

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGE

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE TRÊS SISTEMAS
CONSTRUTIVOS DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES NA CIDADE DE
MARINGÁ - PR**

CARLOS AUGUSTO DE MELO TAMANINI

Florianópolis
Dezembro de 2002

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGE

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE TRÊS SISTEMAS
CONSTRUTIVOS DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES NA CIDADE DE
MARINGÁ - PR**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

CARLOS AUGUSTO DE MELO TAMANINI

Florianópolis
Dezembro de 2002

Ficha catalográfica

TAMANINI, Carlos Augusto de Melo

Avaliação de desempenho térmico de três sistemas construtivos de edificações escolares na cidade de Maringá – PR. Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Roberto Lamberts

1. Conforto térmico 2. Avaliação de desempenho térmico 3. Avaliação pós-ocupação 4. Escola

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE TRÊS SISTEMAS
CONSTRUTIVOS DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES NA CIDADE DE
MARINGÁ – PR**

CARLOS AUGUSTO DE MELO TAMANINI

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Prof. Jucilei Cordini, Dr. – Coordenador do PPGEC

Prof. Dr. Roberto Lamberts – Orientador

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Enedir Ghisi

Prof. Dr. Fernando Oscar Rutkay Pereira

Prof. Dr. Maurício Roriz

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Roberto Lamberts, pela paciência e dedicação.

Ao meu co-orientador Cláudio Pietrobon, pela atenção e determinação.

À minha esposa, Fabiana, pelo carinho e compreensão.

Aos meus pais, pelo incentivo e confiança.

Aos meus parentes e amigos, pela colaboração e apoio.

À Universidade Paranaense - Unipar que proporcionou os equipamentos necessários à realização desta pesquisa.

A todos que de alguma forma me ajudaram.

RESUMO

O conforto ambiental é uma característica que influencia diretamente no ambiente escolar e, conseqüentemente, na qualidade do ensino. Este estudo tem como objetivo apresentar resultados obtidos de uma avaliação de desempenho térmico entre três sistemas construtivos de escolas públicas da cidade de Maringá – PR. O estudo abrange o monitoramento e análise de desempenho térmico de salas de aula. Devido aos programas governamentais, estadual e federal, modelos típicos de edifícios são projetados e utilizados da mesma maneira para várias regiões. Estes protótipos de edifício são construídos praticamente sem modificações para uma grande diversidade de climas. A metodologia deste estudo baseia-se na integração do usuário e no monitoramento das salas escolares, trabalhando de forma paralela na medição dos parâmetros ambientais (resposta objetiva) e em uma análise do grau de satisfação dos usuários, através de sua percepção (resposta subjetiva). As variáveis ambientais de conforto a serem medidas seguem a seguinte ordem de avaliação: condições de conforto térmico - serão medidas as principais variáveis físicas de um ambiente -, temperatura do ar, umidade relativa do ar, que, associadas aos níveis de vestimenta e atividade, possibilitam as condições de conforto térmico do ambiente. As variáveis pessoais, ou melhor, a variável pessoal, refere-se ao isolamento térmico das vestimentas e a atividade física desenvolvida, sendo que será empregada como referência a tabela de isolamento térmico da ISO 7730. As temperaturas do ar e umidade de três salas de aula são medidas simultaneamente durante o período de inverno. As diferentes características de uso e variáveis ambientais exigem que os levantamentos sejam realizados em horários distintos, com usuários em atividade nos ambientes e com salas vazias. Os resultados das medições são apresentados e discutidos. As conclusões ressaltam que, para alcançar resultados aceitáveis de conforto, é importante levar em consideração alguns aspectos como a influência da cobertura e a área de aberturas com sombreamento adequado.

ABSTRACT

The ambient comfort is a characteristic that directly influences in pertaining to school environment and, consequently, in the quality of education. This study has as objective to present results gotten of an evaluation of thermal performance between three constructive systems of public schools of the city of Maringá - PR. The study ranges the monitoring and analysis of classrooms' thermal performance. Due to the governmental programs, state and federal, typical models of buildings are projected and used in the same manner for some regions. These building's archetypes are practically constructed without modifications for a great diversity of climates. The methodology of this study is based on the integration of the user and the monitoring of the school rooms, working in a parallel form in the measurement of the ambient parameters (objective response) and in an analysis of the users' satisfaction degree, through their perception (subjective response). The comfort ambient variables to be measured follow the following order of evaluation: conditions of thermal comfort - the main physical variables of an environment will be measured -, temperature of air, relative humidity of the air, that, associates to the wearing and activity levels, make possible the conditions of thermal comfort of the environment. The personal variables, or better, the personal variable, mention to it the thermal isolation of the wearing and to the physical activity performed, being that the table of thermal isolation of ISO 7730 will be used as reference. The temperatures of air and humidity of three classrooms are simultaneously measured during the winter's period. The different characteristics of use and ambient variables demand that the surveys be carried through in distinct schedules, with users in activity in environments and with empty rooms. The results of the measurements are presented and argued. The conclusions stand out that, to reach acceptable results, it is important to take in consideration some aspects as the influence of the covering and the area of openings with adequate shady.

SUMÁRIO

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CENTROS INTEGRADOS DE ENSINO – CIAC.....	5
1.2. FUNDEPAR - Fundação Educacional do Estado do Paraná.....	7
1.3. JUSTIFICATIVA.....	12
1.4. OBJETIVO GERAL.....	13
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.6. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. AVALIAÇÃO BIOCLIMÁTICA	15
2.2. CLIMA DE MARINGÁ	17
2.3. DESEMPENHO TÉRMICO.....	19
2.3.1. INÉRCIA TÉRMICA	19
2.3.2. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO	19
2.4. AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO.....	26
3. METODOLOGIA	32
3.1 OBJETOS DE ESTUDOS	33
3.1.1. Escola 01	35
3.1.2. Escola 02	38
3.1.3. Escola 03	40
3.2. PERÍODO DAS MEDIÇÕES.....	42
3.3. APRESENTAÇÃO DOS DADOS MEDIDOS	43
3.3.1. Metodologia proposta pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo	43
3.3.2. “Analysis Bio”	45
3.3.3. Gráfico de amplitude térmica diária	46
3.3.4. Atraso térmico diário	46
3.3.5. Somatório de graus-hora.....	46
3.3.6. Questionário	47
3.4. MATERIAIS	47

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	49
4.1 Caracterização do clima de junho a setembro de 2002.	49
4.2 Resultados encontrados	50
4.2.1. Método IPT	50
4.2.2. Analysis.....	53
4.2.3. Amplitude térmica	58
4.2.4. Atraso térmico	61
4.2.5. Somatório de graus-horas.....	63
4.2.6. Questionário	65
5. CONCLUSÃO	71
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	74
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS.....	79
Anexo A - QUESTIONÁRIO Análise de desempenho térmico de edificações escolares.....	79
Anexo B – Dia típico para a realização do Método IPT – 02/09/2002:.....	81
Anexo C - Relatórios do Analysis para:.....	82

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01: Maquete geral do conjunto.....	5
FIGURA 02: Modelo de implantação do CIAC.....	6
FIGURA 03: Montagem das salas de aula.....	7
FIGURA 04: Projeto padrão: plantas padronizadas do conjunto funcional.....	9
FIGURA 05: Circulação que estrutura a concepção do projeto padrão.....	9
FIGURA 06: Vista geral do conjunto.....	10
FIGURA 07: Carta Bioclimática adotada para o Brasil.....	15
FIGURA 08: Carta bioclimática para a cidade de Maringá.....	18
FIGURA 09: O ambiente afetando o comportamento.....	29
FIGURA 10: O comportamento afetando o ambiente.....	30
FIGURA 11: Mapa da cidade de Maringá.....	35
FIGURA 12: Vista geral da Escola Estadual Oberon Floriano Dittert.....	36
FIGURA 13: Salas de aula.....	36
FIGURA 14: Implantação da Escola 01.....	37
FIGURA 15: Planta baixa da sala de aula da Escola 01.....	37
FIGURA 16: Cortes da sala de aula da Escola 01.....	37
FIGURA 17: Entrada da Escola Estadual Juscelino Kubitschek (Fundepar).....	38
FIGURA 18: Vista do conjunto.....	38
FIGURA 19: Salas de aula.....	39
FIGURA 20: Implantação da Escola 01.....	39
FIGURA 21: Planta baixa da sala de aula da Escola 02.....	40
FIGURA 22: Cortes da sala de aula da Escola 02.....	40
FIGURA 23: Vista geral da Escola Municipal Professora Nadir Maria Alegrete.....	41
FIGURA 24: Implantação da Escola 03.....	41
FIGURA 25: Planta baixa e cortes da sala de aula da Escola 03.....	42
FIGURA 26: HOBO (medidor e registrador contínuo).....	48
FIGURA 27: HOBO SHUTTLE (coletor de dados).....	48
FIGURA 28: Distribuição de média diária de TBS – período de 05 de junho a 05 de setembro. Fonte: Estação Climatológica de Maringá.....	49
FIGURA 29: Umidade relativa – período de 05 de junho a 05 de setembro. Fonte: Estação Climatológica de Maringá.....	49
FIGURA 30: Distribuição da temperatura interna aplicando o dia típico: 02/09/2002 (considerando 24 horas).....	51
FIGURA 31: Classificação das edificações escolares através dos critérios e desempenho térmico (considerando 24 horas).....	51
FIGURA 32: Distribuição da temperatura interna aplicando o dia típico: 02/09/2002 (considerando horário de aula).....	52
FIGURA 33: Classificação das edificações escolares através dos critérios e desempenho térmico (considerando horário de aula).....	52

FIGURA 34: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 01. (considerando 24 horas).....	54
FIGURA 35: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 02. (considerando 24 horas).....	54
FIGURA 36: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 03. (considerando 24 horas).....	55
FIGURA 37: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 01 (considerando horário de aula).....	56
FIGURA 38: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 02 (considerando horário de aula).....	56
FIGURA 39: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 03 (considerando horário de aula).....	57
FIGURA 40: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Estação Climatológica (considerando horário de aula).	57
FIGURA 41: Amplitude térmica – período de 05/06/2002 a 05/09/2002	59
FIGURA 42: Amplitude térmica – período de 05/06/2002 a 05/07/2002	60
FIGURA 43: Amplitude térmica – período de 05/07/2002 a 05/08/2002	60
FIGURA 44: Amplitude térmica – período de 05/08/2002 a 05/09/2002	60
FIGURA 45: Atraso térmico – período 05/06/2002 a 05/07/2002.....	62
FIGURA 46: Atraso térmico – período 05/07/2002 a 05/08/2002.....	62
FIGURA 47: Atraso térmico – período 05/08/2002 a 05/09/2002.....	62
FIGURA 48: Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 19°C (considerando somente as três salas – medidos hora a hora durante 24h).....	64
FIGURA 49: Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 19°C (considerando horário de aula)	65
FIGURA 50: Distribuição entre meninos e meninas dos ambientes analisados	66
FIGURA 51: Distribuição da idade dos entrevistados.....	66
FIGURA 52: Distribuição entre meninos e meninas dos ambientes analisados	66
FIGURA 53: Distribuição da idade dos entrevistados.....	67
FIGURA 54: Distribuição referente a questão de como as pessoas estavam se sentindo no momento da aplicação do questionário – período de 03/09/2002 às 9h.	68
FIGURA 55: Distribuição referente a questão de como as pessoas gostariam de estar se sentindo no momento da aplicação do questionário – período de 03/09/2002 às 9h	69
FIGURA 56: Distribuição da resistência térmica das vestimentas – Unidade de medida: clo	69
FIGURA 57: Distribuição referente a questão de como as pessoas estavam se sentindo no momento da aplicação do questionário – período de 03/09/2002 às 14h.	69
FIGURA 58: Distribuição referente a questão de como as pessoas gostariam de estar se sentindo no momento da aplicação do questionário – período de 03/09/2002 às 14h.....	70
FIGURA 59: Distribuição da resistência térmica das vestimentas – Unidade de medida: clo	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Estratégias bioclimáticas para Maringá	18
Tabela 02: Quadro comparativo entre os resultados do Analysis.....	55
Tabela 03: Quadro comparativo entre os resultados do Analysis.....	58

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Conceito	Unidade
g.m.	Grau médio é a razão do somatório de graus-hora pelo número de horas acima, ou abaixo da base estipulada, ou seja, a média dos graus-hora.	°C
h.	Quantidade de horas acima ou abaixo das bases de temperatura usadas para análise de somatório de graus-horas	h
φ	Atraso térmico	h
U.R.	Umidade relativa	%
TBS	Temperatura de bulbo seco	°C

1. INTRODUÇÃO

Segundo AZEVEDO (1998), a padronização dos projetos ou dos componentes construtivos da arquitetura escolar, feitos sem planejamento do local, proporciona edificações com desempenhos insatisfatórios. Edificações produzidas em série proporcionam ambientes com pouca qualidade e identidade, reduzindo-se a simples arranjos de construção.

A produção da arquitetura escolar é um assunto que desperta discussão entre arquitetos, pesquisadores e governantes; entretanto, continua equacionada pelo poder público através de uma cultura política imediatista, ou seja, para suprir o déficit de salas de aula, prevalece, na maioria dos casos, a quantidade sobre a qualidade destas.

As conseqüências dessa preocupação com o déficit meramente quantitativo reduzem o projeto escolar a mero aglomerado de ambientes, sem expressão e sem conforto.

Outro ponto sobre a fragilidade da utilização de projetos padronizados, segundo AZEVEDO (1998), refere-se às incoerências de implantação das edificações no terreno, resultando em gastos para adaptação dos terrenos ao edifício, salas de aula com localização inadequada e áreas externas com pouco ou nenhum tratamento paisagístico. Aspectos relacionados ao conforto ambiental também se encontram comprometidos, estando longe de oferecer condições apropriadas às atividades a serem desenvolvidas.

Sobre a questão da produção da arquitetura escolar, é necessário repensar e reestruturar modelos, processos e métodos da ação projetual, procurando envolver todos os integrantes que utilizarão o espaço, compartilhando informações, conhecimentos, valores e experiências, garantindo um atendimento às necessidades e expectativas dos envolvidos no processo.

A análise da performance de ambientes escolares, a partir de procedimentos metodológicos da Avaliação Pós-Ocupação (APO), segundo AZEVEDO (1998), possibilitará um aprofundamento do conhecimento sobre esses ambientes, verificando se o grau de adequação e conforto atendem às expectativas dos usuários.

A escola é, por excelência, a instituição social que trabalha com o conhecimento de forma ordenada e organizada num sistema. A ela cabe ensinar e garantir a aprendizagem de certas

habilidades e conteúdos necessários à inserção das novas gerações na vida em sociedade, oferecendo instrumentos de compreensão da realidade e favorecendo a participação dos educandos em relações sociais diversificadas e cada vez mais amplas. Para isso, é dotada de uma estrutura de organização e de relações próprias, que conferem especificidade ao trabalho que faz com o conhecimento, diferenciando-a das demais agências sociais que lidam com o conhecimento.

Segundo REGO (1996), a escola, um dos equipamentos públicos mais abertos e interativos com o cotidiano da cidade, desempenha papel fundamental na formação do indivíduo, isto porque a perspectiva de atuação do profissional no futuro será a de um indivíduo capaz de interagir em grupo, atuar em equipe e preocupar-se com a qualidade. Sendo assim, a escola é um espaço que deve absorver o que está acontecendo e o que ainda está por vir.

A escola integra-se facilmente à vida do lugar onde está implantada. Essa integração ocorre devido ao envolvimento da comunidade nas atividades da escola e da perfeita harmonia edifício-entorno. A escola passa, assim, a ter uma função social mais ampla e esta, por sua vez, deve ser considerada na elaboração do projeto.

