

SPOT MONITORING. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO

Ernesto Kuchen (1); Manfred Norbert Fisch (2); Marlon Leão (3); Érika Fernanda Toledo Borges Leão (3)

(1) IGS–Institut für Gebäude- und Solartechnik - Universidad técnica de Braunschweig, Alemanha
e-mail: kuchen@igs.bau.tu-bs.de

(2) IGS–Institut für Gebäude- und Solartechnik - Universidad técnica de Braunschweig, Alemanha
e-mail: fisch@igs.bau.tu-bs.de

(3) IGS–Institut für Gebäude- und Solartechnik - Universidad técnica de Braunschweig, Alemanha
e-mail: leao@igs.bau.tu-bs.de

RESUMO

Proposta: Na Alemanha a otimização energética dos edifícios considerando o conforto térmico, conduzem a cumprir estritamente os requerimentos sobre a qualidade do ar que propõe a norma DIN EN 13799 procedente da DIN 1946, não considerando os diagnósticos que podem emitir os usuários. Neste trabalho de campo, se executa um levantamento da qualidade do ar em 280 espaços reais de trabalho, distribuídos em 30 edifícios de escritório na Alemanha. **Objetivos:** Definir concentrações ótimas de CO₂, obtidas da relação entre os dados objetivos de medições e os dados subjetivos emitidos por usuários através de questionários. Junto à avaliação da qualidade do ar sob a ótica da norma e do voto médio dos usuários, pretende-se desenvolver uma ferramenta prática para arquitetos e engenheiros da área de conforto, para o planejamento e otimização energética do edifício. **Método de pesquisa:** Consiste em medições de curta duração e uma consulta simultânea aos usuários mediante um monitoramento pontual “Spot-Monitoring” através do uso de uma unidade móvel equipada com sensores de CO₂ e de COVT - Compostos Orgânicos Voláteis Totais e questionários para se obter um diagnóstico dos usuários sobre a qualidade do ar em seus postos de trabalho. **Resultados:** Observa-se que enquanto as concentrações de CO₂ não superam os 1200 ppm, os usuários não são capazes de distinguir uma diminuição na qualidade do ar do recinto. Além disso, a percentagem mínima possível de insatisfeitos com a qualidade do ar em espaços de trabalho, alcança 30 %. **Contribuição:** definição de valores ótimos de CO₂ para espaços de trabalho.

Palavras-chave: DIN EN 13799; trabalho de campo; dióxido de carbono; porcentagem de insatisfeitos

ABSTRACT

Proposal: In Germany the optimization of energy uses in buildings considering the thermal comfort demands a strict compliance with the requirements for air quality as proposed by the Norm DIN EN 13799 derived from the DIN 1946, regardless the diagnosis the building users may state. In the present field study, a survey on air quality is made in 280 work spaces belonging to 30 office buildings in Germany. **Objectives:** To define an optimal CO₂ concentration that can be attained by assessing the relationship between the measured data and the subjective data given by the users through questionnaires. In addition to evaluating the air quality on the basis of the Norms' criteria, and on the average rating (vote) on air sensory feeling chosen by the users, the study also pursues to contribute by developing a practical assessing tool for architects and engineers working in the field of comfort by planning and optimizing the energy use in buildings. **Methods:** The survey method consists on sensed short measurements and simultaneously gathered questionnaire data given by office users. For measurements, a mobile unit equipped with CO₂ and TVOC sensors (Total Volatile Organic Compounds) was employed; the questionnaire inquired on air quality aspects of the close environment within the office. **Findings:** As a relevant result, it can be stated that the users are not able to distinguish a diminution of the air quality, even though the CO₂ concentrations doesn't surpass 1200ppm. The minimum percentage of dissatisfied with the air quality in work spaces reaches 30%. **Originality/value:** Definition of optimal values of CO₂ for work spaces.

Keywords: DIN EN 13799; Field study; carbon dioxide; percentage of dissatisfied

1 INTRODUÇÃO

Na Alemanha a qualidade do ar é avaliada com a aplicação de limites na concentração de CO₂ propostos pela norma DIN EN 13799 procedente da DIN 1946. O gás CO₂, como principal produto da respiração das pessoas, é um indicador da necessidade de ventilação. Além deste gás, existem outras substâncias em forma de gases, combinadas com partículas orgânicas em suspensão e em forma de poeira (COV - Compostos Orgânicos Voláteis) que podem afetar a qualidade do ar e serem nocivas para a saúde (VDI 4300-6, 2000). A origem pode estar nos materiais utilizados na construção, nos mobiliário, a atividade dos usuários (hoppy), o fumo, baixa renovação do ar e em alguns casos no ar exterior (VDI 4300-6, 2000). A soma das substâncias orgânicas em suspensão é resumida sob a sigla COVT (Compostos Orgânicos Voláteis Totais). Até o momento não existe uma definição exata sobre COVT e menos ainda resultados quantitativos que permitam determinar o grau de nocividade de tais concentrações.

Os usuários de espaços de trabalho não são receptores passivos do ar que respiram e por isso reagem a mudança na qualidade do ar, tanto quanto à variações climáticas mediante a adaptação da roupa, a abertura de janelas e o uso de sombreamento. Mas existem gases e substâncias que não são perceptíveis a baixas concentrações e podem afetar a saúde do usuário (VDI 4300-6, 2000). Os parâmetros CO₂ e COVT podem ter efeitos sobre a concentração e o rendimento dos usuários em seus espaços de trabalho. Por isso, a ventilação e o número de trocas de ar dentro de um recinto, podem chegar a ser consideradas como uma variável econômica (WYON, 2000).

