

CARACTERIZAÇÃO DE UM AMBIENTE COM SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR DO TIPO "TETO FRIO" QUANTO AO PERFIL DE ESTRATIFICAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR

Marcelo Jun Ikeda (1); Brenda Chaves Coelho Leite (2)

(1) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica,
Universidade de São Paulo - Av. Prof. Almeida Prado, trav. 2, n. 83, Cid. Universitária,
CEP: 05508-900, São Paulo, SP, Brasil - tel.: (+55 11) 7334-0147

e-mail: marcelo.ikeda@poli.usp.br

(2) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica,
Universidade de São Paulo - Av. Prof. Almeida Prado, trav. 2, n. 83, Cid. Universitária,
CEP: 05508-900, São Paulo, SP, Brasil - tel.: (+55 11) 3818-5234

e-mail: brenda.leite@poli.usp.br

RESUMO

Este estudo pretende caracterizar o perfil de estratificação da temperatura do ar de um ambiente, comparando-a com a norma ISO 7726 (1985), que determina os critérios para considerar um ambiente homogêneo. É um trabalho experimental baseado na coleta de dados da variável temperatura em uma sala de aula, em regime transiente. Esta sala utiliza um sistema de condicionamento de ar do tipo teto frio, que se caracteriza por um sistema misto composto por circuitos de água gelada que percorre serpentinas instaladas em placas metálicas de forro e circuitos de ar, com distribuição de ar pelo teto, cujo funcionamento é controlado por um sistema de automação específico. Este estudo determinará as principais variáveis ambientais em diferentes posições da sala de acordo com as recomendações da ISO 7730 (1994) para a avaliação de conforto térmico. Os resultados obtidos através da análise estatística demonstram que o ambiente pode ser considerado homogêneo mesmo que o experimento tenha sido realizado em regime transiente.

ABSTRACT

This study intends to characterize the stratification profile of air temperature of an environment, comparing to ISO 7726 (1995), which determines criteria to consider a homogeneous environment. It is an experimental work based on data collection of temperature variable at a classroom in a non-steady state condition. This room uses an air conditioning system of the "Cooling Ceiling" type which it is characterized by a mixed system compounded by cold water circuits which pass through coils installed on metal ceiling tiles and by air circuits whose functioning is controlled by a specific automation system (hardware and software). This study will determine the main environment variables in several positions in the room according to ISO 7730 (1994) recommendations to thermal comfort evaluation. The obtained results by statistic analyses point out that the environment can be considered homogenous even the experiment had been accomplished in a non-steady state condition.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de teto frio se baseia no princípio da troca de calor por meio da radiação, onde são utilizadas placas metálicas de forro ativadas por serpentinas contendo água gelada, criando assim, um teto com uma temperatura inferior à temperatura do próprio local. Este sistema de condicionamento de ar necessita de um sistema de automação e controle bem ajustado para evitar os efeitos da condensação, uma vez que na maioria dos ambientes existe calor latente. Assim, há introdução de ar resfriado, que também contribui para o condicionamento do ar, trocando calor por convecção.

Embora este sistema de ar condicionado represente uma tecnologia relativamente nova, alguns aspectos podem ser caracterizados como positivos, com base em resultados de pesquisas internacionais. O sistema de “teto frio” é uma instalação que consegue atender a vários requisitos de conforto térmico (SODEC, 1999), tais como:

- Baixo gradiente de temperatura;
- Baixa velocidade do ar;
- Baixo nível sonoro (manutenção do nível de pressão sonora permissível).

Com relação à primeira característica apresentada, foco desta pesquisa, este artigo apresenta uma análise do perfil de estratificação de temperatura do ar de um ambiente experimental que utiliza o sistema de condicionamento de ar do tipo teto frio. A coleta de dados dos valores de temperatura do ar ocorreu em diferentes posições na sala e em diferentes níveis de acordo com as recomendações da norma ISO 7730 (1994) para avaliação do conforto térmico. Estes resultados foram analisados através da comparação com dados da norma ISO 7726 (1995), que estabelece os critérios para considerar um ambiente homogêneo.

O perfil de estratificação do ar representa uma característica muito importante na avaliação de satisfação individual, assim como, as características de corrente de ar e assimetria de temperatura radial. Sua influência pode ser mais visível em situações onde existem condições térmicas distintas no espaço, porém, mesmo assim, estes aspectos normalmente não são levados muito em conta na avaliação da satisfação do usuário. (LEITE, 2003).