O prédio escolar deve ter caráter público e ser um ponto de referência no bairro; por isso, a sua arquitetura deve facilitar a integração funcional e simbólica com o ambiente do bairro. Elementos do edifício – como muros, pórticos, caixas d’água – tornam-se determinantes para identificar e afirmar o edifício no contexto da cidade.

Os estabelecimentos de ensino, segundo TEPERMAN (1994), devem ser caracterizados pela praticidade, pelo baixo custo de manutenção e pela durabilidade. A educação é o símbolo mais adequado para definir o desenvolvimento econômico, político e cultural de um país, e o seu potencial se mede pela qualidade, não pela quantidade.

Para a CONESP – Companhia de Construções Escolares do Estado de São Paulo (1977), o conceito do prédio escolar é o de um edifício que deve adequar-se às exigências funcionais e operacionais; às características socioculturais da comunidade, assegurando níveis satisfatórios de conforto e higiene e possibilitando que as atividades pedagógicas se desenvolvam plenamente.

Conforme SEGAWA (1987), a iniciativa de construir edificações de ensino espelha com maior fidelidade a preocupação que uma sociedade tem em organizar o sistema educacional para os fins conceituados por ela mesma. Não se trata de saber quantas salas de aula foram construídas; importa reconhecer a qualidade dessas salas bem como as intenções, os anseios e as perspectivas para a atual clientela e para as futuras gerações.

Segundo REGO (1996), as escolas destinam-se a crianças e adolescentes. Decorrente deste fato, devem ser consideradas as suas características físicas e comportamentais na elaboração do projeto, na adequação dos espaços e na escolha do mobiliário e equipamentos.

É recomendado determinar que a criança na primeira fase escolar desfrute de um espaço para correr, pular e se movimentar livremente. Isto porque, nesta fase, a criança necessita de um espaço ordenado e rico de significados, onde seja livre para explorá-los. Já os adolescentes estão numa fase de afirmação de identidade e necessitam de espaços próprios onde possam associar-se em grupos, como, por exemplo, os pátios.

KIEFER (1994) afirma que o ensino é uma atividade ancestral, porém o mesmo não se pode dizer da organização dos espaços onde ele se desenvolve. A formulação de normas de arquitetura e interiores para a educação básica remonta à segunda metade do século 19, na França. O Brasil assimilou essas regras, que são significativas; os códigos de edificação vigentes ainda preservam muitos dos conceitos de mais de cem anos. Ao se examinar a planta de uma escola de 1920 e outra de 1994, inevitavelmente se encontrará a mesma estrutura: circulação (usualmente corredores), salas de aula, pátios e administração. Esta constatação talvez venha confirmar as teorias sobre tipologias arquitetônicas e a transcendência de soluções no tempo. Ou indicar que a dinâmica da educação não é tão dinâmica como se imagina.

Desinformação ou descaso, segundo LIMA (1994), tornaram as escolas públicas, que foram construídas a partir dos anos 70, em edifícios que abrigam salas, galpões e sanitários destinados às atividades previstas no programa, e cada bloco instalado no terreno com a preocupação exclusiva do menor preço. Orientações inadequadas, beirais insuficientes, tudo contribui para que as crianças tomem sol e chuva desnecessariamente. As construções podiam ser destinadas tanto para crianças, como para armazenamento de alimentos, pois são apenas áreas cobertas, com fechamento e piso.

Para RIBEIRO (1994), existem erros essenciais de conceitos e metodologia de coleta e interpretação de dados estatísticos, utilizados pelo Ministério da Educação, ocasionando graves conseqüências para a definição das políticas educacionais e para o planejamento e destinação dos recursos públicos. Como conseqüência, a construção de escolas em determinados locais é necessária, mas os responsáveis pelo planejamento das construções, ao interpretar os levantamentos de modo equivocado, não atendem à solicitação da construção.

Projetar uma escola, segundo WOLF (1995), constitui sem dúvida um ato político, no sentido da organização social da pólis ou da cidadania. A arquitetura escolar reflete, talvez melhor do que qualquer outra categoria de edifícios, as passagens mais empolgantes de nossa cultura, além de possibilitar aos profissionais a escolha de outros caminhos.

Segundo SEGAWA (1987), uma equipe formada por professores/pedagogos, médicos, engenheiros e arquitetos realizou no início da década de 30, uma análise nos edifícios escolares até então em uso. Sobre o tópico da linguagem arquitetônica, todos tiveram o mesmo parecer: uma arquitetura moderna não significa copiar o último modelo de Moscou ou Paris. A arquitetura racional exige o emprego de materiais da região, atendendo às condições de clima, usos, costumes etc. Obedecendo a esses princípios básicos, cria-se um estilo original para cada povo. Não deve haver temores quanto à monotonia da arquitetura.

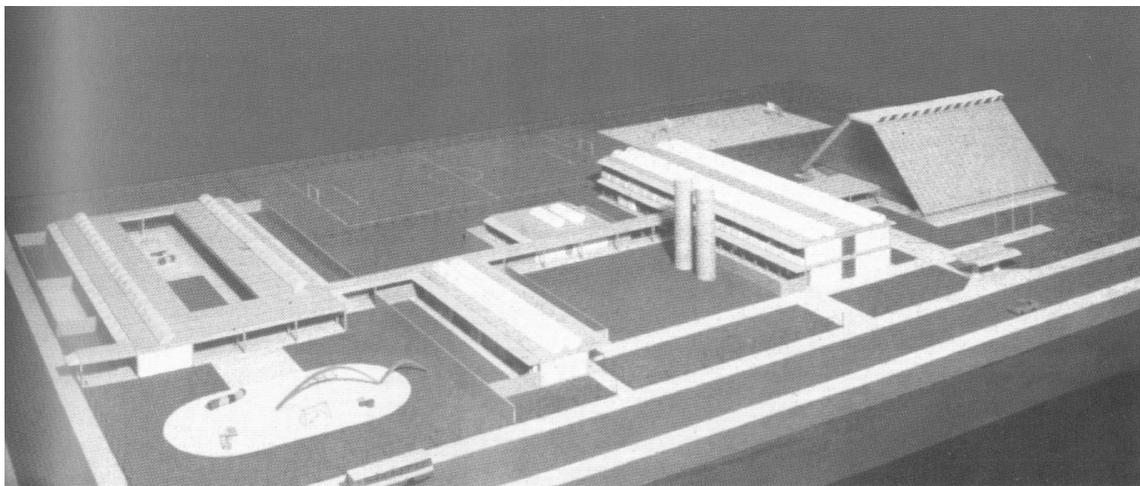
Conforme LIMA (1994), o espaço escolar exige qualidade não apenas funcional e construtiva. Exige sobretudo considerar as condições mais favoráveis para o processo de desenvolvimento da criança, no quadro da realidade social e cultural do país. Por isso, é importante que o projeto leve em conta a comunidade, o lugar e a sua história. Nenhum deles se repete, pois o Brasil se caracteriza pela diversidade.

A arquitetura escolar, conforme REGO (1996), como campo específico de estudo, destacou-se por substituir o formalismo didático por uma escola ativa, onde o espaço físico é parte integrante do processo pedagógico. Essa substituição é decorrente de transformações ocorridas na pedagogia e nas ciências humanas em geral, concretizando-se em várias experiências na Arquitetura Moderna.

Segundo LAWRENCE (1994), os projetos para as escolas do século XXI terão de buscar a flexibilidade no tempo, organização dos espaços, localizações e instalações. O projeto terá ainda de assegurar tanto a beleza, reconhecida como necessidade básica, quanto o conforto e a abertura da escola para a comunidade, pois a tecnologia expande o aprendizado para dentro e para fora da sala de aula e da escola.

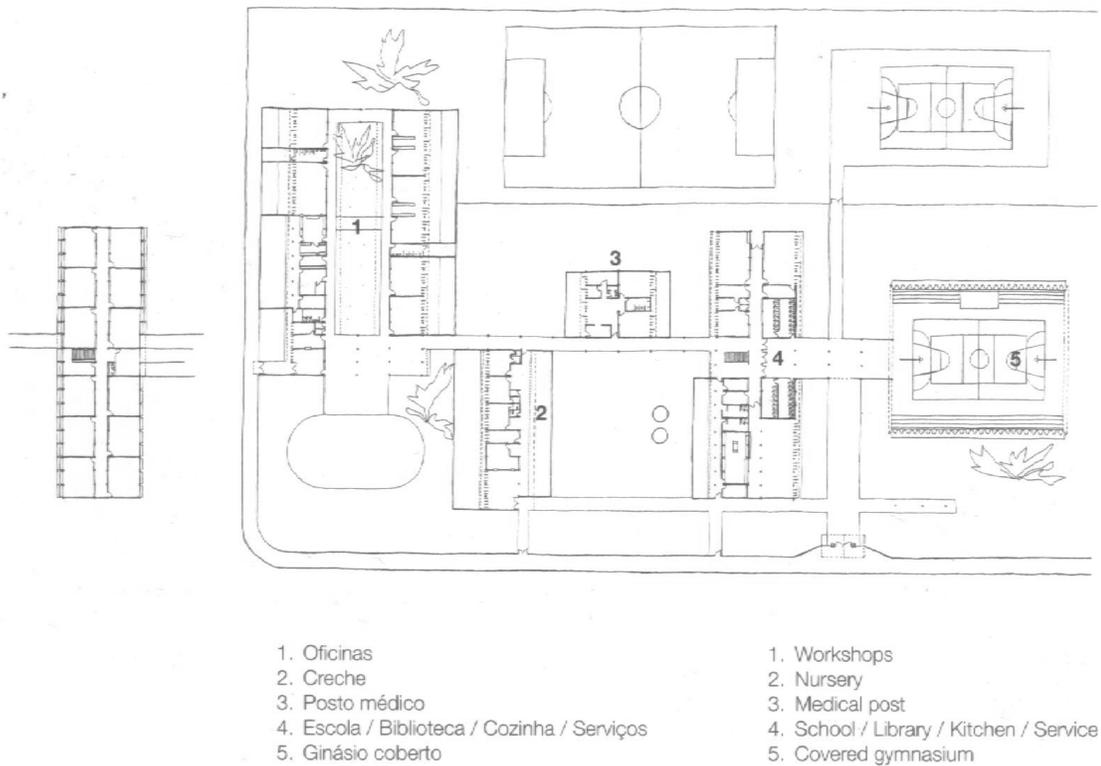
1.1. CENTROS INTEGRADOS DE ENSINO – CIAC

Segundo LIMA (1999a), o programa dos CIACs – Centros Integrados de Ensino – era um desdobramento da experiência dos CIEPs do Rio de Janeiro. A elaboração completa dos projetos dos edifícios típicos, dos projetos de industrialização dos componentes e dos projetos de implantação das fábricas foi realizada em pouco mais de dois meses. A produção de componentes e montagem de um protótipo executado em Brasília pela fábrica de argamassa armada do governo do Distrito Federal durou pouco mais de três meses, ou seja, entre a aprovação do anteprojeto do mesmo ano, decorreram menos de 5 meses. Na figura 01, temos uma maquete geral do conjunto e, na figura 02, o modelo de implantação, que demonstra a distribuição utilizando o sistema pavilhonar como partido arquitetônico.



Fonte: LIMA (1999a)

FIGURA 01: Maquete geral do conjunto



Fonte: LIMA (1999a)

FIGURA 02: Modelo de implantação do CIAC

Para o cumprimento dessa tarefa foram mobilizados praticamente todos os arquitetos, engenheiros, técnicos e operários especializados que haviam participado da experiência da FAEC – Fábrica de Equipamentos Comunitários (projeto implantado pela prefeitura de Salvador). Na figura 03, apresenta-se o processo de montagem das salas de aula, o que possibilitava uma maior rapidez na execução das escolas.



Fonte: LIMA (1999a)

FIGURA 03: Montagem das salas de aula

Por problemas de natureza política e pela própria instabilidade do governo, que culminou com a cassação do mandato do presidente da República, a maioria dos técnicos se afastaram do programa logo no início de sua implantação, participando somente da execução de dois protótipos e da elaboração dos projetos, que foram posteriormente modificados, descaracterizando inclusive a sua concepção.

Sobre a experiência dos CIACs, o próprio autor do projeto, o arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé) (1999b) relata em uma entrevista: *“aquele foi um momento trágico... . Eu me iludi, talvez um pouco conscientemente, e foi, muito difícil de sair daquele processo... tive de brigar com o Brizola, tive que romper com muitas pessoas.”* Sobre o ganho técnico que os CIACs proporcionaram, Lelé expõe que a cada experiência há um aprimoramento e enfatiza: *“Em uma escola, a variação é pequena, são salas de aulas, de professores, biblioteca, escritórios, então era possível fazer tudo com argamassa armada. Se eu tivesse que projetar uma escola hoje, eu faria outro desenho, mas tentaria chegar a uma solução barata. E preferiria a argamassa armada ao aço.”*

1.2. FUNDEPAR - Fundação Educacional do Estado do Paraná

A FUNDEPAR – Fundação Educacional do Estado do Paraná – é o órgão do governo do Estado do Paraná que tem por finalidade garantir a qualidade de ensino nas escolas, bem como garantir a qualidade dos espaços físicos onde são realizadas as atividades pedagógicas.

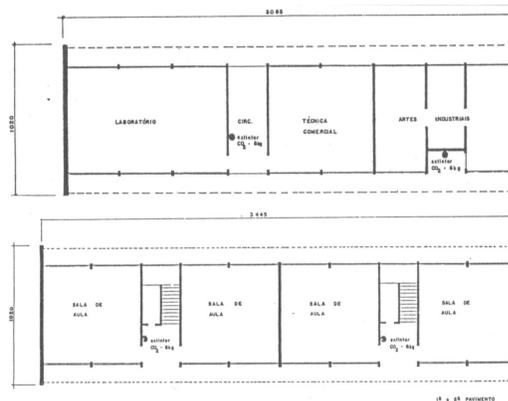
A partir da avaliação crítica dos resultados e do desempenho das construções escolares existentes, a Fundepar elaborou um projeto-padrão que atenua as eventuais falhas analisadas.

Grande flexibilidade nas implantações facilita a adaptação em diferentes formas de terreno e topografias variadas. A adoção de sistema construtivo convencional, a normalização e padronização de componentes e utilização de materiais de forma a minimizar os custos de manutenção são as premissas básicas estabelecidas pela Fundepar.

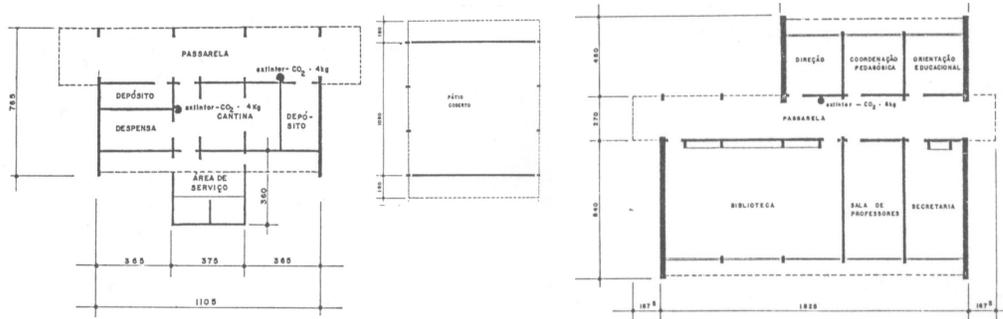
Uma “espinha dorsal”, ou seja, duas passarelas que abrigam as circulações de comprimentos diferentes e paralelas entre si, agrega os subconjuntos dos ambientes. O agrupamento em subconjuntos resultou numa maior flexibilidade horizontal e vertical, possibilitando a adequação aos mais variados terrenos, a valorização espacial do conjunto e a adoção de soluções mais adequadas de relacionamento entre os ambientes.