O conceito “Spot-Monitoring” para avaliação da qualidade do ar em edifícios de escritório, se desenvolve com o objetivo de se obter uma sondagem pontual sobre as condições ambientais em espaços reais de trabalho e a percepção sobre a qualidade do ar que tem os usuários destes espaços. O método consiste em esquemas de medição e perguntas simultâneas aos usuários. As medições são realizadas mediante o uso de uma unidade móvel equipada com sensores e perguntas simultâneas através de um questionário curto, onde os usuários emitem o voto de sensação sobre a qualidade do ar e respondem perguntas sobre fatores de influência climática e não climática em seus espaços de trabalho (KUCHEN; FISCH, 2007). Para a análise, é construída uma base de dados com informações sobre 280 espaços de trabalho e o diagnóstico de 1095 votos sobre a qualidade do ar, distribuídos em 30 edifícios de escritório na Alemanha, entre outubro de 2004 e outubro de 2006 (KUCHEN, 2008). As estratégias de ventilação diferem entre os edifícios, de modo que é necessário fazer uma classificação entre espaços com ventilação natural (NAT) e aqueles com ventilação mecânica (MEC).

Estes fundamentos dão origem ao presente trabalho, com o qual se pretende indicar um modo apropriado nos procedimentos de monitoramento, na avaliação da qualidade do ar e no aporte de valores ótimos de CO₂ para serem utilizados como indicadores na definição de estratégias de ventilação, sem deixar de lado a opinião diagnóstica dos usuários.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Objeto de estudo

Neste trabalho de campo são estudados 30 edifícios de escritório com menos de 10 anos de construção ou reforma, afetados pelo clima central europeu. Os mesmos estão localizados na Alemanha nas cidades de Berlin (9), Bonn (1), Braunschweig (5), Hamburg (4), Hannover (4), Gelsenkirchen (1), Helmstedt (1), Leverkusen (1), Magdeburg (1), Mannheim (1), Osnabrück (1) e Wolfsburg (1). Alguns dos edifícios analisados são mostrados na Figura 1.

O clima onde os edifícios estão localizados, temperado frio e úmido, esta definido entre as latitudes 48°N e 53°N (LAUER; RAFIQPOOR, 2002). Dos 30 edifícios analisados, 8 são totalmente climatizados (AC, Air Comditioned), 14 parcialmente (MIX, Mixed comditioned) e 8 com ventilação natural (NV, Natural Ventilated). Neste trabalho de campo, os objetos de estudo do tipo AC e MIX são considerados como edifícios com ventilação mecânica (MEC) e os de tipo NV como edifícios com ventilação natural (NAT). Dos espaços analisados, 70% possuem fachadas simples, 22,5% fachada dupla, 6% voltados a um átrio e os demais espaços internos. Dos espaços com fachadas voltadas ao

exterior, 70% possuem uma superfície de vidro maior ou igual a 60% da mesma. Dos espaços com fachada externa, 24% tem orientação sul, 27% leste, 34% oeste e 15% norte (considerar hemisfério norte).

As possibilidades dos usuários em modificar o ambiente interno a partir da abertura das janelas constituem um aumento no grau de liberdade. Os usuários de espaços com ventilação natural possuem esta liberdade em todos os casos sendo que 20% dos espaços com ventilação mecânica não possuem janelas operáveis.

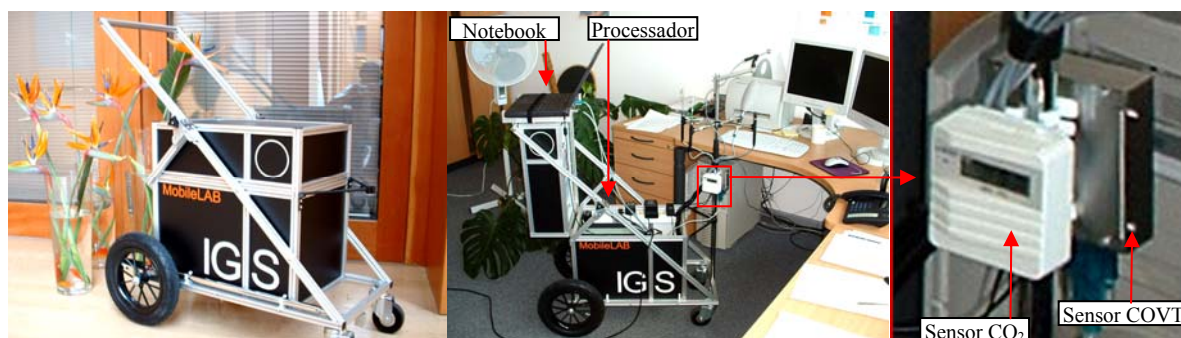


Figura 1 - Alguns exemplos dos 30 edifícios incluídos neste trabalho de campo

Do total de espaços analisados, 25% são espaços individuais de escritório, 58% são espaços para 2 a 4 pessoas e os demais se distribuem em espaços maiores com mais de 4 postos de trabalho. Sobre as pessoas que participaram dos questionários, 506 são do sexo feminino e 588 masculino. Deste total, 10% permanecem menos de 4 horas nos espaços de trabalho, 30% de 4 a 6 horas, 60% mais de 7 horas. As pessoas que não fumam em seus espaços de trabalho totalizam 93%.

