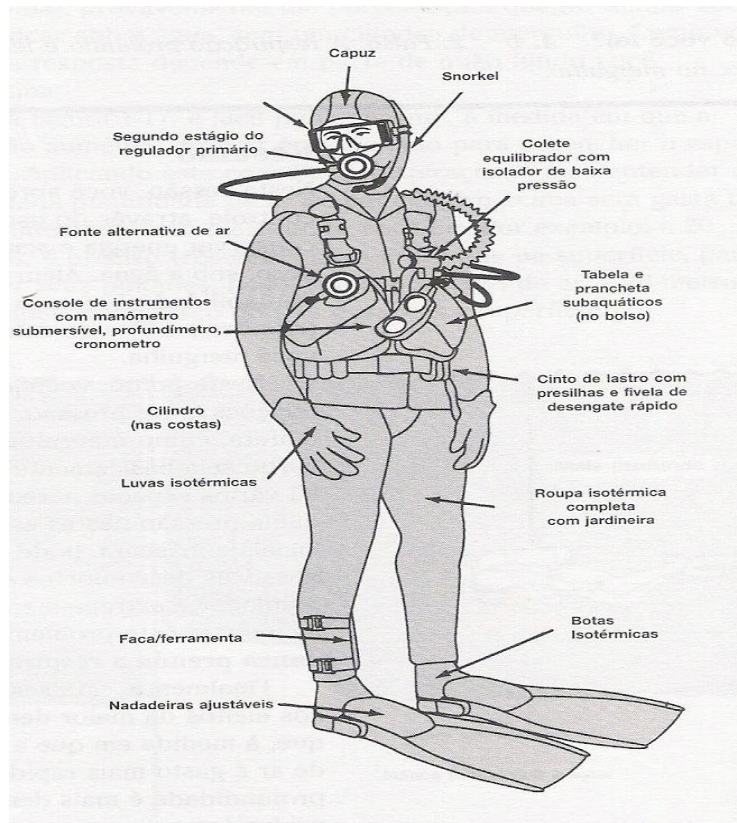


Fonte: EDMONDS, LOWRY E PENNEFATHER, 1992, P. 03

Segundo Wienke (1994), o mergulho moderno teve origem no século XX, devido aos diversos avanços tecnológicos que permitiram, entre outras coisas, que o mergulhador se libertasse de navios que ficavam ancorados na superfície e tivesse autonomia dentro da água, pois foi nesse século que as roupas atuais foram desenvolvidas e que as técnicas de mergulho autônomo, tal como praticado hoje, foram aperfeiçoadas.

A roupa e os equipamentos de mergulho atuais foram desenvolvidos de modo a resolverem os problemas iniciais enfrentados pelo mergulhador nesse novo ambiente no qual ele resolveu se aventurar, e fizeram com que as velhas limitações que lhe eram impostas fossem superadas, entretanto, novas limitações apareceram. Na figura 2 podemos ver um mergulhador moderno equipado e pronto para o mergulho.

Figura 2 - Mergulhador equipado



Fonte: PADI, 1995, p. 22

O equipamento de mergulho é composto por:

- Uma roupa de mergulho: confeccionada em um material especial (chamado de neoprene) similar à borracha, mas cuja condutividade térmica é bem menor e cuja durabilidade e resistência são maiores. A roupa recobre todo o corpo do mergulhador (luvas, botas, capuz e uma espécie de macacão para o corpo). Há dois tipos de roupa: a roupa seca (que não permite a entrada de água no seu interior) e a roupa úmida (que permite que uma pequena quantidade de água entre no seu interior e ali fique retida entre a roupa e o corpo do mergulhador, ajudando no seu isolamento térmico);
- Máscara: a atual máscara de mergulho é formada por uma única lente e tem a função de proteger os olhos do mergulhador e de permitir que ele tenha uma visão nítida do ambiente. Por envolver os olhos e o nariz também, permite que o mergulhador iguale a pressão no interior da máscara com a pressão externa, evitando, assim, um barotrauma nessa região;
- Snorkel: é um tubo plástico acoplado à máscara que o mergulhador usa para respirar quando está na superfície da água e com a cabeça submersa, economizando assim, o seu suprimento de ar;

- Nadadeiras: confeccionadas em neoprene, têm a função de aumentar a área pés do mergulhador ou nadador, permitindo que ele nade por longas distâncias sem fazer grandes esforços e sem se cansar;
- Cinto de lastro: é um conjunto composto por uma cinta de borracha e pequenas massas de chumbo. A sua função é compensar a flutuação adquirida em virtude do uso da roupa de neoprene. Assim, ajustando a quantidade de massas de chumbo do cinto de lastro, o mergulhador pode adquirir novamente flutuabilidade neutra;
- Cilindros metálicos: confeccionados em alumínio ou aço, têm a função de armazenar misturas de ar comprimido ou misturas de gases específicos que serão utilizados pelo mergulhador. A pressão de trabalho dos cilindros varia de 2250 a 3500 psi, ou seja, de aproximadamente 153 a 238 atmosferas. Os cilindros dispõem de torneiras que servem para fechar a passagem de ar e para suporte de acoplamento dos reguladores do equipamento de mergulho;
- Reguladores: foram projetados para reduzir a alta pressão do ar do cilindro a um nível usável. Eles só fornecem ar ao mergulhador quando este inala, evitando assim, que haja desperdício do suprimento de ar. É um aparato composto por poucas partes móveis e que tem dois estágios: o primeiro estágio (que é conectado ao cilindro) e o segundo estágio (que tem um bocal e é por onde o mergulhador inala o ar). A alta pressão do cilindro é sequencialmente reduzida em cada estágio. O primeiro estágio reduz a pressão do cilindro a uma pressão intermediária, da ordem de 7 a 10 atm acima da pressão ambiente. O segundo estágio reduz essa pressão intermediária do ar a uma pressão menor ainda, tornando assim o ar respirável. O ar é fornecido ao mergulhador pelo segundo estágio na mesma pressão da água da profundidade em que o mergulhador se encontra, fazendo com que ele respire sem maiores esforços;
- Colete equilibrador: é literalmente um colete que o mergulhador usa e pode inflá-lo para compensar a perda de flutuabilidade ocasionada pela compressão da sua roupa e do seu corpo pela pressão da água. Ao colete equilibrador é ligada uma das mangueiras que saem do regulador que é ligado ao cilindro e, por isso, fornece ar sob pressão ao simples acionamento de um dispositivo;
- Manômetro submersível: confeccionado em material resistente às altas pressões e que indica a quantidade de ar durante todo o mergulho, permitindo assim que o mergulhador fique ciente da quantidade de ar disponível. Os equipamentos mais modernos são eletrônicos e têm consoles que incorporam outros instrumentos, são verdadeiros computadores de mergulho e fornecem informações tipo: pressão no cilindro, profundidade máxima e atual, tempo de fundo e de superfície, etc.