Para uma adequada orientação da edificação, os ambientes têm duas faces com aberturas para o exterior. Os conjuntos funcionais de uma unidade escolar foram determinados após uma interpretação das inter-relações dos ambientes e configuram-se em (figura 04):

- Conjunto direção/apoio pedagógico e técnico: controla e coordena todas as atividades da escola e promove o relacionamento escola-comunidade.
- Conjunto pedagógico: compreende os ambientes destinados para as atividades de educação em geral (pedagógico I) e ambientes para as atividades de formação especial (pedagógico II).
- Conjunto de serviços gerais/vivência: destinado ao abrigo de atividades recreacionais, alimentação escolar, higienização, guarda de materiais, limpeza e conservação.



Conjunto pedagógico



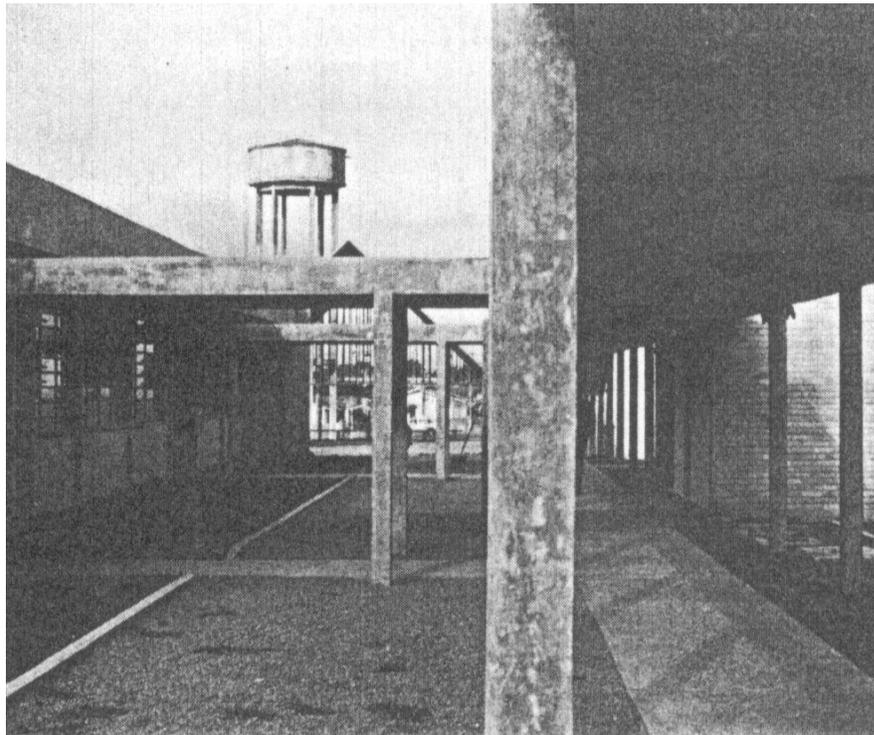
Conjunto serviços gerais/ vivência

Conjunto direção/ apoio pedagógico e técnico

Fonte: Projeto (1993)

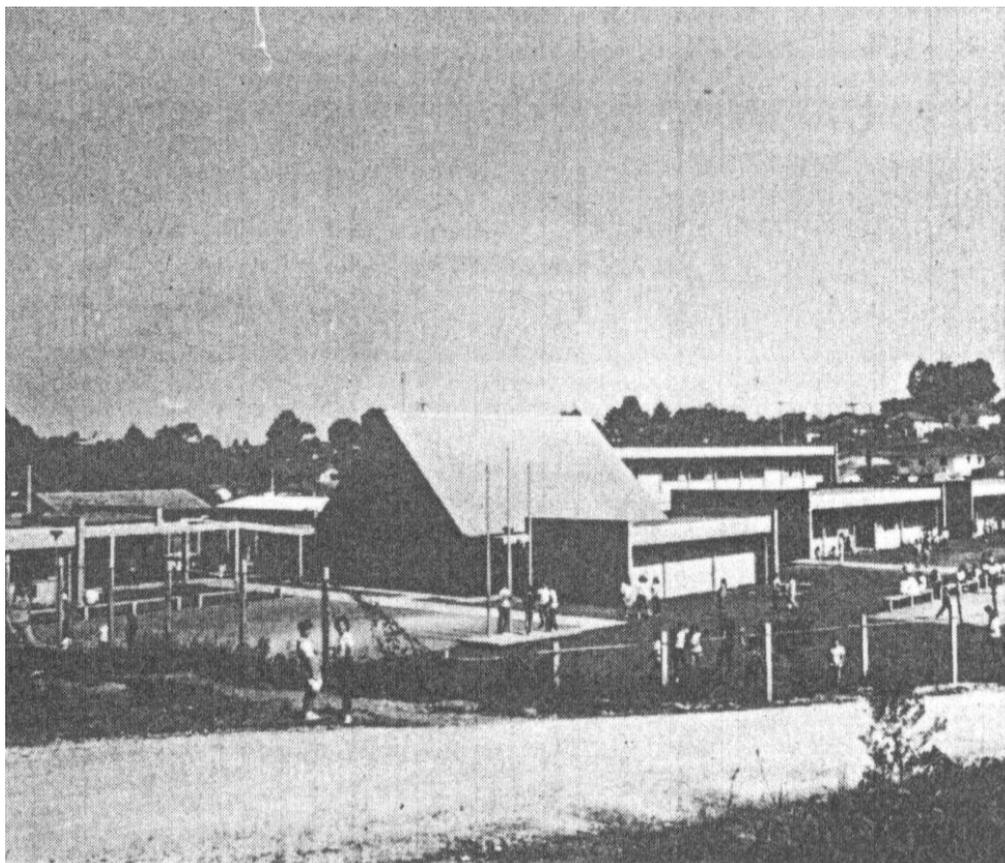
FIGURA 04: Projeto padrão: plantas padronizadas do conjunto funcional

O sistema construtivo é convencional, como podemos ver na figura 05, com estrutura de concreto com opções de laje maciça e mista. O fechamento é feito com tijolos aparentes, visando minimizar a manutenção, principalmente em regiões do Estado onde há predominância da terra “roxa”. Procurando uma maior integração entre exterior e interior, usam-se vidros transparentes. As cores utilizadas no edifício são definidas pelo setor de projeto da Fundepar. Quanto ao piso, são utilizados: concreto simples desempenado e tijolos maciços, onde há predominância da terra “roxa” nos acessos; granitina nas circulações, sanitários, dependências de serviços; e madeira nas salas de aula. Na figura 06, apresenta-se uma vista geral do conjunto.



Fonte: Projeto (1993)

FIGURA 05: Circulação que estrutura a concepção do projeto padrão



Fonte: Projeto (1993)

FIGURA 06: Vista geral do conjunto

Após a análise do modelo da Fundepar, verifica-se que, mesmo sendo um projeto padrão, houve preocupação por parte da equipe de projeto em proporcionar flexibilidade nas implantações, facilitando assim a adaptação em diferentes formas de terreno e de topografias variadas.

Outro ponto a ser considerado refere-se à adoção do mesmo sistema construtivo para todas as escolas, pois minimiza custos com manutenção e facilita a execução. Mas é necessário que os materiais de fechamento sejam tratados caso a caso, a fim de conseguir uma melhor qualidade nos ambientes.

Os profissionais da construção têm papel fundamental na elaboração de um edifício: oferecer bem-estar aos usuários, conciliando forma, técnica, função e eficiência energética.

A sensação de calor, a quantidade de luz, o uso do espaço e as experiências variam de pessoa para pessoa. A sensação de bem-estar em relação ao ambiente está associada a estes estímulos,

que podem ser medidos; enquanto a sensação não é facilmente quantificada, pois envolve o próprio sentimento, podendo somente ser expressa por aqueles que o sentem.

Segundo PIETROBON (2000), o edifício constitui o produto mais característico da arquitetura; através dele, este se relaciona com a vida das pessoas em suas atividades. O edifício não é apenas uma construção, nem os seus sistemas construtivos e componentes suas qualidades essenciais. Todo e qualquer elemento é importante para gerar, delimitar, ordenar, isto é, organizar o lugar para qualquer tipo de atividade que será desenvolvida.

O baixo desempenho energético e as inadequações climáticas, ergonômicas e funcionais são resultados da falta de qualidade e produtividade nas principais fases do empreendimento na construção civil, proporcionando um grande custo social, além de acarretar grande desconforto aos usuários, comprometendo sua saúde e seu desempenho nas atividades.

A falta de subsídios e de conhecimento sobre o tema por parte dos profissionais da construção na elaboração dos projetos resulta em ambientes inadequados a atividades a serem desenvolvidas, que, posteriormente, na maioria das vezes, acarretam a necessidade de adaptações – passivas (ventilação cruzada) e ativas (ar-condicionado).

Em climas, como o de Maringá, onde nossos estudos são localizados, a aplicação consciente dos fechamentos é muito importante para reduzir os enormes gastos de energia bem como proporcionar melhor qualidade do ambiente aos usuários.

Um grande número de instituições educacionais do território brasileiro apresentam o mesmo modelo. Este típico modelo de edifício foi estabelecido devido a programas dos governos estadual e federal, e é usado na cidade de Maringá, assim como em outros locais.

Segundo LAMBERTS et al. (1997), a universalização, seja da arquitetura ou dos materiais, influencia as condições de conforto do ambiente interior. Para a especificação dos materiais, é necessário um entendimento de suas peculiaridades e de sua adequação às características do projeto.

Apesar de todas as desvantagens que a padronização proporciona, a política da adoção do projeto-padrão foi, e continua sendo, a solução encontrada para atender à demanda das salas de aula no nosso país.

Decorrente destes acontecimentos, buscou-se, através de um estudo de todos os fatores que compõem o trabalho – conforto, avaliação de desempenho térmico, avaliação pós-ocupação, escola – avaliar o desempenho térmico entre três sistemas construtivos empregados em escolas na cidade de Maringá, visando servir como base de dados para futuros projetos.

As respostas térmicas de climas internos de três diferentes edifícios educacionais foram avaliadas, através dos levantamentos das temperaturas do ar interno e da umidade relativa destes edifícios.

As escolas avaliadas estão situadas no município de Maringá. O município localiza-se no norte do estado do Paraná, no trópico de Capricórnio, com altitude aproximada de 545 metros em relação ao nível do mar, latitude de 23°25' sul e longitude de 51°45' oeste de Greenwich. Segundo o critério de Köepen, possui clima regional do tipo Cfa, subtropical úmido de altitude, com verões quentes e geadas pouco frequentes, tendo tendência de concentração das chuvas nos meses de verão e sem estação seca definida. Possui uma área de 473.064.190 m², sendo a 3^a cidade do estado, em termos de população, e a 66^a do Brasil.

1.3. JUSTIFICATIVA

Além da qualidade funcional e construtiva, o espaço escolar requer condições mais favoráveis para o processo de desenvolvimento do educando, dentro do panorama sociocultural. Assim, importa que o projeto considere a comunidade e seu modo de vida. E esses aspectos variam, visto que nosso país é marcado pela diversidade.

A qualidade dos espaços das escolas influencia diretamente no desempenho acadêmico. Assim, recomenda-se que o ambiente escolar proporcione bem-estar ao educando, contribuindo para que ele desenvolva as atividades sem estresse ou fadiga. Mas, na prática, verifica-se que as condições ambientais da maioria das escolas estão aquém das desejadas.

A adoção de projetos-padrão contribui para esta situação, pois sua aplicação não leva em conta as peculiaridades específicas de cada local, resultando em ambientes desfavoráveis às atividades a serem desenvolvidas.

A universalização, seja da arquitetura ou dos materiais, influencia sobre as condições de conforto do ambiente interno. Para a especificação dos materiais, é necessário um entendimento de suas peculiaridades e de sua adequação às características do projeto.

A principal característica deste trabalho consiste no fato de que, mediante uma avaliação rigorosa e sistemática das escolas, podem-se obter subsídios para a otimização do desempenho das escolas existentes ou das novas a serem construídas. A avaliação é feita através da abordagem de aspectos ambientais; portanto, o objetivo geral do estudo é avaliar o desempenho térmico entre três sistemas construtivos das escolas analisadas, verificando qual sistema apresenta o melhor desempenho térmico e quais características térmicas mais influenciam o resultado.

1.4. OBJETIVO GERAL

- Avaliar o desempenho térmico de três sistemas construtivos empregados em escolas na cidade de Maringá.

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar métodos que avaliam o desempenho térmico das edificações escolares.
- Coletar dados horários de temperaturas do ar e umidade relativa internas em edificações escolares durante um período de três meses.
- Relatar a influência dos fatores térmicos nos resultados.
- Apresentar qual sistema proporciona melhor desempenho térmico nas escolas avaliadas.

1.6. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Procurou-se com este estudo, aplicar métodos que avaliam o desempenho térmico de sistemas construtivos de edificações escolares na cidade de Maringá – PR.

Assim, no capítulo, Revisão Bibliográfica, menciona-se através do subcapítulo Avaliação Bioclimática, a importância do estudo climático na elaboração do projeto arquitetônico. No subcapítulo, Clima de Maringá, foram levantadas as principais questões com relação à caracterização climática e as estratégias bioclimáticas para Maringá. Sobre Desempenho Térmico, por se tratar de um conteúdo fundamental para o entendimento dos demais, optou-se por desenvolvê-lo de maneira detalhada, separando em Inércia Térmica e Avaliação de Desempenho Térmico. Por fim, no subcapítulo, Avaliação Pós-ocupação, foi feita uma caracterização da metodologia e a apresentação de pesquisas que utilizaram-se desta. Vários autores que apresentam estudos sobre os temas relatados foram citados.

No capítulo, Metodologia, são apresentados os objetos de estudos com relação a localização das edificações escolares na cidade de Maringá e, a descrição dos ambientes a serem monitorados. Apresenta-se também o período das medições, os métodos que foram utilizados para a avaliação de desempenho e os materiais empregados para a aquisição dos dados.

No último capítulo, Apresentação e Discussão dos Resultados, foram feitas, num primeiro momento, a caracterização do clima de junho a setembro de 2002. Os resultados são apresentados e faz-se uma discussão dos mesmos.

Finalmente, apresenta-se as conclusões do presente estudo, e as sugestões para trabalhos que possam vir a ser desenvolvidos.

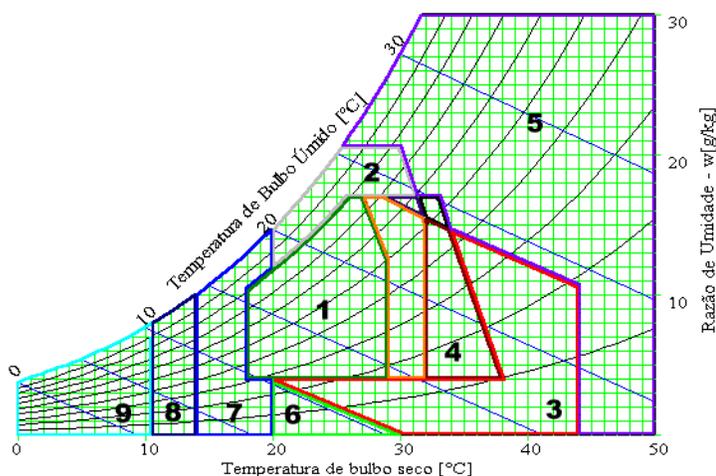
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. AVALIAÇÃO BIOCLIMÁTICA

Segundo LAMBERTS e PAPST (2001), fornecer ao ambiente construído um alto grau de conforto higrotérmico e com baixo consumo de energia só é possível se utilizarmos uma tecnologia baseada na correta aplicação dos elementos arquitetônicos.

As Cartas Bioclimáticas são uma forma de traduzir o clima de um local em estratégias de projeto. Essas Cartas associam informações sobre a zona de conforto térmico, o comportamento climático do local e as estratégias de projetos indicadas para cada período do ano. As estratégias indicadas podem ser naturais (sistemas passivos) ou artificiais (sistemas ativos).