2.2 Medições

Um sistema de medição móvel (Mobile LAB, ver Figura 2) permite transportar os instrumentos (sensores) a cada espaço de trabalho no edifício e medir os valores de CO₂ e COVT. A medição se executa em três etapas já que se supõem uma evolução temporal nos valores de aceitação sobre a qualidade do ar. A primeira durante a manhã até às 12:00 horas, a segunda entre às 12:00 e 14:00 horas e a terceira a tarde a partir das 14:00 horas. Os sensores para a medição do dióxido de carbono e de compostos orgânicos em suspensão, se localizam a 0,6 m de altura.



Unidade móvel para transporte dos instrumentos de medição.

Unidade móvel durante a medição no espaço de trabalho.

Sensores para medir a qualidade do ar

Figura 2 - “Mobile LAB” Unidade móvel de medição com sensores para o levantamento dos parâmetros climáticos em locais de trabalho

O levantamento em cada medição permite ter uma referência sobre os parâmetros climáticos e conhecer os valores de CO₂ e COVT. O intervalo de medição foi de um minuto com a medição começando após a fase de aclimação dos sensores (3-5 minutos aproximadamente). Durante esse tempo, a unidade móvel é posicionada junto ao espaço de trabalho finalizando a medição em 5

minutos. Paralelamente o usuário responde o questionário e um assistente realiza o levantamento do espaço. O tempo necessário para coletar a informação não supera 10 minutos. Para o transporte da unidade móvel dentro do edifício, são previstos 5 minutos adicionais, de tal forma que se pode medir quatro espaços por hora (ver (KUCHEN; FISCH, 2007) e (KUCHEN, 2008)). Durante as medições são detectadas e documentadas possíveis fontes de emissão de odores como cinzeiros, lixeiros, impressoras, pessoas, janelas abertas, etc. O sensor de CO₂ (Vaisala GMW22) tem um tempo de resposta de 1 minuto, precisão $> \pm (30\text{ppm} + 2\% \text{ do valor médio})$ a uma temperatura do ar (t_a) de 25°C e mede um intervalo de 0 a 2000 ppm entre valores de $5 < t_a < 45^\circ\text{C}$ e $0 < \text{umidade (RH)} < 85\%$. O sensor de COVT (ETR, Luqas I) tem um tempo de resposta menor a 5 seg., precisão $> 3\%$ do valor médio e não possui intervalo de medição limitado entre os valores de $0 < t_a < 70^\circ\text{C}$ e $5 < \text{RH} < 95\%$.

2.3 Questionário

O questionário simultâneo constitui uma medição do tipo subjetiva que contém a informação diagnóstica do usuário padrão sobre a qualidade do ar e aspectos climáticos e não climáticos que podem estar vinculados aos parâmetros de estudo. O questionário utilizado possui duas páginas com perguntas que se referem a aspectos psicológicos, fisiológicos e físicos do usuário e do ambiente em que se encontra. O voto sobre a qualidade do ar é emitido sobre uma escala de 7 pontos verificada mediante escalas estandarizadas (DIN EN ISO 10551, 2002) sobre a qual o usuário padrão responde seu diagnóstico de percepção sobre a qualidade do ar. Sobre esta escala, o usuário pode eleger valores que vão desde 1 (muito ruim), 2 (ruim), 3 (levemente ruim), 4 (indiferente), 5 (levemente bom), 6 (bom) e 7 (muito bom).

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados da medição (objetivos) e do questionário (subjetivos) permitem analisar as propriedades de cada espaço ao longo de uma jornada de trabalho, comparando-os com outros de características similares. Além disso, é possível a avaliação dos resultados de acordo com a norma (DIN EN 13799, 2004) e analisar o voto emitido pelos usuários (avaliação diagnóstica) para construir valores indicativos sobre a qualidade do ar.

3.1 Dióxido de carbono

A medição do dióxido de carbono, mediante o método Spot-Monitoring, ocorre em 280 espaços de trabalho, sendo coletados 307 questionários sobre a qualidade do ar em espaços com ventilação natural e 912 em espaços com ventilação mecânica. Neste último as janelas podem ser abertas, mas se supõem que mediante um sistema de ventilação mecânica são atendidas as exigências mínimas propostas pela norma (DIN EN 13799, 2004).

A Gráfico 3 mostra a soma de frequências de valores que foram medidas em espaços com diferentes estratégias de ventilação, dos quais 50% são superiores a 700 ppm e entre si, não variam significativamente. Por um lado, 10% dos valores medidos em espaços NAT e 4% em espaços MEC, não superam o limite de 600 ppm (alta qualidade do ar). Por outro lado, em espaços NAT, 15% dos valores medidos superam o limite de concentração de CO₂ de 1000 ppm que propõem a norma (ver Tabela 1). Em espaços MEC somente em 10%. Pode-se dizer que em 75% dos casos em espaços NAT e 96% em espaços MEC, a concentração de CO₂ está entre 600 e 1000 ppm, segundo a norma (DIN EN 13799, 2004) o que corresponde como uma “média” qualidade do ar.

