



CONCENTRAÇÕES TÍPICAS DE GÁS CARBÔNICO EM AMBIENTES DE ESCRITÓRIO

Vittorino, Fulvio (1); Akutsu, Maria (2); Silva, Elaine L. (3); Aquilino, Marcelo M (4)

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo SA

Av. Prof. Almeida Prado, 532 – Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira – São Paulo –SP – 05508-901

(1) fulviov@ipt.br; (2) akutsuma@ipt.br; (3) ellemos@ipt.br; (4) aquilino@ipt.br

RESUMO

A preocupação com a qualidade do ar no interior dos edifícios vem crescendo rapidamente nos últimos anos, tanto devido a uma maior conscientização da sociedade como em função de exigências da vigilância sanitária federal. Entretanto, o volume de informações relativas à qualidade do ar em geral, ainda é pequena. Alguns valores já têm sido registrados em edifícios de grande porte com climatização central atendendo determinações de caráter legal. Este trabalho apresenta uma análise dos valores medidos da concentração de gás carbônico em edifícios de escritório de pequeno porte em função do número de ocupantes, das condições de renovação de ar e do sistema de climatização adotado, tomando como parâmetro os limites estabelecidos pela Resolução número 9, da Agência de Vigilância Sanitária, de 16 de janeiro de 2003.

ABSTRACT

Indoor air quality has been a concerning issue in the last years, due to a bigger awareness of the society and in function of requirements of the federal sanitary monitoring. However, the volume of information related to the air quality in buildings, is still small. Some values have already been recorded in large buildings with central climatization systems due to legal enforcement. This paper presents an analysis of the measured values of the carbonic gas concentration in small office buildings in function of the number of occupants, the conditions of air renovation and of the climatization system, taking as reference the limits established by the Brazilian Agency of Sanitary Monitoring.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do ar em locais de trabalho é uma preocupação antiga em fábricas, devido à possibilidade freqüente de liberação de substâncias químicas e particulados inerentes aos processos produtivos, havendo, de longa data, limites máximos de concentração admissível para cada contaminante. Até recentemente, em edifícios de escritórios esta preocupação não existia, uma vez que há um número significativamente menor de potenciais contaminantes presentes. Além disso, estão em patamares muito mais baixos que os encontrados em ambientes industriais.

A questão da qualidade do ar em escritórios começa a ser tratada com mais atenção com o surgimento de vários estudos relatando a queda de produtividade, o absentismo e o surgimento de sintomas clínicos leves em trabalhadores que permanecem em ambientes com baixa taxa de renovação do ar. Estes estudos levaram a uma sistematização dos enfoques de trabalho, inclusive denominando esta situação como Síndrome dos Edifícios Doentes (SED). Foi constatado que, em ambientes de escritórios, com baixas taxas de renovação de ar, estão presentes contaminantes biológicos, como esporos e bactérias; físicos, como poeiras e fumos; e químicos, como o CO₂ e os compostos orgânicos voláteis (CIB, 1996).

O CO₂ é apenas um dentre os muitos componentes gasosos que compõem o ar ambiente. É um gás

incolor, inodoro e não inflamável, que é produzido por um processo de combustão completa e também por processos metabólicos. Normalmente, está presente no ar externo e pode ainda ser produzido internamente como resultado, principalmente, do processo de respiração dos ocupantes, ou da combustão de cigarros, por exemplo. Conforme a taxa de concentração, isoladamente ou em combinação com outros gases, pode provocar sintomas como, dor de cabeça, tontura, languidez e mal estar. Por esta razão, existem normas que especificam os valores máximos recomendados para as taxas de concentração de CO₂ no ar, sobre algumas das quais é feita uma breve descrição neste trabalho.

Tomando como referência os limites estabelecidos nessas normas, a determinação das taxas de concentração de CO₂ num ambiente permitem verificar, de imediato, a qualidade do ar interno com relação à presença deste gás. Além disso, como as taxas de concentração de CO₂ no ar interno em relação às taxas de concentração no ar externo são inversamente proporcionais às taxas de renovação do ar interno, tem-se um bom indicador também, do nível de ventilação do ambiente medindo-se as concentrações de CO₂ do ar externo.

