

## CO<sub>2</sub> alto em sala de aula ... e daí?

CO<sub>2</sub> é um gás natural na terra, emitido pela maioria dos seres vivos (pessoas, animais e plantas) e consumido por seres que fazem fotossíntese (plantas verdes, inclusive árvores; algas e algumas bactérias).

Ar atmosférico, o ar que respiramos, possui uma concentração de CO<sub>2</sub> resultante do equilíbrio entre processos que liberam CO<sub>2</sub> e processos que sequestram CO<sub>2</sub>. Nos últimos 400.000 anos, a concentração de CO<sub>2</sub> oscilou entre aproximadamente 180 a 300 ppm; 180 ppm no alto das eras glaciais e 300 ppm nas entradas das novas eras glaciais. Até o início da era industrial (1870), a concentração de CO<sub>2</sub> tinha um valor estável em torno de 278 ppm . Desde 1870, a concentração de CO<sub>2</sub> começou a aumentar e até hoje chegou numa concentração recorde de 400 ppm; 40% acima da concentração nos últimos 400 mil anos. E continua aumentando. A previsão para meados do século (2050) é chegar em 500 ppm de CO<sub>2</sub> e para o final do século (2100) teremos ultrapassado o dobro da concentração atual, ou seja, mais que 800 ppm de CO<sub>2</sub> no ambiente externo.

Neste documento, vamos explicar as consequências do aumento de CO<sub>2</sub> para o desempenho do aluno em sala de aula.

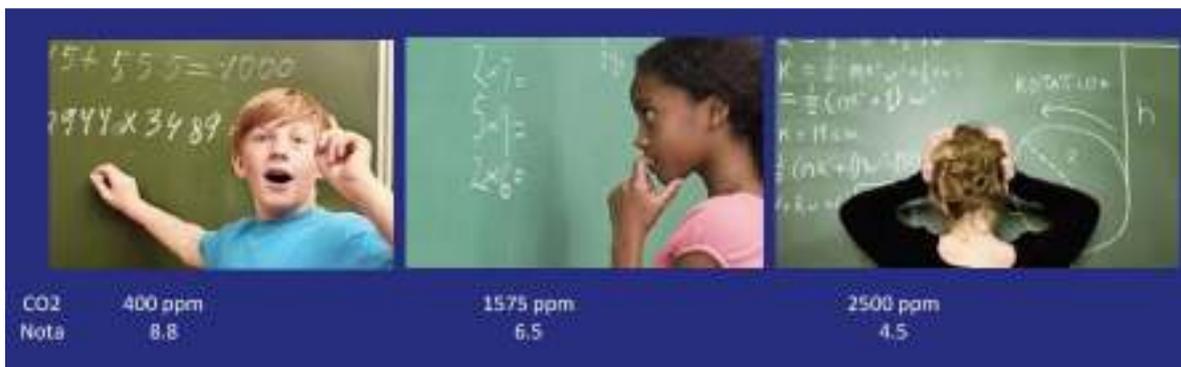
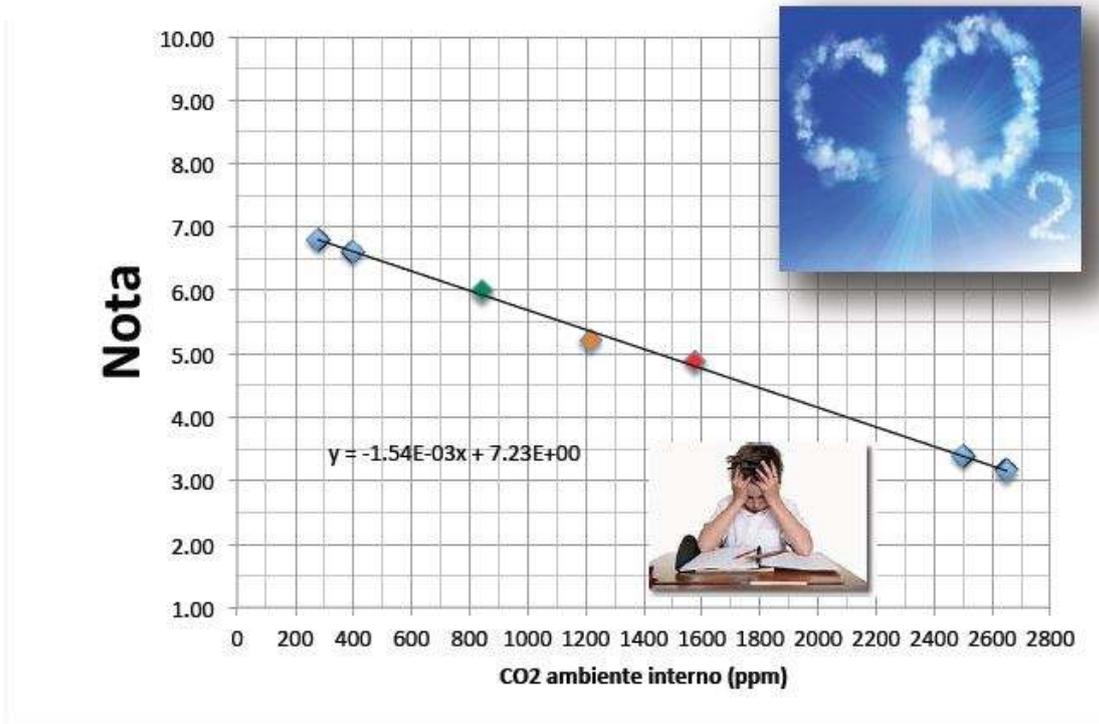