Tabela 1 - Classificação da qualidade do ar em categorias segundo a norma alemã DIN EN 13779: 2004. A sigla RAL significa “Raumluft” (ar interior)

Categoria	Descrição da qualidade do ar interior	Intervalos de concentração de CO ₂
RAL 1	Especial	CO ₂ ≤ 400 ppm
RAL 2	Alta	400 < CO ₂ ≤ 600 ppm
RAL 3	Média	600 < CO ₂ ≤ 1000 ppm
RAL 4	Baixa	CO ₂ > 1000 ppm

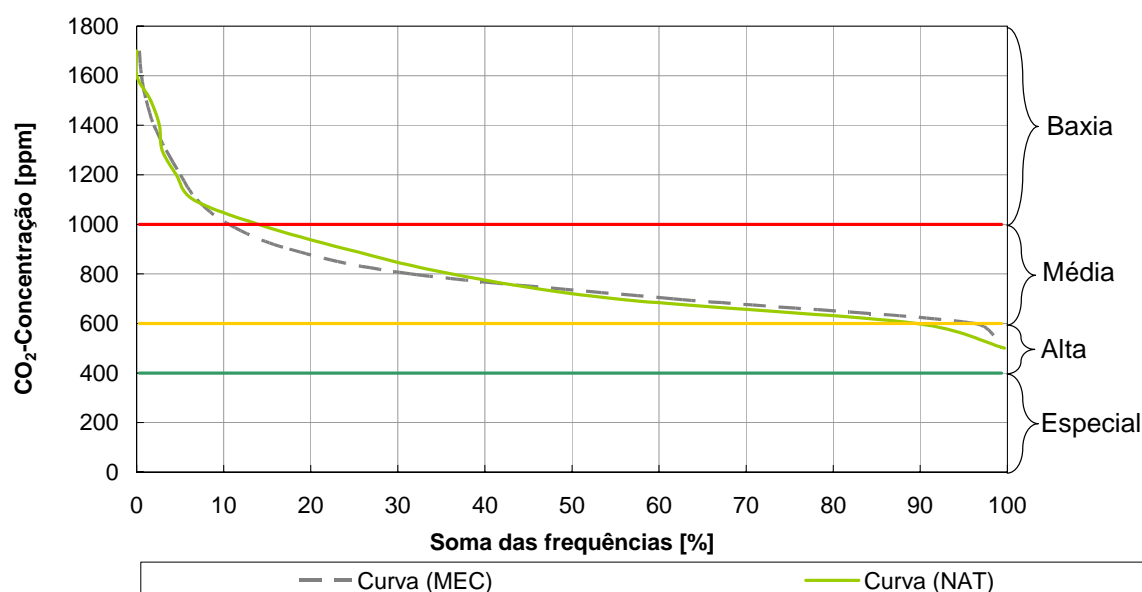


Gráfico 3 - Soma de frequências das concentrações de CO₂ medidas em espaços com ventilação natural (NAT) e espaços com ventilação mecânica (MEC) em relação a os limites propostos na norma DIN EN 13799 (dados de KUCHEN, 2008)

No questionário aos usuários, o voto médio sobre a qualidade do ar é obtido através da escala de 7-pontos (ver Gráfico 4) com extremos em 1 (muito ruim) e 7 (muito bom). Nesta escala, os que votam entre 1 (muito ruim), 2 (ruim) e 3 (levemente ruim), se consideram insatisfeitos, os que votam 4 (indiferente), se consideram não afetados e os que votam entre 5 (levemente bom), 6 (bom) e 7 (muito bom), se consideram satisfeitos com a qualidade do ar.

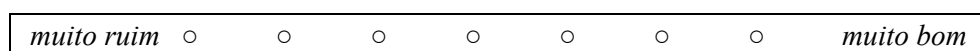


Gráfico 4 - Escala de 7 pontos definida de acordo com a norma (DIN EN ISO 10551, 2002)

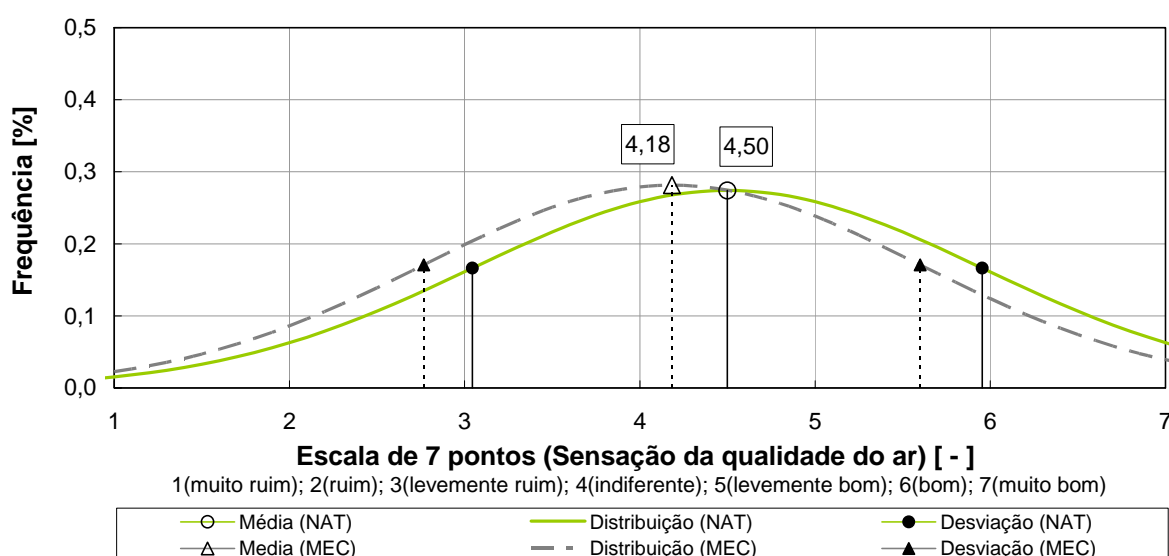


Gráfico 5 - Distribuição normal do voto médio sobre a qualidade do ar (dados de KUCHEN, 2008)