2. EFEITOS DO CO₂ NA SAÚDE DOS OCUPANTES DE AMBIENTES DE EDIFICAÇÕES

O CO₂ está presente, atualmente, na atmosfera em níveis de aproximadamente 350 ppm, fora dos grandes centros urbanos e de áreas densamente industrializadas. No interior de edificações, a concentração deste gás depende, eminentemente, da taxa de ocupação e da renovação de ar dos recintos.

Não há relatos de que exposições curtas a níveis abaixo de 20.000 ppm causem efeitos nocivos à saúde. Concentrações mais altas podem afetar a função respiratória e causar excitação seguida de depressão do sistema nervoso central. Altas concentrações de CO₂ podem substituir o oxigênio do ar, resultando em concentrações baixas de oxigênio para respiração. Portanto, os efeitos da deficiência de oxigênio podem ser combinados com os efeitos de toxicidade do CO₂.

Segundo relato da “Canadian Centre for Occupational Health and Safety” (CCOHS) voluntários expostos a 33.000 ppm ou 54.000 ppm de CO₂ por 15 minutos tiveram a profundidade da respiração aumentada. A 75.000 ppm, houve sensação de falta de ar, aumento da pulsação, dores de cabeça, tontura, transpiração, cansaço, desorientação e desenvolvimento de distorção visual. Exposições de 20 minutos a 65.000 ppm ou 75.000 ppm causaram diminuição do raciocínio. Irritabilidade e desconforto foram relatados para uma exposição de 65.000 ppm por aproximadamente 70 minutos. Exposições a 60.000 ppm por muitos minutos, afetam o ritmo cardíaco, como evidenciado por eletrocardiogramas alterados.

Trabalhadores expostos por um curto período a concentrações muito altas mostraram danos na retina, sensibilidade à luz (fotofobia), movimentos anormais dos olhos, diminuição do campo visual e aumento de pontos cegos. Exposições acima de 30.000 ppm por mais de 15 horas, por seis dias, resultaram em diminuição da visão noturna e da sensibilidade a cores.

Exposições a 100.000 ppm por 1,5 minutos causaram piscar dos olhos, excitação e acréscimo da atividade muscular e agitação. Concentrações maiores que 100.000 ppm causaram dificuldade de respiração, audição prejudicada, náusea, vômito, sensação de estrangulamento, transpiração, torpor durante vários minutos e perda de consciência em 15 minutos. Exposição a 300.000 ppm resultou rapidamente em inconsciência e convulsões. Muitas mortes têm sido atribuídas a exposições a concentrações maiores do que 200.000 ppm. Efeitos de CO₂ podem se tornar mais pronunciados devido a esforço físico como trabalho pesado.

Em artigo publicado por Apte et al. (2000), tratando dados de concentração de poluentes, temperatura, umidade, e ocorrência de sintomas típicos da “Síndrome dos Edifícios Doentes” (SED), levantados em 41 edifícios de escritórios nos EUA, mostra-se que já há ocorrência significativa da síndrome quando a concentração de CO₂ está na faixa de 800 ppm. O trabalho citado se concentra especificamente neste elemento, com a justificativa de que ele pode ser usado como um traçador para a presença de outras fontes de contaminação do ar em edifícios de escritório, em condições normais de utilização (e não após reformas onde a presença de tintas, colas e resinas e seus respectivos vapores é grande) quando as pessoas e suas atividades cotidianas são as principais fontes de contaminantes para o ar. Os estudos estatísticos realizados por Apte, todos a um nível de significância de 95%, mostram que a ocorrência de sintomas relativos à SED como irritação na garganta, secura nos olhos, sensação de falta de ar

podem ser reduzidos de 70% a 85% com a redução da concentração de CO₂ no ar de 800 ppm para 400 ppm (pouco acima da concentração externa, média de 350 ppm naquele estudo). Ainda segundo estes autores esta redução se dá de maneira aproximadamente linear dentro de faixas de 100 ppm.