CO<sub>2</sub> é mais pesado que o ar.

*A imagem mostra crianças embaixo de um cobertor de CO<sub>2</sub> mais pesado que o ar e o professor e janelas acima deste mesmo cobertor. Uma caricatura, que retrata a realidade em muitas escolas e outros ambientes fechados. Fonte: Frisse Scholen 2KPUB06.04, ([www.frisse-scholen.nl](http://www.frisse-scholen.nl))*

## Efeito do [CO<sub>2</sub>] no resultado no Cálculo alunos do 8º ano

### Estudos combinados Canada, USA & Holanda



\*Nota: de acordo com resultados das pesquisas mencionadas na bibliografia, presumimos o limite máximo de CO<sub>2</sub> de 800 ppm para ambientes fechados sem prejudicar o bem-estar e desempenho dos alunos e adultos presentes.

\*\* Nota: Além de excesso de CO<sub>2</sub>, outros fatores como calor, frio, excesso ou falta de umidade também interferem no bem-estar dos alunos.

O acúmulo de CO<sub>2</sub> na sala de aula normalmente é consequência da presença de pessoas. Na respiração, nos consumimos o oxigênio do ar, devolvendo CO<sub>2</sub> para o ambiente.

**Exemplo:**

Um corpo humana pesando 70 kg requer um fluxo de energia de aproximadamente 100 Joules por segundo, equivalente ao consumo energético de uma lâmpada incandescente de 100 Watts, equivalente a uma liberação de 300 kg de CO<sub>2</sub> por ano.

**Cálculo:** [calor de combustão de glicose = 2805 kJ/mol. Peso molar de glicose = 180.16 g/mol → 15.57 kJ/g glicose. 100 J/s em 1 ano são  $100 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 3.1536 \cdot 10^9$  Joule/ano = 3153600 kJ/ano, dividir por 15.57 kJ/g → 202550 g/ano = 202.6 kg/ano, ou seja, aproximadamente 200 kg/ano. Por mol de glicose são liberados 6 mol de CO<sub>2</sub>. Peso molar de CO<sub>2</sub> = 44.01 g/mol. 6 mol CO<sub>2</sub> por mol de glicose =  $6 \cdot 44.01 = 264.06 / 180.16 = 1.466$ .  $1.466 \cdot 202.55 = 296.9$  kg CO<sub>2</sub>/ano ou aproximadamente 300 kg CO<sub>2</sub>/ano.]