Segundo Costa (2002), existem basicamente dois tipos de mergulho: o livre e o autônomo. O mergulho livre é aquele feito sem o uso de aparelhos para respiração e pode ser dividido em mergulho em apneia e o mergulho chamado de snorkeling. O autor diz que o snorkeling é a maneira mais fácil de se fazer o primeiro contato com o mundo

subaquático e pode ser praticado por qualquer pessoa, bastando para isso apenas o uso de um par de nadadeiras, uma máscara e um snorkel. Assim, pode-se nadar e dar curtos mergulhos em apneia (prendendo-se a respiração) em baixas profundidades. O mergulho em apneia é aquele em que o mergulhador, utilizando apenas o ar dos pulmões, desce a grandes profundidades. O autor diz que o mergulho autônomo é aquele no qual se utiliza aparelhos para a respiração subaquática independente de suprimento da superfície. O equipamento atual é conhecido como SCUBA (Self-Contained Underwater Breathing Apparatus) e é constituído pelos componentes citados anteriormente: máscara, snorkel, cilindros, reguladores, manômetros, etc.

Atualmente a atividade de mergulho é bastante popular e praticada com segurança. Entretanto, segundo Wienke (1994), em alguns países como, por exemplo, Japão e Coréia a pesca ainda é praticada da maneira antiga, ou seja, com mergulhadores submersos sem equipamentos de proteção e sem a utilização, obviamente, de gases para respiração. Segundo esse mesmo autor, o mergulho que inicialmente teve como fins a pesca de subsistência e fins militares, atualmente também tem fins comerciais e desportivos, tendo o mergulho, como prática desportiva, adquirido muitos adeptos.

Ao entrar nesse novo e desconhecido ambiente, o homem sente a influência dos principais fatores que se opõem ao mergulho: a falta de ar para a respiração, a elevada pressão da água e a baixa temperatura. Assim, a história do mergulho é baseada na luta do homem pela respiração e pelo prolongamento do tempo de permanência embaixo da água, o que fez com que o desenvolvimento do mergulho estivesse ligado ao aperfeiçoamento de dispositivos tecnológicos que permitissem ao homem cada vez mais segurança ao mergulhar.

O ambiente subaquático, por não ser um habitat natural de seres humanos, oferece muitos perigos à saúde caso não se tenha alguns cuidados. Como muito ainda se desconhece os perigos envolvidos na prática do mergulho, esse Trabalho de Conclusão de Curso tem o intuito de mostrar os princípios físicos e químicos envolvidos na prática do mergulho e a relação da não observação desses princípios com a saúde do mergulhador.

2. Objetivo Geral

- Estudar os princípios físicos e químicos envolvidos na prática do mergulho, relacionando-os à saúde do mergulhador.

2.1 Objetivos específicos

- Analisar as interações físicas e químicas ocorridas entre o meio e o mergulhador;
- Analisar os principais riscos do mergulho à saúde do mergulhador.

3. Metodologia

Foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre o tema a Física do mergulho, buscando-se identificar os princípios físicos e químicos envolvidos na prática do

mergulho e as eventuais implicações da não observação desses princípios à saúde do mergulhador.

4. Princípios físicos e químicos da prática do mergulho

a) A água

A água pura é um líquido incolor, inodoro e insípido que é, ao contrário do ar, quase incompressível e cuja densidade (massa dividida por unidade de volume) é aproximadamente 1g/cm^3 . A água marinha contém diversas substâncias dissolvidas e, por isso, é um pouco mais densa.

b) O ar

O ar que respiramos é uma mistura de diversos gases, é altamente compressível e sua densidade varia com a temperatura. É formado por, aproximadamente, 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de diversos outros gases.

Segundo Werneck (199-, p.1) “nossa vida transcorre normalmente no fundo de um oceano de ar, mantido em posição pela gravidade da Terra.” Esse oceano de ar é a atmosfera que, como o ar é compressível, é mais densa ao nível do mar e menos densa à medida que se eleva até o seu topo.

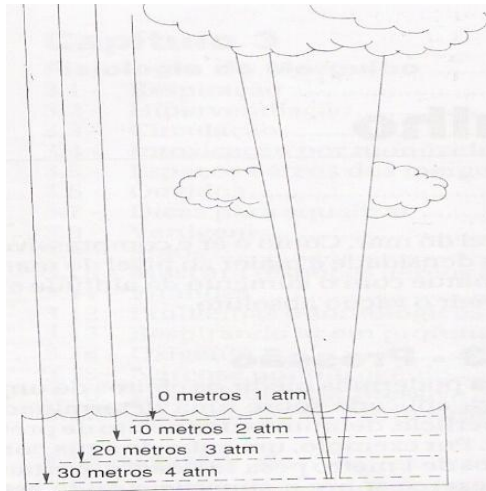
c) Pressão

Segundo Hewitt (2002) a pressão é definida como a força por unidade de área sobre a qual essa força atua. Como exemplo, pode-se citar a interação entre a força exercida por um líquido e as paredes de um recipiente no qual esse líquido está contido. Essa força exercida pelo líquido sobre as paredes do recipiente gera uma pressão.

O ar que respiramos e que nos circunda também exerce sobre nós, todo o tempo, uma pressão cujo valor máximo é, ao nível do mar, igual a 1 atmosfera ou 1 atm (1 atmosfera é o valor da pressão de todos os gases presentes na atmosfera sobre os nossos corpos).

A pressão hidrostática é a pressão exercida por certa massa de água sobre um determinado corpo, variando nas suas diferentes profundidades. Segundo Werneck (199-) a cada 10 metros de profundidade a pressão aumenta de 1 atm. Na figura 3 vemos que a 30 metros de profundidade, por exemplo, tem-se uma pressão (dita absoluta) de 4 atm, sendo 3 atm da pressão da água mais 1 atm da pressão atmosférica na superfície.

Figura 3 - Pressão x profundidade



Pressão absoluta

$$P = [(profundidade / 10) + 1] \text{ atm}$$

Fonte: WERNECK, 199-, p. 02

d) Princípio de Arquimedes

Segundo Hewitt (2002, p. 235) “um corpo imerso sofre a ação de uma força de empuxo dirigida para cima e igual ao peso do fluido que ele desloca”. Essa relação é conhecida como princípio de Arquimedes e vale para líquidos e gases, pois ambos são fluidos.