Uma das causas do desconforto local pode ser a diferença vertical de temperatura do ar ou estratificação da temperatura, que corresponde a uma alteração da uniformidade do ambiente. No caso do sistema de teto frio, utilizado em um ambiente fechado, a temperatura do ar devido ao efeito da radiação emitida pelas placas de forro metálicas através das serpentinas percorridas por água gelada, tende a aumentar do teto para o piso. Em contrapartida, a carga térmica originada de equipamentos e pessoas tende a forçar o calor a subir de forma a diminuir o gradiente de temperatura.

Um dos principais efeitos indesejáveis da estratificação de temperatura do ar e que, também será analisado nesta pesquisa, é o frio nos pés ou calor na cabeça. Segundo a norma ISO 7730 (1994) se o gradiente de temperatura entre os pés e a cabeça for maior que 3°C pode ocorrer desconforto local, embora o corpo como um todo possa estar em situação de conforto. Para que este fato não ocorra, o gradiente de temperatura não deve ser maior que 3°C, para pessoas em atividade leve, vestindo roupa com isolamento de 0,5 clo a 0,7 clo.

2. OBJETIVO

O presente trabalho experimental é um estudo preliminar realizado em regime transiente, ou seja, na condição real de uso, onde foi analisado o perfil de estratificação de temperatura do ar em uma sala de aula que utiliza o sistema de condicionamento de ar do tipo teto frio. Essa análise foi realizada de acordo com as recomendações da norma ISO 7730 (1994) para avaliação do conforto térmico. Os resultados analisados através da comparação com dados da norma ISO 7726 (1995), que estabelece os critérios para considerar um ambiente homogêneo, concluiu que o ambiente apresenta características que podem ser classificados como tal.

3. CARCTERÍSTICAS DO SISTEMA ESTUDO DE CASO

3.1 Ambiente de Medição

O ambiente experimental é o Laboratório para Ensino de CAD do Departamento de Engenharia da Construção Civil da Escola Politécnica da USP. O ambiente possui geometria retangular com uma área de piso de aproximadamente 180 m². As paredes são de alvenaria e divisórias, e o acesso é feito por duas portas de vidro de 10 mm de espessura. As janelas são de vidros simples e localizam-se na região oposta à da porta e possuem no total 25 m². O teto da sala é composto por placas metálicas de alumínio de 0,75 m² cada uma. O sistema de painéis delimita um espaço Plenum de 40 cm de altura. A construção do “teto frio” da sala foi feita de forma a possuir doze circuitos fechados de água gelada, conforme a Figura 1.

