

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO  
ENGENHARIA AMBIENTAL

MONITORAMENTO DE PARÂMETROS DE CONFORTO  
TÉRMICO NAS SALAS DE AULA DO PRÉDIO DA ENGENHARIA  
AMBIENTAL DA USP – SÃO CARLOS

Aluna: Marcella Luz Mendes Dionello  
Orientador: Edson Cezar Wendland

Monografia apresentada ao curso de  
graduação em Engenharia Ambiental da  
Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo.

SÃO CARLOS  
2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

D592m

Dionello, Marcella Luz Mendes

Monitoramento de parâmetros de conforto térmico nas salas de aula do prédio da engenharia ambiental da USP - São Carlos / Marcella Luz Mendes Dionello ; orientador Edson Cezar Wendland. -- São Carlos, 2011.

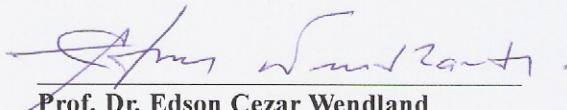
Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

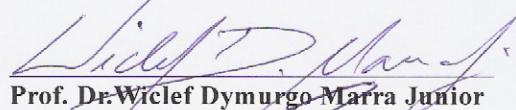
1. Conforto térmico. 2. Avaliação pós-ocupação. 3. Modelos comparativos. 4. Modelos adaptativos. I. Título.

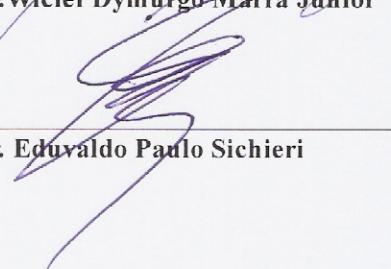
# FOLHA DE APROVAÇÃO

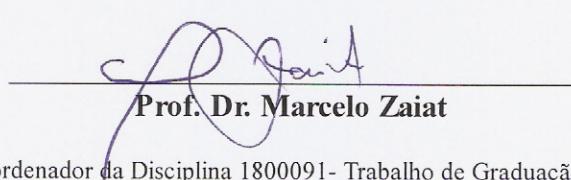
Candidato(a): **Marcella Luz Mendes Dionello**

Monografia defendida e aprovada em: **08/11/2011** pela Comisão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Edson Cezar Wendland**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Wiclef Dymurgo Marra Junior**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Eduvaldo Paulo Sichieri**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Marcelo Zaiat**

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

## **Agradecimentos**

A meus pais, José Carlos e Rogeli, pelo amor incondicional, pelas saudades sentidas e pelas lições ensinadas.

A meus irmãos, Julliano, Millena e Isabella, pela certeza de sempre termos uns aos outros.

A Wagner Fusco Junior, por todo o amor e companheirismo, hoje e sempre.

Aos amigos que fiz em São Carlos, em especial às Pessoas, pois os amigos são a família que nos é permitido escolher.

À Escola de Engenharia de São Carlos e todos os seus docentes e funcionários, por nos propiciar ensino de tamanha qualidade.

## Resumo

Uma das funções da arquitetura é oferecer condições ambientais compatíveis ao conforto humano no interior das edificações, sejam quais forem as condições climáticas externas. Entretanto, durante muito tempo, as questões relacionadas ao desempenho térmico das edificações tiveram pouca importância.

No presente estudo, foi realizada uma avaliação pós-ocupação em duas salas de aula do prédio da Engenharia Ambiental da USP - São Carlos, através do monitoramento de dois dos parâmetros ambientais essenciais para o conforto térmico, temperatura do ar e umidade relativa.

A avaliação do conforto térmico é importante para se fazer um diagnóstico do ambiente estudado, propondo melhorias, além de servir como referência para futuros projetos.

Os dados foram obtidos através de sensores MSR e foram tratados em planilhas e saídas gráficas do Microsoft Excel. Os dados foram relacionados com valores de referência determinadas por diferentes métodos que permitiram concluir a constante ocorrência de desconforto térmico.

**Palavras-chave:** *conforto térmico, avaliação pós-ocupação, modelos comparativos, modelos adaptativos.*

## Abstract

One of the functions of architecture is to provide consistent environmental conditions for human comfort inside the buildings, whatever the external weather conditions. However, for a long time, issues related to the thermal performance of buildings had little importance.

In this study was performed a post-occupancy evaluation in two classrooms in the building of Environmental Engineering at USP - São Carlos, by monitoring two essential environmental parameters for thermal comfort, air temperature and relative humidity.

The evaluation of thermal comfort is important to make a diagnosis of the environment studied, proposing improvements, and serve as reference for future projects.

Data were obtained through MSR sensors and were treated in spreadsheets and graphics output of Microsoft Excel. The data were related to reference values determined by different methods that allowed the conclusion of the constant occurrence of thermal discomfort.

**Keywords:** *thermal comfort, post-occupancy evaluation, comparative models, adaptive models.*

# Sumário

|  |    |
|--|----|
| 1. Introdução  | 1  |
| 2. Objetivos e Justificativa   | 2  |
| 2.1. Objeto de estudo  | 2  |
| 3. Revisão Bibliográfica   | 4  |
| 3.1. A cidade de São Carlos  | 4  |
| 3.2. As Estações do Ano  | 5  |
| 3.2.1 Outono   | 6  |
| 3.2.2. Inverno   | 7  |
| 3.2.3. Primavera   | 8  |
| 3.2.4. Verão   | 10 |
| 3.2.5. As estações do ano na cidade de São Carlos  | 12 |
| 3.3. Conforto Térmico  | 14 |
| 3.3.1. Metabolismo e Mecanismos de Termo regulação   | 14 |
| 3.3.2. Vestimenta  | 15 |
| 3.3.3. Temperatura do Ar   | 15 |
| 3.3.4. Temperatura Radiante  | 16 |
| 3.3.5. Velocidade do Ar  | 16 |
| 3.3.6. Umidade Relativa do Ar  | 16 |
| 3.3.7. Características Construtivas  | 17 |
| 3.3.8. Arborização do Entorno  | 18 |
| 3.4. Plataforma de Coleta de Dados   | 19 |
| 3.5. Laboratório MASTER  | 19 |
| 3.6. Normatização Vigente em Conforto Térmico  | 21 |
| 3.6.1. ISO 7730/2005: Ergonomia do ambiente térmico - Determinação analítica e interpretação de conforto térmico pelo método de cálculo do PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) índices locais e critérios de conforto térmico | 21 |

|  |    |
|--|----|
| 3.6.2. ISO 7726/96: Ambientes térmicos – Especificações relacionadas aos instrumentos e métodos para medição dos parâmetros físicos ambientais | 22 |
| 3.6.3. ISO 7243/82: Ambientes quentes - Estimativa do estresse térmico sobre trabalhadores no Índice IBUTG (temperatura de globo bulbo úmido)  | 22 |
| 3.6.4. ISO 8996/90: Ergonomia - Determinação da produção do calor metabólico   |    |
|  | 22 |
| 3.6.5. ISO 9920/95 – Ergonomia de ambientes térmicos - Estimativa do isolamento térmico e resistência evaporativa de um traje de roupas        | 22 |
| 3.6.6. ISO 10551/95 – Ergonomia de ambientes térmicos - Verificação da influência do ambiente térmico usando escalas subjetivas de julgamento  | 23 |
| 3.6.7. NR 15 /NR 17  | 23 |
| 3.6.8. ASHRAE Standard 55/2004: Ambientes térmicos - Condições para ocupação humana  | 23 |
| 3.6.9. ASHRAE Fundamentals Handbook/1997: Capítulo 8 - Thermal Comfort   |    |
|  | 24 |
| 3.7. Métodos de Avaliação do Conforto Térmico  | 24 |
| 3.7.1. Índice de Temperatura Efetiva   | 24 |
| 3.7.2. Índice de Fanger - Voto Médio Previsto e Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas   | 25 |
| 3.7.3. Modelos adaptativos   | 25 |
| 4. Materiais e Métodos   | 28 |
| 4.1. Período de estudo   | 28 |
| 4.2. Obtenção e tratamento de dados  | 28 |
| 5. Resultados e Discussão  | 34 |
| 5.1. Dados MSR   | 34 |
| 5.2. Dados PCD   | 35 |
| 5.3. Comparando valores  | 36 |
| 5.3.1. Condições internas e externas   | 36 |
| 5.3.2. Valores de referência   | 40 |
| 6. Considerações Finais e Propostas  | 48 |

|  |    |
|--|----|
| 6.1. Sistema artificial de condicionamento de ar | 49 |
| 6.2. Arborização do entorno                      | 50 |
| 7. Referências Bibliográficas                    | 51 |

# **Lista de Figuras**

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| Figura 1 - Campus 2 da USP São Carlos com destaque para os prédios da Engenharia Ambiental                         | 3                              |
| Figura 2 - Vista frontal do prédio da Engenharia Ambiental   | <b>Indicador não definido.</b> |
| Figura 3 - Localização da cidade de São Carlos no estado de São Paulo  | 4                              |
| Figura 4 - Climatologia de Precipitação para Outono no Brasil  | 6                              |
| Figura 5 - Climatologia de Temperatura Máxima e Mínima para outono no Brasil                                       | 7                              |
| Figura 6 - Climatologia de Precipitação para inverno no Brasil   | 7                              |
| Figura 7 - Climatologia de Temperatura Máxima e Mínima para inverno no Brasil                                      | 8                              |
| Figura 8 - Climatologia de Precipitação para primavera no Brasil   | 9                              |
| Figura 9 - Climatologia de Temperatura Máxima e Mínima para primavera no Brasil                                    | 10                             |
| Figura 10 - Climatologia de Precipitação para verão no Brasil  | 11                             |
| Figura 11 - Climatologia de Temperatura Máxima e Mínima para verão no Brasil                                       | 11                             |
| Figura 12 - Níveis de precipitação ao longo do ano para a região da cidade de São Carlos                           | 12                             |
| Figura 13 - Temperaturas máximas e mínimas ao longo do ano para a região da cidade de São Carlos                   | 13                             |
| Figura 14 - Período das estações do ano de 2010  | 28                             |
| Figura 15 - Período das estações do ano de 2011  | 28                             |
| Figura 16 - Sensor MSR utilizado no experimento  | 29                             |
| Figura 17 - Conjunto didático da Engenharia Ambiental com destaque para o módulo destinado as salas de aula        | 29                             |
| Figura 18 - Layout das localizações das salas de aula do primeiro módulo do bloco didático da Engenharia Ambiental | 30                             |
| Figura 19 - Sala 1: (a) Vista da parede da lousa; (b) Vista da porta de entrada                                    | 30                             |
| Figura 20 - Posicionamento dos sensores na Sala 1  | 31                             |
| Figura 21 - Posicionamento do sensor na Sala 5   | 31                             |

|  |    |
|--|----|
| Figura 22 - Interface inicial do programa MSR 5.06   | 32 |
| Figura 23 - Interface de configuração (Setup) do programa MSR 5.06   | 32 |
| Figura 24 - Saída gráfica do programa MSR 5.06 para o sensor de temperatura e umidade relativa do ar                             | 33 |
| Figura 25 - Saída gráfica do programa MSR 5.06 para o sensor de temperatura do ar  | 33 |
| Figura 26 – Amostra da Planilha “Dados_MSR” disponível no Anexa A  | 34 |
| Figura 27 – Amostra da Planilha "Dados_PCD" disponível no Anexo B  | 35 |
| Figura 28 – Série completa de valores de temperatura do ar de MSR e PCD para o período de 19/05/2010 a 19/03/2011                | 36 |
| Figura 29 - Gráfico das médias mensais de temperatura do ar para o período de 19/05/2010 a 19/03/2011                            | 37 |
| Figura 30 - Boxplot: Valores médios mensais de temperatura do ar para o período de 19/05/2010 a 19/03/2011                       | 38 |
| Figura 31 - Série completa de valores de umidade relativa do ar MSR e PCD no período de 19/05/2010 a 19/03/2011                  | 38 |
| Figura 32 - Gráfico das médias mensais de umidade relativa do ar para o período de 19/05/2010 a 19/03/2011                       | 39 |
| Figura 33 - Boxplot: Valores médios mensais de umidade relativa do ar para o período de 19/05/2010 a 19/03/2011                  | 40 |
| Figura 34 – Zona de neutralidade térmica de acordo com valores estabelecidos pelo Laboratório MASTER                             | 42 |
| Figura 35 - Zona de neutralidade térmica ampliada de acordo com valores estabelecidos pelo Laboratório MASTER                    | 43 |
| Figura 36 - Gráfico de temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do banco de dados da PCD                                   | 44 |
| Figura 37 - Zona de conforto térmico pelo modelo de Auliciems (1981)   | 45 |
| Figura 38 - Zona de conforto térmico pelo modelo de Nicol e Humphreys (2002)   | 45 |
| Figura 39 - Série completa de valores de umidade relativa do ar MSR e PCD acrescidos dos limites de Atenção, Alerta e Emergência | 46 |

Figura 40 – Variação da eficácia das decisões e dos custos das modificações nas diferentes fases de projeto e vida útil das edificações\_\_\_\_\_ 48

## **Lista de Tabelas**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Distribuição das zonas de conforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas   | 20 |
| Tabela 2 - Distribuição das zonas de conforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas adaptado para os valores máximos e mínimos obtidos no experimento | 42 |
| Tabela 3 - Síntese dos modelos adaptativos   | 43 |

## 1. Introdução

Uma das funções da arquitetura é oferecer condições ambientais compatíveis ao conforto humano no interior das edificações, sejam quais forem as condições climáticas externas. Porém, durante muito tempo, apenas aspectos como tendências estéticas e exigências técnicas eram considerados ao se projetar e construir os espaços arquitetônicos. Como consequência, encontra-se, atualmente, um grande número de edificações que apresentam os mais variados problemas relacionados ao conforto ambiental.

O conforto ambiental é constituído de fatores térmicos, visuais, acústicos e ergonômicos, e só pode ser atingido com condições favoráveis em todos eles. Entretanto, Grzybowski (2004) afirma que a conforto térmico é responsável pela maior parcela do desconforto ambiental e por este motivo, será o alvo do presente trabalho.

O estudo do conforto térmico é de grande importância, pois é fator determinante para a satisfação do indivíduo e seu bem estar em se sentir termicamente confortável, além de influir diretamente no desempenho de suas tarefas, permitindo um melhor desempenho.

Inseridas neste contexto e visando melhorar o conforto térmico das edificações, começam a se desenvolver pesquisas de avaliação de pós-ocupação relacionadas ao conforto ambiental. Estas pesquisas permitem identificar as principais deficiências no desempenho térmico das edificações e, dessa forma, buscar soluções adequadas.

Os estudos relativos a conforto ambiental, mesmo realizados no período pós-ocupação, possibilitam a melhoria e a inovação dos parâmetros de projeto, métodos e normalizações, além de proporcionarem grande economia de energia na obtenção do conforto.

De acordo com Grzybowski (2004), no Brasil, são recentes as pesquisas relacionadas ao conforto ambiental e térmico em ambientes edificados, em especial nas edificações escolares. Por este motivo, são encontradas poucas informações nesta área, bem como métodos e normas desenvolvidas para avaliar o conforto ambiental de acordo com as características climáticas brasileiras. Desta forma, os pesquisadores têm se utilizado de normas e parâmetros estabelecidos em outros países. Porém, vale a pena ressaltar que estes possuem eficiência e validade questionáveis, uma vez que foram estabelecidos para características ambientais bem distintas da nossa realidade.

## **2. Objetivos e Justificativa**

O presente estudo realizou uma avaliação pós-ocupação em um prédio didático, através do monitoramento de dois dos parâmetros ambientais essenciais para o conforto térmico, temperatura do ar e umidade relativa, e da comparação os valores obtidos com os dados de uma estação climatológica localizada nas proximidades do prédio e com os níveis aceitáveis determinados por normas. Feito isso, outro objetivo do presente trabalho será documentar esta problemática, de modo a permitir uma maior argumentação na exigência de medidas corretivas posteriores.

Para possibilitar esta avaliação, alguns objetivos secundários tornam-se necessários. São eles: caracterizar a edificação e local onde está inserida; determinar os aparelhos a serem utilizados nas medições; analisar os dados levantados sobre o conforto ambiental; determinar o índice de conforto térmico, comparando os resultados obtidos com os índices existentes na normatização vigente, tornando possível demonstrar se os ambientes avaliados atendem as exigências básicas de conforto térmico.

A avaliação do conforto térmico é importante para se fazer um diagnóstico do ambiente estudado, propondo melhorias, além de servir como referência para futuros projetos. Desta forma, Jabardo (1984) apud Grzybowski (2004) descreve que um estudo de conforto térmico deve, portanto, ter como objetivo a obtenção de condições ambientais que propiciem sensação de conforto a um número maior de pessoas possível que estejam realizando determinado tipo de atividade.

### **2.1. Objeto de estudo**

O prédio destinado às aulas do curso de Engenharia Ambiental, da Universidade de São Paulo, está localizado na chamada área 2 do campus da cidade de São Carlos, conforme indicado na Figura 1.

Foi inaugurado no ano de 2005 e desde então vem sendo alvo de reclamações em relação ao desconforto térmico, principalmente em dias quentes, tanto por parte dos alunos quanto dos docentes e funcionários. Já foram realizados, inclusive, protestos e “abaixo-assinados”. Na Figura 2, é possível observar a vista frontal do conjunto de prédio da Engenharia Ambiental.

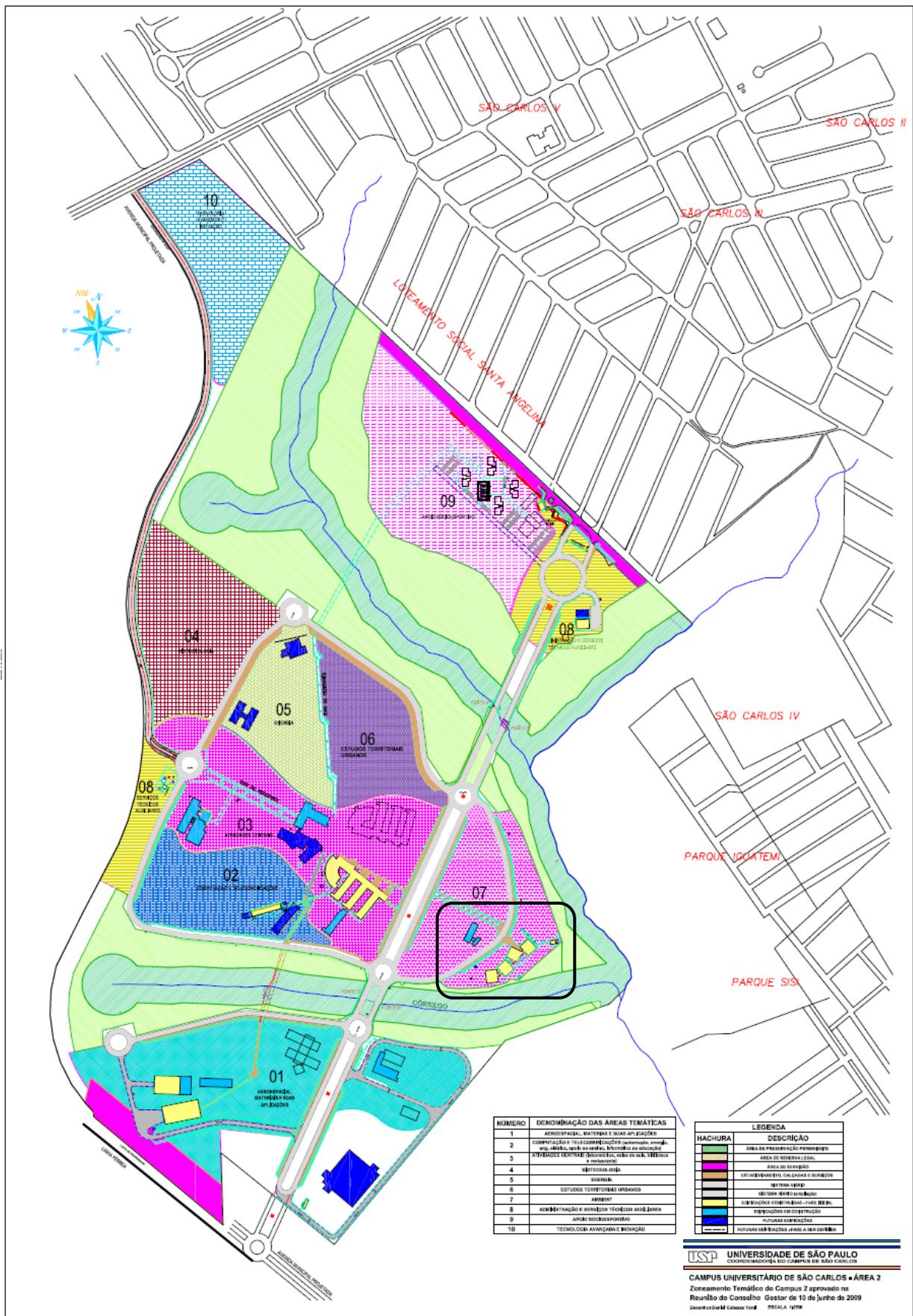


Figura 1 - Campus 2 da USP São Carlos com destaque para os prédios da Engenharia Ambiental

### 3. Revisão Bibliográfica

#### 3.1. A cidade de São Carlos

Localizada no centro geográfico do Estado de São Paulo, conforme pode ser observado na Figura 3, São Carlos tem sua sede localizada sob as coordenadas 47,89º de longitude oeste e 22,01º de latitude sul.