A distribuição normal do voto médio da qualidade do ar (ver Gráfico 5) mostra que 70% dos usuários consultados em espaços com ventilação natural, votam 4,5 com um desvio padrão de 1,5. Em espaços

com ventilação mecânica, o valor médio de qualidade do ar chega a $4,2 \pm 1,4$. Mesmo existindo uma melhor percepção da qualidade do ar em com espaços ventilação natural, a maioria dos consultados são indiferentes.

3.2 Compostos Orgânicos Voláteis Totais

A medição de COVT se desenvolve simultaneamente com as medições de CO_2 permitindo uma comparação direta entre os parâmetros. As substâncias em suspensão podem atuar de forma individual ou mediante a combinação de duas ou mais. Neste trabalho se obtém a soma de concentrações que é denominada sob a sigla COVT (Compostos Orgânicos Voláteis Totais) (VDI 4300-6, 2000).

A Tabela 2 mostra valores recomendados na literatura (BIA-Report 2003) e que respondem a possíveis concentrações de COVT que podem ter efeito sobre a saúde dos usuários. A Tabela 3 mostra áreas do organismo afetadas e respectivas consequências em razão de uma baixa qualidade do ar segundo (MØLHAVE, 2003).

Tabela 2 - Valores médios da concentração de COVT e seus possíveis efeitos sobre a saúde dos usuários segundo (BIA-Report 2003)

Concentração	Efeitos
$< 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Não provoca irritações e/ou alterações do bem-estar
De 200 hasta $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Possível irritação ou alteração do bem-estar, quando estes efeitos ocorrem em combinação com outros parâmetros
De 3000 hasta $25000 \mu\text{g}/\text{m}^3$	A exposição provoca possíveis dores de cabeça, quando este efeito ocorre em combinação com outros parâmetros
$> 25000 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Possíveis dores de cabeça e efeitos neuro-toxicológicos

Tabela 3 - Áreas afetadas e respectivas consequências em razão de uma baixa qualidade do ar segundo (Mølhave 2003)

Áreas Afetadas	Consequências
1. Sistema imunológico e hipersensibilidade	Asma, alergia e hipersensibilidade não específica
2. Sistema respiratório (com exceção do imunológico)	-
3. Composição celular	Câncer e outros efeitos celulares incluindo reprodução
4. Sistema neurológico e sensorial	Perda do olfato, irritação e sintomas neurotóxico
5. Sistema cardiovascular	-

Em espaços com ventilação natural foram realizadas 70 medições e em espaços com ventilação mecânica, 194 medições. A Gráfico 6 mostra a baixa correlação que existe entre estes dois parâmetros. Os valores de medição de COVT alcançam $156 \pm 9,4 \mu\text{g} / \text{m}^3$ em espaços NAT e $159 \pm 8,0 \mu\text{g} / \text{m}^3$ em espaços MEC. Os valores de medição de CO_2 se encontram em torno de $598 \pm 155 \text{ ppm}$ em espaços NAT e 629 ± 137 em espaços MEC.

A análise de regressão linear entre os parâmetros CO_2 e COVT, permite descrever algumas relações. A pendente da reta “b” indica em quanto a concentração de COVT varia em função do CO_2 , podendo destacar que em espaços com ventilação natural (ver eq. 1) ocorre uma leve variação ($b=+0,03$) e em espaços com ventilação mecânica a relação se mantém constante ($b=+0,01$) (ver eq. 2). O valor do coeficiente de correlação é significativamente maior em espaços com ventilação natural (Coeficiente de Pearson, $r=+0,48$). Sendo este um valor baixo, é um indicativo da efetividade com que se desenvolve a renovação de ar mediante a abertura de janelas.

Se entre os parâmetros de medição CO_2 e COVT existe uma relação e se considera que em espaços MEC, o valor da pendente de regressão se mantém constante ($b=+0,01$) e o coeficiente de correlação é quase nulo ($r=+0,10$), se pode afirmar a seguinte teoria. Uma troca de ar de 10 litros/pessoa/segundo, valor recomendado por normas europeias (WYON, 2001), permite manter os valores de CO_2 dentro de limites aceitáveis ($598 \pm 155 \text{ ppm}$) e garantia de manutenção constante dos níveis de COVT abaixo dos limites recomendados.

Durante as 264 observações, nenhuns dos valores medidos de COVT superaram os limites propostos em (VDI 4300-6, 2000), de modo que não foram detectadas concentrações que possam afetar a saúde dos usuários.