Pelos cálculos no quadro acima, a previsão é que numa sala de aula sem ventilação com 29 alunos, a contração de CO<sub>2</sub> aumenta de aproximadamente 400 ppm para  $400 + 1.600 =$  aprox. 2.000 ppm de CO<sub>2</sub>. Sem ventilação natural ou forçada, em duas horas, a concentração nesta sala chegará em 3.600 ppm de CO<sub>2</sub>.

Há discordância sobre o limite mínimo da concentração nociva de CO<sub>2</sub> para a saúde de seres vivos.

Por lei, os valores de referência limite para a concentração de CO<sub>2</sub> estão na faixa de 0,5 % a 1,0 %; 5.000 a 10.000 ppm de CO<sub>2</sub>, ou seja, 12 até aproximadamente 25 vezes o valor média atual de aprox. 400 ppm de CO<sub>2</sub> no ar do ambiente externo.

No entanto, estudos sobre o efeito da concentração de CO<sub>2</sub> no desempenho de alunos em sala de aula indicam perda de concentração, sonolência e redução significativa de desempenho escolar acima de 800 ppm de CO<sub>2</sub>.

Exige troca de ar na sala de aula para o CO<sub>2</sub> não acumular excessivamente na presença humana.



Imagem: falta de concentração é comum em alunos em sala de aula com elevado teor de CO<sub>2</sub>.

Pelos estudos comissionados pelo governo holandês<sup>1,2</sup>, concentrações de CO<sub>2</sub> até no limite 1.000 ppm são consideradas adequadas para ar em sala de aula com tempo de ocupação de até 8 horas por dia. Numa sala de aula fechada medindo 8 x 15 metros x 3 metros de altura, com 29 crianças, a duração da aula é limitada em 22 minutos até chegar em 1.000 ppm de CO<sub>2</sub>. Pesquisa mais recente<sup>3</sup>, porém, justificam manter CO<sub>2</sub> no limite até 800 ppm, limitando a duração de aulas em salas fechadas em 15 minutos. (Dados baseados em salas medindo 8m\*15m\*3m de altura; 29 alunos na sala).

#### **Consequências de aumento de CO<sub>2</sub> para seres humanos:**

1. Perturbação do funcionamento cerebral
  - falta de atenção;
  - falta de concentração;
  - redução significativo de desempenho;
  - sonolência;
  - dor de cabeça.
2. Aumento de estresse oxidativo no corpo
  - produção de radicais livres, principal causa de danos a nível molecular.
3. Aumento da incidência de
  - Osteoporose;
  - calcificação renal;
  - câncer.

Na prática, para definir o limite tolerável de CO<sub>2</sub> em sala de aula, é necessário entender as consequências da exposição às concentrações de CO<sub>2</sub> por períodos prolongados diários para poder julgar os benefícios de manter CO<sub>2</sub> abaixo de 800 ppm de CO<sub>2</sub>.

### **Teste desempenho escolar em função do acúmulo de CO<sub>2</sub> em sala de aula.**

Propomos um experimento composto por 8 testes a serem executados em duas salas ao mesmo tempo, com alunos de 10 a 11 anos de idade (5º e 6º ano do fundamental I). A concentração de CO<sub>2</sub> será minimizada em 1 sala e maximizada na outra sala através de abertura e fechamento, respectivamente, das portas e janelas.

#### **Método:**

Os testes foram desenvolvidos para crianças de 10 a 11 anos. Os testes são provenientes de uma pesquisa feita na Holanda em 2006 (TNO rapport 2006-D-1078/B). Cada teste é composto por 45 linhas com 7 símbolos cada. O aluno precisa assinalar SIM se achar 2 símbolos iguais na mesma linha e NÃO se achar que todos os símbolos na mesma linha são diferentes.