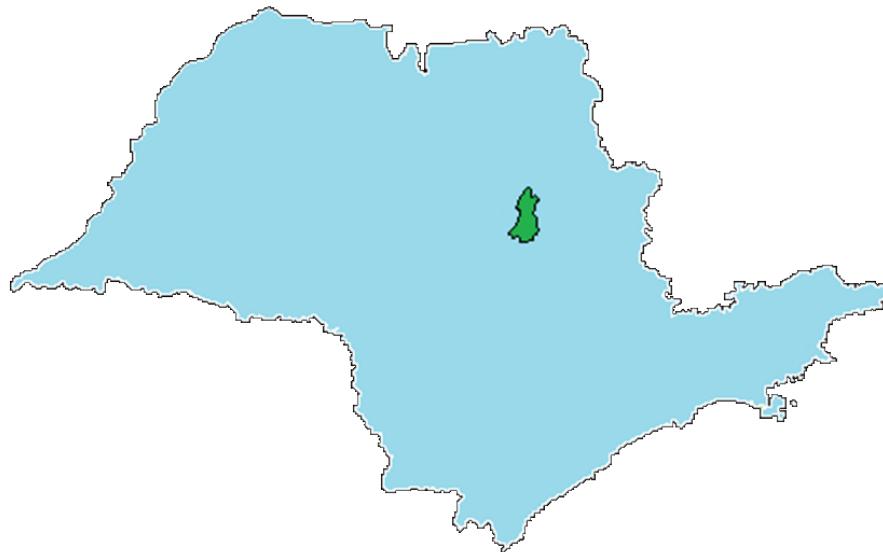


Figura 2 - Localização da cidade de São Carlos no estado de São Paulo

A Prefeitura Municipal de São Carlos disponibiliza em seu *website* uma série de informações que permitem traçar um breve perfil desta cidade, localizada a 230 km da capital paulista.

O clima ameno, considerado temperado de altitude, apresenta verão chuvoso e inverno seco com temperatura média anual de 19,6 °C. As altitudes médias entre 800 e 1.000 metros, fazem de São Carlos um local muito agradável, com inúmeras cachoeiras, curiosas formações geológicas e belíssimas paisagens. O cerrado foi a vegetação original predominante, ocorrendo nos terrenos arenosos do planalto. Sobre as manchas de solos férteis existia uma exuberante vegetação da Mata Atlântica. Hoje, ainda há áreas de cerrado e fragmentos de mata preservada, incluindo vários exemplares de araucária de grande porte, árvore-símbolo da cidade.

O vigor acadêmico, tecnológico e industrial conferiu à cidade o título de Capital da Tecnologia. Suas universidades e centros de pesquisa são reconhecidos pela excelência e diversidade. A Universidade de São Paulo (USP), com dois campi na cidade, e a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) oferecem ensino gratuito e de qualidade e já incorporaram à história de São Carlos suas contribuições à ciência e à capacitação profissional de milhares de alunos. O município também conta com a

UNICEP - Universidade Central Paulista e a FADISC - Faculdades Integradas de São Carlos.

São Carlos participando do Sistema Paulista de Parques Tecnológicos, abrigando dois deles: o Science Park - da Fundação ParqTec, instituída em 1984, que tem o objetivo de gerenciar e promover o desenvolvimento do Pólo Tecnológico do município, a partir da transferência de tecnologia das universidades e centros de pesquisas para as empresas - e o Eco-Tecnológico - do Grupo Encalso-Damha - às margens da rodovia SP-318.

Reforçando o caráter de pólo de desenvolvimento científico e tecnológico, a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) mantém dois centros de atividades instalados na cidade: o Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste e o Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, produzindo tecnologia de ponta nas áreas de melhoramento genético bovino e de desenvolvimento de equipamentos agropecuários.

A atividade industrial na cidade é marcada pela presença de grandes indústrias como a Volkswagen, Tecumseh, Faber Castell e Electrolux, além de empresas têxteis, de embalagens, de máquinas, tintas, lavadoras, equipamentos ópticos e uma grande quantidade de indústrias médias e pequenas dos mais diversos setores de produção. A TAM tem em São Carlos o Centro de Manutenção Tecnológica que hoje atende também aeronaves de outras companhias aéreas.

O comércio atende às necessidades da cidade e da região, oferecendo produtos e serviços de qualidade. E o setor agropecuário é importante na produção de leite, cana, laranja, frango, carne bovina e milho.

Eventos importantes marcam o calendário da cidade, atraindo visitantes e movimentando a economia local. Entre eles está a Festa do Clima, realizada anualmente no mês de abril há mais de 30 anos, conta com uma tradicional Exposição de Orquídeas, shows, artesanatos e barracas de comidas diversas.

### **3.2. As Estações do Ano**

As informações e imagens contidas nesta seção apresentam como principal fonte o portal do CPTEC – Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

As imagens de Climatologia de Precipitação e Temperaturas apresentam valores médios referentes a séries históricas de chuva e temperatura, respectivamente.

Após a apresentação das características gerais de cada uma das estações do ano para cada região do Brasil, é dado breve destaque para a região de estudo.

### 3.2.1. Outono

Sendo uma estação de transição entre o verão e inverno, no outono, é possível verificar características de ambas as estações, ou seja, mudanças rápidas nas condições de tempo, maior freqüência de nevoeiros e até mesmo registros de geadas em locais serranos das Regiões Sudeste e Sul.

Nesta estação, ocorre o registro dos maiores totais de chuva, superiores a 700 mm, no extremo norte das Regiões Norte e Nordeste e no leste do Nordeste, onde se inicia o período mais chuvoso. Em contrapartida, no restante do país, é possível notar uma redução das chuvas, com valores totais de chuva variando entre 150 mm e 400 mm. Na Figura 4, é possível observar a climatologia de precipitação para o outono no Brasil.

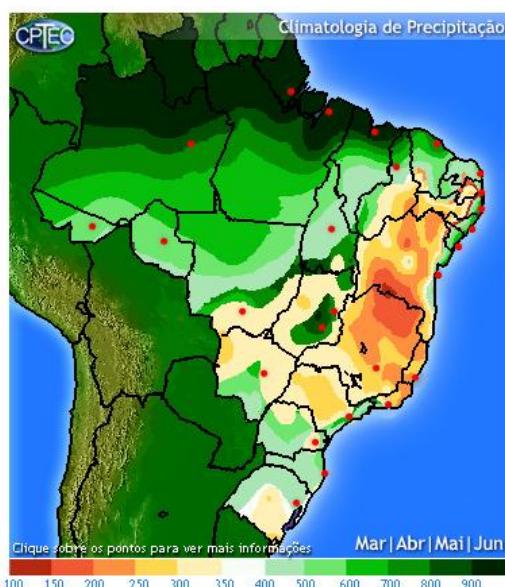


Figura 3 - Climatologia de Precipitação para Outono no Brasil

Nas Regiões Sul, Sudeste e parte da Região Centro-Oeste do Brasil, as temperaturas tornam-se mais amenas devido à entrada de massas de ar frio, com temperaturas mínimas que variam entre 12°C a 18°C. Nestas mesmas áreas, as temperaturas máximas oscilam entre 18°C e 28°C. Nas Regiões Norte e Nordeste, as temperaturas são mais homogêneas: a mínima variando em torno de 22°C, e a máxima variando entre 30°C e 32°C. Na Figura 5, é possível observar a climatologia de temperaturas máxima e mínima para o outono no Brasil.

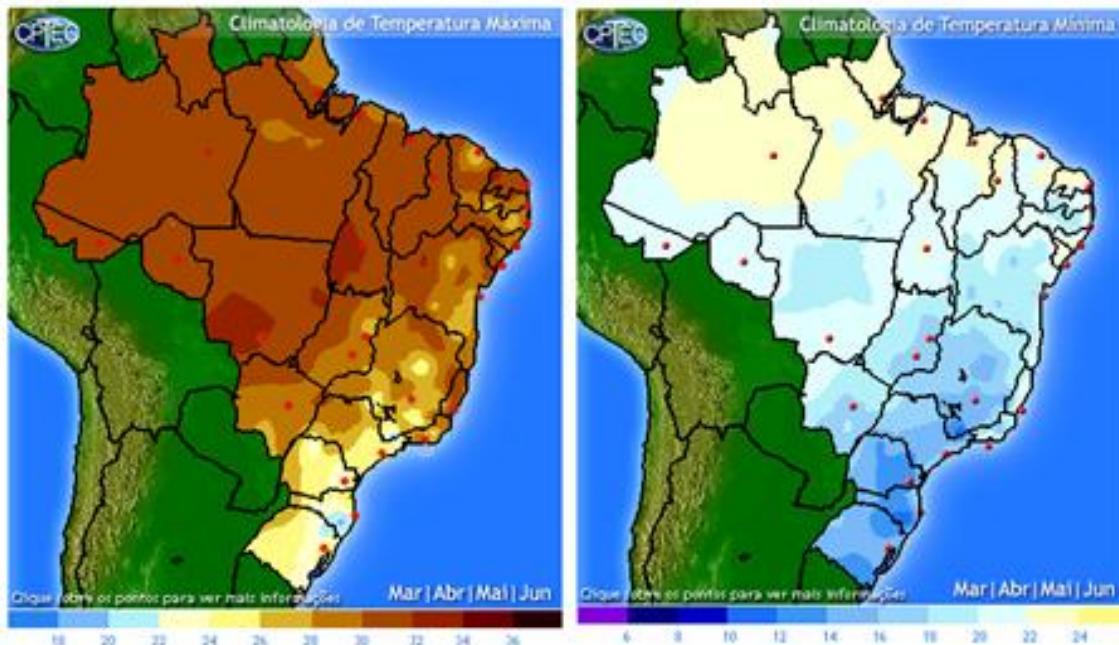


Figura 4 - Climatologia de Temperatura Máxima e Mínima para outono no Brasil

### 3.2.2. Inverno

Nesta estação, que compreende os meses de junho, julho e agosto, temos, normalmente, as temperaturas mais amenas do ano. Nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste, este trimestre é também o menos chuvoso do ano no que se refere à distribuição de chuvas. Na Figura 6, é possível observar a climatologia de precipitação para o inverno no Brasil.

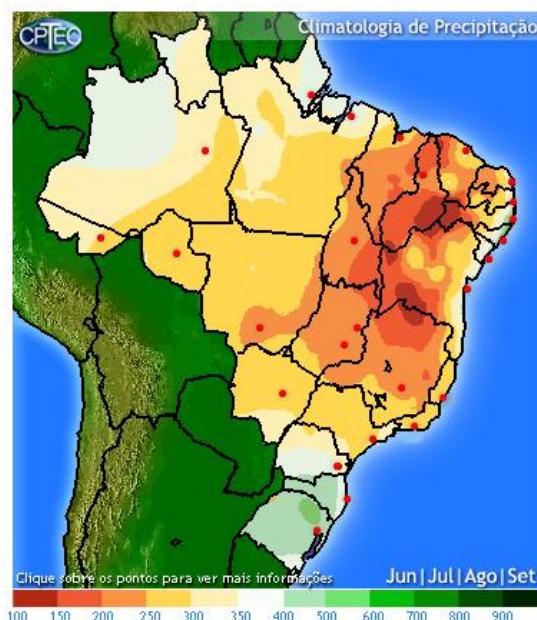


Figura 5 - Climatologia de Precipitação para inverno no Brasil

Um aspecto meteorológico bastante observado durante o inverno são as inversões térmicas. Essas inversões causam nevoeiros e neblinas que reduzem a visibilidade e elevam os índices de umidade relativa do ar no período da manhã. O contrário ocorre no período da tarde, após a dissipação do nevoeiro, quando o índice da umidade relativa do ar diminui consideravelmente, chegando a registrar valores de até 40%. O ar seco e o vento calmo favorecem a formação da bruma – acumulação de partículas sólidas suspensas na atmosfera, tais como poeira e fumaça - poluindo o ar. Na Figura 7, é possível observar a climatologia de temperaturas máxima e mínima para o inverno no Brasil.

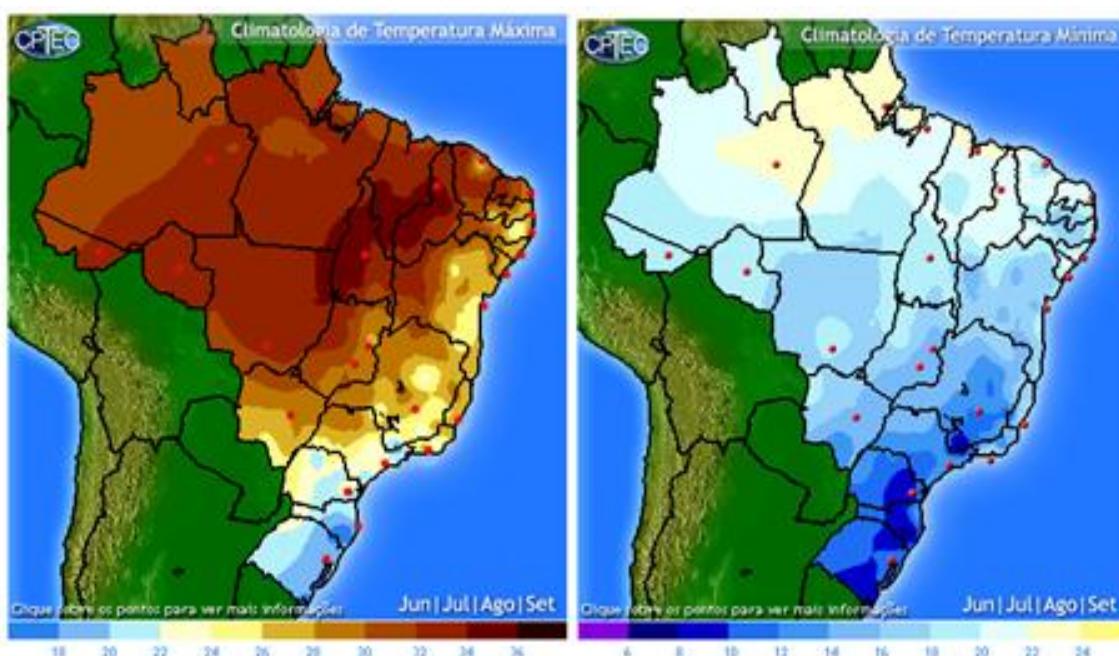


Figura 6 - Climatologia de Temperatura Máxima e Mínima para inverno no Brasil

### 3.2.3. Primavera

A chegada da primavera traz uma mudança no regime de chuvas e temperaturas na maior parte do Brasil.

Nas Regiões Centro-Oeste e Sudeste, as chuvas passam a ser mais intensas e freqüentes, marcando o período de transição entre a estação seca e a estação chuvosa. É durante a primavera que se iniciam as pancadas de chuva no final da tarde ou noite, devido ao aumento do calor e da umidade. Este fenômeno vai se intensificando gradativamente no decorrer desta estação, podendo ocorrer, em algumas ocasiões, raios, ventos fortes e queda de granizo.

Na Região Sul, ocorrem poucas alterações nos totais mensais de chuva, sendo o regime praticamente uniforme ao longo de todo o ano. Contudo, aumenta a

ocorrência de raios e de “complexos convectivos”, sistemas que provocam grande quantidade de chuva em períodos relativamente curtos.

Em contrapartida, neste mesmo trimestre, a maior parte da Região Nordeste encontra-se na sua estação seca, exceto no sul dos Estados do Piauí, Maranhão e no oeste da Bahia. Na Figura 8, é possível observar a climatologia de precipitação para a primavera no Brasil.

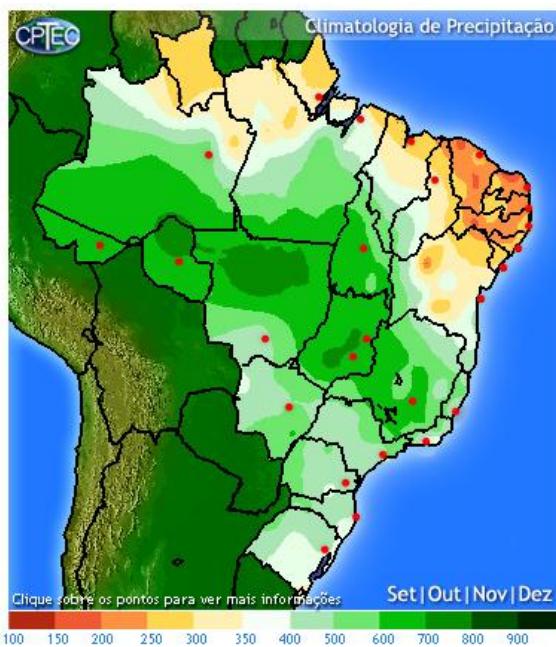


Figura 7 - Climatologia de Precipitação para primavera no Brasil

Quanto às temperaturas, na primavera, vemos uma elevação gradativa, principalmente nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Na porção central do país, as temperaturas máximas podem atingir valores muito elevados em função da forte radiação solar e da maior freqüência de dias com céu claro. Contudo, neste período, ainda podem ocorrer incursões de intensas massas de ar frio que podem causar declínio acentuado da temperatura no centro-sul do País. Nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil, há pouca variação de temperatura, fato comum ao longo de todo o ano. Na Figura 9, é possível observar a climatologia de temperaturas máxima e mínima para primavera no Brasil.