A carta bioclimática proposta por GIVONI para o clima do Brasil utiliza-se dos dados climáticos das 8.760 horas de um ano climático típico (*Test Reference Year* - TRY). A Figura 07 apresenta a Carta Bioclimática que Givoni concebeu sobre o diagrama psicrométrico, que relaciona a temperatura e umidade relativa do ar. Conforme LAMBERTS e PAPST (2001), com os valores destas duas variáveis num ano climático da localidade, o projetista pode ter indicações fundamentais sobre as estratégias bioclimáticas a serem adotadas no projeto de uma edificação.



Zonas da Carta Bioclimática:

1. zona de conforto
2. zona de ventilação
3. zona de resfriamento evaporativo
4. zona de massa térmica para resfriamento
5. zona de ar condicionado
6. zona de umidificação
7. zona de massa térmica para aquecimento
8. zona de aquecimento solar passivo
9. zona de aquecimento artificial

FIGURA 07: Carta Bioclimática adotada para o Brasil

Um programa desenvolvido no NPC/UFSC, denominado de “Analysis Bio”, permite visualizar a distribuição dos dados climáticos. O software calcula a porcentagem de horas do ano em que cada estratégia bioclimática é mais apropriada.

As indicações das principais estratégias arquitetônicas e bioclimáticas a serem adotadas podem ser feitas através de dados climáticos, temperatura e umidade, plotados sobre a Carta Bioclimática. O percentual de cada estratégia indicada corresponde a diversos recursos de projeto que podem ser adotados. O estudo da incidência de ventos por faixa de temperatura e umidade pode indicar quais as orientações ideais de aberturas para ambientes naturalmente ventilados.

Existem dois grandes grupos de dados climáticos disponíveis no Brasil: dados horários de um ano climático de referência (TRY) e dados de Normais Climatológicas.

Os TRY são dados climáticos horários que servem tanto para indicação das estratégias bioclimáticas, quanto para uso em simulação para avaliação do desempenho térmico de ambientes e edificações, além de simulação horária de consumo.

Segundo PIETROBON et al. (2001), o procedimento utilizado para selecionar o ano climático para um local específico, é baseado na eliminação de anos de dados, os quais contêm temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas), até permanecer um ano somente. O mês mais quente e o mês mais frio do local analisado são considerados os mais importantes, seguidos dos demais meses, listados em ordem de prioridade. As temperaturas médias mensais, para o período de registro disponível, são examinadas de acordo com a seqüência listada. O ano com o mês mais quente é anotado. Depois, o ano que contém o mês mais frio. O processo continua, anotando-se os anos nos quais ocorrem os extremos, que são eliminados e o procedimento é repetido até restar somente o *TRY*.

O Ano Climático de Referência é o ano real que mais se aproxima da Normal Climatológica. O *TRY* de Maringá coincidiu nos anos de 1986 e 1991. Para a escolha, foi utilizado como parâmetro o desvio padrão das diferenças da média, definindo 1991 como *TRY*.

As Normais Climatológicas são dados médios dos elementos climáticos de uma série histórica de estações meteorológicas, em geral de trinta anos de medição. As Normais Climatológicas dão uma indicação do clima, mas não servem para simulações horárias de consumo. A vantagem das Normais Climatológicas é a disponibilidade de dados climáticos para mais de 200 cidades brasileiras, entretanto não possibilitam análises detalhadas.

2.2. CLIMA DE MARINGÁ

A cidade de Maringá está situada no Norte do Paraná, no chamado Norte Novo. Segundo a classificação de Köepen, possui clima do tipo Cfa, subtropical úmido de altitude, com verões quentes e geadas pouco frequentes, concentração das chuvas nos meses de verão e sem estação de seca definida.

A precipitação média anual varia de 1500 a 1600mm, com umidade relativa do ar média inferior a 75%.

Os ventos dominantes no verão são os de nordeste e de oeste; no período de inverno, predominam os de sudeste e sul, ambos com força aproximada de três na escala de Beufort.

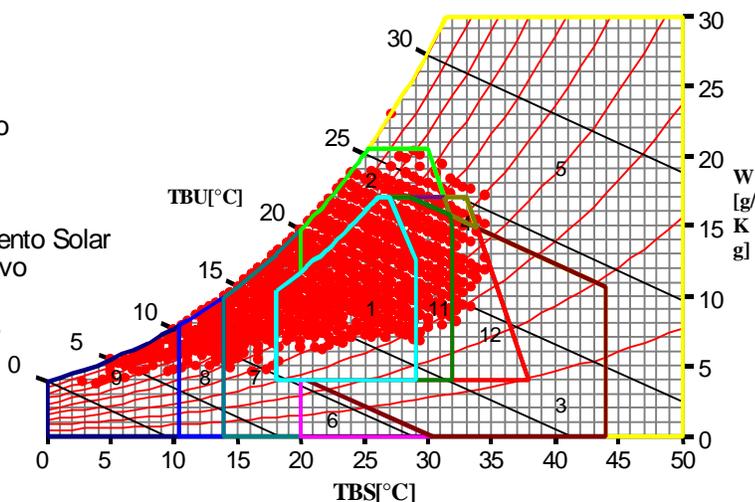
De acordo com o IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná, a média anual da temperatura do ar está entre 20°C e 21°C. As médias anuais das temperaturas extremas variam de 27°C a 28°C para as máximas e de 14°C a 15°C para as mínimas.

A carta bioclimática para a cidade de Maringá foi desenvolvida a partir de dados climáticos de um ano típico do tipo TRY – Test Reference Year. Esses dados consideram o mês inicial em janeiro e mês final em dezembro, totalizando 8.760 horas, analisadas com pressão atmosférica média de 101,13 Kpa.

A figura 08 exemplifica os dados de temperatura e umidade do ar do TRY da cidade de Maringá – PR sobre a Carta Bioclimática de Givoni, utilizando-se o software “Analysis Bio” (PIETROBON et al., 2001).

ZONAS:

1. Conforto
2. Ventilacao
3. Resfriamento Evaporativo
4. Massa Térmica p/ Resfr.
5. Ar Condicionado
6. Umidificação
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
11. Vent./Massa/Resf. Evap.
12. Massa/Resf. Evap.



UFSC - ECV - LabEEE - NPC

FIGURA 08: Carta bioclimática para a cidade de Maringá

Analisando a carta bioclimática, observa-se através da Tabela 01, uma concentração de 40,3% das horas (pontos) dentro da zona de conforto. O restante, 59,7%, causa algum tipo de desconforto, distribuído entre 34,08% para sensação de calor e 25,62% para sensação de frio.

Tabela 01: Estratégias bioclimáticas para Maringá

		Estratégias construtivas	Valores	% de sensação térmica	Total
Conforto		--	--	--	40,3 %
Desconforto	Calor	Ventilação	32,90%	34,08 %	59,7 %
		Massa térmica p/ resfriamento	0,75%		
		Resfriamento evaporativo	0,39%		
		Ar condicionado	0,04%		
	Frio	Massa térmica / Aquecimento solar	21,00%	25,62 %	
		Aquecimento solar passivo:	3,41%		
	Aquecimento artificial	1,18%			
	Umidificação	0,03%			

Constata-se que a principal estratégia para atenuar o calor em uma edificação em Maringá seria a utilização da ventilação através de artifícios que permitam a livre circulação do ar pelos

ambientes. Em relação ao frio, a principal estratégia refere-se à massa térmica e aquecimento solar.

2.3. DESEMPENHO TÉRMICO

2.3.1. INÉRCIA TÉRMICA

A capacidade de uma edificação de liberar e armazenar calor são conhecidos como inércia térmica. A sua utilização consiste em auxiliar no retardo ou diminuição dos picos de calor. Segundo PAPST (1999), a capacidade térmica do material que compõe a envoltória é o resultado da razão entre o calor absorvido e o calor armazenado nos materiais da edificação.

A inércia térmica de um material é caracterizada pelo tempo que transcorre entre os momentos em que ocorre a temperatura máxima externa e a temperatura máxima interna, quando se verifica um fluxo de calor através de um elemento construtivo submetido a uma variação periódica da temperatura do ar no exterior.

Relacionando-se os efeitos da inércia, cita-se o atraso térmico e a capacidade de amortecimento. O atraso térmico é o tempo necessário para que uma diferença térmica ocorrida num meio se manifeste em sua superfície oposta. A capacidade térmica depende do componente construtivo. A capacidade de amortecimento é a propriedade do fechamento de diminuir a amplitude das variações térmicas.

2.3.2. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO

PIETROBON (2000) enfatiza que o desempenho de um edifício determina a aceitabilidade por parte do usuário, sendo que a avaliação de desempenho é uma abordagem complexa, que envolve diversos fatores.

De acordo com MIMBACAS et al. (1998), a qualidade do espaço influencia diretamente no desempenho acadêmico, influenciando de forma acentuada nas condições de conforto individual. MIMBACAS et al. (1998) avaliaram escolas estaduais de 1º Grau da cidade de Porto Alegre, que

fazem parte de projetos desenvolvidos pela Secretaria Estadual de Educação e Cultura, conhecidos como PNE – Projeto Nova Escola e EPA – Escola Padrão de Alvenaria. Os projetos são módulos que se adaptam às características do terreno e da implantação de cada escola em particular e são construídos em alvenaria, entretanto a escola do programa PNE utiliza-se de tijolo à vista no exterior e telha de barro na cobertura, enquanto a escola do programa EPA usa telhas de fibrocimento. Escolas representativas desses programas foram selecionadas: a Escola Estadual Brasília, pelo programa EPA, e a Escola Estadual Pinto Bandeira, pelo programa PNE. Os estudos realizados na área de desempenho nessas escolas apresentam resultados diversos, e, de maneira geral, não existem diferenças significativas nos aspectos relativos ao conforto ambiental. Isso ocorre porque as duas escolas analisadas apresentam problemas nos aspectos térmicos, visuais e acústicos; esses aspectos de conforto estão fortemente relacionados entre si e as decisões relativas a cada um deles influencia o desempenho dos outros. Um exemplo refere-se à necessidade de se fecharem as janelas devido aos ruídos externos, prejudicando assim a ventilação das salas. Um outro exemplo seria a necessidade de utilizar cortinas para diminuir problemas de iluminação, conseqüentemente afetando a ventilação. Em relação à iluminação, os aspectos negativos estão relacionados ao fato de existirem lâmpadas estragadas, indicando assim a importância da iluminação artificial em ambas as escolas, tanto pela sua presença como pela sua manutenção. Entre os vários problemas apresentados na concepção dos edifícios, grande parte poderiam ser evitados. MIMBACAS et al. (1998) orientam: *“Decisões de caráter projetual podem-se considerar com o objetivo de minimizar, dentro de limites razoáveis, o impacto que o clima possui.”*

De acordo com AZEVEDO (1998), a investigação do desempenho das edificações baseia-se, inicialmente, no levantamento prévio dos principais problemas encontrados, através de pesquisa restrita de opinião dos próprios usuários – pessoal administrativo e professores, e através de observações técnicas do pesquisador, identificando os indicadores de desempenho que serão utilizados na avaliação posterior. Os resultados desta avaliação preliminar revelam a situação em que se encontra a edificação e alguns indicadores de como proceder na segunda etapa da pesquisa. No estudo realizado por AZEVEDO (1998), os aspectos relacionados ao conforto ambiental encontram-se comprometidos. Ambientes confinados, mal iluminados e ventilados dão a sensação de enclausuramento e desconforto, estando longe de oferecerem condições apropriadas ao desempenho das atividades a eles destinada.

O estudo realizado por COSTA e OLIVEIRA(1999) avalia o desempenho térmico de um ambiente de uma habitação construída com tijolo de solo-cimento, buscando responder se este material é adequado para a região de Natal – RN. A escolha deste tijolo refere-se ao fato de que o seu emprego na construção está cada vez maior; isso ocorre devido ao seu baixo custo, pois este pode ser confeccionado na obra, manualmente. Adotou-se como método a simulação computacional e a comparação com dados obtidos no local. Analisou-se especificamente um ambiente da edificação – escritório, e utilizou-se o programa ARQUITROP, que simula o desempenho térmico, verificando a adequação climática das edificações. Este programa é formado por sistemas integrados de bancos de dados e rotinas de cálculo, possibilitando a simulação de desempenho térmico e da adequação climática de edificações. Verifica-se nesse estudo que, para lugares próximos à linha do equador, a incidência da irradiação solar afeta principalmente os planos horizontais; assim, a alvenaria da fachada contribui muito pouco para o aumento da temperatura interna. Da análise comparativa entre os dados do programa ARQUITROP e as medições efetuadas “in loco”, observa-se uma discrepância entre os números. As temperaturas registradas pela simulação do programa estão sempre em níveis superiores às registradas no local, deixando dúvidas quanto aos aspectos quantitativos da simulação.

BARBOSA e LEMOS (1999) avalia comparativamente o desempenho térmico entre cinco sistemas construtivos de habitação popular na cidade de Londrina. O objetivo consiste em verificar qual sistema apresenta o melhor desempenho térmico e quais as características térmicas que mais influenciam o resultado. A metodologia baseia-se em avaliar o desempenho térmico nos limites de temperatura de conforto definidos por Givoni, quantificando as horas anuais de desconforto por frio e por calor, comparando os sistemas construtivos entre si, segundo resultados obtidos por simulação. O parâmetro adotado como critério de avaliação é o total de horas por ano em que as temperaturas internas obtidas na simulação apresentam-se fora dos limites de temperatura da zona de conforto de Givoni. Para a análise por desempenho, os cinco sistemas estudados foram simulados no software COMFIE, considerando o clima de Londrina e a ocupação típica deste tipo de edificação na região para um ano inteiro. BARBOSA e LEMOS (1999) concluiu que não foi possível observar de forma expressiva nenhuma correlação entre o desempenho térmico e as características térmicas da edificação. A característica térmica que apresenta uma correlação com desempenho térmico é a taxa de ventilação, ou seja, quanto maior é a taxa de ventilação, menos são as horas de desconforto que o sistema apresenta e, conseqüentemente, melhor é o desempenho térmico do sistema construtivo.

BOGO e PEREIRA (1997) analisaram o desempenho térmico e verificaram o potencial de uso da iluminação natural para edificações escolares, através de simulação computacional, com uso do programa DOE-2.1. A análise foi realizada a partir de modelos protótipos, representativos das salas de aula locais, a partir de um arquivo climático do tipo TRY para Florianópolis.

Foi definido um modelo protótipo representativo de uma sala de aula típica utilizada na rede escolar em Florianópolis, para a simulação computacional, definido a partir de um levantamento de dados e de campo. Este protótipo foi analisado a partir das suas características construtivas (piso, parede, viga, janela, cobertura); características dos equipamentos (tipos de luminárias), e características de ocupantes (número de ocupantes, atividade desenvolvida, horário e período de ocupação), nas diferentes situações existentes.

A partir de análises efetuadas, diferentes características existentes em relação às salas de aula em Florianópolis puderam ser avaliadas, possibilitando definir recomendações em nível do projeto de arquitetura, como, por exemplo: as variáveis formuladoras do projeto de arquitetura são fundamentais na determinação das condições de desempenho térmico das edificações; a utilização de proteções solares evita ganhos de calor excessivos, embora o aproveitamento da luz natural continue grande; a definição de um sistema de controle para o desligamento da luz artificial é de vital importância, possibilitando aproveitar a luz natural, economizando energia elétrica em iluminação.