3. LIMITES DE REFERÊNCIA PARA AS TAXAS DE CONCENTRAÇÃO DE CO₂ E DE RENOVAÇÃO DE AR EM AMBIENTES

Não há ainda muitos estudos sobre a concentração de CO₂ em ambientes de escritórios, sendo também raros os trabalhos que relacionam essas concentrações a sintomas típicos da SED. Além disso, no âmbito internacional, há uma divergência significativa quanto aos limites de referência para as taxas de concentração de CO₂ e de renovação de ar, como podemos observar pelos dados relacionados a seguir.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), na Resolução nº 9, de 16 de janeiro de 2003, estabelece para edifícios com carga térmica total de climatização maior que 5 TR que:

- A taxa de concentração de CO₂ em ambientes deve ser menor ou igual a 1.000 ppm, como indicador de renovação do ar, para conforto e bem estar;
- A taxa de renovação do ar mínima adequada de ambientes climatizados é de 27 m³/ hora/ pessoa. Para os ambientes com alta rotatividade de pessoas, este valor passa a ser de 17 m³/ hora/ pessoa, não sendo admitido que a taxa de concentração de CO₂ ultrapasse os 1.000 ppm estabelecidos.

Na Norma Brasileira NBR 6401 são apresentados os valores mínimos recomendados para a taxa de renovação do ar externo em ambientes com ar condicionado. Na Tabela 3.1 estão transcritos os valores referentes a ambientes de escritório.

Tabela 3.1 - Valores mínimos recomendados para a taxa de renovação do ar externo em ambientes de escritório (NBR 6401)

Local	m ³ /h/pessoa		Concentração de Fumantes
	Recomendável	Mínimo	
Escritório			
Público	25	17	Alguns
Privados	42	25	Nenhum
Privados	51	42	Considerável
Estúdios	35	25	Nenhum
Salas de Diretores	85	50	Muito Grande
Salas de reuniões	85	50	Muito Grande
Aplicações gerais			
Por pessoa (não fumando)	13	8	--x--
Por pessoa (fumando)	68	42	--x--

Na norma 62 da ASHRAE (1999) é recomendado que a taxa máxima de concentração de CO₂ em regime permanente seja de 870 ppm.

No “Handbook of Fundamentals” da ASHRAE (1997) são apresentados também os valores limites de exposição estabelecidos por organizações que visam a proteção e a saúde de trabalhadores em ambientes industriais em regime de exposição de 8 horas, conforme dados transcritos na Tabela 3.2. Nesta mesma publicação é mencionado ainda que estes limites normalmente excedem os níveis aceitáveis para ocupantes em escritórios, residências e outros ambientes internos.

Tabela 3.2 - Valores de referência de taxas de concentração de CO₂ em ambientes industriais

Organização	Exposição de 8 horas	Exposição de 15 minutos
Canadian Nat. Task Force	3.500 ppm	-
NIOSH (REL)	5.000 ppm	30.000 ppm
OSHA	10.000 ppm	30.000 ppm
ACGIH (TLV)	5.000 ppm	9.000 ppm
MAK	5.000 ppm	9.000 ppm

Legenda: NIOSH (REL): The National Institute for Occupational Safety and Health - EUA

OSHA: Occupational Safety and Health Administration - EUA
ACGIH (TLV): The American Conference of Governmental Industrial Hygienists - EUA
MAK: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK) - Alemanha

Segundo Liddament (2004), o fato da concentração de CO₂ exceder os limites aceitáveis (entre 800 ppm e 1.000 ppm), não implica necessariamente em risco à saúde. Este autor diz que concentrações que variam de 5.000 ppm a 10.000 ppm podem ser aceitáveis embora as condições de conforto diminuam consideravelmente.

4. MEDIÇÕES REALIZADAS

A fim de avaliar a concentração de CO₂ em edifícios climatizados com recintos pequenos, foram feitas medições em cinco ambientes com baixa taxa de ocupação onde eram exercidas atividades leves ou típicas de escritório, citados como salas 1, 2, 3, 4 e 5, com as características apresentadas na tabela 4.1. Nas fotos 1 a 5 são apresentadas vistas das salas. Os edifícios onde estão estas salas ficam em uma região da cidade de São Paulo local com pouco tráfego de veículos, longe de indústrias e com alta densidade de áreas verdes.

Tabela 4.1 – Características das Salas e de sua ocupação.