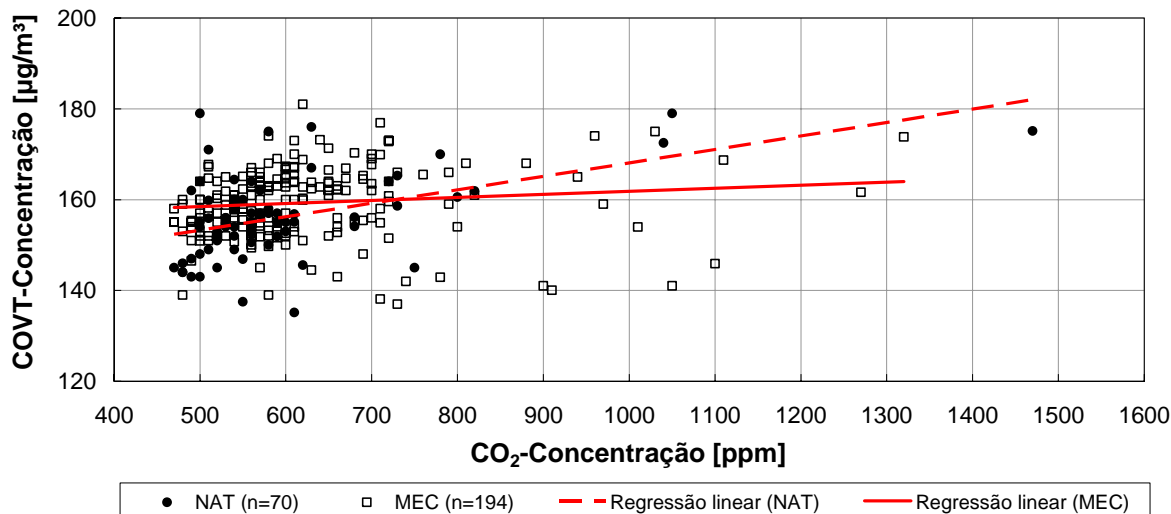


Gráfico 6 - Análise de regressão linear entre os valores simultâneos de medição de CO₂ e COVT (dados de KUCHEN, 2008)

$$(eq. 1) \quad COVT_{NAT} = 0,03 \cdot CO_2 + 138,4 \quad (r = +0,48)$$

$$(eq. 2) \quad COVT_{MEC} = 0,01 \cdot CO_2 + 155,1 \quad (r = +0,10)$$

4 AVALIAÇÃO

Com o propósito de avaliar a qualidade do ar para determinar valores ótimos de CO₂, a análise não está limitada somente ao uso da norma (DIN EN 13799, 2004), mas também, considera a opinião diagnóstica dos usuários através do voto médio de percepção sobre a qualidade do ar.

Para analisar a soma de frequências da medição de CO₂ se utilizam os três intervalos de avaliação que propõem a norma (DIN EN 13799, 2004) para definir a qualidade de ar nas categorias “alta, média e baixa” (ver Gráfico 3).

Sem considerar as estações do ano, a Gráfico 7 mostra que assim como em condições ótimas de CO₂ (<600 ppm), a porcentagem de insatisfeitos em ambos os espaços não é menor que 28%. Em espaços com ventilação natural, um aumento de concentração de CO₂ acima de 1000 ppm se traduz em um aumento de indiferentes, enquanto que a porcentagem de insatisfeitos se mantém relativamente constante (29%).

Em espaços com ventilação mecânica, um aumento de concentração de CO₂ acima de 1000 ppm, permite detectar um usuário mais sensível as alterações na concentração do gás. Nestes espaços a porcentagem de insatisfeitos aumenta de 28% para 46% e o de satisfeitos diminui consideravelmente de 43% para 27%. A porcentagem de indiferentes se mantém entre 27% e 29%.

No verão e grande parte do período transitório, a abertura de janelas constitui uma estratégia para liberar cargas térmicas e controlar a qualidade do ar (NICOL, 2001). As condições climáticas que se destacam no período de inverno em climas da Europa central, com temperatura média exterior de -2,7 °C (DWD 2004) constituem uma restrição para o uso desta estratégia.

Em base a medições realizadas com Spot-Monitoring se pode afirmar que as concentrações de CO₂ em espaços internos durante o período de inverno, superam os valores recomendados na (DIN EN 13799, 2004). Durante o período transitório e de verão, os mesmos espaços, se mantêm dentro de intervalos bons e aceitáveis (PLESSER; KUCHEN; FISCH, 2008).