Buscando uma uniformidade dos métodos de avaliação de desempenho térmico e energético de edificações, AKUTSU e VITORINO (1997) apresentam um método de avaliação do desempenho térmico. O trabalho discorre sobre a evolução dos métodos de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações em nível internacional, tendo em vista os fatores que determinam, historicamente, o seu desenvolvimento. Assim, são apontadas as tendências atuais que norteiam os métodos e procedimentos em Normas e Legislações, comentando-se a sua aplicabilidade ao Brasil. Os métodos tradicionais de avaliação do desempenho térmico de edificações visam à racionalização do consumo de energia em sistemas de aquecimento de ambientes, sendo, portanto, próprios de países de clima temperado ou frio. Nesses países, as condições climáticas apresentam características que permitem uma grande simplificação dos métodos matemáticos para a determinação das cargas térmicas de

aquecimento. Como sabemos, no nosso país predominam as condições climáticas onde o mais crítico é conseguir conforto térmico no verão; para essas condições, como vem sendo amplamente comprovado através de estudos, tais métodos tradicionais são totalmente inadequados. Em climas quentes, a ventilação e a radiação solar, elementos que não são devidamente considerados nos métodos de avaliação baseados eminentemente na resistência térmica das vedações, também exercem papel de importância significativa sobre o desempenho térmico das edificações, principalmente nas não condicionadas. Nestas edificações, o parâmetro de avaliação deixa de ser o consumo de energia e passa a ser o conforto térmico dos ocupantes, tendo como variáveis de análise a temperatura, a umidade, a velocidade do ar e a temperatura radiante média do ambiente. A implantação de um processo de avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil, devido à complexidade conceitual e operacional de métodos de avaliação adequados às nossas condições, tem contribuído para retardar o desenvolvimento de normalização técnica. Esse quadro gera grandes dificuldades para o estabelecimento de um consenso junto aos que defendem os métodos tradicionais, apresentando uma resistência em adotar novos procedimentos que levem em conta o caráter dinâmico das trocas térmicas que ocorrem nas edificações. As regulamentações quanto ao desempenho térmico das edificações, sob o ponto de vista sócio-econômico, têm importância tanto em nível do indivíduo como do coletivo. Em nível do indivíduo, visam proporcionar condições satisfatórias de conforto aos ocupantes, com baixos custos de execução/aquisição. Em nível coletivo, as regulamentações visam: melhorar o emprego de recursos monetários de órgãos de fomento à habitação, no financiamento de edificações de bom desempenho térmico; reduzir o custo para a construção/manutenção de instalações de transformação de energia e o seu respectivo impacto ambiental no local de sua instalação; incentivar o uso de fontes de energia renováveis ou de maior disponibilidade no local de implantação da edificação. Já do ponto de vista tecnológico, as regulamentações constituem o estímulo principal para o seu desenvolvimento, implantação e contínuo aprimoramento, propiciando condições favoráveis à realização de pesquisas de caráter inovador.

O desenvolvimento da educação de um indivíduo relaciona-se com fatores sociais, econômicos, pedagógicos e ambientais que, juntos, deverão interferir e complementar-se para a obtenção de resultados positivos. O desenvolvimento, conforme BERNARDI e KOWALTOWSKI (2001), inicia-se no convívio familiar, estendendo-se para o ambiente escolar, iniciando novas formas de aprendizado e de vida comunitária. Assim, o espaço da escola deve oferecer segurança,

acessibilidade e conforto aos seus usuários; e este último afeta diretamente no aspecto fisiológico, psicológico e no desempenho das atividades. Visando avaliar a interferência comportamental do usuário no ambiente escolar, BERNARDI e KOWALTOWSKI (2001) procuram detectar as reações em relação ao conforto ambiental. A metodologia e os materiais adotados foram escolhidos para uma pesquisa de observações comportamentais e medições técnicas de conforto ambiental. As medições técnicas foram efetuadas com os equipamentos específicos para as avaliações do conforto ambiental (térmico, lumínico, acústico e funcional). Através de um relatório de observações, denominadas de Planilha Técnica de Avaliação, foram registradas as avaliações técnicas, objetivando o entendimento dos aspectos arquitetônicos. Foram aplicados questionários específicos para alunos, professores e diretor. Também foi identificado o tipo de vestimenta usada pelos alunos durante a aula como fator de influência nas condições de conforto. Através destas observações e medições, verificou-se que poucas são as ações dos usuários a favor do próprio conforto. Sendo assim, existe uma necessidade de conscientização do usuário, explorando o potencial de cada indivíduo no controle ambiental. Relata-se esta pesquisa por estar relacionada com o ambiente escolar, por tratar dos aspectos ligados ao conforto do usuário e por mostrar a complexidade ao tratarmos das ações dos usuários através de questionários.

De acordo com LABAKI e BUENO-BARTHOLOMEI(2001), o conforto térmico não tem sido intensamente estudado no Brasil, quando se trata de ambientes escolares. Os projetos de escolas, em especial das públicas, não consideram aspectos como as altas temperaturas nas salas de aula na maior parte do ano, a incidência direta da insolação. Como se sabe, atender o ser humano é uma das funções dos espaços, indiferente da atividade a ser desenvolvida, de modo que as desenvolva com conforto em todos os aspectos sensoriais. Ao se tratar do edifício escolar, deve-se ter uma preocupação ainda maior, pois esse é um equipamento de significativa importância no contexto social, cultural e econômico de um país. Grande parte das escolas oferecem não somente uma função, o ensino, mas também transformaram-se em referência, social e assistencial, através, por exemplo, da oferta de alimentação mínima, local para os filhos ficarem enquanto os pais trabalham e local para as reuniões do bairro. A sensação de bem-estar do usuário está diretamente ligada ao conforto térmico. Sonolência, alteração nos batimentos cardíacos, aumento da sudorese, podem ser causados por situações de desconforto, provocadas seja por temperaturas extremas, ou por falta de ventilação adequada, ou por radiação térmica de superfícies muito aquecidas. Em função da importância do conforto térmico e lumínico, aqui

daremos ênfase aos resultados relacionados ao conforto térmico. LABAKI e BUENO-BARTHOLOMEI (2001) levantam os parâmetros para avaliação térmica dos ambientes de 15 escolas da rede pública estadual na região de Campinas – SP, as observações sobre elementos de projeto que afetam o desempenho térmico e aplicação de questionários entre os usuários das escolas (diretores, professores, alunos e funcionários), utilizando o método do Voto Médio Estimado – Método de Fanger – para avaliar o conforto térmico. Verificam-se na pesquisa algumas semelhanças nos resultados com as escolas avaliadas neste trabalho. Começando pelos terrenos onde estão implantados os prédios escolares, observa-se o não aproveitamento do espaço disponível, a falta de cuidados como um paisagismo adequado, e, principalmente, a falta de uma manutenção periódica. A implantação das edificações, na maioria dos casos, não segue um planejamento adequado no aproveitamento do lote e na orientação dos ambientes funcionais e as suas aberturas, ocasionando problemas referentes à insolação direta sobre os alunos e ofuscamento no quadro-negro.

ALVES e INO (2001), no seu trabalho, apresentam a avaliação do desempenho térmico de um protótipo de edificação de madeira e outro de alvenaria, utilizando-se o mesmo Método do Voto Médio Estimado para avaliar o desempenho desses protótipos. Os protótipos apresentam áreas iguais (2,40m x 2,80m), as mesmas características de implantação em uma área plana e foram construídas no campo experimental da EESC/USP da cidade de São Carlos. Foram realizadas medições “in loco”, abrangendo o protótipo de alvenaria e três soluções do protótipo de madeira: vedação formada por painéis sanduíches com ar confinado; vedação formada por painéis sanduíches preenchido com material isolante – isopor; e a terceira manteve-se o isolante térmico e colocou-se o forro horizontal em lambril de pinus. Foram escolhidos três períodos, de acordo com os dados climáticos da cidade de São Carlos, Constatou-se que as características do clima se enquadram na zona “Cwa” - “C” significa que o mês mais frio é junho (temperatura entre 3°C e 18°C), “w” com o subgrupo “a” que a temperatura do mês mais quente é janeiro (maior que 22°C). O Método do Voto Médio Estimado determina os níveis de conforto ou desconforto térmico sentido pelos indivíduos. Para fazer essa determinação, levaram-se em consideração as seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar, temperatura radiante média, resistência térmica da vestimenta, nível de metabolismo do indivíduo, ou seja, as variáveis que influenciam na sensação de conforto térmico. Diante dos resultados apresentados, verifica-se que, no verão constata-se pelos resultados que a situação III (isopor e forro) gerou uma condição mais desconfortável termicamente por ter ocasionado o acúmulo de calor.

Certamente, se em alguns momentos das medições tivessem sido realizadas com a porta e janelas abertas, promovendo a ventilação cruzada, os resultados seriam de mais momentos de conforto do que foi realmente apresentado nesta estação do ano. No inverno, verifica-se que os protótipos oferecem mesmo desempenho térmico na maioria das vezes, ou seja, os momentos de conforto e desconforto ocorriam praticamente ao mesmo tempo, tanto para o protótipo de madeira como também para o de alvenaria. Diante dos resultados apresentados no verão e no inverno, verifica-se que, para adaptar as condições climáticas da região, durante o verão é necessária a ventilação através das aberturas, e durante o inverno é fundamental a estanqueidade do ar, independente do material utilizado. O método adotado, citado nestes dois últimos trabalhos, é indicado quando se avalia o desempenho utilizando-se de informações obtidas pelos usuários. Quando se busca avaliar comparativamente o desempenho do sistema construtivo do edifício, este método não apresenta um resultado satisfatório.

A sensação térmica relaciona-se diretamente ao rendimento físico e mental do ser humano; assim, as condições térmicas de uma sala de aula exercerão alguma influência no desempenho de alunos e professores no processo de ensino-aprendizagem. Neste intuito, KRÜGER et al. (2001) abordam um estudo do conforto térmico e sua relação com a concepção arquitetônica, quanto ao tipo de material empregado nas paredes e cobertura e sua influência no grau de temperatura e umidade interna em salas de aula do CEFET-PR, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, na cidade de Curitiba –PR. Foram realizadas medições de temperatura com data-loggers do tipo HOBOT e uma análise dos dados obtidos na Carta de Givoni. A metodologia apresenta o seguinte processo: escolha das salas de aula para avaliação térmica, levando-se em conta a orientação, o tipo de material empregado nas paredes e a cobertura; definição dos períodos de análise; medições de temperatura nas salas de aula; estimativa do grau de umidade relativa nas salas; análise bioclimática dos resultados através do software ANALYSIS BIO; e, por fim, comparação com as propriedades termo-físicas da envoltória.

2.4. AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO

Segundo COZENZA (1997), a avaliação pós-ocupação é um processo sistemático e rigoroso de avaliação de edifícios, passado algum tempo de sua construção e ocupação. A avaliação focaliza os ocupantes do edifício e suas necessidades, a partir das quais elabora diretrizes sobre as

conseqüências das decisões de projeto na performance da edificação. Este procedimento constitui-se na base para a criação de melhores edifícios no futuro.

De acordo com ORNSTEIN e ROMÉRO (1992), a avaliação pós-ocupação (APO) é uma metodologia que pretende, a partir da avaliação de fatores técnicos, funcionais, econômicos, estéticos e comportamentais do ambiente em uso, considerando a opinião dos técnicos, projetistas, clientes e usuários, diagnosticar aspectos positivos e negativos, para definir recomendações que promovam uma melhoria da qualidade de vida daqueles que usam um dado ambiente.

Sendo a APO uma metodologia de avaliação de desempenho de ambientes construídos que prioriza aspectos de uso, operação e manutenção, considerando o ponto de vista dos usuários, as metas de uma APO, de acordo com ORNSTEIN e ROMÉRO (1992), são:

“Promover a ação (ou a intervenção) que propicie a melhoria da qualidade de vida daqueles que usam um dado ambiente.

Produzir informação na forma de banco de dados, gerar conhecimento sistematizado sobre o ambiente e as relações ambiente-comportamento.”

A APO considera a opinião do usuário, mas, em se tratando de parâmetros ambientais, é importante a metrologia dos parâmetros ambientais para confrontar com a avaliação subjetiva.

A fim de esclarecer como se processa a investigação em uma APO e os campos nos quais esta pode atuar num edifício, alguns itens são considerados pelos pesquisadores durante uma análise; isso depende do nível que se queira atingir. Segundo ORNSTEIN e ROMÉRO (1992), esses itens podem ser organizados em seis tipos de avaliação: técnico-constructiva; técnico-funcional; técnico-econômica; técnico-estética; comportamental e estrutura organizacional.

Dentre os tipos, a avaliação comportamental é o item que está diretamente relacionado com usuário e a que sofre maiores variações. Análises como esta são abordadas por várias técnicas, das quais podemos destacar entrevistas e questionários objetivos.

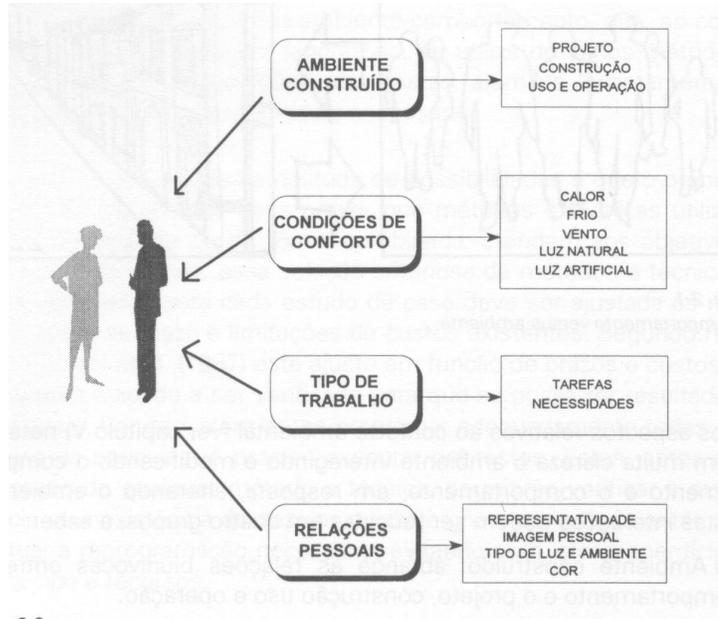
É interessante ilustrar as dificuldades encontradas na análise de uma pesquisa com usuários, quando se aplica um questionário, pois, de um modo geral, as pessoas têm uma dificuldade em expressar a sua opinião, e isso limita o contato entre o pesquisador e o público, por melhor que seja o questionário. CHAPANIS (1972) exemplifica essa afirmação:

“as experiências com pessoas são mais complexas do que os tipos convencionais de experiências nos sistemas físicos.

Quando se faz uma experiência química, pode-se apanhar na prateleira um reagente e ler a etiqueta do vidro, para conferir seu conteúdo. O rótulo poderá identificar o reagente pelo nome, dizer da sua pureza e fornecer a sua fórmula química. Ademais, a pessoa pode ficar descansada que na manhã seguinte a experiência terá o mesmo resultado que hoje. Ainda que se busque outro feito, usando os mesmos ingredientes dos mesmos rótulos tudo continuará na mesma.

Em contraste, quando se procura um reagente humano, não sabe o que acontecerá. Na melhor das hipóteses, conseguirá algumas informações sobre a história do passado de tal reagente, alguma vaga idéia sobre os limites de seu desempenho individual e uma leve noção a respeito de sua estabilidade. Possivelmente, porém, o reagente não terá a mesma atitude na manhã seguinte e poderá até mudar completamente à noite. Apenas uma coisa é certa: as reações do indivíduo serão marcadamente determinadas pelas palavras do pesquisador, pois se trata de um reagente que pensa, que toma atitudes, que possui emoções. Finalmente, o reagente humano é um mecanismo que pode enganar o pesquisador em suas tentativas de descobrir seu funcionamento – esforço que, infelizmente, às vezes é bem sucedido”.