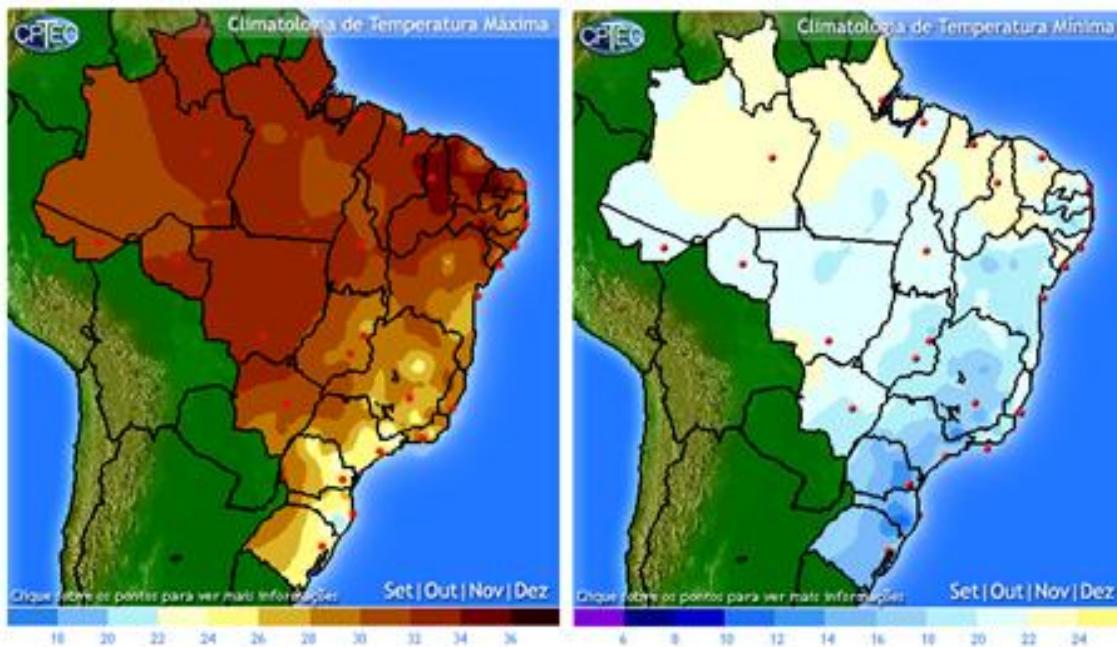


Figura 8 - Climatologia de Temperatura Máxima e Mínima para primavera no Brasil

### 3.2.4. Verão

A estação de verão é caracterizada, basicamente, por dias mais longos que as noites. Ocorrem mudanças rápidas nas condições diárias do tempo, levando à ocorrência de chuvas de curta duração e forte intensidade, principalmente no período da tarde. Considerando o aumento da temperatura do ar sobre o continente, estas chuvas são acompanhadas por trovoadas e rajadas de vento, em particular nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do País. Os maiores totais acumulados de chuva concentram-se principalmente nas Regiões Sudeste, Centro-Oeste e extremo sul do Amazonas, com valores médios superiores a 600 mm. Na Região Nordeste inicia-se as chuvas, com valores máximos no mês de fevereiro. Na Região Sul, as chuvas variam entre 300 mm e 500 mm. Na Figura 10, é possível observar a climatologia de precipitação para o verão no Brasil.

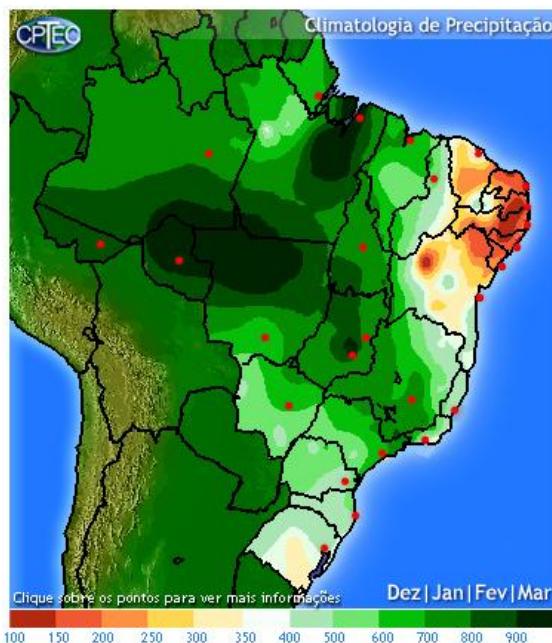


Figura 9 - Climatologia de Precipitação para verão no Brasil

As temperaturas se elevam consideravelmente em todo o país, chegando a valores máximos superiores a 30°C na maior parte do país. Na Região Norte, mesmo as temperaturas mínimas não são inferiores a 20°C. Na Figura 11, é possível observar a climatologia de temperaturas máxima e mínima para o verão no Brasil.

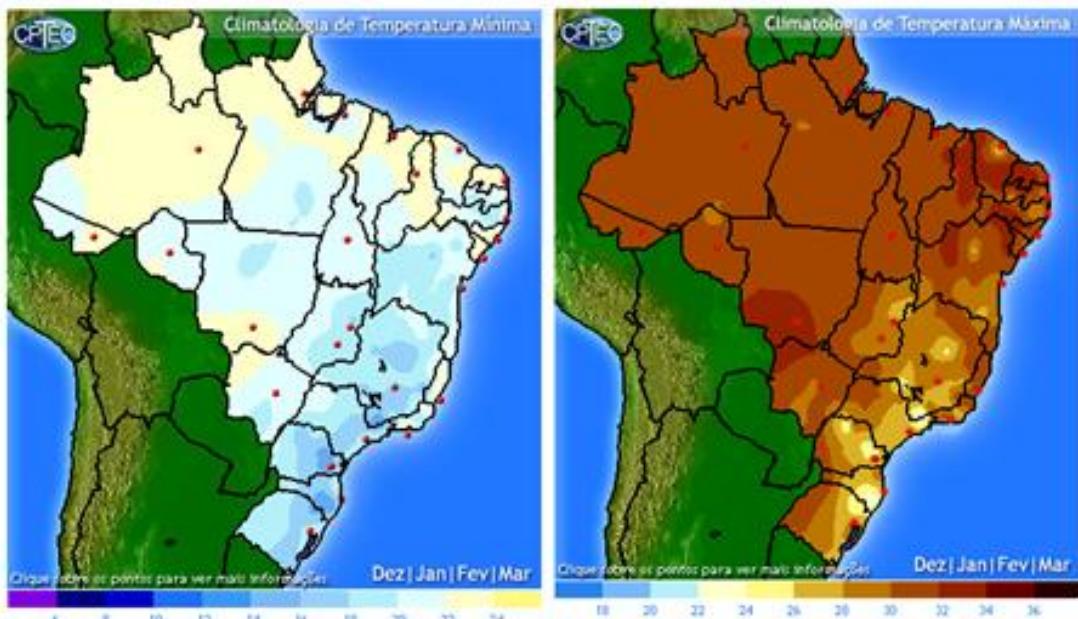


Figura 10 - Climatologia de Temperatura Máxima e Mínima para verão no Brasil

### 3.2.5. As estações do ano na cidade de São Carlos

- ***Precipitação***

A partir das figuras 4, 6, 8 e 10, podemos observar que no outono, as precipitações na região da cidade de São Carlos seguem o mesmo comportamento da maior parte do país, sofrendo uma redução se comparada aos valores da estação anterior e ficando entre 250 mm e 350 mm; no inverno, estação mais seca do ano, as precipitações não passam dos 300 mm; na primavera podemos perceber uma elevação nos níveis de precipitação, ficando entre 500 mm e 600 mm para a região em análise; por fim, no verão, estação mais chuvosa, as precipitações aumentam e chegam a 700 mm, seguindo a mesma tendência do resto do país.

O gráfico da Figura 12, construído a partir da análise das figuras anteriores, permite visualizar o comportamento dos níveis de precipitação ao longo das estações do ano para a cidade de São Carlos.

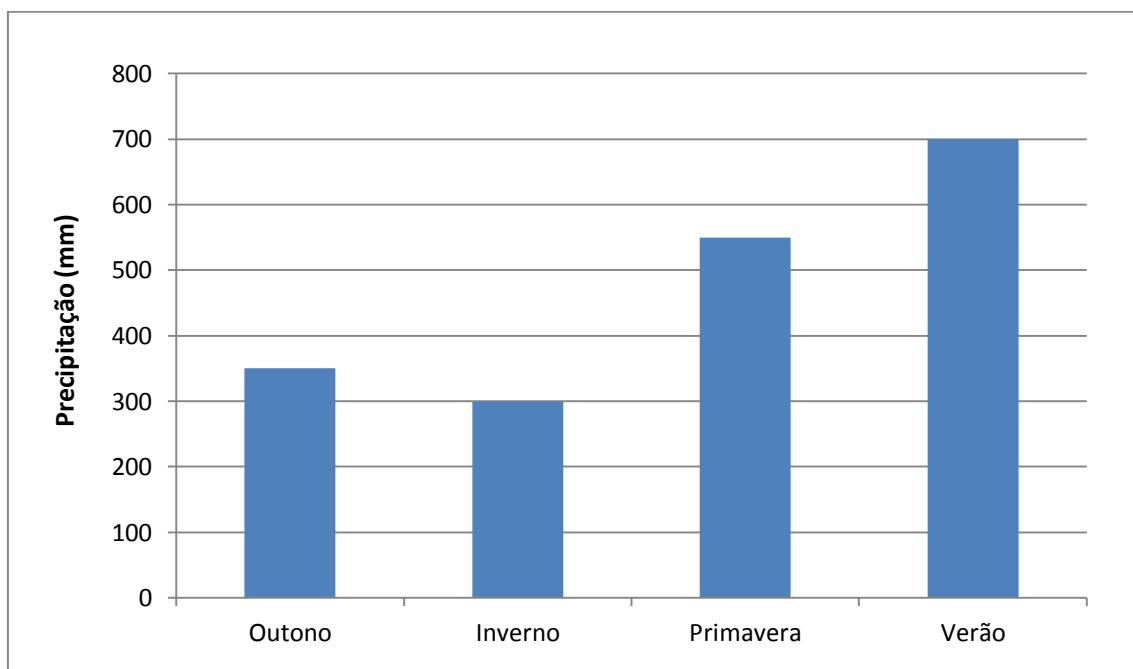


Figura 11 - Níveis de precipitação ao longo do ano para a região da cidade de São Carlos

- ***Temperaturas***

A partir das Figuras 5, 7, 9 e 11 podemos observar que no outono, as temperaturas máximas e mínimas na região de São Carlos, variam entre 24°C e 28°C e 16°C e 18°C, respectivamente; no inverno, estação mais fria do ano, a região apresenta temperaturas máximas entre 22°C e 26°C e temperaturas mínimas entre 12°C e 14°C; na primavera, podemos perceber a elevação de temperatura com valores máximos

variando entre 24°C e 28°C e valores mínimos entre 14°C e 18°C; no verão, estação mais quente do ano, as temperaturas máximas e mínimas na região variam entre 24°C e 28°C e 16°C e 18°C, respectivamente.

O gráfico da Figura 13, construído a partir da análise das figuras anteriores, permite visualizar a variação das temperaturas máximas e mínimas ao longo das estações do ano para a cidade de São Carlos.

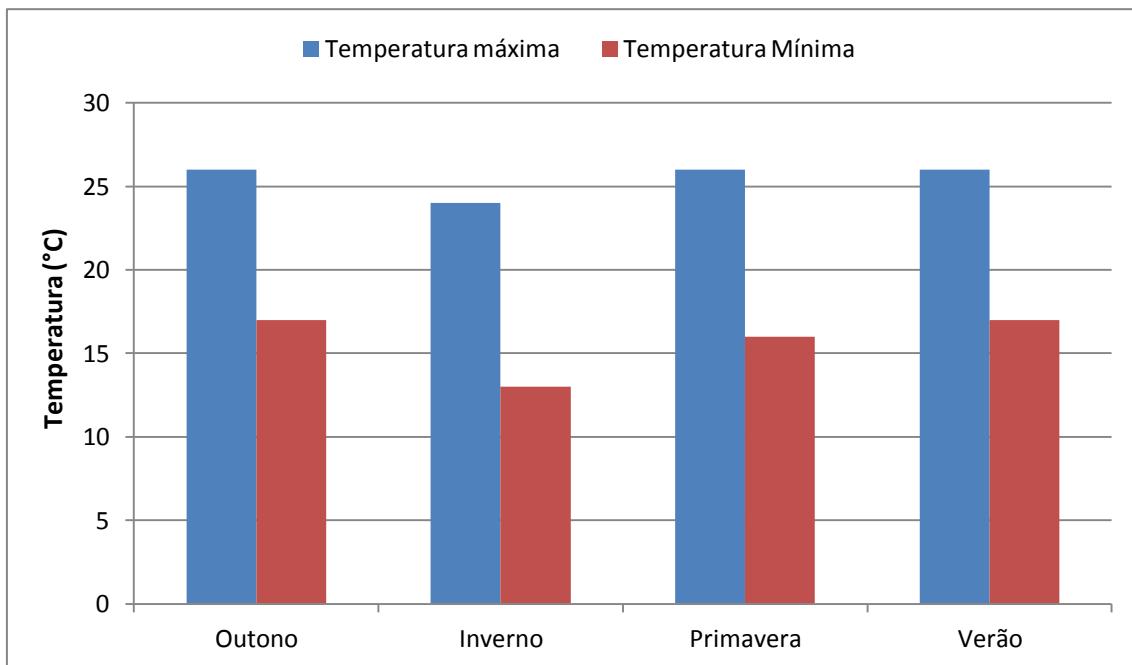


Figura 12 - Temperaturas máximas e mínimas ao longo do ano para a região da cidade de São Carlos

### 3.3. Conforto Térmico

O conforto térmico é definido como um estado mental que expressa a satisfação de um indivíduo com o ambiente térmico que o circunda. Esta definição elaborada por FANGER (1970) em seu doutorado, esta presente em normas e manuais de conforto, entre elas a norma americana ASHRAE 55 (2004).

O desconforto térmico ocorre quando o balanço térmico entre indivíduo e ambiente não é estável e pode manifestar-se na sensação de calor ou de frio.

A sensação térmica, ou seja, o efeito das condições térmicas sobre um indivíduo varia de acordo com cada pessoa, dependendo de diversos fatores. Segundo Lamberts (2005), as variáveis do conforto térmico estão divididas em variáveis ambientais e variáveis humanas.

As variáveis humanas são:

- Metabolismo
- Resistência térmica oferecida pela vestimenta

E as ambientais são:

- Temperatura do ar
- Temperatura radiante média
- Velocidade do ar
- Umidade relativa do ar

#### 3.3.1. Metabolismo e Mecanismos de Termo regulação

O homem é um ser homeotérmico, isto é, mantém sua temperatura corporal constante, dentro de certos limites.

É através do processo metabólico que o organismo adquire a energia necessária para a manutenção das funções fisiológicas vitais e a realização de trabalhos mecânicos externos. Porém somente 20% dessa energia adquirida são transformadas em potencialidade de trabalho e os 80% restante se transforma em calor, que deve ser dissipado para que o organismo seja mantido em equilíbrio (LAMBERTS, 2002).

O calor produzido no corpo é determinado pelo nível de atividade da pessoa, sendo também variável com a idade e o sexo. Este calor é trocado com o ambiente exterior por condução, convecção, radiação e evaporação.

O equilíbrio térmico é mantido por um sistema orgânico denominado termo regulador, que através de ações fisiológicas interfere nas trocas térmicas com o ambiente. O principal objetivo da termo regulação é não permitir grandes variações na temperatura interna do corpo, de maneira que os sistemas vitais possam funcionar

adequadamente. Quanto maior for o trabalho do sistema termo regulador para manter a temperatura interna do corpo, maior será o desconforto térmico do indivíduo.

Três processos principais fazem a termo regulação do corpo humano: a vasoconstricção, a vasodilatação e a sudação.

A vasoconstricção ocorre em ambientes com sensação de frio e é caracterizada por uma redução da circulação sanguínea junto à pele reduzindo a sua temperatura e tornando-a um bom isolante térmico e, consequentemente, diminuindo as perdas de calor para o meio ambiente.

A vasodilatação, por sua vez, ocorre em ambientes com sensação de calor e é caracterizada pela elevação da circulação, diminuindo sua capacidade de isolamento e, portanto, elevando a temperatura da pele o que acarretará maiores perdas de calor para o meio ambiente.

A partir de determinada temperatura, normalmente próxima a 35°C, as glândulas sudoríparas são ativadas e o corpo inicia o processo de sudação, que nada mais é que a liberação de suor pelos poros da pele. A descarga de água pelo suor implica em perdas térmicas importantes para o reequilíbrio térmico quando a pessoa está sujeita a um ambiente quente ou em esforço físico exigente.

### **3.3.2. Vestimenta**

Para Lamberts (2005) a vestimenta é uma barreira que dificulta as trocas de calor por convecção. Funciona como isolante térmico, mantendo uma camada de ar junto ao corpo e reduzindo a sensibilidade às diferenças de temperatura e de velocidade do vento.

No caso de incidência direta dos raios solares, a cor das vestimentas pode influenciar no ganho de calor, devido à reflexão de diferentes porcentagens de radiação incidente.

Os valores do isolamento térmico das roupas são função do material de confecção dos mesmos, da espessura e do ajuste ao corpo. É possível encontrar alguns desses valores devidamente tabelados em normas e manuais ISO e ASHRAE.

### **3.3.3. Temperatura do Ar**

Segundo Lamberts (2005), a temperatura do ar é a principal variável do conforto térmico, uma vez que a sensação térmica baseia-se na perda de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre a pele e o ar.

É muitas vezes denominada temperatura de bulbo seco e pode ser medida através de sensores de expansão de líquidos ou sólidos, termômetros elétricos, de

resistência variável ou termopares.

A temperatura do ar não é consequência direta da incidência dos raios solares, o que acontece é que os raios solares aquecem o solo, e por convecção, o ar é aquecido. Lamberts (2005) explicita que a temperatura do ar é definida por um balanço energético do qual participam a radiação solar incidente, o coeficiente de absorção da superfície receptora, a condutividade e a capacidade térmica do solo que determina a transmissão e as perdas por evaporação, convecção e radiação.

### **3.3.4. Temperatura Radiante**

A temperatura radiante é determinada pela temperatura dos elementos ao redor do corpo e representa o efeito combinado de todas as superfícies. Segundo Lamberts (2005), a temperatura radiante média é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a transferência de calor radiante do corpo humano é igual à transferência de calor radiante no ambiente real não uniforme.

A medição da temperatura radiante média pode ser feita com a utilização de diversos instrumentos, mas o termômetro de globo negro é o dispositivo mais usual na determinação dessa variável. Nesse caso, a temperatura média radiante é obtida por observações dos valores simultâneos da temperatura de globo, e da temperatura e velocidade do ar ao redor do globo.

### **3.3.5. Velocidade do Ar**

Esta variável indica a movimentação do ar no ambiente e promove a troca das camadas de ar próximas ao corpo, aumentando o fluxo de calor entre este e o meio, elevando as perdas de calor por convecção e evaporação.

Segundo Lamberts (2005), o ar se desloca, naturalmente, pela diferença de temperatura no ambiente, fenômeno denominado convecção natural. Quando esse deslocamento ocorre por meios mecânicos, como com a ajuda de um ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, aumentando a sensação de perda de calor, fenômeno denominado convecção forçada.

### **3.3.6. Umidade Relativa do Ar**

Segundo Deprot (2002), umidade relativa é a relação entre a quantidade de vapor d'água existente no ar e o seu máximo valor possível, em uma dada temperatura. Significa, em termos simplificados, quanto de água na forma de vapor existe na atmosfera, em um determinado momento, com relação ao total máximo que poderia existir, na temperatura observada.