Werneck (199-) nos diz que o princípio de Arquimedes permite que determinemos a flutuação de um objeto imerso subtraindo o peso do objeto do peso do líquido por ele deslocado. Segundo PADI (1995), se um objeto for colocado dentro de um líquido e o peso do líquido deslocado for maior que o peso do objeto, o objeto tem o que se chama de flutuação positiva, pois não afundará. Se o peso do líquido deslocado for menor que o peso do objeto, o objeto tem uma flutuação negativa, pois irá afundar. E se ambos os pesos (peso do líquido deslocado e o peso do objeto) forem iguais, o objeto tem a dita flutuação neutra não afundará e nem flutuará, ficando suspenso no líquido em qualquer profundidade. Em outras palavras, estamos falando de densidade entre corpos. Um corpo afundará quando colocado em um líquido se a sua densidade for maior que a densidade do líquido. Sendo a sua densidade menor que a densidade do líquido, ele flutuará. E sendo ambas as densidades iguais, o objeto ficará suspenso no líquido em qualquer profundidade.

O nosso corpo é formado quase que em sua totalidade por água. Assim, a flutuação ou flutuabilidade do corpo humano é quase neutra, passando à positiva com a adição da roupa de mergulho (WERNECK, 199-). Segundo Santarelli (1995), apesar das diferenças individuais, o homem tem flutuação positiva quando os seus pulmões estão cheios de ar, entretanto, ao mergulhar e sofrer as ações da pressão, o seu volume corporal é reduzido progressivamente, tornando a sua densidade cada vez maior. Ainda segundo esse autor, a densidade do corpo humano aumenta com a profundidade até atingir um valor no qual a sua flutuação é neutra, ou seja, o corpo humano nem sobe nem desce, ponto esse chamado por ele de quota de equilíbrio. Santarelli (1995, p. 67) diz que “acima da quota de equilíbrio, se o mergulhador

ficar inerte, voltará à superfície, enquanto, abaixo desta quota, ele será levado inexoravelmente para o fundo.” Segundo o autor, essa é uma faixa de segurança dada pela natureza e acima da qual, na ocorrência de qualquer acidente (mecânico ou fisiológico) que possa provocar desmaio, as consequências serão menos graves, pois o corpo de mergulhador irá naturalmente para a superfície da água.

e) Lei de Boyle

Segundo Hewitt (2002), a Lei de Boyle diz que o produto do volume pela pressão para certa massa de gás é uma constante, desde que a temperatura não mude.

$$[(P_1 \times V_1) / T_1] = [(P_2 \times V_2) / T_2]$$

$$\text{Se } T_1 = T_2 = \text{Constante}$$

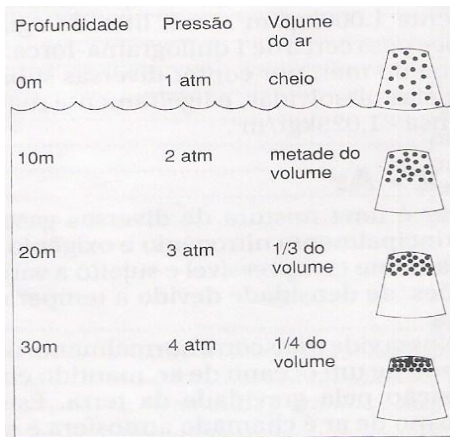
$$(P_1 \times V_1) = (P_2 \times V_2) = \text{Constante}$$

Assim, o volume de um gás tem uma variação inversamente proporcional à pressão absoluta enquanto a densidade sofre uma variação diretamente proporcional à pressão absoluta, quando a temperatura se mantém constante (figura 4).

Werneck (199-, p. 3) diz que “o princípio de uma massa de ar sendo comprimida pela pressão é válido para qualquer recipiente flexível. Por exemplo, os pulmões de uma pessoa praticando mergulho livre.” Entretanto ressalta que nesse exemplo o mergulhador não corre risco, pois a pressão no interior dos seus pulmões permanecerá igual à pressão atmosférica. Segundo ele, o risco acontece quando se pratica mergulho livre a profundidades muito grandes.

Santarelli (1995) diz que, como a Lei de Boyle mostra que as relações existentes entre a pressão e o volume são inversamente proporcionais, o que ocorrerá é que os gases contidos nos pulmões e nas cavidades corporais terão o seu volume reduzido, à medida que a pressão aumente. Na figura 4 podemos ver bem os efeitos da pressão sobre o volume e sobre a densidade. Na verdade, não só os gases terão os seus volumes reduzidos, mas também as cavidades, os órgãos corporais e o corpo do mergulhador terão os seus volumes ligeiramente diminuídos.

Figura 4 – Pressão x volume



$$[(P_1 \times V_1) / T_1] = [(P_2 \times V_2) / T_2]$$

$$\text{Se } T_1 = T_2$$

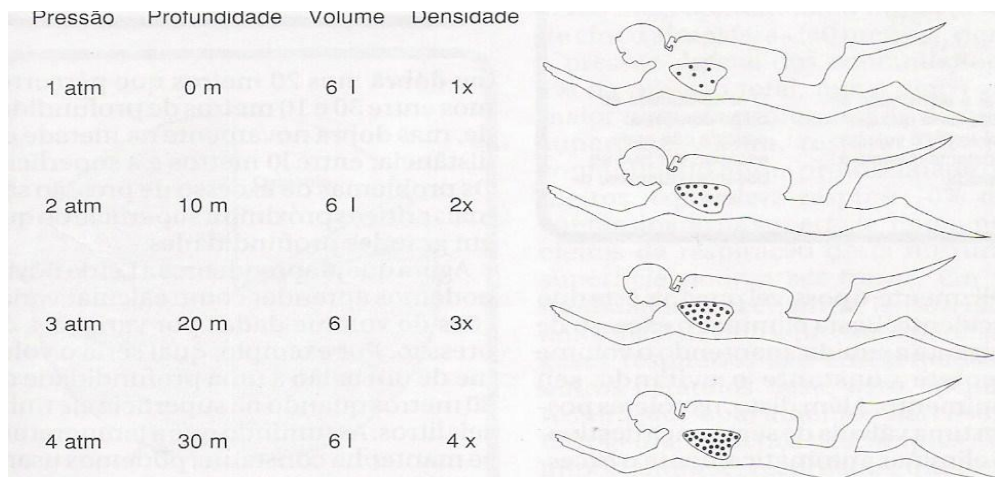
$$(P_1 \times V_1) = (P_2 \times V_2)$$

Fonte: WERNECK, 199-, p.02

O que fazer então para que o mergulhador não tenha os seus órgãos esmagados pela pressão? Werneck (199-) diz que esse é o princípio de funcionamento do equipamento de mergulho autônomo. À medida que o mergulhador desce, e assim tem uma pressão maior atuando sobre o seu corpo, o equipamento fornece ar comprimido na mesma pressão da água que o circunda e, assim, mantém o volume de ar constante dentro dos pulmões, permitindo que o mergulhador respire sem maiores esforços (figura 5).