Sala	Volume (m3)	Sistema de Climatização	Nº de pessoas	Nº de Fumantes
1	21,6	Equipamento de Janela	3	0
2	99	Equipamento de Janela	6	0
3	100	“Mini Split”	4	0
4	126	“Mini Split”	4	1
5	44,5	Não Climatizada	4	0



Foto 1: Vista da Sala 1



Foto 2: Vista da Sala 2



Foto 3: Vista da Sala 3



Foto 4: Vista da Sala 4



Foto 5: Vista da Sala 5

4.1 PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO

A NORMA TÉCNICA 002 da ANVISA (Qualidade do Ar Ambiental Interior. Método de Amostragem e Análise da Concentração de Dióxido de Carbono em Ambientes Interiores – Método Analítico), anexa à Resolução nº 9, de 16 de janeiro de 2003, apresenta o procedimento a ser utilizado para monitoramento e controle do processo de renovação de ar em ambientes climatizados, usando o dióxido de Carbono como traçador. A seguir são apresentadas as principais exigências deste procedimento.

- ✂ MÉTODO DE AMOSTRAGEM: Equipamento de leitura direta por meio de sensor infravermelho não dispersivo ou célula eletroquímica, fundo de escala de 5.000 ppm e exatidão de ± 50 ppm + 2% do valor lido.
- ✂ PERIODICIDADE: Semestral.
- ✂ ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM: Quantidade de pontos de amostragem proporcional à área de piso, conforme tabela 4.2

Tabela 4.2 – Quantidade de pontos de amostragem em função da área climatizada.

Área construída climatizada (m ²)	Número mínimo de amostras
Até 1.000	1
1.000 a 2.000	3
2.000 a 3.000	5
3.000 a 5.000	8
5.000 a 10.000	12
10.000 a 15.000	15
15.000 a 20.000	18
20.000 a 30.000	21
Acima de 30.000	25

- Os pontos amostrais deverão ser distribuídos uniformemente e coletados com o amostrador localizado na altura de 1,5 m do piso, no centro do ambiente ou em zona ocupada.
- PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM: As medidas deverão ser realizadas em horários de pico de utilização do ambiente.

As medições nas salas 1 a 4 foram realizadas no centro de cada sala, seguindo as diretrizes da ANVISA, durante aproximadamente 20 minutos. Após elas, a taxa de concentração do ar externo também foi medida. Nas salas 1 e 2, as medições foram feitas com as salas já ocupadas de longo período. Nas salas 3 e 4 as medições foram iniciadas após a entrada de mais duas pessoas nos recintos.

Na sala não climatizada, citada como sala 5, foram feitas medições contínuas durante 1,5 horas, para se avaliar três diferentes situações: janela e porta fechadas; janela aberta e porta fechada; e janela e

porta abertas. Antes de se iniciar as medições, a janela e a porta estavam abertas e havia duas pessoas na sala, que foi ocupada por mais duas pessoas para a realização de uma reunião. Estas medições corresponderam ao monitoramento de uma sala, durante uma reunião de negócios, desde o seu início até o seu término.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1 CONCENTRAÇÃO DE CO₂ EM AMBIENTES COM AR CONDICIONADO

Na figura 1 são apresentadas as taxas de concentração de CO₂ em regime estacionário obtidas nas salas 1 e 2, bem como a taxa de concentração de CO₂ do ar externo para fins comparativos.

Nas figuras 2 e 3 são apresentados respectivamente os resultados das medições realizadas nas salas 3 e 4, com ar condicionado tipo “split”, para as quais há uma tendência de aumento da taxa de concentração de CO₂ ao longo do tempo, não tendo sido atingido o regime estacionário.