Segundo Lamberts (2005), esta variável intervém, conjuntamente com a velocidade do ar, na perda de calor por evaporação. Como aproximadamente 25% da energia térmica gerada pelo organismo é eliminada sob a forma de calor latente (10% por respiração e 15% por transpiração), é importante que as condições ambientais favoreçam estas perdas.

À medida que a temperatura do meio se eleva, dificultando as perdas por convecção e radiação, o organismo aumenta sua eliminação por evaporação. Quanto maior a umidade relativa, menor a eficiência da evaporação na remoção do calor.

A umidade do ar é mais baixa principalmente no final do inverno e início da Primavera, época em que ocorre um aumento do potencial de incêndios em pastagens e florestas. Os menores níveis de umidade relativa são, normalmente, observados no período da tarde, entre 12 e 16 horas. Nestas épocas, também é muito comum a ocorrência de problemas de saúde como complicações alérgicas e respiratórias devido ao ressecamento de mucosas, sangramentos pelo nariz, ressecamento da pele e irritação dos olhos.

Níveis de umidade relativa entre 20 e 30% caracterizam “Estado de Atenção” e exigem medidas como a umidificação artificial do ambiente através de vaporizadores ou mesmo toalhas molhadas e recipientes com água. Também é aconselhado evitar atividades físicas ao ar livre entre as 11h e as 15h, consumir maior quantidade de água e permanecer em locais protegidos do sol.

Com níveis mais baixos, entre 12 e 20%, caracteriza-se “Estado de Alerta” e são recomendadas, além das ações descritas para o “Estado de Atenção”, ampliar o período de supressão de atividades físicas ao ar livre para entre 10h e 16h, evitar aglomerações em ambientes fechados e promover a hidratação de olhos e narinas com soro fisiológico.

Níveis ainda mais baixos, menores que 12%, caracterizam “Estado de Emergência”, em que se torna necessário determinar a interrupção de qualquer atividade física ao ar livre entre 10 e 16 horas e a suspensão de atividades que exijam aglomerações de pessoas em recintos fechados entre 10 e 16 horas.

### **3.3.7. Características Construtivas**

Para a análise do conforto térmico em ambientes edificados devem ser levadas em consideração as características construtivas das edificações, uma vez que estas podem interferir diretamente na intensidade dos ganhos térmicos.

Os componentes de uma construção são classificados de acordo com seu comportamento em relação à capacidade de bloqueio à radiação solar direta ou difusa,

podendo ser opacos ou translúcidos, também chamados de transparentes.

Nas edificações em geral, os elementos opacos correspondem às superfícies que delimitam os espaços, paredes e coberturas, e os elementos translúcidos correspondem aos vidros existentes em portas e janelas. Expostas à incidência dos raios solares, estas edificações atingem altos valores de temperatura em função da “baixa resistência e capacidade térmica das paredes e das coberturas”. (AKUTSU & VITORINO, 2000 apud GRZYBOWSKI, 2004).

Em uma edificação localizada em um país tropical como o Brasil, a superfície de maior exposição à radiação solar direta é a cobertura. Em função da perpendicularidade da incidência dos raios solares, estas superfícies chegam a receber, no verão, o dobro da energia solar recebida por uma superfície vertical, por mais extensas que estas sejam.

A ação conjunta da radiação solar direta, da difusa e da refletida poderá resultar numa ampliação do ganho térmico, via condução de calor sensível através de paredes e telhados, ou através de aberturas como portas e janelas. De acordo com Akutsu & Vittorino (2000) apud Grzybowski (2004), em dias típicos de verão, 90% dos ganhos térmicos têm origem na cobertura e nas áreas envidraçadas.

### **3.3.8. Arborização do Entorno**

Grzybowski (2004) considera ainda outro fator como influenciador do conforto térmico, a arborização de entorno.

As influências da arborização do entorno vão além da melhoria do conforto térmico. Segundo Manfredini (2002) apud Grzybowski (2004) a presença de arborização no espaço urbano traz vários benefícios ao meio ambiente, influenciando fatores como a biodiversidade e a poluição do ar, além de auxiliar no embelezamento do ambiente.

As árvores incrementam a biodiversidade, pois servem de abrigo para animais, promovendo o equilíbrio entre as diversas populações da fauna local. Além disto, reduzem a poluição atmosférica, pela retenção de partículas de poeira na superfície das folhas.

A temperatura do ar que circunda a vegetação é amenizada devido à utilização da energia disponível pelas plantas no processo de transpiração. Há também a influência da sombra. Segundo Mascaró (1999) apud Grzybowski (2004), a sombra de uma árvore de grande porte pode chegar a reduzir a temperatura superficial de uma fachada orientada para Oeste em até 13°C.

As árvores também podem servir como uma barreira, reduzindo a velocidade

dos ventos em locais onde seja necessário, garantindo uma ventilação filtrada e sem gerar grandes turbulências. Segundo Higuera (1997) apud Grzybowski (2004) estas barreiras vegetais, dependendo do tipo de vegetação constituinte, podem, também, atenuar o ruído em função da diferença de trajeto das ondas sonoras.

Grzybowski (2004) salienta que a recomendação da Organização Mundial de Saúde é um índice de 10 m<sup>2</sup> de área verde/habitante. Desta forma, pode-se garantir um ambiente arborizado, amenizando os fatores de desconforto térmico.

### **3.4. Plataforma de Coleta de Dados**

O Ministério da Ciência e Tecnologia disponibiliza através do portal do SINDA – Sistema Nacional de Dados Ambiental os dados coletados pelas chamadas Plataformas de Coleta de Dados (PCDs).

As PCDs, ou Estações Ambientais Automáticas, surgiram da necessidade de inúmeras empresas e instituições de obter regularmente informações colhidas em lugares remotos ou espalhadas por uma região muito extensa. O exemplo mais clássico é o das informações meteorológicas (temperatura, pressão, direção e velocidade dos ventos, umidade, etc.), utilizadas para previsão de tempo e estudos climáticos.

O Sistema de Coleta de Dados é constituído por Satélites, pelas Plataformas de Coleta de Dados espalhadas pelo território nacional, por Estações de Recepção e pelo Centro de Missão Coleta de Dados.

Neste sistema, os satélites funcionam como retransmissores de mensagens. Assim, a comunicação entre uma plataforma e as estações de recepção é estabelecida através dos satélites.

Os dados das PCDs retransmitidos pelos satélites e recebidos nas Estações de Recepção são enviados para o Centro de Missão de Coleta de Dados para processamento, armazenamento e disseminação para os usuários.

Em no máximo 30 minutos após a recepção, os dados já estão disponíveis no portal do SINDRA.

### **3.5. Laboratório MASTER**

A Universidade de São Paulo, com o apoio de uma série de organizações tais como a FAPESP, o CNPq e o Instituto do Milênio, mantêm, em seu Departamento de Ciências Atmosféricas, o Laboratório MASTER – Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais.

O laboratório surgiu em meados da década de 80, para prover treinamento em

previsão de tempo aos alunos do bacharelado e da pós-graduação em Meteorologia e para servir de apoio às atividades de pesquisa. Na época, os meios para obtenção dos dados meteorológicos eram rudimentares e esbarravam nas dificuldades de transferência automatizada de dados gerados pelos órgãos operacionais.

Atualmente, além de exercer a função de laboratório de ensino, o MASTER serve de suporte às pesquisas realizadas no Departamento de Ciências Atmosféricas, banco de dados para estudos de casos e também para teste de produtos de suporte à previsão de tempo regional.

Disponível em seu website, podemos encontrar a Tabela 1 que traz a distribuição das zonas de conforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas.

**Tabela 1 - Distribuição das zonas de conforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas**

| <b>Temperatura (°C)</b> | <b>Sensação Térmica (Tipo de Conforto Térmico)</b> | <b>Grau de estresse fisiológico</b> |
|-------------------------|--|-------------------------------------|
| <b>&lt; 5</b>           | Muito Frio (MMFF)                                  | Extremo estresse ao frio            |
| <b>5 – 10</b>           | Frio (FF)  | Extremo estresse ao frio            |
| <b>10 – 13</b>          | Moderadamente Frio (MFF)                           | Tiritar                             |
| <b>13 – 16</b>          | Ligeiramente Frio (LFF)                            | Resfriamento do corpo               |
| <b>16 – 19</b>          | Pouco Frio (PFF)                                   | Ligeiro resfriamento do corpo       |
| <b>19 – 22</b>          | Ligeiramente Fresco (LF)                           | Vasoconstrição                      |
| <b>22 – 25</b>          | Confortável (C)                                    | Neutralidade térmica                |
| <b>25 – 28</b>          | Ligeiramente Quente (LQ)                           | Ligeiro suor, vasodilatação         |
| <b>28 – 31</b>          | Quente Moderado (QM)                               | Suando                              |
| <b>31 – 34</b>          | Quente (Q)   | Suor em profusão                    |
| <b>&gt; 34</b>          | Muito Quente (MQ)                                  | Falha na termorregulação            |

### **3.6. Normatização Vigente em Conforto Térmico**

Nos últimos anos, cresceu o interesse de pesquisadores do mundo todo por estudos acerca do conforto térmico. As normas existentes englobam estudos sobre todas as variáveis que influenciam no conforto térmico, em ambientes condicionados ou não. A avaliação é feita através do cumprimento de diretrizes ou por comparação.

O Brasil não dispõe de uma grande variedade de métodos específicos para avaliar a sensação térmica, sendo os estudos baseados em normas internacionais. As principais normas referentes aos estudos de conforto térmico foram elaboradas pela ISO (International Organization for Standardization) e pela ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) e ambas baseiam-se em estudos realizados em câmaras climatizadas, principalmente os de Fanger (1970).

Segundo Negreiros (2010), a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT possui um projeto de norma (ABNT, 2007) para edificações habitacionais de até 5 pavimentos que apresenta dois procedimentos para avaliar desempenho térmico, um na fase de projeto através de simulação computacional, e um para edificações já existentes por meio de medições in loco.

#### **3.6.1. ISO 7730/2005: Ergonomia do ambiente térmico - Determinação analítica e interpretação de conforto térmico pelo método de cálculo do PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) índices locais e critérios de conforto térmico**

Esta norma propõe um método de determinação da sensação térmica e o grau de desconforto das pessoas expostas à ambientes térmicos moderados e especifica condições térmicas aceitáveis para o conforto.

Traz uma equação que permite calcular a porcentagem de indivíduos insatisfeitos com as condições térmicas em função das variáveis como a velocidade relativa, a temperatura e a intensidade de turbulência do ar. Desta forma, especifica os limites de conforto térmicos tomando como base a premissa de que um ambiente só é confortável se pelo menos 80% dos ocupantes estão satisfeitos.

A norma ainda afirma que, devido às diferenças individuais, é impossível estabelecer condições de conforto térmico que satisfaçam a todos num grande grupo.

Segundo Negreiros (2010) alguns autores questionam a efetividade desta norma afirmando que a mesma não descreve de forma adequada condições de conforto uma vez que não inclui o princípio adaptativo.

### **3.6.2. ISO 7726/96: Ambientes térmicos – Especificações relacionadas aos instrumentos e métodos para medição dos parâmetros físicos ambientais**

Esta norma internacional especifica as características mínimas dos instrumentos de medição das variáveis físicas e apresenta métodos de medição desses parâmetros.

Objetiva apenas a padronização do processo de registro de informações sobre as variáveis, que levem à obtenção do índice global de conforto térmico. Deve ser utilizada como referência quando se deseja fornecer especificações a fabricantes e usuários de equipamentos de medição de variáveis físicas de um ambiente.

### **3.6.3. ISO 7243/82: Ambientes quentes - Estimativa do estresse térmico sobre trabalhadores no Índice IBUTG (temperatura de globo bulbo úmido)**

Esta norma define o nível de desconforto do ambiente e aplica-se em situações onde por razões técnico-económicas se torna impossível aplicar a norma ISO-7730.

### **3.6.4. ISO 8996/90: Ergonomia - Determinação da produção do calor metabólico**

Esta norma internacional apresenta metodologia para a determinação da taxa de calor metabólico, a três níveis de precisão distintos, podendo também ser utilizada para outras aplicações como a verificação da prática de atividades, o custo energético de atividades específicas ou atividades físicas, bem como o custo total energético das atividades.

### **3.6.5. ISO 9920/95 – Ergonomia de ambientes térmicos - Estimativa do isolamento térmico e resistência evaporativa de um traje de roupas**

Esta norma internacional traz métodos específicos para a estimativa das características térmicas, de um traje de roupa, em condições de estado estacionário, baseados em valores conhecidos de isolamento das vestimentas. Essas características envolvem a resistência às perdas de calor seco e à perda por evaporação e são estimadas com base em valores conhecidos de isolamento para diferentes peças e tecidos.

### **3.6.6. ISO 10551/95 – Ergonomia de ambientes térmicos - Verificação da influência do ambiente térmico usando escalas subjetivas de julgamento**

Esta Norma Internacional fornece subsídios para a construção e uso de escalas de julgamento, tais como escala de percepção ou de conforto térmico, de preferências térmicas, de aceitabilidade térmica e de tolerância térmica, para a utilização na obtenção de dados confiáveis e comparativos sobre os aspectos subjetivos do conforto e estresse térmico.

### **3.6.7. NR 15 /NR 17**

Estas normas fazem parte da série de normas regulamentadoras da Segurança e Medicina do Trabalho, e visam estabelecer padrões mínimos para atender as exigências de conforto e segurança.

A NR-15 avalia a exposição ao calor através do “Índice de Bulbo Úmido – Termômetro de Globo” (IBTUG), utilizando termômetros de bulbo úmido natural, termômetro de globo e termômetro de mercúrio comum, no local de permanência do trabalhador, à altura da região do corpo mais atingida. A norma apresenta equacionamentos distintos, um para ambientes internos ou externos sem carga solar e outro para ambientes externos com carga solar.

Desta forma, pode-se, através do índice IBUTG, estabelecer limites de tolerância para exposição ao calor de acordo com a taxa de metabolismo e o tipo de atividade de cada indivíduo.

Já a NR-17 trata de atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes em locais como sala de controle, laboratórios, escritórios, salas de desenvolvimento ou análise de projetos, dentre outros, recomendando o índice IBTUG entre 20°C e 23°C.

### **3.6.8. ASHRAE Standard 55/2004: Ambientes térmicos - Condições para ocupação humana**

Esta norma norte-americana é muito utilizada em estudos de conforto térmico por possuir um padrão bastante abrangente. Inclui informações sobre isolamento das vestimentas, medições dos períodos e localizações, desconforto com correntes de ar, juntamente com uma bibliografia atualizada. Este padrão encontra-se em conformidade com os dizeres das ISO 7726 e 7730.

### **3.6.9. ASHRAE Fundamentals Handbook/1997: Capítulo 8 - Thermal Comfort**

Guia normativo que apresenta os fundamentos da termo regulação humana e do conforto térmico, em uma linguagem que facilita a operação de sistemas e preparação de projetos e aplicações para o conforto dos ocupantes de edificações. Além disso, apresenta de maneira resumida as principais diretrizes das normas ISO referentes a conforto térmico.

## **3.7. Métodos de Avaliação do Conforto Térmico**

De acordo com Grzybowski (2004), foram desenvolvidas diversas metodologias com o intuito de conjugar as variáveis climáticas diretamente influenciadoras do balanço térmico humano com as noções de conforto. Foram produzidos também, diversos índices de conforto para fins de aplicação. Entretanto, a maioria desses índices apresenta limitações em sua aplicação prática devido ao fato de os experimentos terem sido realizados em condições climáticas muito variáveis. Conseqüentemente, cada um desses índices é válido para uma faixa limitada de condicionantes e não podem ser empregados universalmente.

Existem diversos métodos destinados a avaliar o conforto térmico do ambiente, através do cálculo do índice de conforto térmico. Alguns dos mais conhecidos no Brasil e mais adequados para regiões de clima quente são: o Índice de Temperatura Efetiva, de Yaglou e Houghthen; o método de Olgay; e a Carta Bioclimática, de Givoni.

### **3.7.1. Índice de Temperatura Efetiva**

De acordo com Grzybowski (2004), em 1923, Houghthen & Yaglou publicaram seus trabalhos, nos quais estabeleceram as “linhas de igual conforto” e determinaram as chamadas “zonas de conforto”, nascendo assim, o Índice de Temperatura Efetiva.

Inicialmente, considerava apenas a temperatura e a umidade do ar, mas posteriormente foi-lhe incorporado os efeitos da velocidade do ar e da vestimenta.

Os experimentos foram realizados em um sistema formado por duas câmaras climatizadas ligadas entre si por uma porta. Uma câmara era mantida a temperatura constante e a umidade em 100%, enquanto na outra se variavam as temperaturas do bulbo seco e úmido. À medida que as pessoas iam de uma câmara para outra, reportavam qual estava mais quente. O objetivo era o de determinar as combinações de temperatura de bulbo seco e úmido que causavam as mesmas sensações térmicas.

Segundo Yaglou (1947) e Rowley et al. (1947) apud Ruas (2001), a escala de temperatura efetiva foi usada sem restrições para avaliar o conforto térmico até 1947,

quando surgiram evidências que essa escala superestimava o efeito da umidade nas baixas temperaturas e subestimava o efeito da umidade nas altas temperaturas.

Segundo Negreiros (2010), em 1932, Vernon e Warner modificaram o índice, aplicando uma correção para a radiação térmica. Eles utilizaram a temperatura de globo no lugar da temperatura de bulbo seco, passando a denominar o índice de Temperatura Efetiva Corrigida (TEC).

### **3.7.2. Índice de Fanger - Voto Médio Previsto e Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas**

A pesquisa sobre o conforto térmico teve um grande avanço a partir da publicação do trabalho desenvolvido pelo dinamarquês Ole Fanger, em sua passagem pelo laboratório da ASHRAE, na década de 60. O método desenvolvido por Fanger é considerado o mais completo dos índices de conforto térmico, pois é o único que analisa a sensação de conforto térmico em função de todas as variáveis humanas e ambientais.

Fanger elaborou uma equação que permite calcular todas as combinações das variáveis ambientais do conforto térmico, para uma determinada combinação das variáveis pessoais. Além disso, definiu um critério de avaliação do grau de desconforto experimentado pelas pessoas em ambientes que tivessem condições diferentes daquelas de conforto térmico, relacionando as variáveis que influenciam no conforto térmico com uma escala de sensação térmica definida por ele. Esse critério ele chamou de Predicted Mean Vote (PMV), em português, Voto Médio Estimado (VME).

Este método é considerado o mais completo dos índices de conforto, sendo empregado na Norma Internacional ISO 7730 e na norma ASHRAE Standard 55-2004.

### **3.7.3. Modelos adaptativos**

Segundo Negreiros (2010), os modelos adaptativos são baseados em experiências realizadas em campo e expressam a tendência natural de adaptação humana às mudanças climáticas no ambiente. Desta forma, o princípio do pensamento adaptativo é que o ser humano é capaz de reagir às mudanças que provoquem desconforto, restaurando o conforto, ou tornando o ambiente menos desconfortável.

Wong *et al* (2002) apud Negreiros (2010) acreditam que a percepção térmica humana é um processo acumulativo, ou seja, se o usuário de um ambiente está insatisfeito com as condições térmicas, podem ocorrer ajustes fisiológicos, comportamentais ou psicológicos para adaptação às condições do ambiente.

Ajustes fisiológicos acontecem em longo prazo, por exemplo, com moradores de

locais com climas mais severos. Os ajustes comportamentais são as ações praticadas pelos usuários para retomada da condição de conforto, como o controle de aberturas e troca de roupas. O ajuste psicológico é função da interação das pessoas e a diversidade térmica do ambiente em que vivem, o que pode alterar suas expectativas e sensação de satisfação térmica.