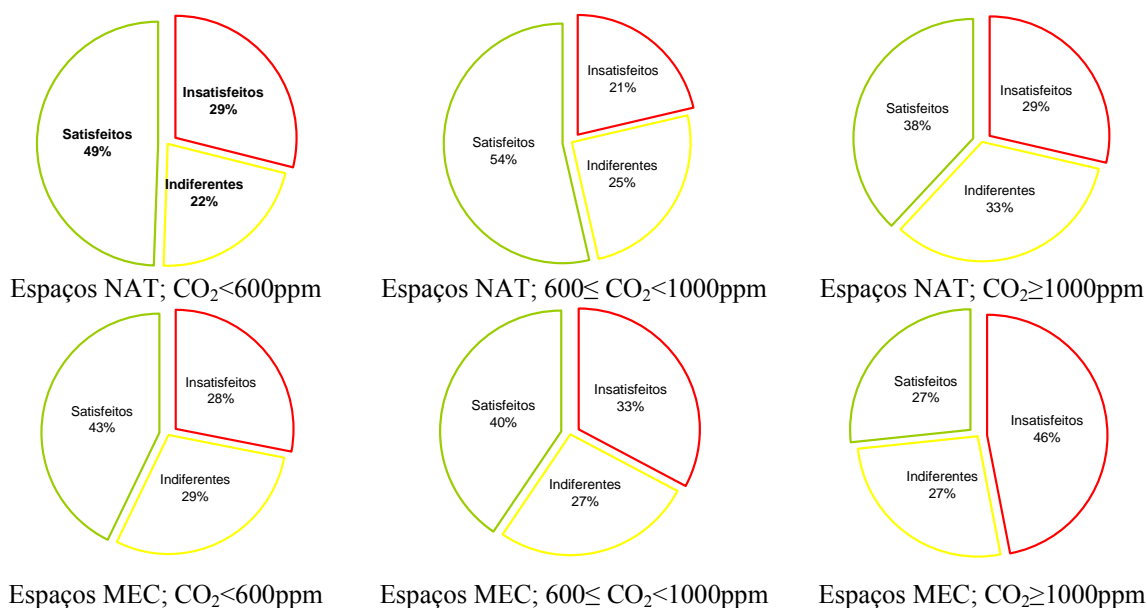


Gráfico 7 - Distribuição da porcentagem de satisfação em relação a diferentes concentrações de CO₂, em espaços com diferentes estratégias de ventilação (dados de KUCHEN, 2008)

A Figura 8 mostra a porcentagem de usuários satisfeitos e insatisfeitos durante o período de inverno. O intervalo de concentração de CO₂ determinado para a análise se fixa a cada 200 ppm. Para intervalos de concentração entre 600 e 1200 ppm, os usuários não são capazes de determinar uma diminuição da qualidade do ar em função do aumento da concentração do gás, de modo que a porcentagem de insatisfeitos se mantém relativamente constante em torno de 30%.

Estes resultados podem ser comparados com (HUIZENGA et al., 2006), que com um extenso trabalho de campo obteve uma média de 69% de satisfeitos com a qualidade do ar. Para intervalos de concentração entre 1200 e 1400 ppm se observa um aumento significativo de insatisfeitos de 25% e uma redução da porcentagem de satisfeitos em 14%.

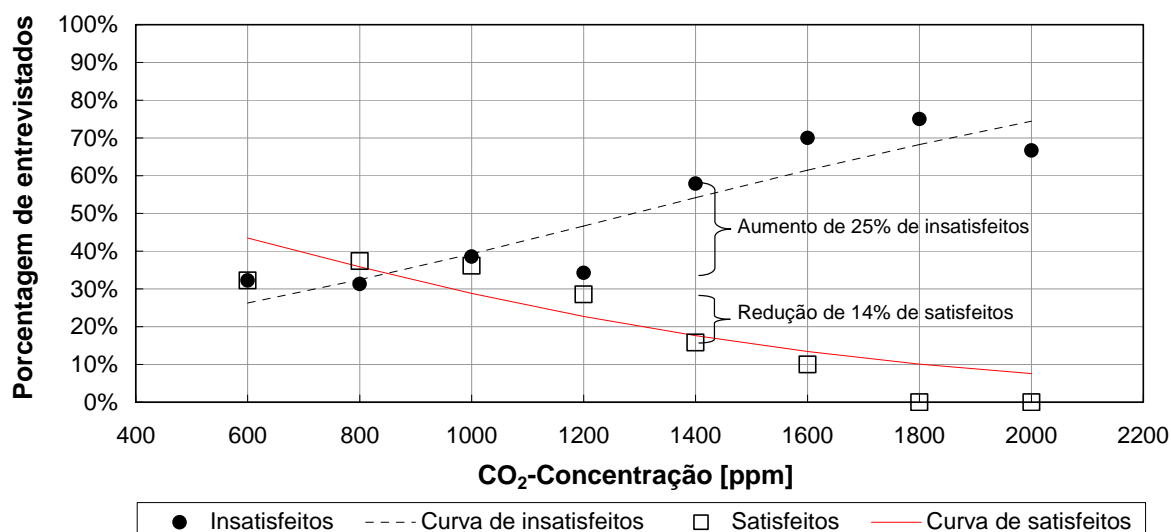


Figura 8 - Análise de regressão não linear entre a porcentagem de satisfeitos e insatisfeitos com os valores de concentração de CO₂ medidos no período de inverno (n=300) (dados de KUCHEN, 2008)

$$(eq. 3) \quad \% \text{ Insatisfeitos} = \frac{\exp(-1,93 + 0,0015 \cdot CO_2)}{1 + \exp(-1,93 + 0,0015 \cdot CO_2)}$$

$$(eq. 4) \quad \% \text{ Satisfeitos} = \frac{\exp(0,69 - 0,0016 \cdot CO_2)}{1 + \exp(0,69 - 0,0016 \cdot CO_2)}$$

As curvas de regressão do tipo exponencial, calculadas para determinar a porcentagem de insatisfeitos (ver (eq. 3)) e satisfeitos (ver (eq. 4)) em relação as variações dos valores das concentrações de CO₂ (probit analysis), tem caráter prognóstico, de maneira que podem ser utilizadas em futuros cálculos e provadas em programas de simulação para validar seu uso como ferramenta prática para a definição das estratégias de ventilação.

