

Análise do critério de qualidade de ar para o CO com um modelo do sistema respiratório

Cyro Albuquerque Neto, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e-mail: cyro.albuquerque@poli.usp.br

Jurandir Itizo Yanagihara, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e-mail: jy@usp.br

Introdução

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro e insípido, sendo a principal causa das mortes acidentais por intoxicação. É o poluente lançado em maior quantidade na atmosfera. A função do sistema respiratório humano é prover oxigênio (O_2) aos tecidos e eliminar o gás carbônico (CO_2) gerado pelos mesmos. O transporte de O_2 pelo sangue ocorre principalmente por sua reação com moléculas de hemoglobina. O transporte do CO ocorre da mesma maneira, sendo sua afinidade pela hemoglobina cerca de 250 vezes maior. Com isso, a presença do CO no sangue diminui sua capacidade de carregar O_2 . O composto formado pela ligação entre o CO e a hemoglobina chama-se carboxihemoglobina (COHb), representado pela porcentagem de hemoglobina reagida com CO. Um método para determiná-la é a utilização de modelos matemáticos. Existem diversos com essa função, sendo a maioria empíricos. Recentemente, modelos com bases fisiológicas também tem sido explorados apresentando resultados satisfatórios. Um desses é o presente modelo, aplicado para qualidade do ar em ambientes urbanos.

Descrição do modelo

A Figura 1 mostra uma representação do modelo, formado por cinco compartimentos além dos que representam os capilares pulmonares. O primeiro compartimento, que liga o corpo humano ao ar externo, é o compartimento alveolar. A entrada de ar é resultado da inspiração após ser umidificado pelo espaço morto. O ar expirado representa a saída que, por ser considerada uniforme, possui a mesma composição do ar nos alvéolos. Outro processo existente no compartimento é a transferência de gases por difusão com os compartimentos capilares pulmonares através da membrana respiratória. Os capilares pulmonares são representados por trinta compartimentos em série. Por cada compartimento percorre o

sangue não desviado do pulmão. Sangue venoso entra no primeiro compartimento. Depois o sangue segue para os próximos capilares pulmonares realizando transferência dos gases com o compartimento alveolar. O motivo de se utilizar diversos compartimentos é a não uniformidade dos gases conforme passam pelos capilares.

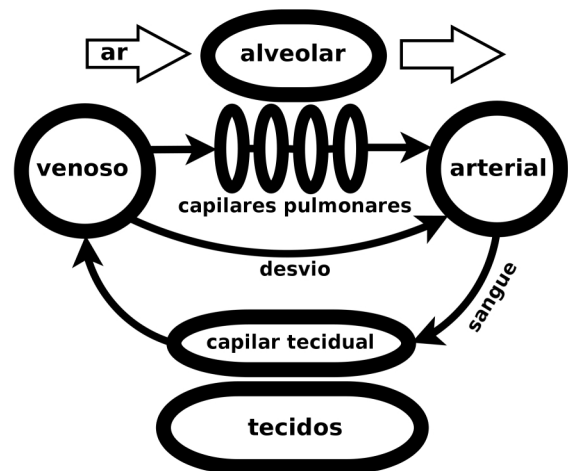


Figura 1: Representação do modelo.

Saindo dos capilares pulmonares o sangue junta-se com a parte desviada do pulmão e segue ao compartimento arterial. O próximo compartimento é o compartimento capilar tecidual. Ao passar por esse, o sangue realiza troca de gases com o compartimento tecidual, onde ocorre o metabolismo. O compartimento tecidual é separado em dois volumes, representando os tecidos não musculares e os musculares. O último compartimento pelo qual o sangue passa é o compartimento venoso. Saindo desse, o sangue retorna ao pulmão.

No equacionamento do modelo foi utilizado o princípio da conservação de massa. Foram consideradas as entradas e saídas dos gases em cada compartimento. A composição dos gases nos compartimentos é descrita pelo conteúdo e pela pressão parcial. O modelo é formado por equações diferenciais ordinárias representando a variação da composição dos

gases no tempo, uma para cada compartimento e uma para cada gás. Para solucioná-las foi desenvolvido um programa na linguagem C++, utilizando alguns métodos numéricos, tanto para o regime permanente como o transitório.