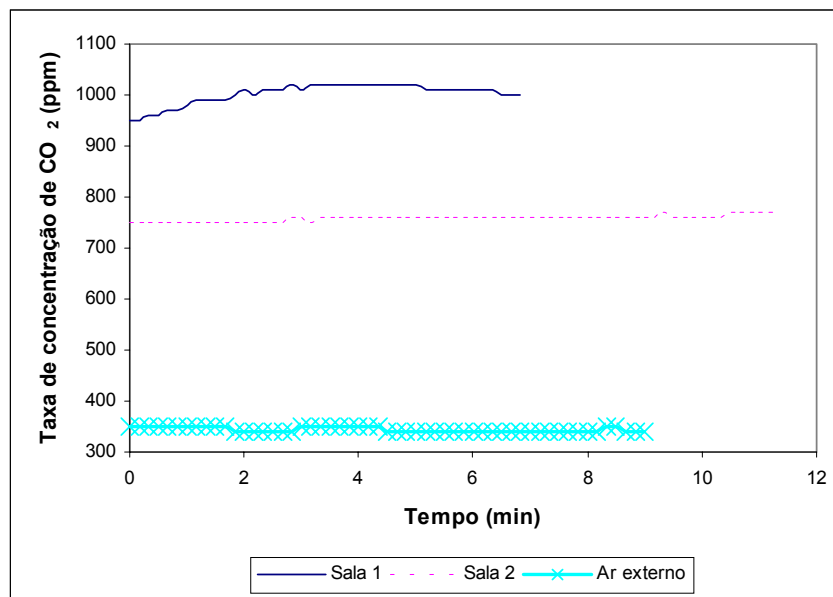


Figura 1: Taxas de concentração de CO₂ do ar externo e das salas 1 e 2 em regime estacionário.

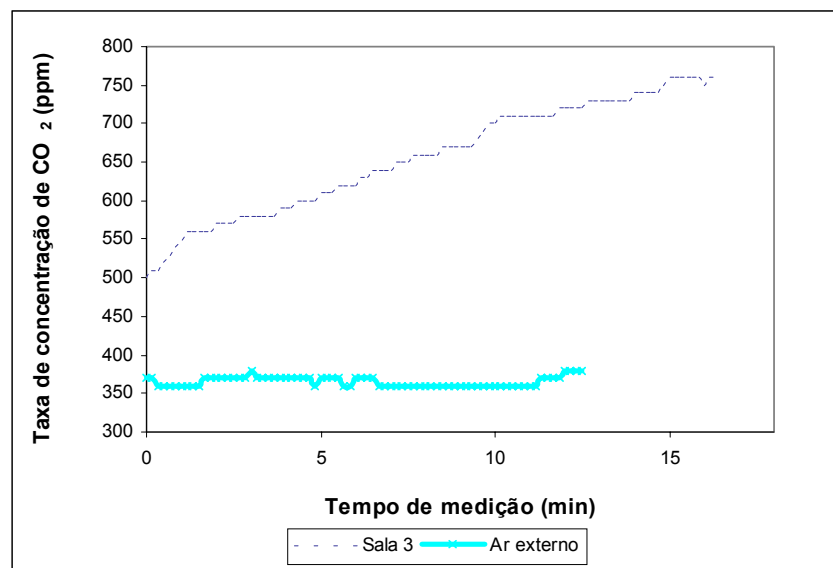


Figura 2: Taxa de concentração de CO₂ na Sala 3

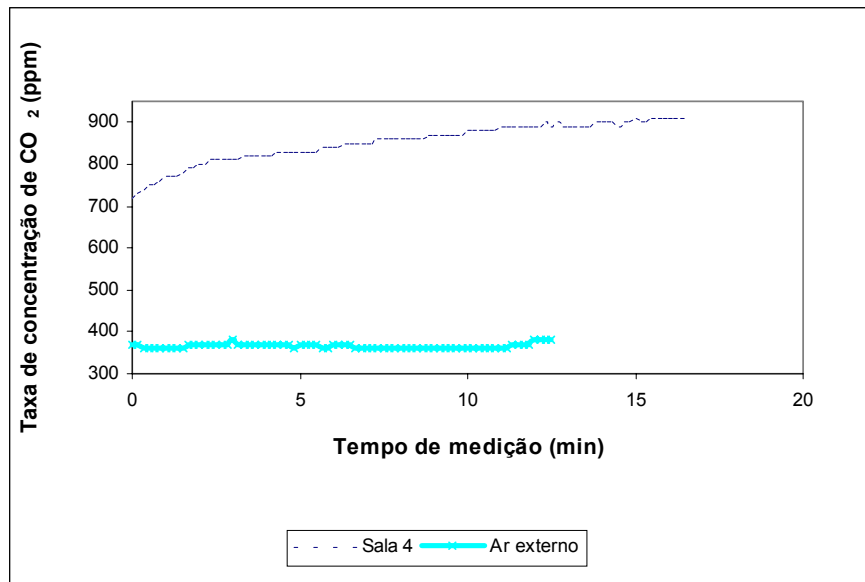


Figura 3: Taxa de concentração de CO₂ na Sala 4, com 4 pessoas, das quais 1 é fumante.