Os modelos adaptativos são expressos em equações que associam a temperatura de conforto com a temperatura externa mensal. São sugeridas faixas de conforto, com temperaturas adicionadas ou subtraídas aos valores mensais encontrados, onde o usuário também se encontra em conforto de acordo com as possibilidades de adaptação ou aceitabilidade dos usuários às condições de estresse térmico.

Em sua dissertação, Negreiros (2010) utilizou três diferentes índices de conforto adaptativo para realização de uma comparação entre eles e sua aplicabilidade ao clima da cidade de Natal-RN. Os três índices escolhidos foram:

- ***Auliciems (1981)***

Em 1981, Auliciems apresentou um modelo psicofisiológico da percepção térmica que representa a base dos modelos adaptativos. O modelo é resultado de correlações de dados obtidos em edificações climatizadas e naturalmente ventiladas, assume pessoas com atividade sedentária e usando roupas de sua escolha. O estudo expressa a temperatura de conforto com uma variação de  $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$  em relação à temperatura de neutralidade, e restringe esta entre 18 e 28°C, seguindo a Equação 1.

$$T_n = 0,31 \cdot T_e + 17,6 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

$T_n$ : Temperatura de neutralidade, em °C

$T_e$ : Temperatura média mensal externa, em °C

- ***Nicol e Humphreys (2002)***

Em 2002, Nicol e Humphreys reafirmaram que a temperatura de conforto em edificações naturalmente ventiladas é função da temperatura externa, assim como mostrado em estudos anteriormente desenvolvidos por eles. O estudo mostrou que a relação entre temperatura de conforto e temperatura externa é estável e apresenta uma equação para cálculo da temperatura de conforto similar as anteriormente propostas (Equação 2). É recomendada uma variação de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  na temperatura de conforto

quando não for possível o uso de alternativas de adaptação como o uso de movimento do ar e troca de roupas.

$$T_c = 0,54 \cdot T_e + 13,5 \quad (Equação 2)$$

Em que:

$T_c$ : Temperatura de conforto, em °C

$T_e$ : Temperatura média mensal externa, em °C

- ***de Dear e Brager (2002)***

Também em 2002, de Dear e Brager propuseram uma faixa de conforto térmico que relaciona a temperatura média do ar externo com um intervalo de temperatura operativa interna. Entretanto, esta faixa de conforto é recomendada para uso apenas sob as seguintes circunstâncias:

- Espaços condicionados naturalmente onde as condições térmicas são controladas principalmente pelos usuários através da abertura e fechamento de janelas;
- Espaços que podem ter aquecimento artificial, mas o método não se aplica quando em funcionamento;
- Espaços onde não haja sistemas mecânicos de resfriamento;
- Espaços onde haja sistemas de ventilação mecânica, porém sem condicionamento de ar;
- Os ocupantes devem estar em atividade sedentária e aptos à livre adaptação de vestimenta e condições térmicas entre o interior e o exterior.

O modelo, que foi incorporado à ASHRAE 55 em sua última revisão, é representado pela Equação 3 e seu limite de conforto para 90% de pessoas satisfeitas é de  $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$  na temperatura de conforto e de  $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$  para 80% de pessoas satisfeitas.

$$T_c = 0,31 \cdot T_e + 17,8 \quad (Equação 3)$$

Em que:

$T_c$ : Temperatura de conforto, em °C

$T_e$ : Temperatura média mensal externa, em °C

## 4. Materiais e Métodos

### 4.1. Período de estudo

O período de obtenção de dados deu-se entre os meses de Maio de 2010 e Março de 2011, mais precisamente entre os dias 19/05/2010 e 19/03/2011, totalizando exatos dez meses de monitoramento.

Neste período, foi possível obter dados referentes às quatro estações do ano, primavera, verão, outono e inverno. As Figuras 14 e 15, mostram data e hora de início de cada uma das estações para os anos de 2010 e 2011, respectivamente.



Figura 13 - Período das estações do ano de 2010



Figura 14 - Período das estações do ano de 2011

### 4.2. Obtenção e tratamento de dados

O presente estudo iniciou-se com a instalação de três sensores MSR, da série MSR 145, sendo dois deles do modelo MSR145B e um do modelo MSRW, todos semelhantes ao mostrado na Figura 16.

De acordo com o Manual do Usuário, estes sensores apresentam as seguintes faixas de atuação:

- Temperatura: -10°C a 58°C;
- Umidade relativa: 0 a 100%

O grau de precisão de suas medidas segue as seguintes variações:

- Temperatura:  $\pm 0,1$  °C, para faixa de 5°C a 45°C  
 $\pm 0,2$  °C, para faixa de -10°C a 58°C

- Umidade relativa:  $\pm 2\%$ , para faixa de 10% a 85%  
 $\pm 4\%$ , para faixa de 85% a 95%

O sensor possui memória interna com capacidade para mais de 2 milhões de parâmetros de medição. Tanto a interface quanto a alimentação da bateria são realizadas através de conexão USB.

Dois dos três sensores utilizados (Modelo MSR145B) realizam medições de apenas um dos parâmetros em estudo, a temperatura, e o terceiro sensores (Modelo MSR145W) realiza medidas de temperatura e umidade.



Figura 15 - Sensor MSR utilizado no experimento

Os sensores foram instalados em duas salas de aula do Bloco didático da Engenharia Ambiental do Campus II da USP São Carlos. As salas escolhidas para a instalação dos mesmos foram as localizadas na porção oeste do Primeiro Módulo do Bloco. O primeiro módulo do bloco didático está em destaque com a cor vermelha na Figura 17 e a localização precisa das salas neste módulo pode ser observada na Figura 18.

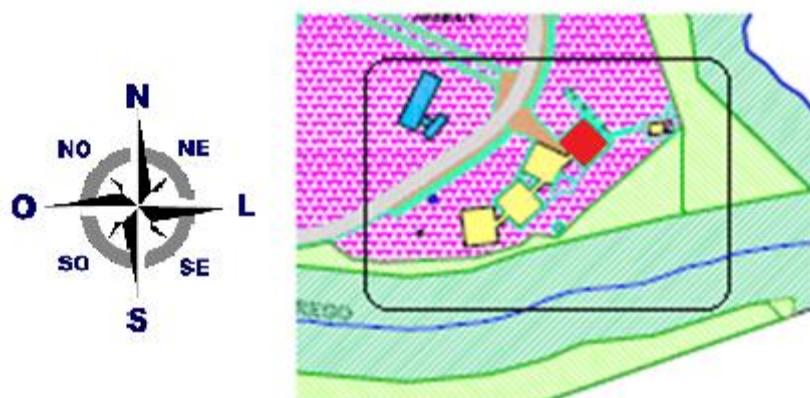


Figura 16 - Conjunto didático da Engenharia Ambiental com destaque para o módulo destinado as salas de aula

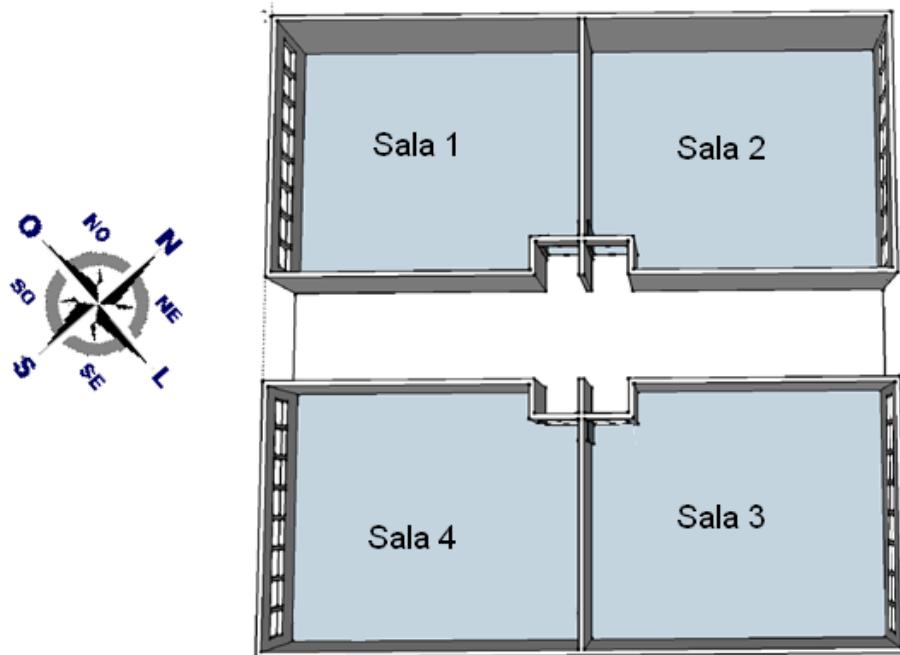


Figura 17 - Layout das localização das salas de aula do primeiro módulo do bloco didático da Engenharia Ambiental

As salas de aula possuem 9m de largura e 7,5m de comprimento, totalizando uma área de 67,5 m<sup>2</sup>. Na parede localizada à esquerda da lousa, encontram-se sete janelas, do tipo basculante, e no canto esquerdo da parede oposta a lousa, uma porta de madeira, de duas folhas.

No início do experimento, as aberturas (portas e janelas) compunham o único sistema de ventilação das salas de aula, entretanto durante o período do experimento, foram instalados cinco ventiladores de teto em cada uma das salas.

A figura 19 apresenta fotografias das salas de aula.



Figura 18 - Sala 1: (a) Vista da parede da lousa; (b) Vista da porta de entrada

Dois dos três sensores foram instalados na Sala 1, que fica no pavimento térreo do prédio, estando um deles sobre a lousa e o outro no fundo da sala, conforme mostra a Figura 20.

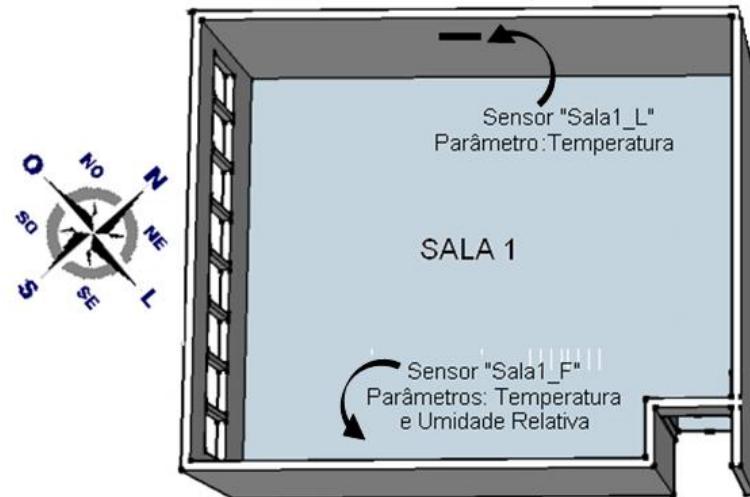


Figura 19 - Posicionamento dos sensores na Sala 1

O terceiro sensor foi instalado na Sala 5, que fica no pavimento superior, sobre a lousa, conforme mostra a Figura 21.

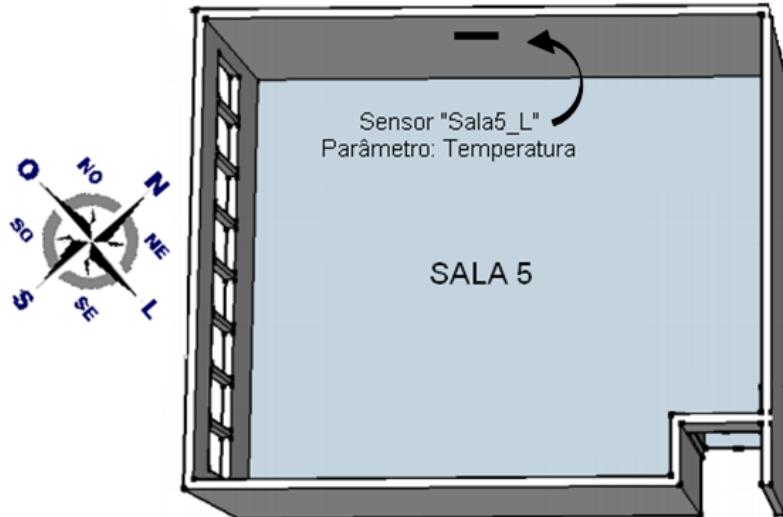


Figura 20 - Posicionamento do sensor na Sala 5

Estas salas foram escolhidas por receberem mais diretamente e por um período maior a incidência dos raios solares, sendo consideradas mais desfavoráveis do ponto de vista do conforto térmico.

Através do programa MSR 5.06, os sensores foram configurados de modo a realizar uma medida a cada 30 minutos, permitindo uma caracterização bastante fiel e detalhada do perfil de variação dos parâmetros, temperatura do ar e umidade relativa, ao longo do dia. A interface do programa MSR 5.06 pode ser observada nas Figuras 22 e 23.

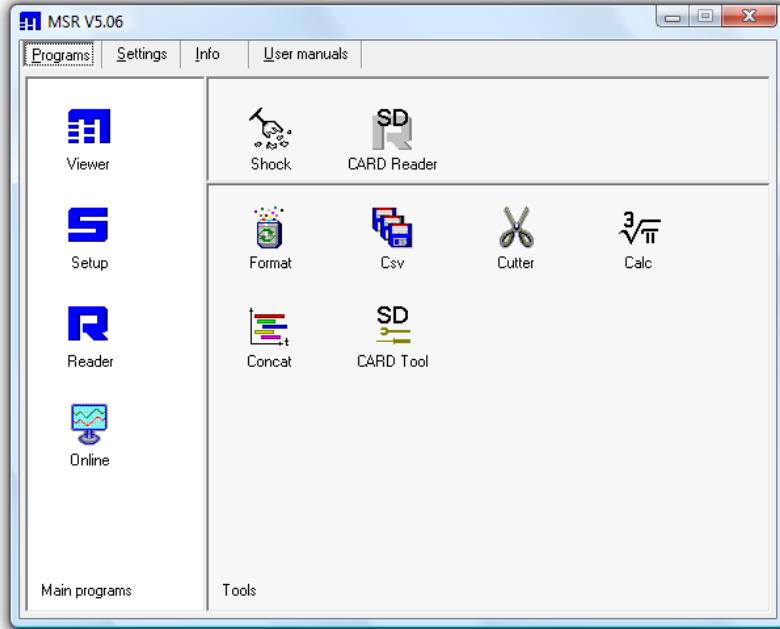


Figura 21 - Interface inicial do programa MSR 5.06

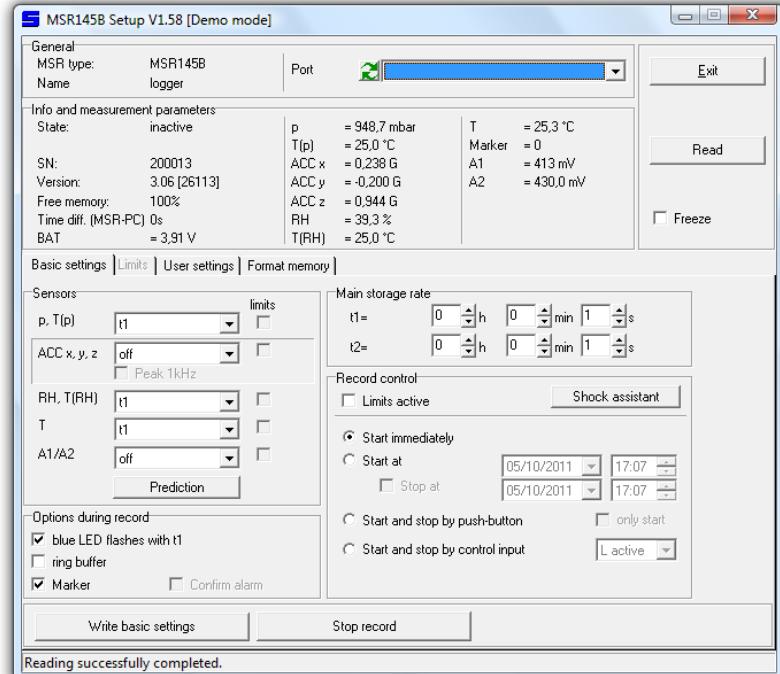


Figura 22 - Interface de configuração (Setup) do programa MSR 5.06

Nas Figuras 24 e 25 podemos observar a saída gráfica dos dados colhidos pelos sensores, ainda no programa MSR. As linhas azul e vermelha demonstram, respectivamente, a variação da umidade relativa do ar e da temperatura ao longo do tempo.

Periodicamente, os dados coletados pelos sensores foram recolhidos e exportados através do programa MSR 5.06, para o Microsoft Excel, onde foi possível analisar os dados e obter parâmetros como a amplitude térmica diária, valores máximos, médios e mínimos, tanto de temperatura quanto de umidade, ao longo de qualquer período desejado.

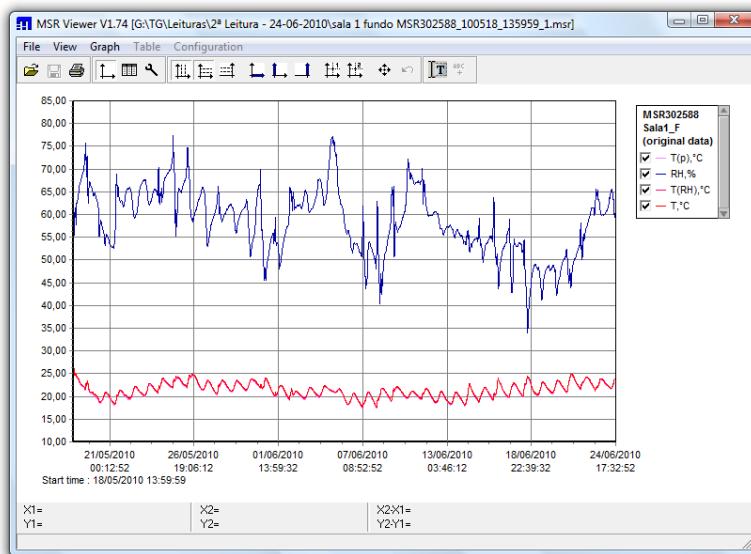


Figura 23 - Saída gráfica do programa MSR 5.06 para o sensor de temperatura e umidade relativa do ar

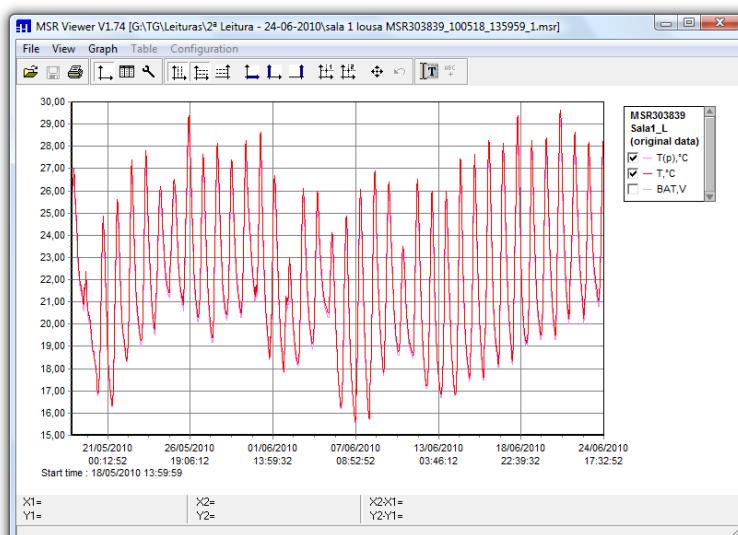


Figura 24 - Saída gráfica do programa MSR 5.06 para o sensor de temperatura do ar

## 5. Resultados e Discussão

### 5.1. Dados MSR

Todos os dados obtidos pelos sensores MSR foram extraídos e analisados em planilhas do Microsoft Excel, gerando um grande banco de dados. Foram mais de 14 mil medições realizadas por cada um dos sensores e todos eles estão contidos na planilha intitulada “Dados\_MSR”

A formatação da planilha “Dados\_MSR” pode ser observada na Figura 26 e a planilha completa está disponível no Anexo A.