A relação ambiente versus comportamento em prol da qualidade ambiental, segundo ORNSTEIN et al.(1995), pode ser tratada como uma relação biunívoca, ou seja, o primeiro afeta o segundo e vice-versa. Nos aspectos relativos ao conforto ambiental, nota-se com muita clareza o ambiente interagindo e modificando o comportamento e o comportamento, em resposta, alterando o ambiente. Essas interações podem ser reunidas em quatro grupos, apresentadas na figura 09:

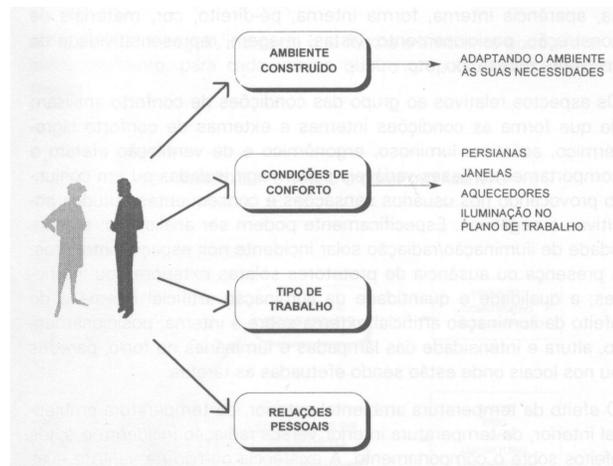


Fonte: ORNSTEIN et al. (1995)

FIGURA 09: O ambiente afetando o comportamento

- O ambiente construído abrange as relações entre o comportamento e o projeto, construção, uso e operação. Este grupo verifica os efeitos do projeto, da construção, do uso e da operação no comportamento dos usuários, analisando variáveis como forma externa, aparência externa, forma interna, pé-direito, cor.
- As condições de conforto incluem as relações entre o conforto ambiental e a resposta do comportamento a essas condições. Os aspectos relativos ao grupo das condições de conforto analisam de que forma as condições internas e externas de conforto higro-térmico, acústico, luminoso, ergonômico e de ventilação afetam o comportamento. Essas variáveis podem agir isoladas ou em conjunto, provocando nos usuários sensações e conseqüentes atitudes positivas e negativas.
- O tipo de trabalho preocupa-se com as relações entre o comportamento e o tipo de tarefas, analisando de que forma estas afetam individualmente os usuários que as estão executando.
- As relações pessoais avaliam de que modo o ambiente construído e suas variáveis afetam, colaborando ou não para a elevação da satisfação pessoal.

As formas dos usuários adaptarem o ambiente construído às suas necessidades são as mais diversas, como a necessidade da introdução de modificações pós-construção, que, em muitos casos, podem ser desastrosas em termos de conservação de energia. Esses comportamentos que afetam o ambiente são exemplificados na figura 10.



Fonte: ORNSTEIN et al. (1995)

FIGURA 10: O comportamento afetando o ambiente

Sobre o uso de controles, muitas vezes introduzidos pós-construção, RAJA et al. (2000) avaliaram o efeito da ventilação natural em edifícios de escritórios em Oxford e Aberdeen, incluindo informações sobre o uso de controle na edificação. Os dados analisados englobam os efeitos da temperatura externa e interna nos ocupantes, e o uso de controles ambientais; durante o pico de verão (jun-ago), são realizadas análises, considerando várias configurações de uso. Os resultados sugerem que o uso de controles (portas, janelas e teto solar) são relevantes para a sensação térmica dos usuários, possibilitando melhores condições de conforto, sendo que o efeito chaminé foi o que apresentou os melhores resultados, mas segundo o autor da pesquisa, são necessários mais testes para verificar a efetividade do sistema.

Outro estudo sobre conforto térmico foi realizado por KARYONO (2000) em Jakarta, capital da Indonésia. Jakarta está localizada na costa norte da Ilha de Java e possui clima tropical úmido entre 23° e 33°. Sete escritórios, chamados de AG, BP, BC, EC, Li, PA, WI, foram escolhidos considerando os seguintes itens: AG e PA eram ventilados e os restantes contavam com ar condicionado. A coleta de dados foi baseada na seguinte escala: muito frio (-3), frio (-2), pouco frio (-1), neutro (0), pouco quente (+1), quente (+2) e muito quente (+3). O nível de atividade era de 1met (50kcal/hm² ou 58w/m²) e o clima dentro dos prédios era de 23° a 32°C. A análise foi feita baseada na média geral e todas as informações foram coletadas num período de 12 meses.

Foram avaliados cerca de 596 trabalhadores de um edifício de escritórios, 227 mulheres e 345 homens. O método utilizado refere-se em determinar a temperatura neutra através da ação individual e a comparação de conforto dos grupos foi baseada nos votos médios estimados. Para verificar se fatores como idade, peso e sexo comprometem o resultado, foram realizadas as análises considerando as mesmas. Após a análise dos resultados, concluiu-se que a diferença entre os indivíduos com menos de 40 e mais de 40 anos não foi significativa (menos de 5%), entre o magro e o gordo também não existe diferença significativa (menos de 5%), e quando divididos em grupos de homens e mulheres as diferenças não são significativas (menos de 5%). Também concluiu que, para minimizar o consumo de energia, o prédio deve ser projetado de acordo com o clima da região.

3. METODOLOGIA

A cidade de Maringá apresenta um clima com verões quentes e geadas pouco frequentes, concentração das chuvas nos meses de verão e sem estação de seca definida, e um alto nível de radiação solar durante todo o ano.

A metodologia de pesquisa a ser utilizada pode ser dividida em duas partes, resposta objetiva e resposta subjetiva. Medições de parâmetros ambientais térmicos e observações referem-se à resposta objetiva do estudo e à avaliação de satisfação (sensação térmica) por questionários à resposta subjetiva. Tanto as respostas objetivas como as subjetivas baseiam-se em métodos da avaliação de desempenho térmico e de pós-ocupação.

Como ferramenta de auxílio para o desenvolvimento dos trabalhos serão utilizados equipamentos, para medições das variáveis ambientais, e questionários, para as coletas das variáveis pessoais e parâmetros subjetivos.

As variáveis ambientais de conforto a serem medidas seguem a seguinte ordem de avaliação: condições de conforto térmico - serão medidas as principais variáveis físicas de um ambiente - temperatura do ar, umidade relativa do ar, que, associadas aos níveis de vestimenta e atividade, possibilitam as reais condições de conforto térmico do ambiente. As variáveis pessoais, ou melhor, a variável pessoal, refere-se ao isolamento térmico das vestimentas e a atividade física desenvolvida, sendo que será empregada como referência a tabela de isolamento térmico da norma ISO 7730 (1994).

As temperaturas do ar e a umidade de três salas de aula são medidas simultaneamente. Os registradores foram distribuídos nos ambientes no propósito de evidenciar o comportamento interno do edifício.

As diferentes características de uso e variáveis ambientais exigem que os levantamentos sejam realizados em horários distintos, com usuários em atividade nos ambientes e com salas vazias.

Através de um roteiro padronizado, as observações baseiam-se na técnica “walkthrough” da avaliação pós-ocupação, que consiste num caminhar pelos edifícios, analisando as seguintes

características do edifício: elementos de sombra; cortinas, persianas, brises-soleil ou outros anteparos, como vegetação; condições de ventilação; ventilação cruzada; ventiladores móveis ou fixos – ligados ou desligados; janelas e portas – características como tipo de vidro, material, uso; tipo e cor do teto, parede e piso. As análises sugeridas abrangem, em especial, o sistema construtivo e características do edifício, estando inseridos na categoria que os pesquisadores denominam como uma avaliação pós-ocupação (APO) do tipo “walkthrough”, que não leva muito em consideração o ponto de vista dos usuários – professores, alunos e funcionários.

Os parâmetros subjetivos, como sensação térmica e preferência térmica da população da amostra, serão obtidos através de um questionário. Para a elaboração deste questionário, certos critérios foram considerados, como minimização de ambigüidades, representação fiel da população-alvo e objetividade dos aspectos abordados.

Primeiramente, será realizada a aplicação de um questionário-piloto (após a realização do “walkthrough”), verificando as dificuldades encontradas pelo usuário, remodelando-o, se necessário, para só assim aplicá-lo com uma maior segurança e confiabilidade.

Com o intuito de obter um resultado que atenda os objetivos do trabalho, este será realizado em etapas: identificação das variáveis de influência e parâmetros subjetivos de conforto; escolha e preparo do ferramental necessário; delimitação do campo de pesquisa; obtenção dos projetos arquitetônicos das salas de aula junto aos departamentos competentes, Prefeitura do Campus da UEM (Universidade Estadual de Maringá) e Prefeitura do Município de Maringá; definição dos pontos de medição, localizados nas dependências das Escolas; definição do período do registro dos dados a serem tratados; obtenção dos dados de monitoramento registrados nos pontos selecionados; exportação e tratamento dos dados obtidos através de métodos que comparem os sistemas construtivos analisados.

3.1 OBJETOS DE ESTUDOS

As escolas apresentadas para a realização deste estudo foram construídas por programas governamentais, federal e estadual, MEC – Ministério da Educação e Cultura e FUNDEPAR – Fundação Educacional do Estado do Paraná, respectivamente.

Para a escolha dessas escolas partiu-se dos seguintes critérios: terem sistema construtivo diferenciado, oferecerem educação escolar em nível de ensino fundamental, participarem de programas governamentais.

As escolas que foram construídas pelo MEC fazem parte de um programa do governo Collor em 1990, que ficou conhecido como CIAC – Centro Integrado de Ensino. Esse programa almejava oferecer atendimento integral à criança, mas, devido a algumas circunstâncias, como “impeachment” do presidente, custo elevado, discussão do sistema, etc., as edificações acabaram tendo uma nova função e sob responsabilidade do governo estadual e municipal.

Os edifícios construídos para atender a essas atividades eram padronizados. O projeto-padrão poderia ser implantado com os mesmos requisitos em locais que apresentam diversidades climáticas, disponibilidades de materiais locais e variações econômicas e socioculturais. O sistema construtivo é de argamassa armada, e os elementos são pré-fabricados e montados “in loco”.

Duas escolas pertencem a esse programa do governo federal: o Colégio Estadual Oberon Floriano Dittert (Escola 01) e a Escola Municipal Professora Nadir Maria Alegrete (Escola 03).

As escolas do programa Fundepar do governo do Estado do Paraná têm por finalidade garantir a qualidade de ensino, bem como garantir a qualidade dos espaços físicos onde são realizadas as atividades pedagógicas.

A partir da avaliação dos resultados e do desempenho das construções escolares existentes até então, realizada pelo Departamento de Planejamento e Arquitetura da Fundepar, foi elaborado um projeto-padrão que atenuaria as eventuais falhas analisadas.

As premissas básicas estabelecidas foram: grande flexibilidade nas implantações, facilitando a adaptação em diferentes formas de terreno e topografias variadas, adoção de sistema construtivo convencional, normalização e padronização de componentes e utilização de materiais, de forma a minimizar os custos e manutenção.

A Escola Estadual Juscelino Kubitschek de Oliveira (Escola 02) faz parte desse programa do governo estadual. A sua escolha refere-se ao fato de o material de fechamento ser diferente dos demais; ser o material mais empregado na construção civil brasileira, o tijolo cerâmico 06 furos; e por estar localizada num local que apresenta um microclima diferenciado, dentro de um horto florestal.

Os objetos de estudo, neste caso chamados de Escola 01, Escola 02 e Escola 03, são apresentados na figura 11, demarcados pelos pontos vermelhos. A Estação Climatológica situa-se no ponto 01.

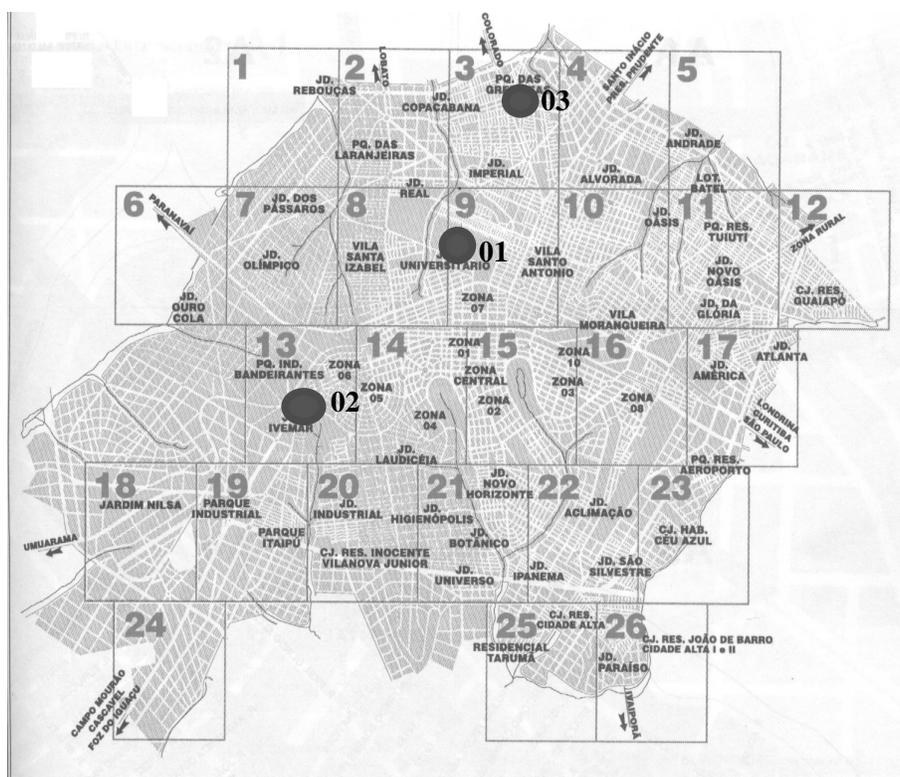


FIGURA 11: Mapa da cidade de Maringá

3.1.1. Escola 01

O Colégio Estadual Oberon Floriano Dittert está localizada na Avenida Colombo, 5790 – Câmpus da UEM. Oferece educação escolar em nível fundamental e médio, atendendo atualmente 950 alunos. Apresenta uma peculiaridade frente às outras escolas do programa, pois seu sistema construtivo não foi realizado com parede em argamassa armada, mas em blocos de concreto.

Através das figuras 12 e 13 apresenta-se a Escola. A figura 12 mostra uma vista geral do conjunto; a figura 13, uma vista externa do ambiente monitorado (com destaque em vermelho).



FIGURA 12: Vista geral da Escola Estadual Oberon Floriano Dittert



FIGURA 13: Salas de aula

Na figura 14, temos a implantação da Escola no terreno, destacando a sala de aula monitorada e, na figura 15 e 16, apresenta-se a planta e os cortes AA e BB, identificando com um ponto vermelho onde foi instalado o sensor usado para a aquisição dos dados para a realização das medições.