Os resultados da medição de CO₂ não são influenciados pela variação dos valores de temperatura, velocidade do ar e umidade relativa, dessa maneira concordando com (MØLHAVE, 1997).

5 CONCLUSÃO

A concentração de CO₂ da medição e o diagnóstico dos usuários mediante o voto de percepção sobre a qualidade do ar dos questionário constituem os parâmetros de maior importância para avaliação da qualidade do ar em espaços interiores de trabalho. Das observações, não se pode determinar uma relação entre a evolução temporal e a percepção sobre a qualidade do ar. Mas se pode afirmar que no período de inverno, quando a renovação do ar se encontra restringida para manter as exigências sobre o condicionamento térmico, no mínimo 30% de insatisfeitos se mantém relativamente constante enquanto a concentração de CO₂ não supera 1200 ppm. Os valores da concentração de COVT atingem em 100% as recomendações indicadas na literatura. Assim, se supõe que os limites propostos na literatura não são muito restritivos e devem ser considerados com certo cuidado. A relação entre os valores de COVT e CO₂ não é significativa em espaços com ventilação mecânica. Contrariamente, essa relação é significativa em espaços com ventilação natural, de modo que a abertura de janelas consegue ser efetiva para a renovação do ar. A influência de fatores ambientais sobre a qualidade do ar, como a umidade, a percepção de odores, atividades que os usuários exercem em seus espaços de trabalho e a disponibilidade e/ou frequência do uso de janelas operáveis em relação as estações do ano, são aspectos de interesse em futuras investigações.

6 REFERÊNCIAS

DIN EN 13779, 2004 - **Lüftung von Nichtwohngebäuden. Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen.** Deutsche Fassung EN 13779:2004; Ersatz für DIN 1946-2:1994-01.

DIN 1946-2, 1994 - **Raumlufttechnik.** Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln) VDI 4300-6, 2000 - Messen von Innenraumluftverunreinigungen. Messstrategie für flüchtige organische Verbindungen.

WYON, D.; 2001 - **Enhancing Productivity While Reducing Energy Use in Buildings.** E-Vision 2000: Key Issues That Will Shape Our Energy Future - Summary of Proceedings. 2001, pp. 233-253.

KUCHEN, E.; FISCH, M. N.; 2007 - **Spot-Monitoring. Evaluación del Confort Térmico en Edificios de Oficina.** BIEL Light+Building 2007, CADIEEL, Buenos Aires, Argentina.

LAUER, W.; RAFIQPOOR, M. D.; 2002 - **Die Klimate der Erde.** Eine Klassifikation auf der Grundlage der ökophysiologischen Merkmale der realen Vegetation; Verlag: Franz Steiner; Stuttgart; ISBN: 3-515-0872-4.

KUCHEN, E.; 2008 - **Spot monitoring zum thermischen Komfort in Bürogebäude** -*Spot-Monitoring to assess the thermal comfort at office buildings*- Institute of Building Services and Energy Design, Technical University of Braunschweig, PhD-Thesis (to be published).

EN ISO 10551; 2002 - **Ergonomie des Umgebungsklimas**. Beurteilung des Einflusses des Umgebungsklima unter Anwendung subjektiver Bewertungsskalen“ (ISO 19551:1995)”. Deutsche Fassung EM ISO 10551:2002..

BIA-Report; 2003 - **Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit**. HVBG, ISSN: 0173-0387, S. 186-200, Deutschland.

MØLHAVE L, 2003 - **Organic compounds as indicator of air pollution**. INDOOR AIR, ISSN: 0908-5920; Denmark.

NICOL, J. F.; 2001 - **Characterizing occupant behavior in buildings**. Towards a stochastic model of occupant use of windows, light, blinds, heater and fans. Oxford Centre for Sustainable Development, Oxford Brookes University.

PLESSER, S.; KUCHEN, E.; FISCH, M.N.; 2008 - **The New House of the Region of Hannover: Using EPBD-strategies to improve energy efficiency in the building lifecycle**. Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings (IEECB'08), Congress Center Messe Frankfurt, Germany (to be published on April 2008).

HUIZENGA, C.; ABBASZADEH, S.; ZAGREUS, L.; ARENS, E. A.; 2006 - **Air Quality and Thermal Comfort in Office Buildings**. Result of a Large Indoor Environmental Quality Survey; Center for the Built Environment, University of California, Berkley, CA 94720-1839 USA; Proceeding of Healthy Building 2006, Lisbon, Vol. III,

MØLHAVE, L.; CLAUSEN, G.; BERGLUND, B. et al.; 1997 - **Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigation**. INDOOR AIR, ISSN: 0905-6947; Denmark.

7 AGRADECIMENTOS

As investigações se desenvolveram na linha de pesquisa dos projetos EVA (Evaluierung von Energiekonzepten), Twin Skin (Doppelfassaden auf dem Prüfstand) e WKSP (Wärme und Kältespeicherung in Gründungsbereich energieeffizienter Bürogebäude), no instituto “IGS – Institut für Gebäude- und Solartechnik” (Instituto para instalações prediais e técnicas solares) vinculada à faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Braunschweig- Alemanha, dirigido pelo Prof. Univ. Dr.-Ing. M. N. Fisch. O autor agradece aos órgãos públicos BWUA (Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit), DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) e aos diretores de projeto Dr.-Ing. L. Kühl, Arq. S. Plesser e Arq. V. Huckemann.