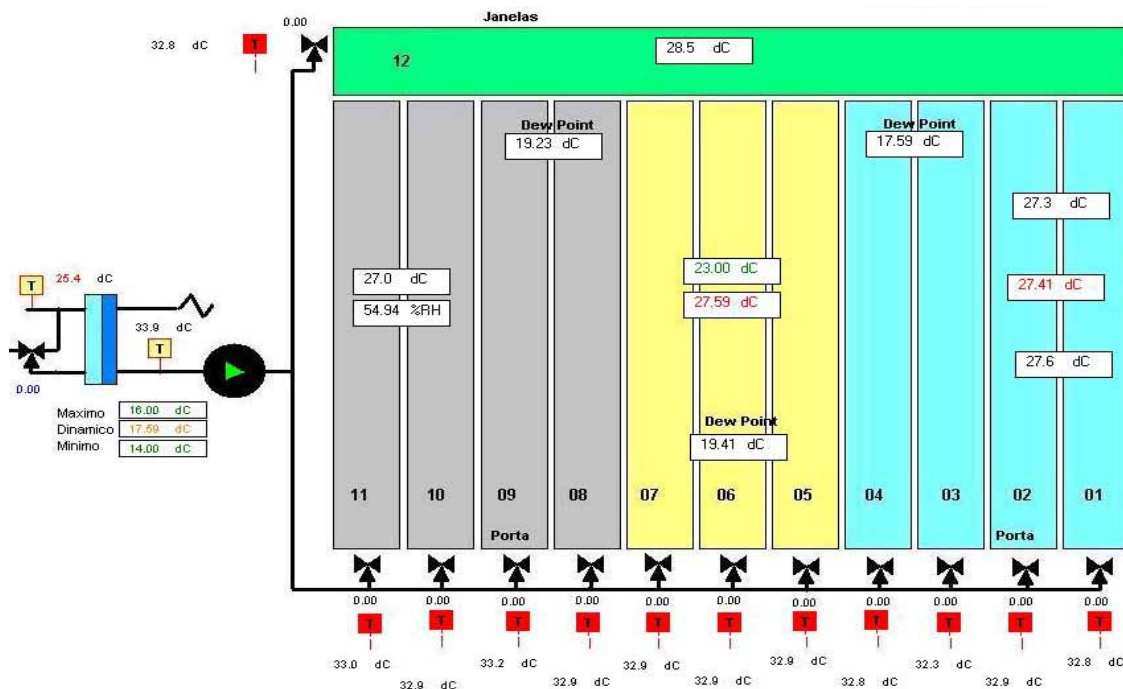


Figura 1 – Circuitos de água gelada

Cada circuito atende a um conjunto de placas de forro metálico ativadas por serpentinas contendo água gelada e é controlado por uma válvula motorizada que mantém a vazão de água gelada de acordo com as condições de carga térmica. Adicionalmente, os circuitos foram agrupados em conjuntos, formando quatro regiões. Cada região é atendida por um conjunto de válvulas, acionadas por atuadores, que abrem ou fecham de acordo com a comparação da medição destes sensores fixos na parede com *setpoint* previamente estabelecido. Assim, existe um controle “independente” de temperatura de cada região que é feito por meio de sensores de temperatura localizados em pontos estratégicos nas paredes da sala dentro de cada região correspondente.

Essa técnica de zoneamento permite uma melhor utilização do sistema de condicionamento de ar, através da otimização da carga de resfriamento conforme a real necessidade de cada região que se criou abaixo de cada agrupamento de circuitos.

Dessa forma, o sistema de controle de condicionamento de ar age como se existissem realmente quatro regiões distintas dentro de um mesmo ambiente. Duas regiões localizadas nas laterais compreendem quatro circuitos cada um; uma região central compreende três circuitos e uma região localizada na porção em frente às janelas, apenas um circuito. Por exemplo, se o sistema de controle “entender” que certa região está com carga térmica mais alta, esta tentará suprir esta necessidade com uma carga de resfriamento equivalente, através da abertura proporcional das válvulas de água fria

sobre os circuitos de painéis radiantes localizados nesta região. Sem esquecer, é claro que, como o ambiente é amplo e sem baias ou divisórias, necessariamente existe uma interação de cargas térmicas e umidade entre estas regiões, o que faz com que as regiões vizinhas sintam o efeito desta carga térmica de alguma forma, porém, com uma intensidade menor, exigindo-se assim menos do sistema.

3.2 Sistema de Condicionamento de ar

O sistema de condicionamento de ar do tipo “teto frio” instalado no laboratório é formado por um sistema misto composto por dois tipos de circuitos: circuitos de água gelada e circuitos de ar.

3.2.1 Circuito de água

No circuito de água, apresentado na Figura 2, a água é utilizada como meio de transferência de calor e é transportada através de serpentinas metálicas acopladas em um forro metálico ou presentes no interior do Fan Coil, promovendo uma redução da energia de transporte exigida na climatização do edifício.