O dia antes do início dos testes, os alunos receberão uma folha explicativa com 3 linhas para treinamento. O professor explicará o experimento, assegurando a compreensão de todos os alunos na sala. O professor omitirá falar sobre as condições dos testes; não falará sobre o CO<sub>2</sub> baixo ou elevado.

Os alunos de cada sala farão os 8 testes; 4 em ambiente com CO<sub>2</sub> elevado e 4 em ambiente com CO<sub>2</sub> mais próximo a concentração no ambiente externo.

Serão dois testes por dia. A sequência será repetida 3 vezes, totalizando 4 dias de teste; 1 teste logo antes do intervalo e 1 teste logo antes do encerramento do período. No caso de 2 salas, enquanto 1 sala será exposta a altas concentrações de CO<sub>2</sub>, a outra sala será exposta a concentrações próximas aquelas no ambiente externo. No próximo dia de teste, as situações serão invertidas e assim por diante.

#### **Procedimento:**

Explicações e treinamento conforme o documento "Procedimentos execução dos 8 testes\_símbolos".

Primeiro teste do dia: logo antes do intervalo.

Segundo teste do dia: logo antes de ir para casa.

Teste	Dia 1 quinta	Dia 2 sexta	Dia 2 sexta	Dia 4 segunda	Dia 4 segunda	Dia 6 quarta	Dia 6 quarta	Dia 8 sexta	Dia 8 sexta
5º ano	Explicação e treino	Teste 1 Sala fechada	Teste 2 Sala fechada	Teste 3 Sala aberta	Teste 4 Sala aberta	Teste 5 Sala fechada	Teste 6 Sala fechada	Teste 7 Sala aberta	Teste 8 Sala aberta
6º ano	Explicação e treino	Teste 1 Sala aberta	Teste 2 Sala aberta	Teste 3 Sala fechada	Teste 4 Sala fechada	Teste 5 Sala aberta	Teste 6 Sala aberta	Teste 7 Sala fechada	Teste 8 Sala fechada

**Resultado esperado:** menor desempenho nas salas fechadas, com elevada concentração de CO<sub>2</sub> em comparação com salas ventiladas naturalmente. Comprovação de desempenho comprometido em salas ar-condicionadas<sup>1</sup>. Nota-se que outros fatores como calor; frio; falta ou excesso de umidade também interferiram no bem estar das crianças e professores.

1. Existem vários tipos de ar-condicionador. Depende das características do aparelho + manejo de ar em sala de aula para assegurar suficiente renovação de ar; manutenção de CO<sub>2</sub> em sala de aula abaixo de 800 ppm de CO<sub>2</sub>.

## Bibliografia

1. Frisse Scholen 2KPUB06.04, ([www.frisse-scholen.nl](http://www.frisse-scholen.nl)), SenterNovem, 2006.
2. TNO rapport 2006-D-1078/B "Het effect van ventilatie op de cognitieve prestaties van leerlingen op een basisschool" (O efeito de ventilação no desempenho cognitivo de alunos do ensino fundamental I), 01-2007, TNO.
3. "Prestatie-eisen ventilatie in klaslokalen" (requisitos ventilação para desempenho em salas de aula), Piet Jacobs e.o., TNO Bouw en ondergrond, 2007.
4. "Ventilation of School Buildings, Regulations, Standards, Design Guidance", Building Bulletin 101, version 1.4, 5<sup>th</sup> July 2006, ISBN 011-2711642, England.

5. "Increased levels of bacterial markers and CO2 in occupied schoolrooms", A.Fox e.o., journal of Environmental Monitoring, April 2003.
6. "The influence of indoor climate on students' learning performance", Koiv, Feet Andrus e.o., Recent Advances in Environmental Science and Biomedicine, 2007, Department of environmental Engineering, Tallinn Technical University.
7. "The impact of school buildings on student health and performance: A call for research", Baker, Lindsay e.o., Mc.Graw-Hill Research Foundation, February 27, 2012.
8. "A study of CO2 influence on student activity in classroom", Pacurar, Cristian e.o., Revista Romana de Inginerie Civila, Volume 4, 2013.