Transporte dos gases

Os gases O_2 , CO_2 e CO são transportados pelo sangue tanto dissolvidos fisicamente como reagidos quimicamente. Nos tecidos os gases estão dissolvidos e, no caso do O_2 e do CO nos tecidos musculares, também ligados à proteína mioglobina. A maior parte de O_2 é carregada pelo sangue através de reação química com a proteína hemoglobina. A relação entre a saturação das hemoglobinas e a pressão parcial de O_2 é descrita pela curva de dissociação, que varia em função da temperatura e da quantidade de CO_2 . O CO é carregado no sangue da mesma forma que o O_2 . A relação entre a pressão parcial dos dois gases e a saturação das hemoglobinas pelos mesmos é dada pela clássica equação de Haldane (DOUGLAS et al., 1912). O CO_2 é transportado no sangue dissolvido, ligado à hemoglobina e como íon bicarbonato. Nos tecidos musculares, o CO também compete com o O_2 pelas ligações com a mioglobina, com afinidade cerca de 25 vezes maior.

Resultados

A validação do modelo foi feita comparando os resultados do mesmo com dados experimentais de exposição controlada ao monóxido de carbono. A coerência entre os resultados foi excelente.

Uma das aplicações exploradas foi a análise do critério de qualidade de ar para o CO . Foi estabelecido pelo CONAMA (1990) que a média da concentração durante oito horas não deve exceder o valor de 9 ppm. Esse critério foi baseado no limite de COHb em que o ser humano não sofre danos por intoxicação de 2 % (EPA, 2000). Foram selecionados dias críticos na região metropolitana de São Paulo (das oito horas da manhã do dia 19 a 22 de julho de 2003 em São Caetano do Sul). Os dados horários da concentração de CO foram obtidos pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). A Figura 2 representa, com o eixo das ordenadas da esquerda, a variação da concentração de CO e a média das oito horas. Com o eixo das ordenadas da direita, representa a variação da COHb no sangue venoso dada pelo modelo para dois níveis de atividade física:

sentado e andando. Para que os eixos fiquem na mesma escala, foram feitas duas considerações. Uma que o limite de 9 ppm representa o limite de 2 % de COHb, portanto devem ser representados pelo mesmo ponto. A outra que, na ausência de CO no ar (concentração de 0 ppm), o nível de COHb no sangue é aproximadamente 0,5 %, representando o CO produzido pelo corpo humano. Conforme o nível de atividade física aumenta, a velocidade de absorção e eliminação do CO também aumenta. Esses resultados mostram que o padrão de qualidade de ar de oito horas é bem representativo do nível de COHb no sangue até para uma pessoa andando (atividade moderada). As duas curvas são similares tanto nos pontos onde ocorrem maiores níveis de intoxicação, quando os limites foram ultrapassados, como nos pontos equivalentes a baixas concentrações de CO . Esse resultado sugere que o uso da média de oito horas como critério de qualidade de ar para o CO é válido para níveis leves e moderados de atividade física.

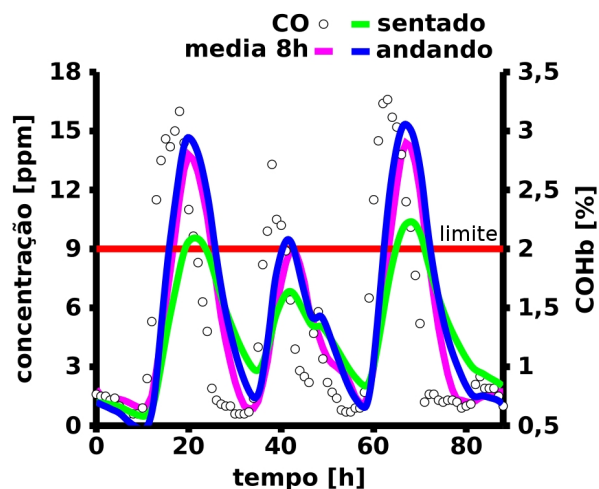


Figura 2: Análise do critério de qualidade do ar com resultados do modelo.

Referências bibliográficas

- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.3 de 28 de junho de 1990.
- DOUGLAS C.G.; HALDANE J.S.; HALDANE J.B.S. Journal of Physiology, v.44, p.275-304, 1912.
- EPA - Environmental Protection Agency. Air Quality Criteria for Carbon Monoxide. Office of Research and Development. EPA 600/P-99/001F, Washington, 2000.