Nas colunas “A” e “B” estão a data e a hora da medição, as colunas de “C” a “H” correspondem aos dados obtidos pelo sensor instalado na parede de fundo da Sala 1, as colunas de “I” a “L” correspondem aos dados obtidos pelo sensor instalado sobre a lousa da Sala 1 e as colunas de “M” a “P” correspondem aos dados obtidos pelo sensor instalado na parede de fundo da Sala 5.

A planilha apresenta todos os dados fornecidos pelos sensores, porém somente os dados contidos nas colunas destacadas são de interesse para o presente trabalho. A coluna “E”, destacada em azul, mostra os dados de umidade relativa e as colunas “G”, “K” e “O”, destacadas em laranja, mostram os dados de temperatura do ar.

As demais colunas são:

Colunas “C”, “I” e “M”: Pressão atmosférica (mbar)

Colunas “D”, “J” e “N”: Temperatura em função da pressão atmosférica (°C)

Coluna “F”: Temperatura em função da umidade relativa (°C)

Colunas “H”, “L” e “P”: Nível de bateria dos sensores (V)

|    | A          | B     | C        | D    | E    | F     | G    | H        | I     | J    | K    | L    | M        | N    | O    | P    |  |
|----|------------|-------|----------|------|------|-------|------|----------|-------|------|------|------|----------|------|------|------|--|
| 1  |            |       | Sala 1 F |      |      |       |      | Sala 1 L |       |      |      |      | Sala 5 L |      |      |      |  |
| 2  |            |       | p        | T(p) | RH   | T(RH) | T    | BAT      | p     | T(p) | T    | BAT  | p        | T(p) | T    | BAT  |  |
| 3  |            |       | mbar     | °C   | %    | °C    | °C   | V        | mbar  | °C   | °C   | V    | mbar     | °C   | °C   | V    |  |
| 4  | 18/05/2010 | 14:00 | 923      | 26,1 | 55,5 | 26,1  | 26,2 | 3,87     | 921   | 25,9 | 26,3 | 3,93 | 920,5    | 24,7 | 25   | 3,88 |  |
| 5  | 18/05/2010 | 14:30 | 922      | 24,6 | 59,6 | 24,6  | 24,7 | 3,87     | 920,1 | 26   | 26,4 | 3,93 | 919,7    | 25,1 | 25,4 | 3,88 |  |
| 6  | 18/05/2010 | 15:00 | 922      | 24,6 | 61,5 | 24,6  | 24,7 | 3,87     | 920,4 | 26,4 | 26,8 | 3,93 | 920      | 25,6 | 25,9 | 3,88 |  |
| 7  | 18/05/2010 | 15:30 | 922      | 24,8 | 61,5 | 24,9  | 24,9 | 3,87     | 920,7 | 26,6 | 26,9 | 3,93 | 920,2    | 25,7 | 26   | 3,88 |  |
| 8  | 18/05/2010 | 16:00 | 922      | 24,9 | 61,1 | 25    | 25,1 | 3,87     | 920,9 | 26,7 | 27   | 3,93 | 920,5    | 25,6 | 25,9 | 3,88 |  |
| 9  | 18/05/2010 | 16:30 | 923      | 24,8 | 57,6 | 24,9  | 24,9 | 3,87     | 921   | 26,2 | 26,5 | 3,93 | 920,5    | 25,8 | 26,1 | 3,88 |  |
| 10 | 18/05/2010 | 17:00 | 923      | 24,5 | 59,8 | 24,6  | 24,7 | 3,87     | 921,4 | 25,8 | 26,1 | 3,93 | 920,9    | 25,8 | 26,1 | 3,88 |  |
| 11 | 18/05/2010 | 17:30 | 923      | 24,3 | 62,4 | 24,5  | 24,5 | 3,87     | 921,5 | 25,5 | 25,8 | 3,93 | 921      | 25,4 | 25,7 | 3,88 |  |
| 12 | 18/05/2010 | 18:00 | 923      | 24,2 | 62,6 | 24,4  | 24,4 | 3,87     | 921,7 | 25,3 | 25,6 | 3,93 | 921,1    | 24,9 | 25,3 | 3,88 |  |
| 13 | 18/05/2010 | 18:30 | 924      | 24,1 | 62,8 | 24,3  | 24,3 | 3,87     | 921,7 | 25   | 25,4 | 3,93 | 921,1    | 24,6 | 24,9 | 3,88 |  |
| 14 | 18/05/2010 | 19:00 | 924      | 24   | 63   | 24,1  | 24,2 | 3,87     | 922,5 | 24,8 | 25,1 | 3,93 | 922      | 24,1 | 24,4 | 3,88 |  |
| 15 | 18/05/2010 | 19:30 | 925      | 23,9 | 63,3 | 24    | 24,1 | 3,87     | 922,6 | 24,5 | 24,8 | 3,93 | 922,2    | 24   | 24,3 | 3,88 |  |
| 16 | 18/05/2010 | 20:00 | 924      | 23,8 | 63,8 | 23,9  | 24   | 3,87     | 922,8 | 24,2 | 24,5 | 3,93 | 922,1    | 23,7 | 24   | 3,88 |  |
| 17 | 18/05/2010 | 20:30 | 923      | 23,6 | 64,4 | 23,8  | 23,9 | 3,87     | 922,2 | 23,9 | 24,3 | 3,93 | 921,8    | 23,5 | 23,8 | 3,88 |  |
| 18 | 18/05/2010 | 21:00 | 924      | 23,5 | 64,9 | 23,7  | 23,8 | 3,87     | 922,4 | 23,6 | 23,9 | 3,93 | 921,9    | 23,3 | 23,5 | 3,88 |  |
| 19 | 18/05/2010 | 21:30 | 924      | 23,4 | 65,4 | 23,6  | 23,6 | 3,87     | 922,4 | 23,4 | 23,6 | 3,93 | 922,1    | 23   | 23,3 | 3,88 |  |
| 20 | 18/05/2010 | 22:00 | 923      | 23,3 | 65,8 | 23,5  | 23,5 | 3,87     | 921,6 | 23,1 | 23,4 | 3,93 | 921,3    | 22,7 | 23   | 3,88 |  |
| 21 | 18/05/2010 | 22:30 | 922      | 23,1 | 66,2 | 23,3  | 23,4 | 3,87     | 921   | 22,9 | 23,1 | 3,93 | 920,5    | 22,5 | 22,8 | 3,88 |  |
| 22 | 18/05/2010 | 23:00 | 923      | 23   | 66,6 | 23,2  | 23,2 | 3,87     | 920,9 | 22,6 | 22,9 | 3,93 | 920,4    | 22,3 | 22,5 | 3,88 |  |
| 23 | 18/05/2010 | 23:30 | 923      | 22,8 | 66,8 | 23    | 23,1 | 3,87     | 920,8 | 22,4 | 22,7 | 3,93 | 920,4    | 22,1 | 22,4 | 3,88 |  |
| 24 | 18/05/2010 | 00:00 | 923      | 22,7 | 67   | 22,9  | 23   | 3,87     | 920,7 | 22,2 | 22,5 | 3,93 | 920,2    | 21,9 | 22,1 | 3,88 |  |
| 25 | 18/05/2010 | 00:30 | 923      | 22,6 | 67,2 | 22,8  | 22,9 | 3,87     | 920,9 | 22,1 | 22,3 | 3,93 | 920,3    | 21,7 | 22   | 3,88 |  |

Figura 25 – Amostra da Planilha “Dados\_MSR” disponível no Anexo A

## 5.2. Dados PCD

Os dados de temperatura e umidade do ambiente externo usados para comparação são provenientes da Plataforma de Coleta de Dados denominada São Carlos. Esta PCD está localizada a 47.89º de longitude oeste e 22.17º de latitude sul, a uma altitude de 753 metros.

A PCD realiza medições a cada três horas e por este motivo, esse banco de dados é consideravelmente menor que o gerado pelos sensores MSR, com pouco mais de 2400 medições realizados no período em análise.

Os dados da PCD também foram exportados para uma planilha do MS Excel denominada “Dados\_PCD”. A formatação da planilha “Dados\_PCD” pode ser observada na Figura 27 e a planilha completa está disponível no Anexo B.

Nas colunas “A” e “B” estão a data e a hora da medição, a coluna “C” apresenta os dados de umidade relativa do ar (%) e a coluna “D” apresenta os dados de temperatura do ar (°C).

|    | A          | B     | C       | D      |
|----|------------|-------|---------|--------|
| 1  |            |       | PCD     |        |
| 2  |            |       | UmidRel | TempAr |
| 3  |            |       | %       | °C     |
| 4  | 18/05/2010 | 15:00 | 57.0    | 26.0   |
| 5  | 18/05/2010 | 18:00 | 55.0    | 27.0   |
| 6  | 18/05/2010 | 21:00 | 90.0    | 20.5   |
| 7  | 19/05/2010 | 00:00 | 100.0   | 18.0   |
| 8  | 19/05/2010 | 03:00 | 100.0   | 18.0   |
| 9  | 19/05/2010 | 06:00 | 100.0   | 17.0   |
| 10 | 19/05/2010 | 09:00 | 100.0   | 17.5   |
| 11 | 19/05/2010 | 12:00 | 100.0   | 15.5   |
| 12 | 19/05/2010 | 15:00 | 100.0   | 16.0   |
| 13 | 19/05/2010 | 18:00 | 100.0   | 16.0   |
| 14 | 19/05/2010 | 21:00 | 100.0   | 14.5   |
| 15 | 20/05/2010 | 00:00 | 100.0   | 13.0   |
| 16 | 20/05/2010 | 03:00 | 100.0   | 12.0   |
| 17 | 20/05/2010 | 06:00 | 100.0   | 12.0   |
| 18 | 20/05/2010 | 09:00 | 100.0   | 10.5   |
| 19 | 20/05/2010 | 12:00 | 87.0    | 15.0   |
| 20 | 20/05/2010 | 15:00 | 59.0    | 18.0   |
| 21 | 20/05/2010 | 18:00 | 55.0    | 19.5   |
| 22 | 20/05/2010 | 21:00 | 79.0    | 15.5   |
| 23 | 21/05/2010 | 00:00 | 100.0   | 11.0   |
| 24 | 21/05/2010 | 03:00 | 100.0   | 8.5    |
| 25 | 21/05/2010 | 06:00 | 100.0   | 7.5    |

Figura 26 – Amostra da Planilha “Dados\_PCD” disponível no Anexo B

### 5.3. Comparando valores

#### 5.3.1. Condições internas e externas

Como dito anteriormente, as PCDs apresentam dados medidos apenas a cada três horas, por isso, para que a comparação entre os dados fosse efetiva, grande parte dos dados extraídos dos sensores MSR foi descartada.

Mesmo com o descarte desta grande quantidade de dados ainda é possível caracterizar de forma bastante fiel os perfis de variação de temperatura e umidade relativa do ar.

Os dados dos sensores MSR e da PCD foram consolidados em uma nova planilha chamada “Comparação”. A partir desta planilha foi possível criar uma série de saídas gráficas que facilitam a visualização e a interpretação dos dados.

- **Temperatura**

O gráfico da Figura 28 foi construído a partir a série completa de comparação dos dados de temperatura do ar tanto dos sensores quanto da PCD.

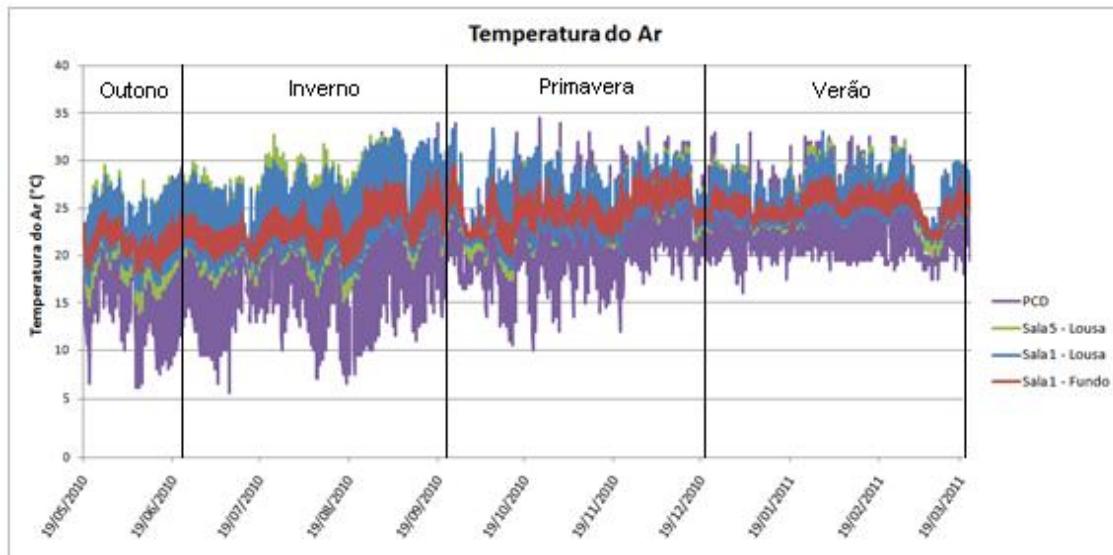


Figura 27 – Série completa de valores de temperatura do ar de MSR e PCD para o período de 19/05/2010 a 19/03/2011

Apesar da grande quantidade de dados e da aparente falta de clareza da imagem, é imediata a percepção de que amplitude térmica é muito maior do lado de fora das salas, fato comprovado pela grande quantidade de dados PCD (linha roxa) abaixo dos valores medidos pelos sensores. É importante destacar que as temperaturas máximas são coincidentes dentre e fora das salas, já as temperaturas mínimas são sempre menores no exterior. Isso acontece, pois a estrutura do prédio dificulta a dissipação da energia acumulada durante o dia, o que não acontece no

ambiente externo.

Paralelamente, uma análise comparativa entre os três sensores permite observar que os sensores localizados sobre as lousas (linhas azul e verde) apresentam uma amplitude térmica maior, atingindo temperaturas mais elevadas que o sensor localizado no fundo da sala (linha vermelha), durante todo o período de análise. É importante salientar que a lousa se localiza na parede cuja face está direcionada para a direção noroeste, recebendo assim grande incidência de raios solares durante grande parte do dia.

A utilização da ferramenta “Filtros” permite a escolha de diferentes intervalos de tempos que, automaticamente, atualizam os gráficos gerados para o período escolhido.

A Figura 29 apresenta um gráfico de colunas onde é possível visualizar as médias mensais de temperatura obtidas pelos sensores e pela PCD para o período do estudo.

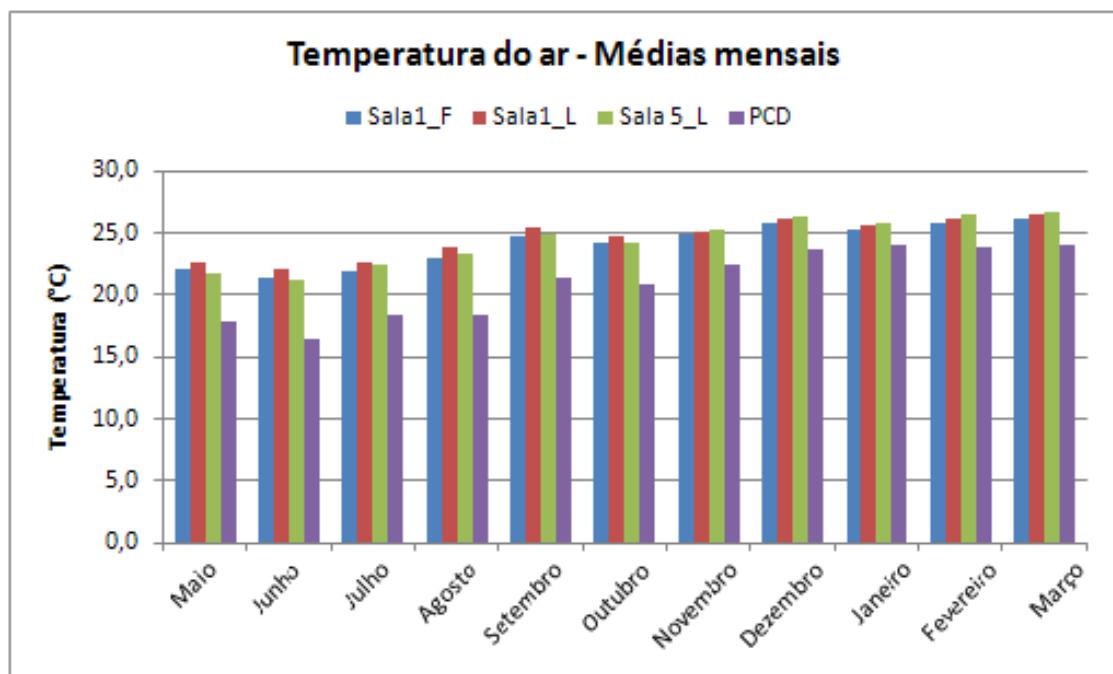


Figura 28 - Gráfico das médias mensais de temperatura do ar para o período de 19/05/2010 a 19/03/2011

A Figura 30 apresenta um gráfico do tipo boxplot construído a partir dos valores médios mensais de temperatura para o período de estudo.

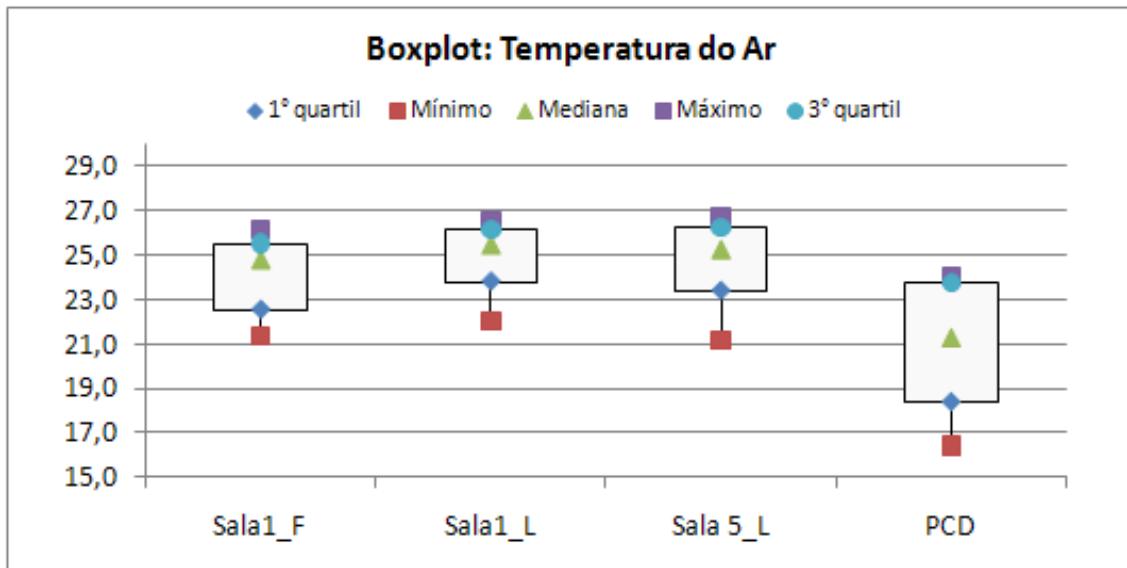


Figura 29 - Boxplot: Valores médios mensais de temperatura do ar para o período de 19/05/2010 a 19/03/2011

- **Umidade relativa**

O gráfico da Figura 31 foi construído a partir as série completa de comparação dos dados de umidade relativa do ar tanto do sensor localizado no fundo da Sala 1 quanto da PCD.