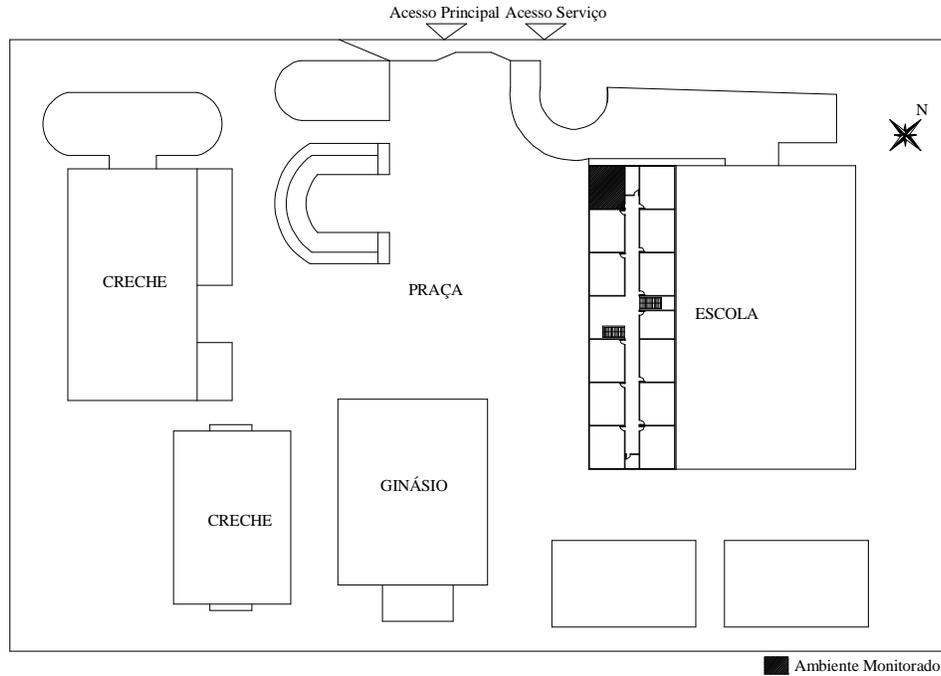


FIGURA 14: Implantação da Escola 01

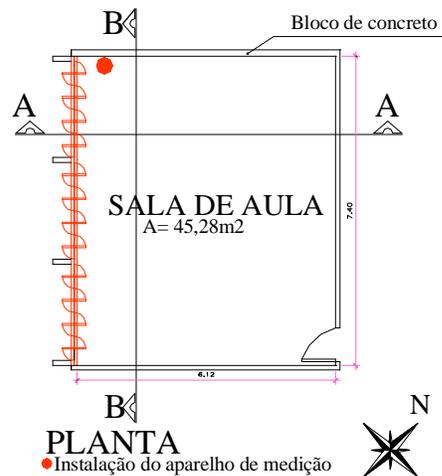


FIGURA 15: Planta baixa da sala de aula da Escola 01

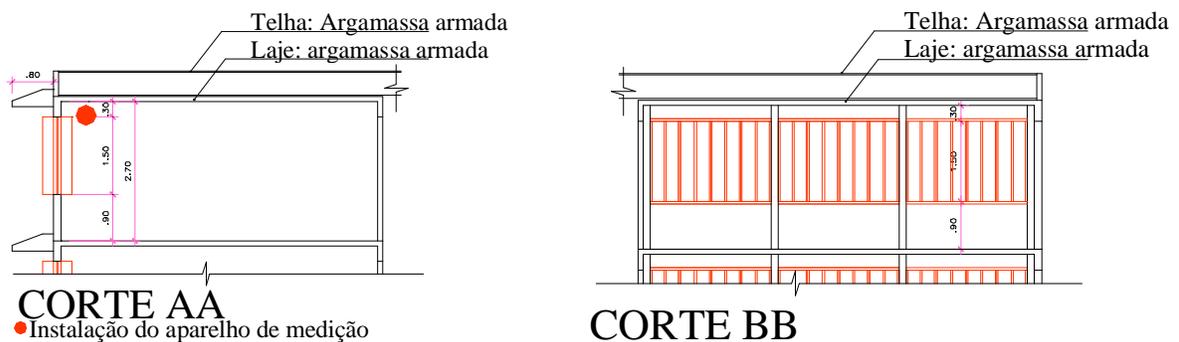


FIGURA 16: Cortes da sala de aula da Escola 01

3.1.2. Escola 02

O Colégio Estadual Juscelino Kubitschek de Oliveira está localizada na Avenida Dr. Luiz Teixeira Mendes, 3075. Atende 1.400 alunos em suas instalações, em nível fundamental e médio. O sistema construtivo segue o estabelecido pelo programa, com estrutura de concreto e fechamento em alvenaria de tijolos cerâmicos furados (06 furos).

O sistema construtivo é convencional, com estrutura de concreto com opções de laje maciça e mista. O fechamento é feito com tijolos cerâmicos, visando minimizar a manutenção, principalmente em regiões do Estado onde há predominância de terra vermelha.

Nas figuras 17 e 18 apresenta-se a Escola 02; na figura 19, destaca-se o ambiente monitorado.



FIGURA 17: Entrada da Escola Estadual Juscelino Kubitschek (Fundepar)



FIGURA 18: Vista do conjunto



FIGURA 19: Salas de aula

Na figura 20, temos a implantação da Escola no terreno, destacando a sala de aula monitorada e, nas figuras 21 e 22, identifica-se com um ponto vermelho onde foi instalado o sensor usado para a realização das medições – planta e cortes.

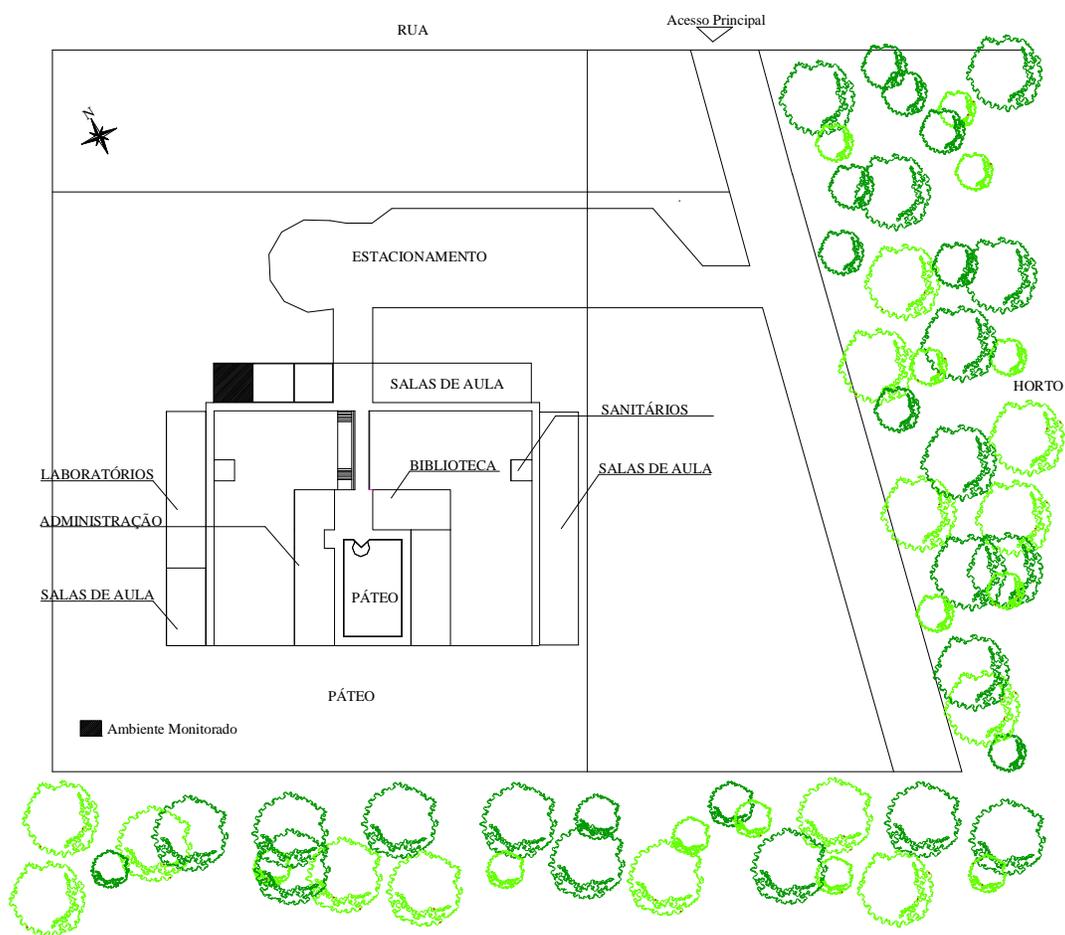


FIGURA 20: Implantação da Escola 01

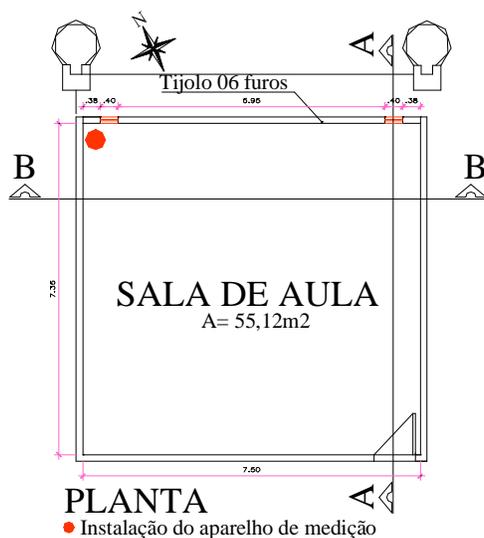


FIGURA 21: Planta baixa da sala de aula da Escola 02

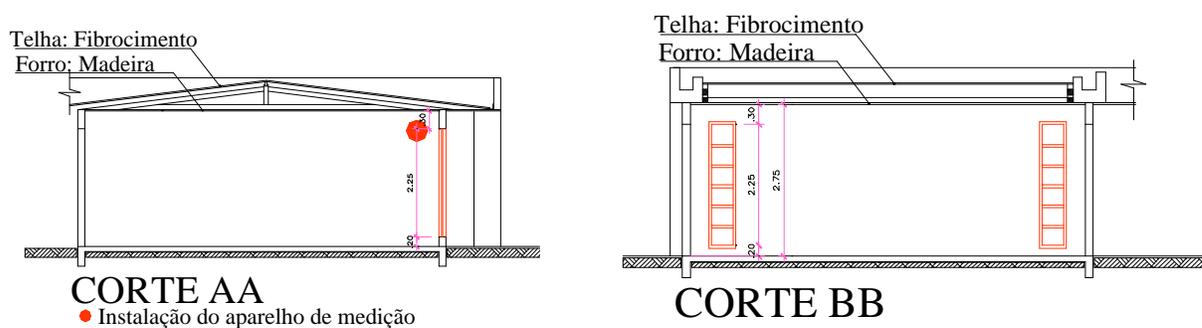


FIGURA 22: Cortes da sala de aula da Escola 02

3.1.3. Escola 03

A Escola Municipal Professora Nadir Maria Alegrete está localizada na Rua Dona Ziza Mariana Jorgem, 461 – Parque das Grevíleas I. Atualmente atende 980 alunos, oferecendo educação em nível infantil e fundamental. Foi o primeiro modelo de Centro a ser implantado na região e o seu sistema construtivo segue o estabelecido pelo programa, argamassa armada

Na figura 23 temos, uma vista geral da Escola, destacando com um círculo vermelho o ambiente monitorado.



FIGURA 23: Vista geral da Escola Municipal Professora Nadir Maria Alegrete

Na figura 24, temos a implantação da Escola no terreno, destacando o ambiente monitorado. Na figura 25, identifica-se com um ponto vermelho onde foram instalados o HOBO para a realização das medições – planta e cortes.

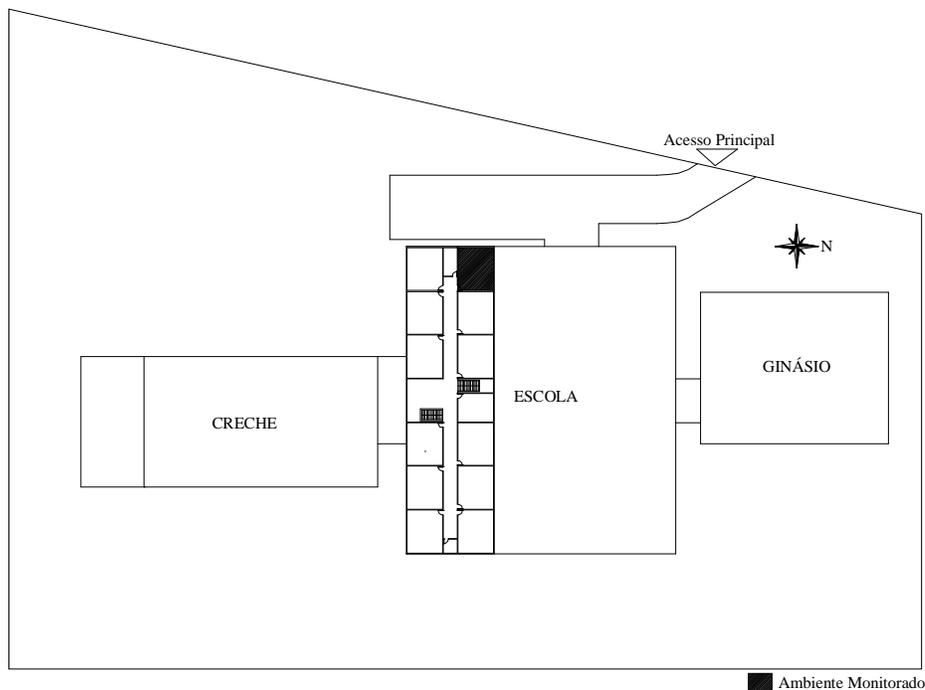


FIGURA 24: Implantação da Escola 03

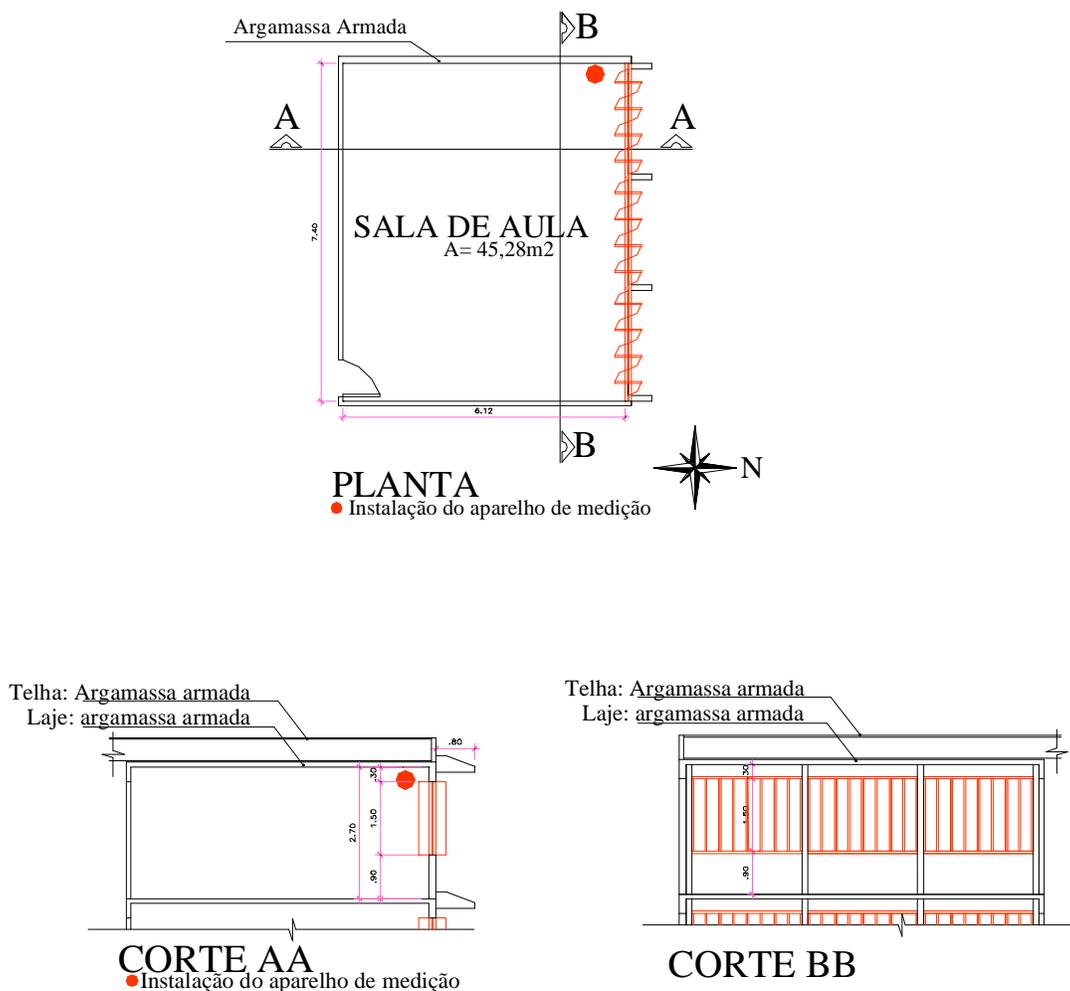


FIGURA 25: Planta baixa e cortes da sala de aula da Escola 03

3.2. PERÍODO DAS MEDIÇÕES

Os três pontos tiveram suas temperaturas e umidades relativas horárias internas monitoradas no período de 05/06/02 a 05/09/2002. A escolha desse período consiste no fato de Maringá apresentar, através da Carta Bioclimática, construída com base nos trabalhos de Givoni sobre o diagrama psicrométrico, no qual se relaciona temperatura do ar e a umidade relativa obtida para Maringá (figura 08), nota-se uma parte de desconforto é causado por frio (tabela 01), e em função da aquisição dos sensores utilizados, que só foram disponibilizados a partir de junho. O sensor usado para a aquisição de dados de temperatura foi um pequeno equipamento eletrônico de aquisição de sinais, HOBO® “Temperature Data Logger”, da Onset Computer Corporation.