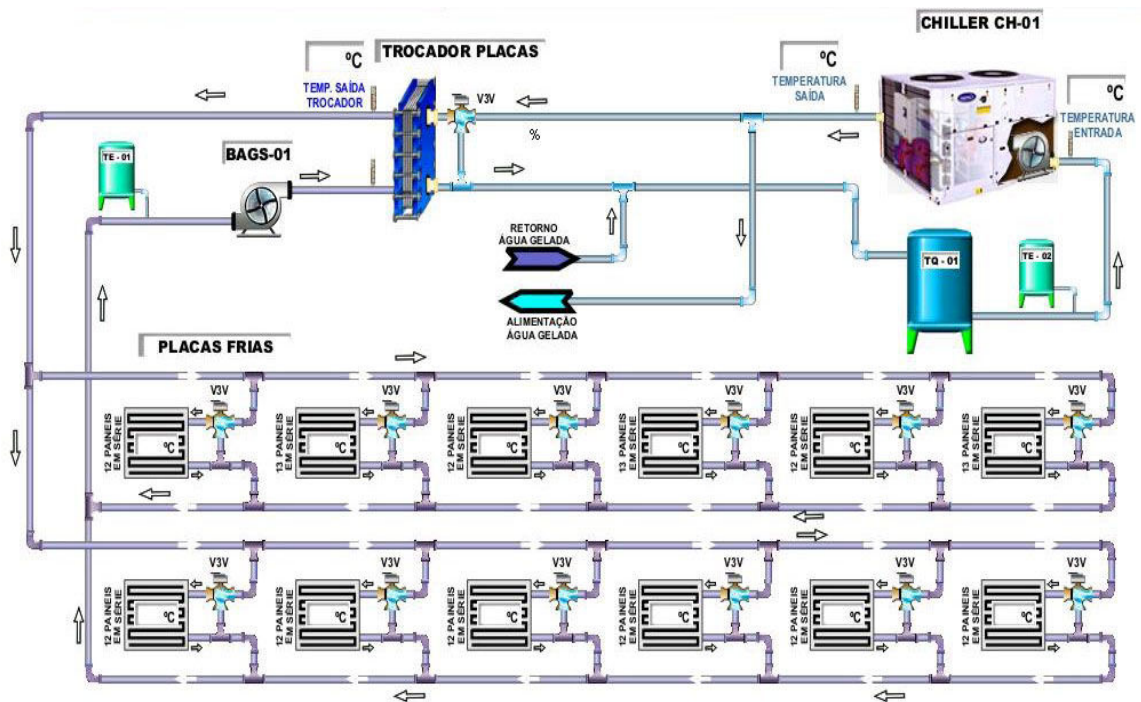


Figura 2 – Esquema dos circuitos hidráulicos: primário e secundário

A circulação de água gelada encontra-se subdividida em dois circuitos hidráulicos:

- Primário: fornece água gelada diretamente para um Fan Coil de 4 TR e para um trocador de calor, em regime de vazão de água variável, controlada por uma válvula de 3 vias. No caso deste laboratório, o sistema primário conta com um *chiller* da marca Carrier de 18 TR de capacidade de refrigeração.
- Secundário: promove a circulação de água gelada, em circuito fechado, através de doze circuitos hidráulicos, sendo que cada circuito por sua vez, é formado por um conjunto de 12 ou 13 painéis radiantes em série. Esta água que circula pelas serpentinas acopladas aos painéis radiantes do circuito secundário é impulsionada por uma bomba e é resfriada por uma placa trocadora de calor, que por sua vez recebe água gelada do chiller. O controle de vazão desta água é feito por meio de válvulas motorizadas de três vias e estas são controladas por atuadores e controladores.

3.2.2 Circuito de Ar

O outro circuito complementar é o de ar resfriado em um Fan Coil dimensionado para o equivalente calor latente. O ar frio é distribuído através de redes de dutos e difusores de teto. O equipamento Fan Coil foi projetado para atender uma capacidade térmica de 4 TRs.

Para evitar os efeitos da condensação, uma vez que no ambiente da sala existe calor latente, há introdução de ar resfriado, que também contribui tanto para o condicionamento do ar, trocando calor por convecção quanto para a qualidade do ar, com a renovação. O sistema fornece ao ambiente vazão de ar variável com controle de temperatura e umidade.

Após ter percorrido o ambiente e ter absorvido ou suprido calor e umidade, o ar insuflado é retirado do ambiente através de algumas grelhas de retorno localizadas no forro do teto e substituído por uma nova vazão de ar tratado nas mesmas condições, para manter o ciclo em operação. O ar insuflado é geralmente uma mistura de ar "usado" (retorno), retirado do ambiente e novamente resfriado com ar "novo" tomado ao exterior, garantido a renovação permanente do ar ambiente. Esta renovação atua duplamente: uma parte dos poluentes é retirada do ambiente com a parcela do ar expurgada; e simultaneamente, a concentração dos poluentes remanescentes é reduzida pela introdução de ar novo, diminuindo a concentração de dióxido de carbono e garantindo a provisão de umidade.

3.3 Sistema de Automação e Controle

O sistema de automação e controle da sala é dividido basicamente em hardware e software. O hardware consiste de todos os dispositivos que efetivamente influenciam o controle das variáveis ambientais, tais como, sensores, controladores e atuadores de válvulas e *dampers*. O software é representado pelo aplicativo *Comfort View*, que permite a monitoração destas variáveis e configurações de *setpoints*.