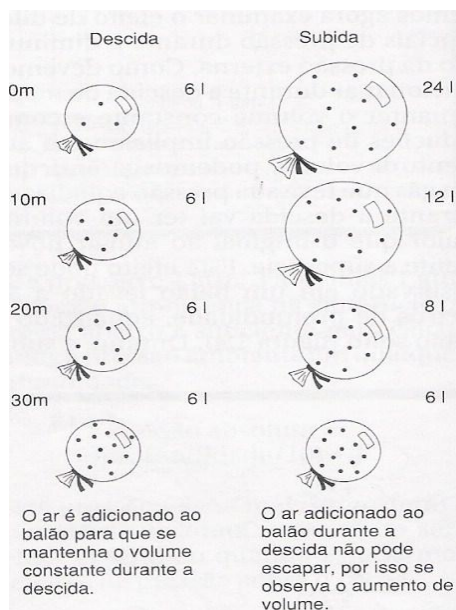
Entretanto, conforme a Lei de Boyle, ao ascender à superfície, o volume de ar fornecido ao mergulhador será maior que o seu volume inicial e, por isso, necessita ser expirado do organismo antes de o mergulhador chegar à superfície, a fim de evitar problemas com a sua saúde. Na figura 6 podemos ver que foi fornecido ar comprimido a um balão na mesma pressão da água que o cercava. Esse balão foi levado a uma profundidade de 30 metros e depois solto. Ao subir, logicamente a pressão externa ao balão irá diminuir e, assim, como o ar fornecido ao balão não consegue escapar, o balão chegará à superfície com um volume 4 vezes maior do que o volume inicial de 6 litros. O balão não estourou devido a sua elasticidade, entretanto, caso fosse um mergulhador, ele não teria o mesmo fim, pois o seu pulmão não suportaria tal aumento de volume.

Figura 5 – Pressão x densidade



Fonte: WERNECK, 199-, p. 03

Figura 6 – Volume na descida e na subida



Fonte: WERNECK, 199-, p. 04

Durante a descida a pressão interna do balão foi “equalizada”, ou seja, foi fornecido ar ao balão de modo a manter a sua pressão interna igual à pressão da água circundante, ou seja, o seu volume foi mantido constante.

f) Lei de Henry

Conforme Werneck (199-, p.6), a Lei de Henry diz que “a quantidade de um dado gás que vai se dissolver em um líquido a uma dada temperatura é proporcional à pressão parcial do gás e ao seu coeficiente de solubilidade naquele líquido.” Segundo o autor, os gases respirados por nós serão dissolvidos nos nossos tecidos proporcionalmente à pressão parcial de cada gás da mistura.

g) Lei de Dalton

Segundo Bove (1997), o princípio conhecido como Lei de Dalton diz que a pressão total exercida por uma mistura de gases é igual à soma das pressões parciais de cada um dos gases componentes da mistura. Assim, como no ar que respiramos temos aproximadamente 78% de nitrogênio, 21% oxigênio e 1% de outros gases, de acordo com a Lei de Dalton, o nitrogênio, o oxigênio e os outros gases são responsáveis, respectivamente, por 78%, 21% e 1% do valor total da pressão da mistura.

h) Lei de Charles

Bove (1997) diz que a Lei de Charles atesta que se a pressão de uma massa fixa de gás é mantida constante, o volume do gás sofrerá variação diretamente proporcional à temperatura absoluta. E se, o volume estiver confinado (tal como acontece com os cilindros de mergulho), a pressão sofrerá variação diretamente proporcional à temperatura absoluta.

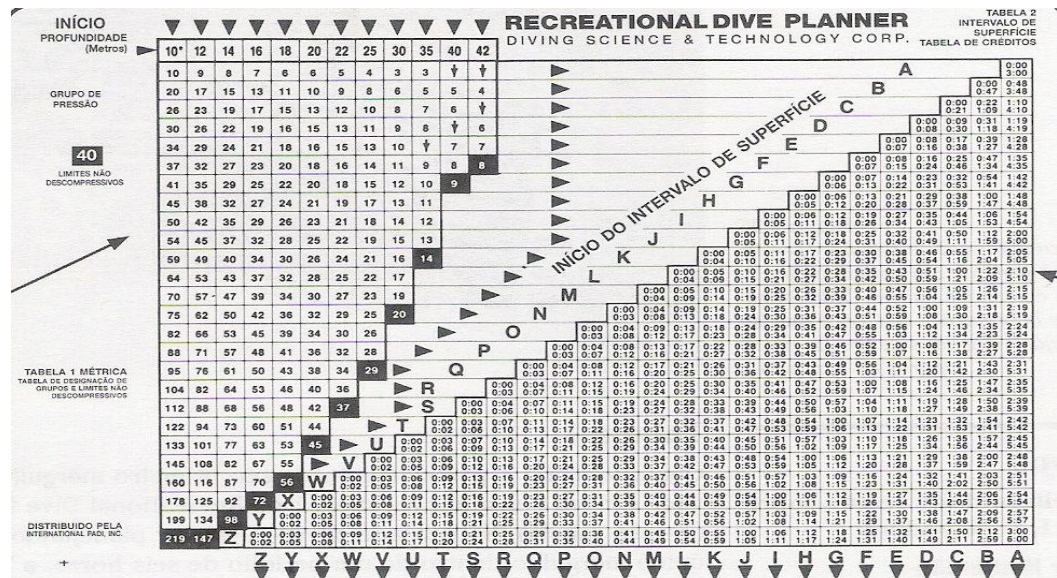
$$P \times V = R \times T$$

Onde P é a pressão, V é o volume, T é a temperatura absoluta e R é a constante universal dos gases.

i) Tabelas de mergulho

A Marinha dos Estados Unidos da América elaborou tabelas de mergulho que determinam as condições que permitem classificar o mergulho em: descompressivo e não-descompressivo (WERNECK, 199-). Tais tabelas (figuras 7 e 8) são amplamente utilizadas por mergulhadores e cursos de mergulho em todo o mundo.