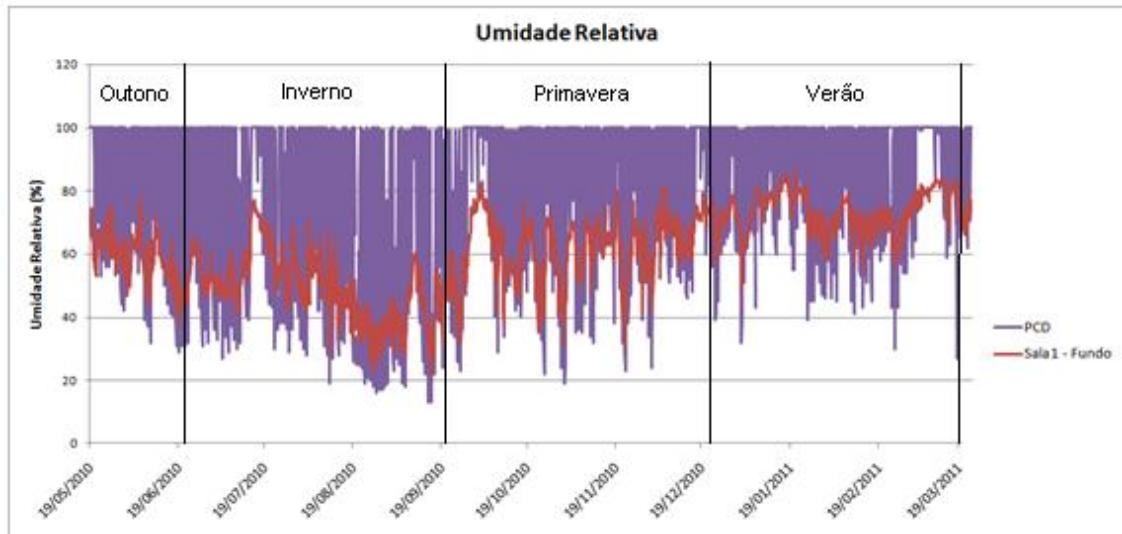


Figura 30 - Série completa de valores de umidade relativa do ar MSR e PCD no período de 19/05/2010 a 19/03/2011

É possível observar que a faixa de variação dos índices de umidade relativa é bastante extensa. Em ambiente externo, é bastante freqüente a ocorrência do valor máximo, 100%, enquanto no interior das salas o valor máximo não passa de 80%.

A constante ocorrência deste valor máximo em ambiente externo pode ser justificada pela localização da Plataforma de Coleta de Dados. A umidade relativa do ar se eleva sempre que chove, devido à evaporação que ocorre posteriormente, em áreas florestadas ou próximas aos rios ou represa e quando a temperatura diminui (orvalho).

Em relação aos valores mínimos, observa-se que os valores obtidos interna e externamente não apresentam a mesma discrepância que os valores máximos, entretanto é possível perceber que, em ambiente externo, a perda de umidade é maior que no interior das salas.

Da mesma forma, é possível utilizar a ferramenta “Filtros” para gerar gráficos específicos para diferentes intervalos.

A Figura 32 apresenta um gráfico de colunas onde é possível visualizar as médias mensais de umidade relativa do ar obtidas pelos sensores e pela PCD, para o período do estudo.

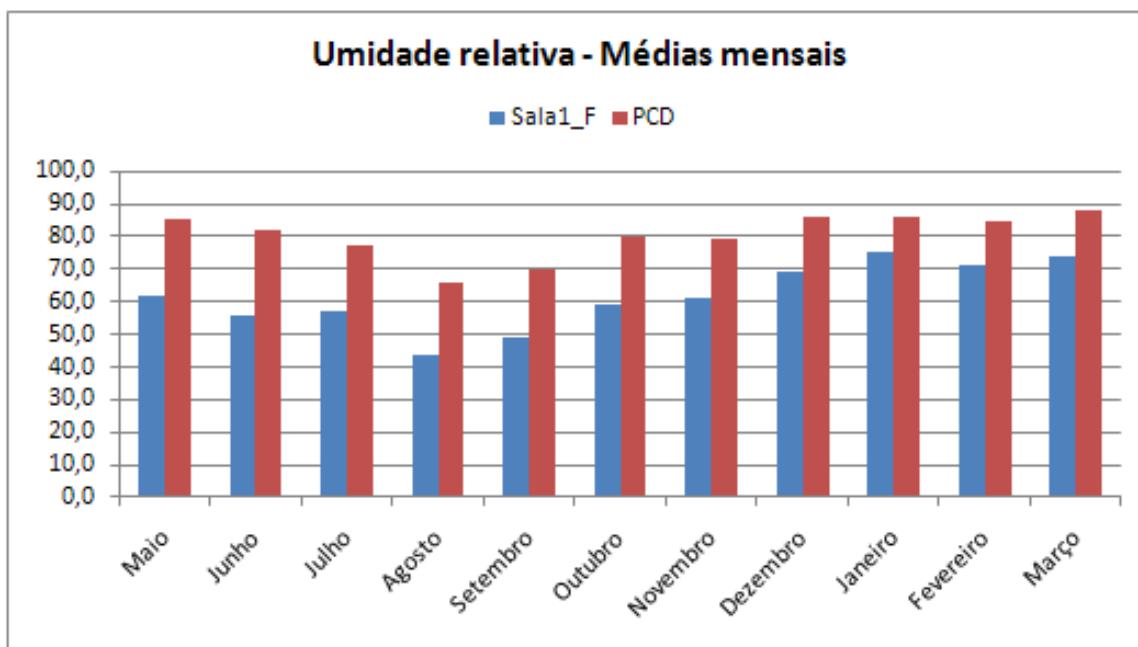


Figura 31 - Gráfico das médias mensais de umidade relativa do ar para o período de 19/05/2010 a 19/03/2011

A Figura 33 apresenta um gráfico do tipo boxplot construído a partir dos valores médios mensais de umidade relativa do ar obtidos pelos sensores e pela PCD, para o período do estudo.

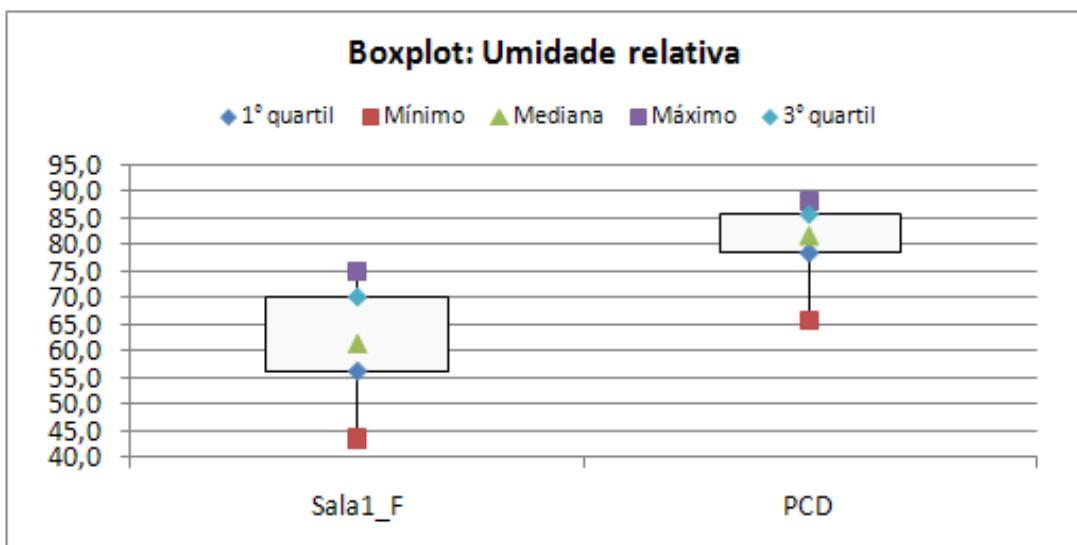


Figura 32 - Boxplot: Valores médios mensais de umidade relativa do ar para o período de 19/05/2010 a 19/03/2011

### 5.3.2. Valores de referência

Além da comparação entre os valores internos e externos de temperatura e umidade relativa do ar, este trabalho também objetiva a comparação entre os valores medidos e os estabelecidos em normas e estudos anteriores.

Conforme descrito na Revisão Bibliográfica, existe uma série de normas, nacionais e internacionais, que podem ser consideradas para a avaliação do conforto térmico. Cada método apresenta suas considerações e variáveis distintas.

Para o presente trabalho, optou-se pela obtenção de apenas dois parâmetros influenciadores do conforto térmico, e por este motivo, a grande maioria dos métodos abordados na Revisão Bibliográfica tem sua aplicação inviabilizada.

- **Temperatura do ar**

A interpretação dos dados de temperatura do ar será baseada na comparação dos valores obtidos com as zonas de conforto propostas pelos pesquisadores do laboratório MASTER e na aplicação de dois dos modelos adaptativos apresentados por Negreiros (2010).

Analizando o banco de dados, foi possível observar que o valor máximo para temperatura do ar foi de 33,4°C, registrado às 16h do dia 6 de outubro de 2010, pelo sensor instalado sobre a lousa da Sala 1. O valor mínimo foi de 13,8 °C, registrado as 9h do dia 7 de junho de 2010, pelo sensor instalado sobre a lousa da Sala 5..

A Tabela 2 apresenta um resumo dos valores máximos e mínimos obtidos por

cada um dos sensores e pela Plataforma de Coleta de Dados.

Tabela 2- Temperaturas máximas e mínimas registradas pelos sensores no período de 19/05/2010 a 19/03/2011

|                | <b>Temperatura Máxima</b>  | <b>Temperatura Mínima</b> |
|----------------|----------------------------|---------------------------|
| <b>Sala1_F</b> | 29,9°C (25/11/2010 às 15h) | 18,1°C (14/06/2010 às 9h) |
| <b>Sala1_L</b> | 33,4°C (06/10/2010 às 18h) | 16,1°C (07/06/2010 às 6h) |
| <b>Sala5_L</b> | 33,3°C (06/10/2010 às 18h) | 13,8°C (07/06/2010 às 9h) |

Curiosamente, a temperatura máxima não foi observada em um mês de verão, aparentemente, contrariando a premissa de que esta é a estação mais quente do ano.

Para a análise da temperatura interna deve-se levar em conta também o calendário da universidade. Os meses de verão coincidem com os meses de férias, quando as salas quase não são utilizadas. Nos meses letivos há cerca de 40 alunos utilizando as salas de aulas diariamente entre as 8h e as 18h e a presença dos alunos altera consideravelmente a temperatura do ambiente.

O fato das temperaturas máxima e mínima terem sido registrada, respectivamente, na Sala 1 e na Sala 5, possui duas justificativas.

A primeira considera a taxa de ocupação das salas. A Sala 1 é utilizada pelos alunos do 1º ano, que possuem uma grade horária bastante densa, com aulas praticamente todos os dias da semana, enquanto a Sala 5 é utilizada pelos alunos do 5º ano, que possuem uma grade horária bastante reduzida, com aulas somente às segundas e terças-feiras.

A segunda justificativa é a influência direta da cobertura. A Sala 5, por estar localizada no piso superior, sofre maior influência dos raios solares que atingem a cobertura do que a Sala 1.

Conhecidos os valores máximos e mínimos é possível restringir o número de zonas de conforto propostas de 11 (onze) para 7 (sete) zonas. As zonas pertinentes a este estudo estão listadas na Tabela 3, que é uma adaptação da Tabela 1, anteriormente apresentada.

Tabela 3 - Distribuição das zonas de conforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas adaptado para os valores máximos e mínimos obtidos no experimento

| Temperatura (°C) | Sensação Térmica (Tipo de Conforto Térmico) | Grau de estresse fisiológico  |
|------------------|---|-------------------------------|
| 13 – 16          | Ligeiramente Frio (LFF)                     | Resfriamento do corpo         |
| 16 – 19          | Pouco Frio (PFF)                            | Ligeiro resfriamento do corpo |
| 19 – 22          | Ligeiramente Fresco (LF)                    | Vasoconstrição                |
| 22 – 25          | Confortável (C)                             | Neutralidade térmica          |
| 25 – 28          | Ligeiramente Quente (LQ)                    | Ligeiro suor, vasodilatação   |
| 28 – 31          | Quente Moderado (QM)                        | Suando                        |
| 31 – 34          | Quente (Q)                                  | Suor em profusão              |

Pelo gráfico da Figura 34 é possível observar que grande parte das medições encontra-se fora da faixa de conforto térmico, determinado pelos pesquisadores do Laboratório MASTER e representada no gráfico pelas linhas pretas.

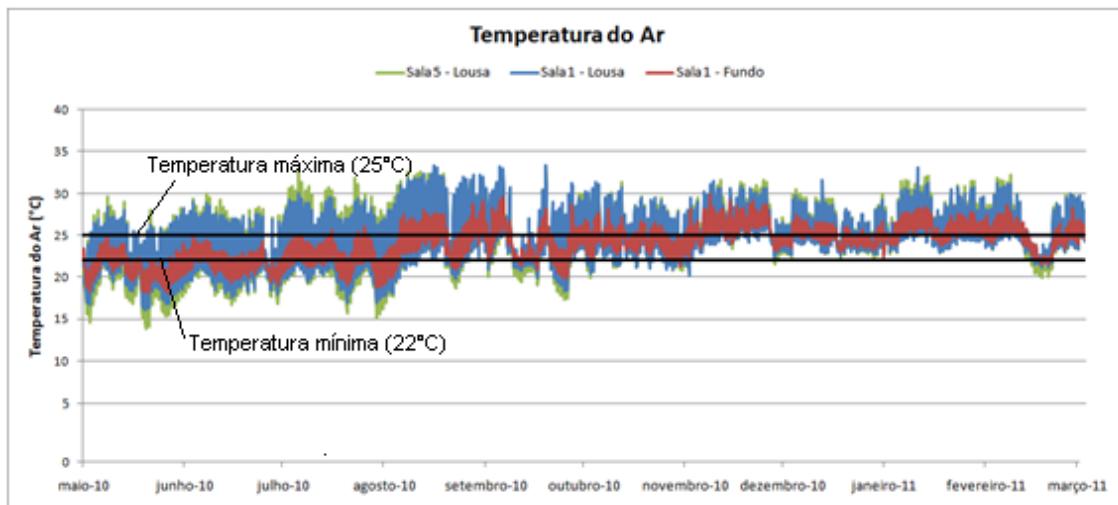


Figura 33 – Zona de neutralidade térmica de acordo com valores estabelecidos pelo Laboratório MASTER

O gráfico da figura 35 apresenta uma ampliação na zona de conforto, agregando os estados “Ligeiramente Fresco (LF)” e “Ligeiramente Quente (LQ)”. Esta consideração torna-se viável se considerarmos que ações como o uso de ventilação forçada e o fechamento de portas e janelas, podem influenciar nestes resultados.

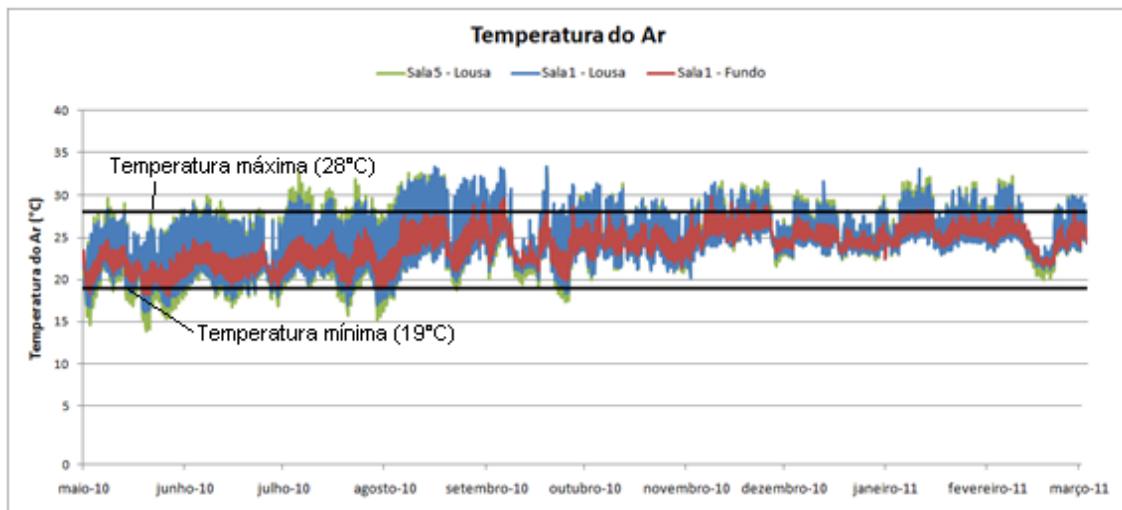


Figura 34 - Zona de neutralidade térmica ampliada de acordo com valores estabelecidos pelo Laboratório MASTER

Mesmo com esta adaptação, ainda é possível observar um grande número de ocorrências de desconforto térmico, principalmente relacionadas com temperaturas elevadas.

Neste contexto, cabe analisar a efetividade dos modelos adaptativos uma vez que estes associam as zonas de conforto com a temperatura média mensal externa.

A Tabela 4 sintetiza as equações de modelos adaptativos a serem analisadas, suas considerações e seus respectivos autores.

Tabela 4 - Síntese dos modelos adaptativos

| Autor                    | Equação                       | Variação                |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Auliciems (1981)         | $T_n = 0,31 \cdot T_e + 17,6$ | $\pm 2,5^\circ\text{C}$ |
| Nicol e Humphreys (2002) | $T_c = 0,54 \cdot T_e + 13,5$ | $\pm 2^\circ\text{C}$   |

Como os modelos adaptativos baseiam-se em dados médios mensais de temperatura, esses valores foram obtidos a partir da série completa de dados da PCD São Carlos.

O gráfico da Figura 36 apresenta as curvas formadas pelas temperaturas média, máxima e mínima para cada um dos meses do período de estudo. Podemos observar que as temperaturas mais altas ocorrem nos meses de setembro e outubro e as mais baixas nos meses de maio e junho.