Os sinais utilizados no sistema de controle são de natureza analógica ou digital e são manipulados com diferentes modos de controle. No caso deste estudo será utilizado principalmente o modo de Controle Proporcional – Integral (PI). Nos sistemas de condicionamento de ar do tipo “teto frio”, os sistemas de controle têm as seguintes finalidades, contendo em cada um, *loops* ou rotinas de controle.

3.3.1 Resfriamento do ambiente

O resfriamento do ambiente basicamente acontece por meio de duas formas de controle:

- Controle do chiller: Possui uma rotina que faz o controle de temperatura através da abertura e fechamento de válvulas do circuito primário;
- Controle da vazão de água gelada nas serpentinas do teto frio: Para o controle da vazão de água nas serpentinas, há um *loop* de controle para cada válvula de cada circuito de placas com seu respectivo sensor de temperatura da água de retorno.
- Controle das válvulas de água nas placas: Ocorre o fechamento das válvulas de água dos circuitos em função dos valores de temperatura de ponto de orvalho.

3.3.2 Suprimento de ar frio:

O suprimento de ar frio no ambiente é feito pelo controle do ventilador do Fan Coil, através do variador de frequência (controle de vazão de ar) e pela modulação de *dampers* (de ar externo, retorno e mistura). A modulação de *dampers* é importante para que sejam mantidas adequadas às pressões nos dutos e nos espaços e a qualidade do ar, no que diz respeito à taxa de renovação. As duas rotinas responsáveis pelo controle de suprimento de ar frio estão descritas abaixo:

- Rotina de controle da vazão de ar do Fan Coil: A vazão de ar é controlada pela frequência determinada para o variador de frequência. O programa de controle do variador de frequência se baseia na leitura da vazão e em um *setpoint* dinâmico. O algoritmo determina o percentual a ser usado do diferencial do *setpoint* de vazão máximo e mínimo. Este algoritmo baseia-se na média das 4 temperaturas da sala medidas através de 4 sensores fixos (ST1, ST2, ST3 e ST4), comparando-os

com o *setpoint* SETPT01, gerando um valor percentual de vazão de ar.

- Rotina de controle da válvula do Fan Coil: O algoritmo monitora a temperatura da água de retorno do Fan Coil através do sensor ST7 e o valor de *setpoint* SETPT01 quando o status do Fan Coil estiver ativo gerando um percentual de abertura da válvula;

Portanto, o controle da vazão de ar do Fan Coil e o controle da temperatura do ambiente são feitos em duas rotinas independentes, como *loops* de controle Mestre / Escravo. Desta forma, com a variação da temperatura temos uma variação correspondente no *setpoint* de vazão de ar, aumentando ou diminuindo a vazão no ambiente.

3.3.3 Controle da umidade ambiente

A umidade ambiente é controlada pelo valor percentual de acionamento do variador de potência das resistências, variando de zero a 100% conforme a variação da umidade ambiente em relação ao seu *setpoint*. O aquecimento é feito somente quando o valor de frequência do variador do Fan Coil é superior à frequência mínima admitida.

4. METODOLOGIA

O perfil de estratificação da temperatura do ar foi analisado através do método estatístico, e foram analisadas diferentes características térmicas, tais como, a homogeneidade do ambiente, os níveis mais importantes ao conforto térmico do usuário, o perfil de estratificação do ar e o comportamento da temperatura do ar nas diferentes zonas, explicadas melhor no capítulo: “Pontos de Medição”.

4.1 Condições de contorno para a elaboração do experimento

O foco desta pesquisa é o estudo quantitativo do sistema de automação do sistema de condicionamento de ar, porém, serão considerados indiretamente alguns fatores de conforto térmico. Como o ambiente de medição é uma sala de aula, considerar-se-á que as pessoas se encontram sentadas a maior parte do tempo e o tipo de atividade desenvolvida é do tipo: leve ou sedentária. Para estas condições, segundo a norma ISO 7730 (1994), que trata das exigências recomendadas de conforto térmico, a pesquisa irá considerar as seguintes condições ambientais:

- Temperaturas do ar: 23°C (utilizada no dia da medição);
- Velocidades relativas do ar (V_a): $0,10 < V_a < 0,30$ m/s;
- Umidade relativa do ar (UR) em torno de 50%.

4.2 Variável medida

Nesta pesquisa serão feitas medições da variável ambiental Temperatura de acordo com as normas da ASHRAE 55 (2004) e ISO 7726 (1985).