Figura 7 (Tabela 1 e 2 de mergulho)

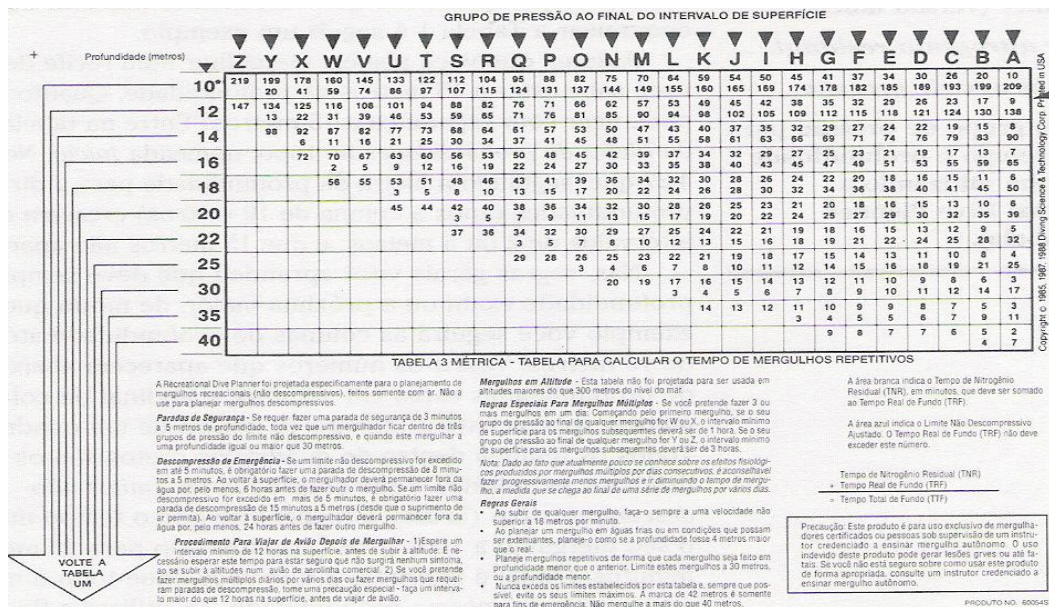


Fonte: PADI, 1995, p. 201 1

A figura acima, figura 7, mostra as Tabelas 1 e 2 de mergulho. No lado esquerdo da referida figura temos a Tabela 1 de mergulho que mostra uma relação de profundidades (primeira linha) e tempos de mergulho (colunas verticais sob as profundidades), em cujas bases se encontram números destacados em negrito. Esses números negritados (na base das colunas da Tabela 1) indicam o tempo máximo de permanência do mergulhador na respectiva profundidade na qual ele se encontra,

para que não haja a necessidade de ele realizar paradas durante a subida, a fim de perder nitrogênio. Entre as Tabelas de mergulho 1 e 2, temos letras de A até Z que são chamadas de Grupos de mergulho e indicam o tempo de permanência do mergulhador em dadas profundidades (números localizados na mesma linha à esquerda). No outro lado da figura, temos a Tabela 2 de mergulho que mostra intervalos de tempo associados aos Grupos de mergulho (letras entre as Tabelas 1 e 2). Os intervalos de tempo mostrados na Tabela 2 referem-se ao tempo em que o mergulhador permaneceu repousando fora da água depois de ter ficado submerso por certo tempo em uma dada profundidade (números nas colunas verticais da Tabela 1, localizados na mesma linha à esquerda do grupo de mergulho). Com base no Grupo de mergulho em que o mergulhador estava (representado pelas letras de A até Z, entre as tabelas) e do tempo de repouso do mergulhador é possível considerar o tempo de nitrogênio residual de cada mergulhador e, assim, posicioná-lo em um novo grupo de mergulho (indicado pelas letras na base da Tabela 2), caso esse pretenda fazer novos mergulhos antes de se completarem 12 horas do final do último mergulho realizado.

Figura 8 (Tabela 3 de mergulho)



Fonte: PADI, 1995, p. 201

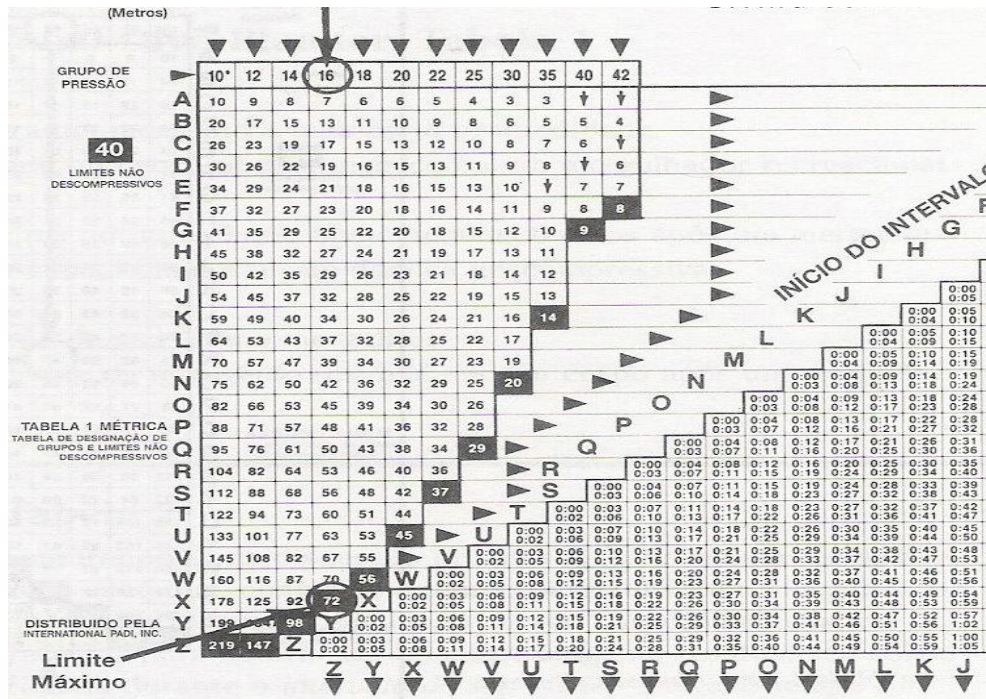
Partindo de um dado intervalo de superfície localizado na Tabela 2 (lado direito da figura 7) e indo em direção vertical, chegamos à base da figura 7. Na base da figura 7 temos letras de Z até A que representam os Grupos de pressão. Os Grupos de pressão são considerações acerca de atividades de mergulhos realizadas nas últimas 12 horas e que consideram a quantidade de nitrogênio residual, o tempo e a profundidade do mergulho anterior, a fim de que sejam planejados novos mergulhos, sendo esses considerados mergulhos repetitivos. Em uma atividade de mergulho repetitivo, o mergulhador não pode ir a uma profundidade maior do que a profundidade do mergulho anterior devido à quantidade de nitrogênio residual já existente no seu organismo.

A figura 8 acima mostra a Tabela 3 de mergulho que contém os chamados Grupos de pressão. No topo da figura 8 temos letras de Z até A que representam os

grupos de pressão e, na lateral esquerda (vertical) da mesma figura temos as profundidades.

A figura 9 mostra as Tabelas 1 e 2 de mergulho e nela foram assinalados os dados (profundidade e tempo) de um mergulho não descompressivo que será explicado mais adiante.