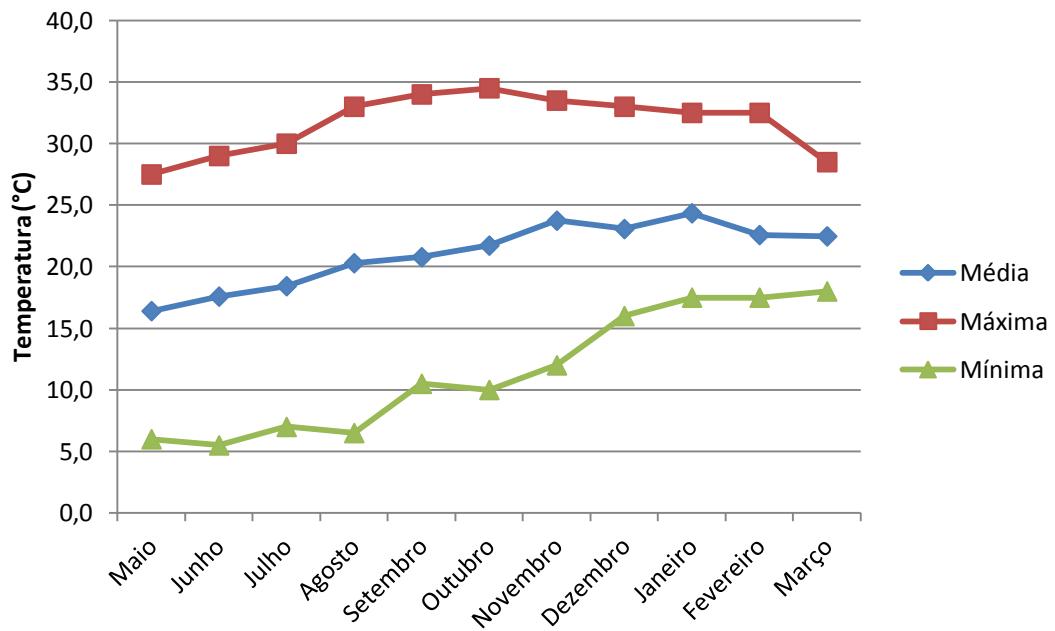


Figura 35 - Gráfico de temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do banco de dados da PCD

De modo a considerar de modo mais efetivo a aclimatação dos alunos ao ambiente das salas de aula, a temperatura média externa utilizada para a aplicação dos modelos adaptativos para cada dia foi a média dos 30 dias anteriores a ele.

Após a determinação destes valores médios, foi possível determinar a temperatura de conforto, também chamada de temperatura neutra, para cada um dos modelos e suas respectivas zonas de conforto. Os cálculos foram realizados utilizando as equações apresentadas na Tabela 3.

As variações dos limites de conforto obtidas pelo método de Auliciems (1981) e Nicol e Humpfeys (2002) podem ser analisadas nas Figuras 37 e 38, respectivamente.

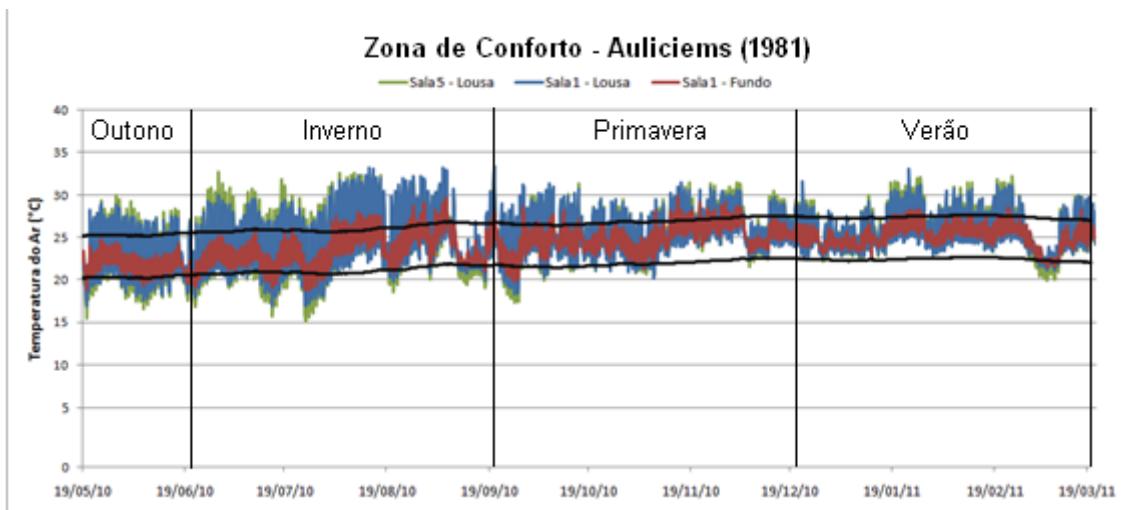


Figura 36 - Zona de conforto térmico pelo modelo de Auliciems (1981)

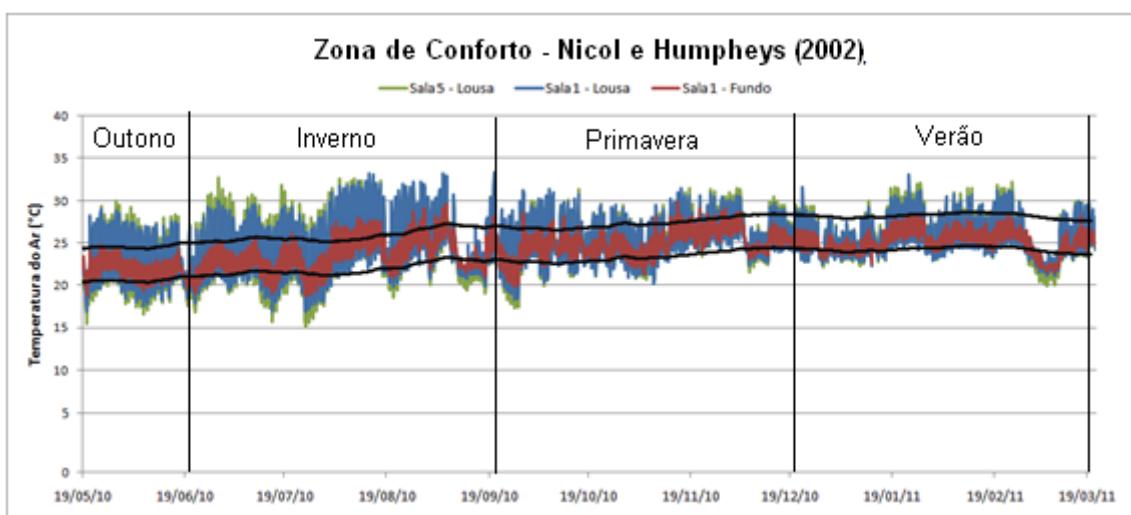


Figura 37 - Zona de conforto térmico pelo modelo de Nicol e Humphreys (2002)

Os dois modelos utilizados se mostram bastante semelhantes. Ambos demonstram a constante ocorrência de desconforto térmico, principalmente relacionado ao calor.

É possível observar que a zona de conforto gerada a partir do modelo de Auliciems (1981) se mostra mais constante ao longo do ano do que a gerada pelo modelo de Nicol e Humphreys (2002). O segundo modelo apresenta uma elevação mais acentuada da zona de conforto nos meses mais quentes do ano do que o primeiro.

Em ambos os modelos é importante observar que no período de férias, de dezembro a janeiro, as temperaturas registradas pelos sensores, encontram-se dentro da faixa de conforto térmico.

- **Umidade relativa**

Os valores de referência utilizados para analisar a umidade relativa do ar foram os limitantes que caracterizam “Estado de Atenção”, “Estado de Alerta” e “Estado de Emergência”, determinados pela OMS – Organização Mundial de Saúde. Seus limites superiores são, respectivamente, 30%, 20% e 12%.

O Gráfico da Figura 39 foi criado incluindo estes valores, com o intuito de facilitar a visualização dos dados. O “Estado de Atenção” é limitado pela linha azul, o “Estado de Alerta” pela linha verde e o “Estado de Emergência” pela linha alaranjada. Pelo gráfico é possível perceber que os estados de “Atenção” e de “Alerta” são atingidos, porém apenas pela análise do gráfico não é possível quantificar nem qualificar estas ocorrências.

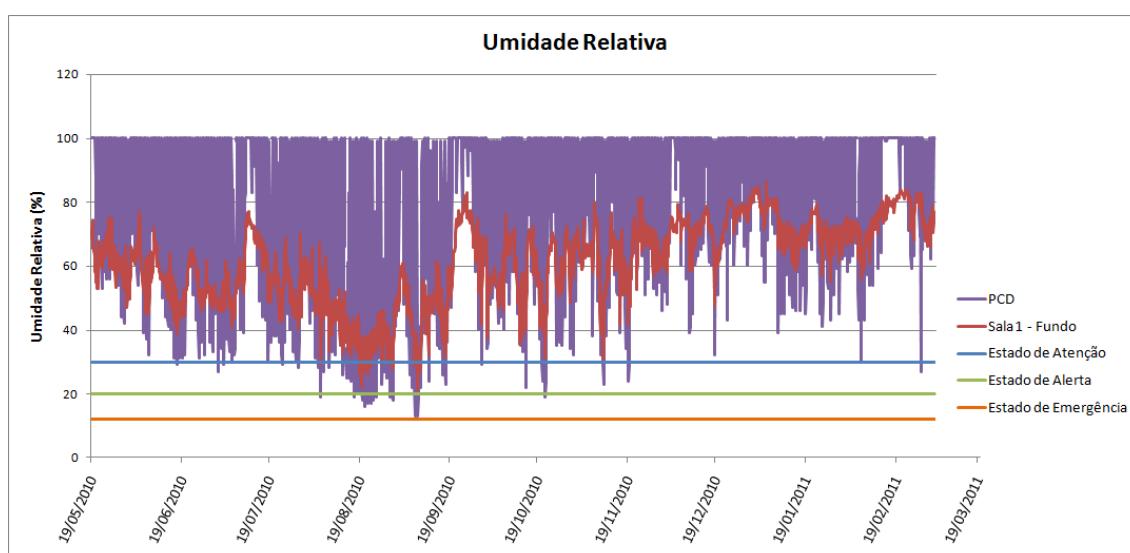


Figura 38 - Série completa de valores de umidade relativa do ar MSR e PCD acrescidos dos limites de Atenção, Alerta e Emergência

Analizando a planilha de dados, é possível concluir que a umidade relativa do ar no interior das salas de aula atingiu 23 vezes níveis que caracterizam Estado de Atenção. As ocorrências aconteceram entre os meses de agosto e setembro de 2010, e 21 delas aconteceram entre as 15h e as 18h. O menor valor observado foi de 21,2% no dia 13/08/2010 às 15h.

Os dados da PCD mostram 87 ocorrências de Estado de Atenção, 20 de Estado de Alerta e zero de Estado de Emergência. O menor valor observado foi de 13% nos dias 12 e 13 de setembro, ambos às 18h.

É importante ressaltar que a cidade de São Carlos está localizada em uma região onde uma das principais atividades agrícolas é o cultivo da cana de açúcar e,

por isso, está constantemente sujeita aos efeitos das queimadas. A elevada quantidade de material particulado emitida pelas queimadas associada aos baixos níveis de umidade do ar, podem agravar consideravelmente a ocorrência de problemas respiratórios.

## 6. Considerações Finais e Propostas

A busca por um ambiente construído que apresente todo o conforto ambiental, plenamente adaptado ao clima local e com soluções que minimizem o consumo de energia convencional, levando a mínima produção de poluição é o principal objetivo de arquitetura bioclimática, segundo Corbella e Tannas (2009) apud Negreiros (2010).

No âmbito deste objetivo, informações sobre a influência do clima local nas edificações, assim como as características estruturas desta edificação, são de extrema necessidade para se fundamentar as decisões ainda na fase de projeto.

Conforme demonstra a Figura 40, decisões tomadas nas primeiras etapas do processo são determinantes para a diminuição dos custos e elevam o desempenho da edificação.

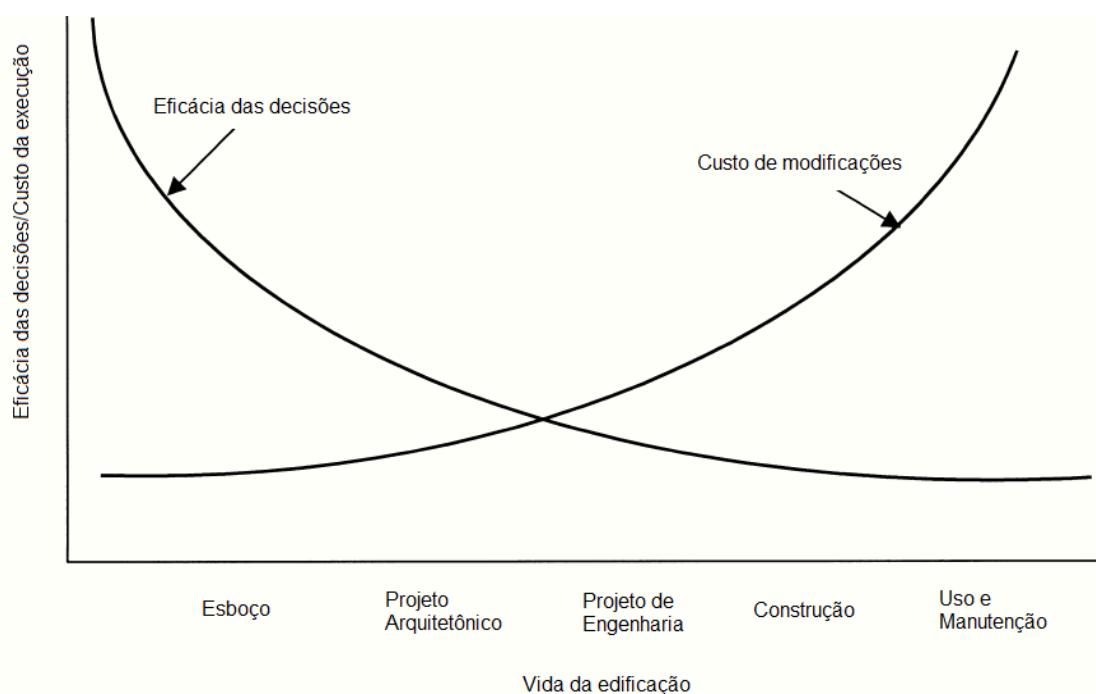


Figura 39 – Variação da eficácia das decisões e dos custos das modificações nas diferentes fases de projeto e vida útil das edificações

Foram analisados, no presente, trabalho dois dos parâmetros influenciadores do conforto térmico, temperatura e umidade relativa do ar, em uma avaliação pós-ocupação de duas salas de aula do prédio da Engenharia Ambiental da USP - São Carlos.

A temperatura do ar foi analisada considerando um método comparativo e dois modelos adaptativos. A umidade relativa do ar foi analisada por meio da comparação com os limites estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde.

A análise dos resultados nos permite concluir que o objeto de estudo apresenta problemas de desconforto térmico, principalmente associada a temperaturas elevadas. A temperatura no interior das salas de aulas chegou a atingir valores superiores a 33°C.

Uma vez identificado e caracterizado o problema, é possível fazer propostas de melhoria. No caso de avaliações de pós-ocupação, é comum ocorrerem críticas relacionadas à estrutura e localização do prédio. Porém, mesmo que estas características sejam as únicas responsáveis pela ausência de conforto térmico no interior da edificação, propostas que envolvam reformas à edificação, podem ser técnica e economicamente inviáveis. Por este motivo, as propostas a serem apresentadas no presente trabalho possuem caráter mitigatório.

### **6.1. Sistema artificial de condicionamento de ar**

Trata-se da proposição do uso de um sistema artificial de condicionamento de ar. Devido às dimensões e características de ocupação das salas de aula, recomenda-se a utilização de aparelhos de condicionamento que apresentem potência total entre de 30 mil BTUs.

Este valore foi determinado com auxílio de um Dimensionador Virtual, disponível no site de uma grande empresa produtora de aparelhos de condicionamento de ar.

Levando em consideração a elevada quantidade de energia elétrica necessária para garantir o funcionamento deste sistema de condicionamento, o elevado custo da energia disponível e as questões ambientais, propõe-se também a implantação de um sistema de placas solares para prover a energia necessária.

O dimensionamento do sistema de placas solares pode ser feito com a ajuda de um software desenvolvido por pesquisadores do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul disponibiliza em sua página na internet um pacote de programas chamado SOLARCAD.

O objetivo deste pacote de programas é facilitar o projeto de sistemas de energia solar e seus componentes, abrangendo tanto sistemas térmicos quanto fotovoltaicos.

A principal característica do SOLARCAD é a habilidade de simular o comportamento real de cada componente do sistema a partir de um mínimo de parâmetros de entrada. Este aspecto, combinado com uma estrutura especialista e interfaces amigáveis, permite que o software seja utilizado até mesmo por profissionais não tão familiarizados com o tema. O SOLARCAD é estruturado em módulos, os quais

podem ser utilizados tanto em conjunto como isoladamente.

## **6.2. Arborização do entorno**

Conforme abordado na seção “Revisão Bibliográfica”, a presença de vegetação pode auxiliar na manutenção de uma temperatura mais amena do ar que a circunda, seja pela utilização da energia disponível ou mesmo pela influencia da sombra.

Grzybowski (2004) salienta que o emprego da vegetação formando uma cobertura vegetal composta por espécies variadas, nas superfícies não edificadas que contornam os edifícios, também contribuem no bloqueio à incidência dos raios solares no solo e nas superfícies verticais, opacas e translúcidas, amenizando temperaturas, equilibrando o micro clima e propiciando a melhoria da qualidade de vida da população local.

## 7. Referências Bibliográficas

A CIDADE DE SÃO CARLOS. Disponível em: <<http://www.saocarlos.sp.gov.br>> e <<http://www.visitesaocarlos.com.br>>. Acessados em: 13/09/2011.

ÁGUAS, M. P. N. Conforto Térmico – Módulo da Disciplina de Mestrado Métodos Instrumentais em Energia e Ambiente

CARLO, J. C. – Desempenho térmico de edificações (2005)

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acessado em: 05/10/2011.

DEPROT. – Ambiente (Interface Humano Ambiental) Temperatura. Porto Alegre: jul 2002. 7 p. Ergonomia.

DIMENSIONADOR VIRTUAL. Carrier; Springer. Disponível em <<http://www.springer.com.br/dimensionador>>. Acessado em 05/10/2011

FANGER, P. O. Thermal Confort - Analysis and Applications in Environmental Engineering. Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. – Manual de conforto térmico – 5<sup>a</sup> Edição – São Paulo : Studio Nobel, 2001.

GRZYBOWSKI, G. T. – Conforto Térmico nas Escolas Públicas em Cuiabá – MT: Estudo de caso. Cuiabá, 2004. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A. L. – Desempenho Térmico de Edificações. Florianópolis. Apostila – Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

LAMBERTS, R.; XAVIER A. A. P. – Conforto Térmico e Stress Térmico. Florianópolis. Apostila – Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

MANUAL DO USUÁRIO – MSR 145. Disponível em <[http://www.msr.ch/media/pdf/Data\\_logger\\_MSR145\\_Manual\\_E.pdf](http://www.msr.ch/media/pdf/Data_logger_MSR145_Manual_E.pdf)>. Acessado em 28/11/2011.

MASTER – Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais. Disponível em: <<http://www.master.iag.usp.br/>>

NEGREIROS, B.A. – Análise de Métodos de Predição de Conforto Térmico de Habitações em Clima Quente-Úmido com Condicionamento Passivo, 2010. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

RUAS, Á. C. - Avaliação de Conforto Térmico – Contribuição à aplicação prática das normas internacionais. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas - FUNDACENTRO, Campinas, 2001.

RUAS, Á. C. – Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002

SCHIFFER, S. R.; FROTA, A. B. – Manual de Conforto Térmico. 6ª edição, Studio Nobel. São Paulo.

SINDA – Sistema Nacional de Dados Ambientais. Disponível em: <<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/>>. Acessado em 13/09/2011.

SOLARCAD. Laboratório de Energia Solar da UFRGS. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/>>. Acessado em: 05/10/2011.

UMIDADE DO AR - SAÚDE NO INVERNO. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/umidade-do-ar-saude-no-inverno.html>>. Acessado em: 29/09/2011.

XAVIER, A. A. P. – Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na Região de Florianópolis. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.