4.3 Pontos de medições

Tendo-se como base a Figura 3, as medições serão feitas em pontos previamente determinados em planta compreendendo a sala inteira, ou seja, zonas de ocupação (próximo às estações de trabalho – Pontos 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14 e 15), zona periférica (junto às paredes – Pontos 4, 8, 12 e 16) e zona de circulação (espaço entre mobiliários usado para circulação de pessoas – Pontos 1, 5, 9 e 13).

Para a determinação da malha de controle que melhor represente o modelo, a sala foi dividida em diferentes quadrantes imaginários. Os pontos de medições setoriais foram posicionados em 16 posições dentro da sala compreendendo quatro regiões.

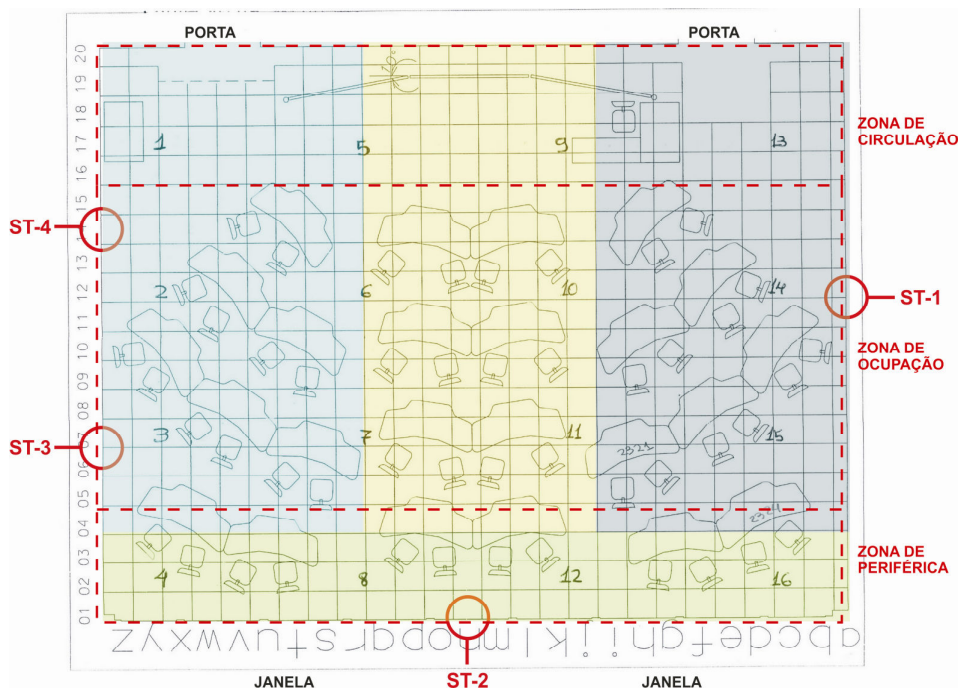


Figura 3 - Pontos de Medições Setoriais

Em cada posição, as seguintes variáveis foram medidas em diferentes alturas: Temperatura do ar, nos níveis 0,10; 0,60; 1,10; 1,70; 2,00 e 2,35 m, sendo: níveis 0,10m (nível do tornozelo); 0,60m (nível do tronco); 1,10m (nível da cabeça), recomendados pela ISO 7730 (1994) para conforto de pessoas sentadas e 0,10; 1,10 e 1,70m, para pessoas em pé. Os demais níveis (superiores) serviram para complementar a análise do perfil de estratificação da temperatura do ar, atendendo as especificações da norma ISO 7726 (1985) que estabelece os critérios para a caracterização de ambientes homogêneos.

4.4 Períodos de medição

As medições setoriais foram feitas atendendo às recomendações da ISO 7726 (1985), que caracteriza o ambiente em estudo como do tipo C. Segundo os padrões de conforto e padrões de stress, as especificações e métodos do ambiente tipo C, referem-se às medições executadas em ambientes moderados, próximos do conforto. Para esta classificação, a ASHRAE Standard 55 (2004) sugere que o período mínimo para medições de temperatura seja de 3 minutos, porém o mesmo foi feito durante 5 minutos. Como se trata de um experimento em regime transiente, as medições foram feitas durante os períodos de utilização da sala, com os sensores móveis afixados nos 16 pontos, na condição de temperatura interna relacionada anteriormente.