Figura 9 - Exemplo de mergulho não-descompressivo



Fonte: PADI, 1995, p. 203

Conforme dito anteriormente por Werneck (199-), a Marinha dos Estados Unidos da América elaborou tabelas especiais de mergulho. Essas tabelas indicam limites de tempo, de profundidade e de velocidade de subida, razoáveis para manter os níveis de nitrogênio dentro de padrões aceitáveis no organismo. A partir desses limites, o mergulho autônomo pode ser classificado como descompressivo e não-descompressivo:

- O mergulho não-descompressivo é aquele no qual os limites de não-descompressão (tempo e profundidade limites para os quais não é necessário se fazer paradas na subida à superfície da água) da tabela de mergulho são obedecidos, podendo o mergulhador subir direto para a superfície da água, bastando apenas manter uma velocidade de subida que não exceda 18 metros por minuto (PADI, 1995).
- O mergulho descompressivo é aquele no qual o mergulhador ultrapassou um tempo limite de permanência em determinada profundidade, limite esse dentro do qual não era necessária a descompressão. Assim, o mergulhador não pode subir diretamente para a superfície da água, devendo fazer uma parada obrigatória e por um tempo pré-determinado a uma dada profundidade (próxima à superfície da água, normalmente a 5 metros desta) para não correr o risco de desenvolver a doença descompressiva.

Como exemplo de mergulho não-descompressivo, ou seja, aquele no qual é dispensável a parada a 5 metros de profundidade para fazer descompressão, pode-se citar o mergulho assinalado na figura 9 por meio de uma seta no topo e na lateral esquerda da referida figura. A primeira seta (topo) indica a profundidade de 16 metros. A segunda seta (lateral esquerda) indica que na profundidade de 16 metros é permitido permanecer por, no máximo, 72 minutos sem a necessidade de se parar para fazer a descompressão a 5 metros de profundidade, devendo-se apenas ascender à superfície da água a uma velocidade não maior que 18 metros por minuto. Se por outro lado, o mergulhador ficar mais que 72 minutos nessa profundidade de 16 metros, será necessário que ele suba à velocidade de 18 m/min e permaneça parado na profundidade de 5 metros, por um tempo determinado a fim de perder nitrogênio e, assim, não correr o risco de desenvolver a doença descompressiva. No caso do exemplo citado (figura 9), o tempo para descompressão que o mergulhador necessita ficar parado 5 metros de profundidade não é mostrado. Isso se justifica devido ao fato da referida tabela ser utilizada em um curso de mergulho no qual se pratica o mergulho não-descompressivo, ou seja, seguem à risca os limites de não-descompressão impostos e não ultrapassam os limites estipulados.

5. Discussões

Como vimos, as mais relevantes questões com as quais o corpo humano tem que lidar durante o mergulho são: a pressão e a temperatura. Todos os cuidados tidos pelo mergulhador visam à prática de um mergulho seguro, a fim de serem evitados riscos a sua saúde.

a) Temperatura

Quando colocamos dois corpos com temperaturas diferentes em contato, podemos observar que a temperatura do corpo "mais quente" diminui, e a do corpo "mais frio" aumenta, até o momento em que ambos os corpos apresentem a mesma temperatura. Esta reação é causada pela passagem de calor do corpo "mais quente" para o corpo "mais frio". Isso é o que acontece, por exemplo, ao corpo do mergulhador quando imerso na água. Haverá uma passagem de calor do corpo do mergulhador para a água, caso ele esteja mergulhando em água cuja temperatura seja inferior à temperatura do seu corpo, o que o coloca em risco de hipotermia. Felizmente o problema da hipotermia foi solucionado com a invenção das roupas de mergulho, pois estas são confeccionadas em material cuja condutividade térmica é muito baixa e, assim, permitem que os mergulhadores autônomos possam ficar submersos por muito tempo e em águas muito frias. Entretanto, o mergulhador livre continua exposto e deve ter o cuidado de ficar atento aos sinais precursores da hipotermia (tremores, esfriamento das mãos e pés, dormência nos membros, etc.), que indicam o instante de parar com a atividade de mergulho para não correr riscos.

b) Pressão

A pressão afeta todo o nosso organismo (ouvidos, seios paranasais, pulmões, etc.) e também a quantidade de nitrogênio e oxigênio que irá se dissolver nos nossos tecidos. Em se tratando de pressão, a primeira atitude de um mergulhador ao adentrar a água é lembrar-se de equalizar a pressão da máscara, dos seus ouvidos e

dos seios paranasais (espaços de ar dentro dos ossos do crânio, dos ossos da face, das cavidades dentro dos ossos e bolsas de ar no canal auditivo). Equalizar significa igualar a pressão destes espaços de ar com a pressão externa (da água), e pode ser feito por vários métodos como, por exemplo, fechar as narinas e assoar delicadamente o nariz. Caso isso não seja feito, quando você mergulhar na água, a pressão da água apertará o ar desses espaços, causando uma sensação de pressão e dor de cabeça. Se devidamente equalizado, seus ouvidos e seios paranasais podem suportar o aumento da pressão sem problemas.

Segundo Santarelli (1995, p. 59) “em muitas lojas de artigos esportivos e mesmo em algumas farmácias podem ser encontrados à venda tampões de borracha, que são erroneamente rotulados de “protetores de ouvidos” para natação e mergulho”. Segundo o autor, esses tampões têm a finalidade de impedir o contato da água com a membrana dos tímpanos e deve ser somente usados por nadadores que nadem na superfície da água, nunca devem ser usados por nadadores que desçam até o fundo da piscina e muito menos por mergulhadores. O autor nos diz que sendo colocados no ouvido externo, esses tampões podem ser forçados para dentro do conduto auditivo pela pressão hidrostática e, assim, causar um acidente chamado de barotrauma do ouvido externo.

c) Misturas de gases

Segundo Bove (1997), dentre as misturas de gases passíveis de serem usadas pelos mergulhadores, a mais indicada é a mistura de ar comprimido, pois em todas as outras a pressão parcial dos gases como o oxigênio, hélio, etc. é maior. O oxigênio é o gás essencial para os seres humanos, entretanto a sua presença em altas concentrações no organismo pode causar convulsões, ataques cardíacos e afogamento. Para a maioria dos mergulhadores que respira ar comprimido, isso não vai ocorrer até que eles atinjam 65 metros de profundidade - geralmente mais profundo do que os limites de "não-descompressão". O mesmo não acontece com os mergulhadores que respiram Nitrox (mistura de nitrogênio e oxigênio) ou Heliox (mistura de hélio e oxigênio). O uso dessas misturas faz com que a toxicidade do oxigênio se manifeste em uma profundidade menor porque a pressão parcial de oxigênio nessas misturas de gases é superior (BOVE, 1997). Entretanto, em grandes profundidades, o nitrogênio responsável por 78% da pressão do ar comprimido, trará a narcose de nitrogênio ao mergulhador.