5.2 CONCENTRAÇÃO DE CO₂ EM AMBIENTES SEM AR CONDICIONADO

As taxas de concentração de CO₂ obtidas na sala 5 sem ar condicionado estão apresentadas na figura 4. Durante estas medições, a concentração externa de gás carbônico esteve entre 360 ppm e 430 ppm. A situação de portas e janelas está apresentada no corpo da figura. Durante as medições, a movimentação do ar na sala não era sensível e, no exterior da edificação, a velocidade do vento era típica de calmaria, não havendo nem movimentação de folhas das árvores ao redor do edifício.

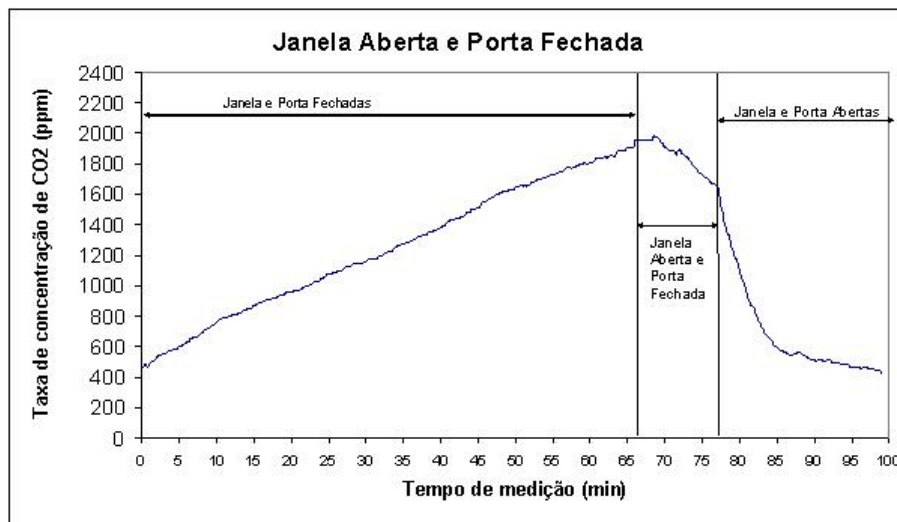


Figura 4: Taxa de concentração de CO₂ na Sala 5 sem ar condicionado, com 4 pessoas em reunião.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os níveis da taxa de concentração de CO₂ do ar externo medidos durante este estudo ficaram próximos ao valor médio de 350 ppm citado na bibliografia. Observe-se que a medição foi feita em um local com poucos veículos em circulação, longe de indústrias e com alta densidade de áreas verdes.

Os resultados das medições realizadas nos ambientes com ar condicionado indicam que em todos os casos as taxas de concentração de CO₂ estão bem abaixo dos limites estipulados pelas normas internacionais para ambientes industriais. Contudo, considerando o limite de 1.000 ppm estabelecido pela resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária Brasileira, verifica-se que este limite foi ultrapassado na sala 1, devido à elevada concentração de pessoas em um ambiente pequeno e a uma

baixa renovação do ar ambiente. Na sala 2, onde a relação pessoas/volume da sala é maior, a concentração de CO₂ em seu interior não atingiu o limite máximo estabelecido pela norma, mesmo estando com o aparelho de climatização ajustado apenas para recircular o ar. Isto se deve, principalmente, à maior quantidade de frestas presentes nas vedações, que permitem uma certa renovação do ar.

As medições nas 2 salas climatizadas com ar condicionado tipo “split” mostram uma tendência de aumento da taxa de concentração de CO₂ e não indicam a possibilidade de que esta taxa atingiria um patamar de regime estacionário em períodos curtos de tempo. Nestas situações, embora os níveis medidos estejam abaixo do limite de 1.000 ppm não se pode dizer que a taxa de renovação do ar que ocorre pelas frestas da envoltória é adequada. Ao contrário, como os valores máximos estão próximos do limite e há a tendência de aumento da taxa de concentração de CO₂, é provável que, no decorrer do tempo, estes valores ultrapassassem os 1000 ppm.