5. RESULTADO DAS MEDIÇÕES E ANÁLISE DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS DO AMBIENTE

Esta etapa da pesquisa permitiu verificar se as condições térmicas, promovidas pelo sistema de condicionamento de ar do tipo teto frio no ambiente estudado, atenderam aos requisitos de homogeneidade do ambiente e conforto propostos pelas normas de referência.

5.1 Análise do perfil de distribuição de temperatura do ar

A análise das condições térmicas foi feita com base nos resultados dos perfis de temperatura do ar apresentados na Tabela 1. Esses resultados se referem à condição de ensaio, tendo com referência o *setpoint* de temperatura de 23°C.

Tabela 1 – Dados de temperaturas do ar nas 16 posições e 6 níveis de medição

Temperaturas dos 16 Pontos e 6 níveis de Medição																
Alturas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
H6 = 2,35m	20,89	20,9	20,87	20,71	21,32	21,06	20,34	21,49	22,1	21,73	21,63	21,65	22,2	21,97	21,99	21,97
H5 = 2,00m	20,63	20,7	20,64	20,51	21,05	21,07	20,91	21,19	21,83	21,53	21,34	21,37	22,02	21,75	21,7	21,75
H4 = 1,70m	20,43	20,42	20,33	20,34	20,74	20,88	20,88	20,88	21,49	21,18	21,03	21,06	21,5	21,51	21,29	21,4
H3 = 1,10m	20,93	20,91	20,75	20,83	21,23	21,32	21,22	21,31	22,18	21,52	21,40	21,47	21,60	22,08	21,76	21,82
H2 = 0,60m	20,70	20,58	20,61	20,60	20,96	21,10	20,91	21,06	22,96	21,30	21,12	21,18	21,20	21,82	21,49	22,32
H1 = 0,10m	21,17	21,38	21,13	21,28	21,25	21,23	21,28	21,63	22,14	21,65	21,77	21,83	21,51	22,23	21,98	21,86

Tabela 2 – Média e desvio padrão das temperaturas do ar nas 16 posições e 6 níveis de medição

Alturas	Média das Temperaturas dos 16 pontos (°C)	Desvio Padrão (DP)	DP/Média (%)
H6 = 2.35m	21,43	0,57	2,65
H5 = 2.00m	21,25	0,49	2,30
H4 = 1.70m	20,96	0,42	2,00
H3 = 1.10m	21,39	0,43	2,01
H2 = 0.60m	21,24	0,65	3,06
H1 = 0.10m	21,58	0,36	1,66

Tabela 3 – Temperaturas médias do ar nas alturas de conforto

Temperaturas do ar (°C)		Média Aritm.	DP	DP/Media %	
Ambiente	16 Pontos	H2 = 0,60m	21,24	0,65	3,06
		H1 = 0,10m	21,58	0,36	1,66
		Relação	21,41	0,24	1,12
Zona de Ocupação	P2, P3, P6, P7, P10, P11, P14 e P15	H2 = 0,60m	21,12	0,65	3,06
		H1 = 0,10m	21,58	0,36	1,66
		Relação	21,35	0,33	1,54
Zona Periférica	P4, P8, P12 e P16	H2 = 0,60m	21,29	0,65	3,06
		H1 = 0,10m	21,65	0,36	1,66
		Relação	21,47	0,25	1,19
Zona de Circulação	P1, P5, P9 e P13	H2 = 0,60m	21,46	0,65	3,06
		H1 = 0,10m	21,52	0,36	1,66
		Relação	21,49	0,04	0,21

De acordo com os dados apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, podem ser feitas as seguintes considerações sobre as condições térmicas no ambiente:

- **Característica de homogeneidade do ambiente:** Os resultados das medições de temperatura nos 6 níveis de medição apresentados atendem as especificações da ISO 7726 (1985), porque o desvio padrão entre cada uma das quantidades e seus valores espaciais médios não excedem $\pm 5\%$ ($DP/Media < 5\%$), que corresponde ao limite para caracterizar o ambiente como homogêneo.
- **Níveis mais importantes ao conforto térmico do usuário:** Mais especificamente na região compreendida entre os pés (nível 0,10m) e o tronco (nível 0,60m), para pessoas sentadas, situação ocorrida durante o experimento e resumida na Tabela 2, observou-se que nos diferentes pontos de medições, tanto nas zonas de ocupação, quanto na zona periférica e zona de circulação, a temperatura do ar se manteve homogênea desde o nível dos pés até o nível do tronco, apresentando de forma geral, $DP/Media = 1,12\%$. Com relação à zona de circulação, foi observado que esta região apresentou maior homogeneidade de temperatura do ar, isto é, menor relação ($DP/Media=0,21\%$), possivelmente devido ao fato de estes pontos estarem mais distantes das principais fontes emissoras de calor, computadores e pessoas. O contrário ocorreu na zona de ocupação, que apresentou a menor homogeneidade, isto é, maior valor de relação ($DP/Media=1,54\%$) em decorrência da proximidade dos pontos de medição à estes dissipadores.
- **Perfil de estratificação:** Observando-se as condições térmicas resultantes da temperatura média do ar nos 6 níveis dos 16 pontos de medição, através da Tabela 1 e 2, percebe-se que a estratificação da temperatura se iniciou no nível 0,60m, sendo que, neste nível, estavam situados os principais dissipadores de calor. Percebe-se que, em média, a temperatura do ar aumenta na medida em que fica mais próximo ao teto, chegando a seu valor máximo no nível mais alto medido (2,32m). Quanto ao nível mais baixo (0,10m), ou seja, à altura dos tornozelos das pessoas, em cada área distinta, a temperatura do ar pode ser considerada homogênea ($DP/Media=1,66\%$); entretanto, considerando-se os diferentes pontos em conjunto, nota-se que nas zonas de ocupação a temperatura do ar se apresentou ligeiramente superior às das demais zonas periféricas e de circulação, em decorrência da proximidade da fonte de alimentação do computador. As diferenças verticais de temperatura, entre os níveis 0,1 e 1,1m, apresentaram valores inferiores a 1°C (da ordem de $0,19^\circ\text{C}$) para pessoas sentadas e de aproximadamente $0,34^\circ\text{C}$ para pessoas em pé, de forma que o gradiente de temperatura entre os pés e a cabeça é menor que 3°C , limite máximo recomendado pela norma ISO 7730 (1994) que indica a possibilidade de ocorrer desconforto local acima desta temperatura.
- **Comportamento da temperatura nas diferentes zonas:** Os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2 mostram que a Zona de Circulação não sofreu influência expressiva com a proximidade da janela, fonte de calor, pois apresentou uma boa homogeneidade em relação às duas outras zonas. As três zonas, de forma geral, através da análise apresentada sobre o perfil de estratificação de temperatura do ar, indicaram uma influência mais significativa sobre a temperatura entre os níveis 0,10 e 0,60m, talvez devido à obstrução do mobiliário e proximidades dos equipamentos dissipadores de calor. Entretanto, não são diferenças expressivas, de forma que o ambiente pode ser considerado homogêneo.

6. CONCLUSÃO

Os resultados mencionados no capítulo 5 desta pesquisa permitiram verificar que as condições térmicas, existentes no ambiente estudado atenderam aos requisitos de homogeneidade do ambiente e conforto térmico propostos pelas normas de referência. Nota-se através dos resultados que o sistema de condicionamento de ar do tipo teto frio apresentou de forma geral, gradientes de temperaturas muito baixos, satisfazendo as características de conforto estudadas por outros pesquisadores. Porém, como o sistema ainda não foi muito estudado, mesmo no exterior, existe um campo aberto a novas descobertas sobre o sistema e seus efeitos no ambiente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE (2001) “Fundamentals Handbook”. American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta. USA.

ASHRAE Standard, 55-2004. “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta - USA.

FANGER, P. O. (1972) “Thermal Comfort – Analysis And Applications in Environmental Engineering”. McGraw-Hill Book Company. New York.

ISO 7730 (1994). “Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions of thermal comfort”. International Organization for Standardization, Geneva.

ISO 7726 (1998). “Thermal environments - Instruments and methods for measuring physical quantities”. International Organization for Standardization, Geneva.

LEITE, B. C. C. (2003). “Sistema de Ar Condicionado com Insuflamento pelo Piso em Ambientes de Escritórios: Avaliação do Conforto Térmico e Condições de Operação. Engenharia Mecânica” - Universidade de São Paulo. (Tese de Doutorado).

SODEC, F. (1999). “Economic viability of cooling ceiling systems”. Energy and Buildings, 30, (2), 195-201. Fuel and Energy Abstracts, Volume 40, Issue 6, November 1999, 413p.