d) Doenças relacionadas ao mergulho autônomo

Edmonds, Lowry e Pennefather (1992) citam os traumas (de pulmão, de ouvidos e de seios paranasais), a doença descompressiva, a narcose de gases inertes, a síndrome neurológica de alta pressão, toxicidade (nitrogênio, oxigênio e dióxido de carbono), afogamento, hipotermia e morte súbita como doenças relacionadas ao mergulho. Bove (1997) também lista os problemas associados ao mergulho e que podem afetar a saúde do mergulhador, destacando dentre esses problemas a narcose de Nitrogênio e a Síndrome Nervosa de Alta Pressão (HPNS) como os dois maiores problemas envolvidos no mergulho autônomo. Segundo ele, HPNS apenas afeta mergulhadores que alcançam profundidades nas quais as pressões são da ordem de 16 atm aproximadamente, ou seja, profundidades a partir de 150 m.

i. Narcose

A narcose de nitrogênio normalmente começa a ocorrer a partir de 30 metros de profundidade e é uma alteração reversível na consciência, produzindo um estado idêntico à intoxicação alcoólica. A narcose inicia seus efeitos no mergulhador com uma leve perda de orientação, capacidade de raciocínio lógico, e dificuldade de executar tarefas simples, entre outras, tornando o mergulho muito perigoso. Os efeitos da narcose aumentam com a profundidade, bastando para reduzi-los que o mergulhador diminua a profundidade em que se encontra.

A narcose de nitrogênio ocorre porque o ar que respiramos é uma mistura na qual há 78% de nitrogênio e 21% de oxigênio, aproximadamente. O oxigênio dessa mistura é consumido por nosso organismo, formando moléculas de dióxido de carbono que são expelidas durante o processo de respiração. Entretanto, o nitrogênio é para nós um gás inerte, ou seja, nosso organismo não o utiliza. Quando expostos apenas à pressão atmosférica, ambos os gases (nitrogênio e oxigênio) apesar de estarem dissolvidos nas porções de nosso sangue e tecidos, não nos trazem problemas. Entretanto, quando mergulhamos, submetemos o nosso corpo a uma pressão cada vez maior. Conforme a Lei de Boyle, (que diz que a pressão e o volume são grandezas inversamente proporcionais), e a Lei de Henry, (que diz que a quantidade de um gás que se dissolve em um líquido é proporcional à pressão do gás), percebe-se que em uma situação de mergulho, cada vez mais nitrogênio e mais oxigênio são dissolvidos no nosso organismo. Assim, o não consumo do nitrogênio pelo organismo causa um acúmulo desse gás que é o responsável pela narcose de nitrogênio e nitrogênio residual que é a quantidade de nitrogênio que permanecerá no organismo e será expelida naturalmente com o decorrer do tempo.

ii. Doença descompressiva

Quanto mais tempo o mergulhador permanecer submerso e quanto maior for a profundidade do mergulho, maior será a quantidade de nitrogênio absorvida pelo organismo. Segundo Werneck (199-, p. 65), “um mergulhador pode tolerar uma quantidade limitada de nitrogênio no sistema.” O autor diz que se o mergulhador ascender à superfície da água de forma lenta e gradual, grande parte desse nitrogênio (chamado de nitrogênio residual) será eliminada através da respiração. Entretanto, se a subida do mergulhador for rápida, o nitrogênio tende a sair do sangue rapidamente, ocasionando a formação de bolhas, que é um dos sintomas de uma das doenças típicas de mergulhadores, a doença descompressiva. Os principais sintomas da doença descompressiva são: dor localizada, coceira na pele, dificuldade de respirar, ataques cardíacos, derrames, infiltrado sanguíneo nos pulmões, paralisia, estado de coma e mortes.

Depois de terminado um mergulho no qual foram respeitados todos os limites impostos, incluindo-se aí as paradas para descompressão (quando for o caso), ainda restará uma quantidade significativa de nitrogênio no organismo do mergulhador (nitrogênio residual) que, no entanto, não lhe trará males. Embora a quantidade de nitrogênio remanescente seja pequena, ela deve ser considerada quando o mergulhador planejar fazer novos mergulhos. Antes desses novos mergulhos, o mergulhador deve: fazer o chamado intervalo de superfície a fim de liberar nitrogênio do organismo e planejar o próximo mergulho levando em

conta a quantidade de nitrogênio que ainda resta em seu corpo. A única maneira de o mergulhador se livrar desse nitrogênio residual é descansar e relaxar antes de mergulhar novamente. Segundo Werneck (199-), um intervalo de superfície de 12 horas é suficiente para que os níveis de nitrogênio no organismo retornem ao normal. Segundo esse autor, qualquer mergulho dentro desse intervalo de 12 horas é considerado como mergulho repetitivo e deve ser planejado levando-se em conta quantidades de nitrogênio residual, tempos e profundidade de mergulho.

Werneck (199-) diz que a melhor maneira de se evitar a doença descompressiva é minimizar a quantidade de nitrogênio residual, aderindo às profundidades de "não-descompressão" e tempos de mergulho fornecidos por tabelas de mergulho. A violação desses limites de "não-descompressão" (que são limites de tempo e profundidades de mergulho para os quais as paradas para descompressão não são necessárias) obriga o mergulhador a permanecer submerso por mais tempo, e fazendo paradas durante a sua subida, por várias vezes, em profundidades pré-estabelecidas (por tabelas de mergulho). Segundo o autor, o maior inconveniente dessa obrigatoriedade de paradas é que, enquanto submerso, o mergulhador estará consumindo o seu limitado suprimento de ar. Diz ainda que um mergulhador acometido pela doença descompressiva deve ser levado para uma câmara de descompressão (câmara na qual o mergulhador é colocado dentro e que pode ser submetida a altas pressões) e ser posto novamente sob pressão, no intuito de se aliviar a dor. Segundo o autor, é muito perigoso para um mergulhador terminar um mergulho e fazer voos de avião, pois, como se sabe, o nitrogênio residual presente no organismo do mergulhador ficará submetido a uma pressão menor ainda devido à elevação da altitude e, assim, o mergulhador poderia sofrer o risco de ser acometido pela doença descompressiva.

iii. Outros traumas

- Dentes

Werneck (199-) também cita as doenças às quais o mergulhador está sujeito, relacionando entre elas o desconforto sentido devido a espaços aéreos existentes nos dentes dos mergulhadores devido às obturações. Diz que, no caso da existência desses espaços nos dentes, com o aumento da pressão o sangue e o tecido da gengiva podem preencher esse espaço na tentativa de equalizar a pressão. Segundo o autor, durante a descida as obturações tendem a implodir quando a pressão externa fizer com que elas colapsem. Na subida, o sangue e o tecido da gengiva que, por ventura, tenham preenchido um espaço aéreo nos dentes podem obstruir uma possível expansão de gás, causando também dor considerável. Também o uso de dentaduras pode ser um complicador nessa atividade, diz o autor.