Na sala de reuniões, sem ar condicionado, nota-se que houve um rápido aumento da taxa de concentração de CO₂ (aproximadamente 22 ppm/ min) quando se manteve a porta e a janela fechadas com quatro ocupantes indicando que os limites considerados insalubres seriam atingidos se o processo não tivesse sido interrompido com a abertura da janela, o que ocorreu quando a taxa de concentração de CO₂ estava próxima de 2000 ppm. Comparando-se as taxas de concentração de CO₂ medidas com a abertura apenas da janela e com a abertura da porta e da janela comprova-se o potencial de utilização desse parâmetro como indicador da taxa de renovação do ar interno e da eficácia da ventilação cruzada. Na primeira situação as taxas de concentração de CO₂ tiveram um decréscimo lento e em menor intensidade evidenciando a eficiência da renovação de ar no ambiente quando a porta e a janela estão abertas.

7. CONCLUSÕES

Os valores medidos mostram que, mesmo em ambientes de pequenas dimensões, climatizados com equipamentos com capacidade menor do que 5 TR, a concentração de CO₂ podem ultrapassar o limite de 1.000 ppm estabelecidos na portaria da ANVISA, principalmente quando se utilizam equipamentos do tipo “mini split” com elevada taxa de ocupação dos ambientes. A entrada de mais 2 pessoas nas salas 3 e 4 elevou a concentração em mais de 200 ppm em aproximadamente 15 minutos, mostrando que as taxas de renovação de ar destes recintos são baixíssimas, muito inferiores ao estabelecido pela ANVISA e na NBR 6401.

Os dados da sala não climatizada mostram que um recinto bem ventilado naturalmente, em regiões onde o ar externo apresenta boa qualidade, pode, com facilidade, apresentar valores internos de concentração de gás carbônico abaixo do valor máximo estabelecido pela ANVISA. Observa-se, contudo, que a ventilação dos ambientes deve ser feita de maneira a proporcionar, concomitantemente a uma boa qualidade do ar, condições satisfatórias de conforto térmico e baixo consumo de energia em edifícios climatizados.

Observe-se ainda que a especificação da ANVISA não apresenta maiores cuidados a serem observados com relação ao tempo de medição, indicando apenas a necessidade de se fazer-las na condição crítica, deixando a cargo do avaliador identificar esta condição. Os dados aqui apresentados mostram a importância de se ter garantida a condição de regime permanente para poder se avaliar, em medições de curta duração, os níveis de CO₂ nos ambientes, principalmente se o ambiente estiver muito fracamente ventilado.

A variável principal é o intervalo de tempo das medições, que vai depender das características da edificação quanto às aberturas existentes para a ventilação natural e aos dispositivos mecânicos que promovem a ventilação forçada. Em todos os casos, é conveniente que se façam as medições durante pelo menos um ciclo completo em que o ambiente esteja ocupado, registrando-se as características da edificação e dos equipamentos mecânicos quanto à taxa de ventilação propiciada ao longo do tempo, como também o perfil de ocupação. Nos casos em que se verifique que a taxa de concentração de CO₂ apresenta um regime estacionário bem definido, o intervalo de tempo de medição pode se restringir a poucos minutos após o equipamento ter atingido o seu tempo de resposta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº9 de 16 de janeiro de 2003. **Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo.**
- APTE, M, G; FISK, W. J.;A; DAISEY, J. M. **Indoor Carbon Dioxide Concentrations And Sbs In Office Workers** In Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finlândia, 2000,
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Handbook of Fundamentals**, Atlanta, 1997.
- CARMO, A.T. e PRADO, R.T.A. Texto Técnico da Escola Politécnica da USP. **Qualidade do Ar Interno**, 1999.
- CCOHS - Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Homepage de CCOHS disponível em: **http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/carbon_dioxide/health_cd.html**.
Último acesso: março de 2004.
- CIB – Conseil International du Bâtiment. Sick Building Syndrome: **The Design of Intervention Studies**. CIB Report, Publication 199, Rotterdam, 1996.
- LIDDAMENT, M.W. Homepage de “Ventilation Energy and Environmental Technology” disponível em:**http://freespace.virgin.net/vent.air/Metabolic%20Carbon%20Dioxide/metabolic_carbon_dioxide.htm**. Último acesso: março de 2004.