- Pulmões

Durante o mergulho os gases devem fluir livremente dentro e fora dos pulmões do mergulhador. Assim, prender a respiração durante a subida é algo que em nenhum instante deve acontecer, pois como haverá diferença de pressão entre os pontos nos quais a respiração for interrompida e liberada novamente, os gases dentro do pulmão irão expandir, bloqueando a

circulação nos pulmões (embolia) ou mesmo rompendo os pulmões do mergulhador (pneumotórax) (BOVE, 1997).

e) Doenças relacionadas ao mergulho livre

Das doenças listadas por Bove (1997) e por Edmonds, Lowry e Pennefather (1992) as que acometem os mergulhadores livres são principalmente: o afogamento, a hipotermia e a morte súbita. Segundo Santarelli (1995) uma prática bastante recorrente entre os mergulhadores livres (aqueles que praticam a apneia) é a hiperventilação, atividade que consiste em se respirar forçadamente em curtos espaços de tempo com a finalidade de se acumular oxigênio e, assim, poder ficar mais tempo submerso. Sobre essa prática, Bove (1997, p. 217) diz que “embora isto não seja geralmente reportado nas estatísticas de mortalidade de mergulho, existe uma forte evidência de que a hiperventilação intencional antes da apneia está associada com episódios de afogamento e quase-afogamento.” Diz também que o afogamento é a causa de morte em cerca de 60% dos casos envolvendo mergulhadores nos Estados Unidos a cada ano, e que o afogamento é o grande vilão nas mortes envolvendo crianças entre 4 e 14 anos de idade.

Szpilman (2012, p. 1) diz que “Em 2009, o afogamento foi a 2ª causa geral de óbito entre 1 e 9 anos, a 3ª causa nas faixas de 10 a 19 anos, a 4ª na faixa de 20 a 24, a 6ª entre 25 e 29 anos, e que 7.152 brasileiros (3.7/100.000 hab.) morreram afogados.” Ainda segundo este autor, mais de 45% das mortes ocorreram em águas naturais, de onde podemos entender como tendo sido a ocorrência na execução de atividade relacionada à mergulho ou a atividade recreativa.

Segundo Costa (2002), o mergulho em apneia (técnica usada principalmente por caçadores submarinos), devido às elevadas profundidades alcançadas e aos tempos relativamente longos e, principalmente pelos riscos à saúde, só deve ser praticado por pessoas técnica, física e psicologicamente treinadas.

Sabemos (e não é de agora) que, apesar dos esforços dispensados, o ensino de ciências ofertado pela rede oficial de educação brasileira é fraco e deixa muito a desejar. Também não é novidade que o ensino de Física do Ensino Médio não dá conta de suprir todas as necessidades do aluno e muitos conteúdos importantes são deixados de lado, às vezes, em detrimento de conteúdos que para uma determinada clientela talvez não seja tão ou mais relevante do que um que, por ventura, fora deixado de lado. A grande reclamação dos estudantes e a constatação de estudos a respeito é a de que os conteúdos da disciplina são desconexos da realidade do educando e que os exemplos utilizados na elucidação da teoria são exemplos clássicos, e que em nada se aproximam do cotidiano dos alunos.

Diante da relevância do tema mergulho e do desconhecimento das aplicações e das implicações dos princípios e das leis da Física na atividade de mergulho, creio ser necessário a inserção desse tema nos ensinamentos fundamental e médio, a fim de aproximar os alunos de uma atividade que muitos já conhecem e já praticam, mas que, entretanto, desconhecem as leis que explicam como se dão alguns fenômenos ocorridos nessa prática. Nos livros poderiam ser usados exemplos práticos do cotidiano dos alunos e, até mesmo, serem criados capítulos ou, no caso do ensino médio, subseções dentro do capítulo destinado aos fluidos (no primeiro ano do ensino médio), onde se pudesse

abordar as aplicações das leis da Física na atividade de mergulho, assim como, também as implicações oriundas da não-observação dessas leis e teorias básicas. Esse seria um pequeno passo no caminho de um melhor entendimento das teorias relativas a temas pertencentes ao cotidiano dos alunos, e que poderia ajudar no sentido de fomentar aos jovens uma maior compreensão dos perigos de, por exemplo, ir nadar em lagoas, correços, ou até mesmo em clubes ou praias onde não haja a supervisão de um adulto, socorristas ou salva-vidas.

6. Considerações Finais

Tendo visto os princípios físicos e químicos envolvidos na prática do mergulho e como o corpo humano se comporta sob essas condições, constatamos que o ambiente subaquático pode ser explorado, entretanto, atenção e cuidados especiais devem ser tomados, pois esse ambiente oferece muitos perigos a nossa saúde.

Nos vários manuais pesquisados, percebemos ser dada uma relevância muito grande à prática do mergulho seguro, nem mesmo os experientes profissionais de mergulho se descuidam um instante se quer, e seguem à risca as orientações dos manuais e normas de mergulho. Nesse meio, a não observação de princípios e leis básicas da Física pode ser a linha tênue entre a vida e a morte.

Vimos que princípios básicos que aqui na superfície nos passam despercebidos, no mundo subaquático devem ser respeitados sempre. Assim, os candidatos a mergulhadores autônomos devem passar obrigatoriamente por uma adequada educação e treinamento em programas de certificação nos quais sejam enfatizados a fisiologia, os riscos e práticas seguras de mergulho. Quanto aos praticantes de natação ou mergulho livre, por não terem um instrutor de mergulho para lhes orientarem, devem, no mínimo, entender as leis básicas da Física relacionadas à sua prática e, assim, permanecerem a salvos.

7. Referências bibliográficas

BOVE, A. A. Bove's and Davi's Diving medicine. 3ª ed. USA, 1997.

COSTA, Sérgio. Tipos de mergulho. Disponível em <<http://webventure.virgula.uol.com.br/mergulho/n/tipos-de-mergulho/6082/secao/mergulho>>, acessado em 05/02/2013.

EDMONDS, C., LOWRY, C., PENNEFATHER, J. Diving and subaquatic medicine. 3ª ed. Oxford, 1992.

HEWITT, P. G. Física conceitual. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

PADI. Open water diver manual. California, USA, 1995.

SANTARELLI, A. Super sub. 6ª ed. São Paulo: Nobel, 1995.

SZPILMAN, D. Afogamento - Perfil epidemiológico no Brasil - Ano 2012. Disponível em <[http://www.szpilman.com/biblioteca/afogamento/Perfil epidemiológico afogamento Brasil 2012.pdf](http://www.szpilman.com/biblioteca/afogamento/Perfil_epidemiológico_afogamento_Brasil_2012.pdf)>, acessado em 18/01/2013.

WERNECK, M. Manual de mergulho Open Water. Rio de Janeiro: P.I.D.I.C, 199-.

WIENKE, B. R. Basic diving physics and applications. USA: Best Publishing Company, 1994.