No verão:

- A - temperatura do ar interior $\leq 29^{\circ}$ C;
- B - temperatura do ar interior \leq temperatura máxima exterior;
- C - temperatura do ar interior $>$ temperatura máxima exterior.

No inverno:

- A - temperatura do ar interior $\geq 17^{\circ}$ C;
- B - 17° C $>$ temperatura do ar interior $\geq 12^{\circ}$ C;
- C - temperatura do ar interior $< 12^{\circ}$ C.

As unidades cujo conforto térmico for classificado como nível “C” não devem ser aceitas, tanto para verão como para inverno.

Inverno: Considera-se como nível A o ambiente cujas condições internas atendam às exigências de conforto térmico expressas pela Norma ISO 7730, durante o dia todo. Quando isso não ocorre, mas a temperatura do ar é sempre maior que a temperatura mínima de referência, o desempenho térmico da edificação é classificado como nível B. Se a temperatura do ar interior apresentar algum valor menor que a temperatura de referência, então o desempenho térmico da edificação é classificado como nível C. Nesse caso, a temperatura mínima de referência é 12° C. A obtenção dos valores dos parâmetros ambientais que determinam a sensação de conforto térmico foram obtidos através de medições “in loco” dos parâmetros de conforto térmico (temperatura e umidade relativa do ar), num período de 24 horas, em recintos de unidades escolares.

Segundo PIETROBON et al. (2001), o tratamento dos dados climáticos, proposto pelo IPT, compreende basicamente duas etapas. Inicialmente, definem-se, a partir do período disponível de dados, os meses caracterizados como mais quentes e mais frios, denominados períodos de verão e de inverno, respectivamente. A seguir, é feito o tratamento detalhado dos dados, correspondentes apenas aos períodos de verão e de inverno, a partir dos quais são definidos os dias típicos de projeto. AKUTSU e VITORINO (1991) propõem dois critérios para seleção dos períodos de verão e inverno.

Para determinar os períodos de verão e de inverno, pode-se adotar o seguinte critério: para o caso do verão, é identificado o mês mais quente do ano, ou seja, aquele que apresentar o maior valor para a média das temperaturas máximas diárias. Os outros meses que apresentarem, para a

mesma grandeza, valores com uma diferença de até $0,5^{\circ}\text{C}$ em relação ao mês mais quente, são selecionados como período de verão.

De maneira análoga, é definido o período de inverno, com base no mês mais frio do ano. Os meses que apresentarem, para a média das temperaturas mínimas diárias, valores com uma diferença de até $0,5^{\circ}\text{C}$ em relação ao mês mais frio, são selecionados para o período de inverno.

Para cada período considerado, os dados são tratados da seguinte forma:

- Período de verão: são determinados os valores máximos diários da temperatura de bulbo seco (TBSmáx), os quais são ordenados, definindo-se então os níveis de frequência de ocorrência ($N=1\%$; $2,5\%$; 5% e 10%). Isto significa que, para cada valor de N , $N\%$ dos dias analisados, devem-se apresentar valores de TBSmáx maiores ou iguais.
- Período de inverno: são determinados os valores mínimos diários da temperatura de bulbo seco (TBSmín), os quais são ordenados, definindo-se os níveis de frequência de ocorrência, de maneira análoga ao período de verão.
- Para cada valor de frequência de ocorrência definido, é determinado um intervalo de $0,5^{\circ}\text{C}$, em torno da temperatura do dia de referência. São encontrados, então, os dias com temperaturas dentro deste intervalo e listados, para estes dias, os valores horários das grandezas: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido ou umidade relativa, nebulosidade (ou radiação solar), velocidade e direção do vento. Verificando que esta metodologia emprega um dia real, e este dia típico de projeto é escolhido da seguinte forma: são efetuadas as médias das características dos dias situados dentro de cada intervalo. Neste intervalo, é procurado, então, o dia real com as características mais próximas dos valores médios, definindo-se, assim, o dia típico para cada nível. Eles são caracterizados, segundo a metodologia, pelos valores horários da temperatura de bulbo seco.

3.3.2. “Analysis Bio”

O programa Analysis foi desenvolvido pelo LabEEE/NPC/USC, fornecendo estratégias bioclimáticas, visualizadas através das cartas bioclimáticas.

É necessário gerar os arquivos TRY, a partir de dados de temperatura (T) e umidade relativa (UR). O ANALYSIS procede à análise bioclimática traçando-se o diagrama de conforto, possibilitando a identificação das estratégias de condicionamento térmico passivo. Através dos relatórios emitidos pelo programa, pode-se avaliar o grau de conforto em porcentagem de horas de frio, conforto e calor.

Nesta pesquisa, dados de temperatura e umidade foram obtidos através do *software* de mediações, e, posteriormente, lançados no programa ANALYSIS, que permitiu que os mesmos fossem plotados na carta psicrométrica, de acordo com o modelo de Givoni. O programa ANALYSIS fornece, em forma de relatórios, dados como: porcentagem de horas de frio, conforto e calor e as recomendações para melhoria do conforto térmico.

3.3.3. Gráfico de amplitude térmica diária

Subtrai-se o valor mínimo do máximo de temperatura diária medidos em cada edificação, de forma a se comparar a amplitude externa com as amplitudes internas.

3.3.4. Atraso térmico diário

O atraso térmico diário é obtido através do número de horas entre o momento em que ocorreu a maior temperatura externa e o momento em que ocorreu a maior temperatura interna. Através do atraso térmico é possível estabelecer qual material tem a capacidade de armazenar e liberar calor.

3.3.5. Somatório de graus-hora

Segundo PAPST e LAMBERTS (2002), o critério de $\Sigma^{\circ}\text{C}*\text{H}$ (somatório de graus-hora) é determinado usando-se uma temperatura base, onde é feito o somatório dos graus ($^{\circ}\text{C}$) que excedam ou estejam abaixo da temperatura base estipulada. As temperaturas bases para análise de frio variam também em 6K, entre 13 $^{\circ}$ e 19 $^{\circ}\text{C}$. Os ambientes internos são comparados com o ambiente externo. Empregando esse método, duas informações são retiradas: o h.(horas), que nada mais é que o número de horas que estiveram acima ou abaixo da base estipulada, além do

g.m (grau médio), que consiste na média dos graus-horas, obtidos da razão do somatório de graus hora pelo número de horas acima ou abaixo da base estipulada.

O uso do grau médio demonstra o quanto em média as temperaturas estariam acima da temperatura base. Conforme PAPST e LAMBERTS (2002), o número de horas não apresenta essa informação, assim, torna-se necessário avaliar o desempenho térmico, utilizando-se destes dois conceitos.

3.3.6. Questionário

Este método consiste na parte subjetiva da pesquisa. O levantamento realiza-se através de uma avaliação de satisfação dos usuários, sendo que os parâmetros, como sensação térmica, preferência térmica e resistência térmica das roupas, são obtidos através de um questionário.

Para a elaboração do questionário, certos critérios foram considerados, como: minimização de ambigüidades, representação fiel da população alvo e objetividade dos aspectos abordados.

Primeiramente, é realizada a aplicação de um questionário piloto (após a realização do “walkthrough” e conversas com as diretoras), verificando as dificuldades encontradas pelo usuário, remodelando-o, para só assim, aplicá-lo com uma maior segurança e confiabilidade. O modelo do questionário aplicado apresenta-se no anexo A.

3.4. MATERIAIS

As medições foram realizadas com base horária. Para a aquisição de dados, foram utilizados sensores HOBO Temp Data Loggers, apresentado na figura 26 e o coletor de dados Hobo Shuttle da Onset Computer Corporation, figura 27, emprestados pelo Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Paranaense.

O sensor utilizado faz parte da família HOBO H8: consiste num medidor e registrador contínuo de temperatura e umidade relativa com capacidade de até 7.944 leituras. Devido aos seus

componentes de precisão, não é necessária a calibração por parte do usuário. A faixa de operação de temperatura varia de -20°C a $+70^{\circ}\text{C}$, e de umidade relativa de 0 a 95%.



FIGURA 26: HOBO (medidor e registrador contínuo)

Para coletar os dados registrados, utilizou-se o HOBO SHUTTLE, apresentado na figura 27. Este equipamento coleta e reinicializa os registradores, levando os dados para o computador. Utiliza-se do software BoxCar Pro para inicializar ou ler o Hobo Shuttle, que reiniciará o relógio do HOBO Shuttle para sincronizá-lo com o relógio do computador. Tem capacidade de ler 60 registradores de 8K. Utiliza-se do BoxCar Pro para ler os dados dos arquivos do computador, para cada dado registrado, que poderão em seguida ser plotados, visualizados, tratados e exportados.



FIGURA 27: HOBO SHUTTLE (coletor de dados)

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 Caracterização do clima de junho a setembro de 2002.

No período das medições, junho a setembro de 2002, as temperaturas médias diárias apresentaram-se mais baixas no começo de julho e no começo de setembro. Pela distribuição, percebe-se, através da figura 28, a periódica queda de temperatura causada pela entrada de frentes frias.

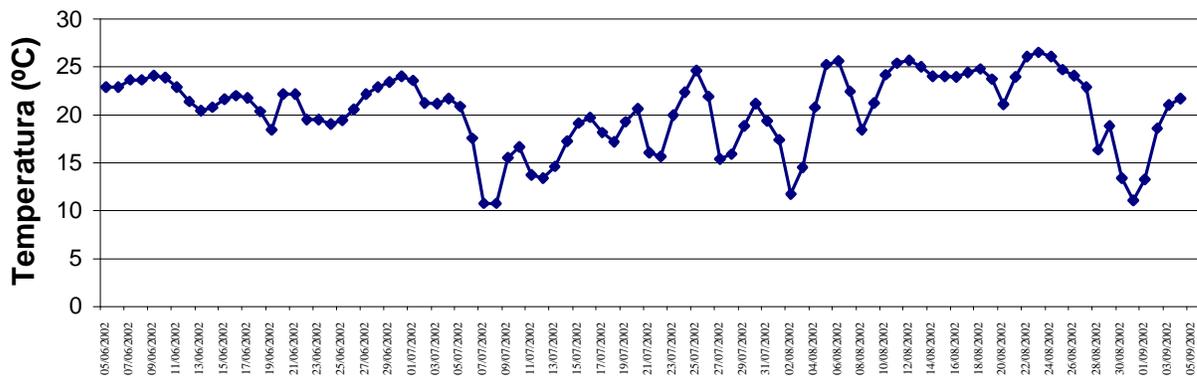


FIGURA 28: Distribuição de média diária de TBS – período de 05 de junho a 05 de setembro. Fonte: Estação Climatológica de Maringá

A temperatura mínima do período foi de 4,4°C e ocorreu no dia 02 de setembro, às 7h; a temperatura máxima foi de 32,4°C, e ocorreu no dia 25 de agosto, às 14h.

A umidade é outra variável que caracteriza o clima de Maringá. Na figura 29 percebe-se uma predominância de valores de umidade relativa média diária, variando conforme a entrada de frentes frias.

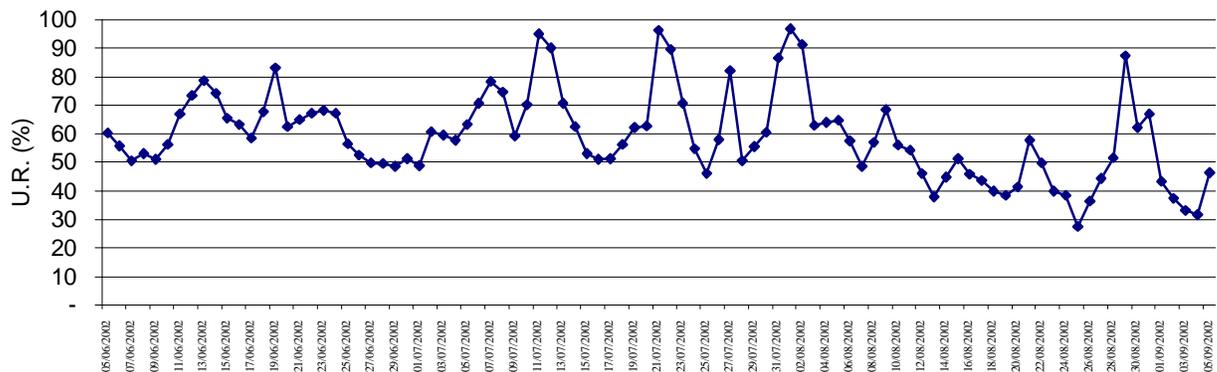


FIGURA 29: Umidade relativa – período de 05 de junho a 05 de setembro. Fonte: Estação Climatológica de Maringá

A umidade relativa mínima do período foi de 18%, no dia 04 de setembro às 14h e 16h, e a máxima de 100%, nos dias 13 de junho (7h e 8h), 11 de julho (22h), 13 de julho (7h e 8h), 21 de julho (14h) e 22 de julho (7h e 8h).

4.2 Resultados encontrados

A aquisição dos dados de temperatura nas edificações foi feita durante 3 meses, caracterizando o desempenho das edificações neste período como estação fria. Os resultados serão apresentados por edificação monitorada, comparando-os posteriormente.

4.2.1. Método IPT

Esta metodologia apresenta uma forma expedita de avaliar o desempenho térmico através de tabelas de referência. De acordo com as tabelas de referência que descrevem os tipos de paredes e os tipos de forros e coberturas, dentre as três escolas analisadas em Maringá, nenhuma destas está representada, o que torna complicada a aplicação do método para os sistemas construtivos avaliados para Maringá.

O método apresenta o processo de avaliação e os critérios de desempenho para tipologias que não se enquadram nas tabelas. Através da latitude e longitude para a cidade de Maringá, recai-se sobre uma zona climática que considera alguns valores como limite de conforto (citados na metodologia). Entretanto, quando se utiliza este processo, é necessário adotar um dia típico; nesse caso, um dia típico de inverno, devido ao período de realização da pesquisa.

A escolha da data consiste em estabelecer um dia durante o período de medição, que apresente valores próximos dos que caracterizam o dia típico da cidade de Maringá. Como o inverno foi atípico, não seria possível aplicar este processo. Porém para estas situações, segundo AKUTSU e VITORINO (1997), adota-se como base um dia onde foram registradas as temperaturas mais baixas durante o período, sendo que este dia não pode estar situado após um ou dois dias anteriores significativamente diferentes do dia selecionado para a análise. Nesse caso, após uma análise, verificou-se que o dia 02/09/2002 é o que apresenta essas recomendações (anexo B).

Através das figuras, percebe-se que foram divididas em duas as análises: a primeira considera as 24 horas do dia 02/09/2002 (figuras 30 e 31); a segunda, somente o horário de funcionamento do dia 02/09/2002, das 7h às 18h (figuras 32 e 33).

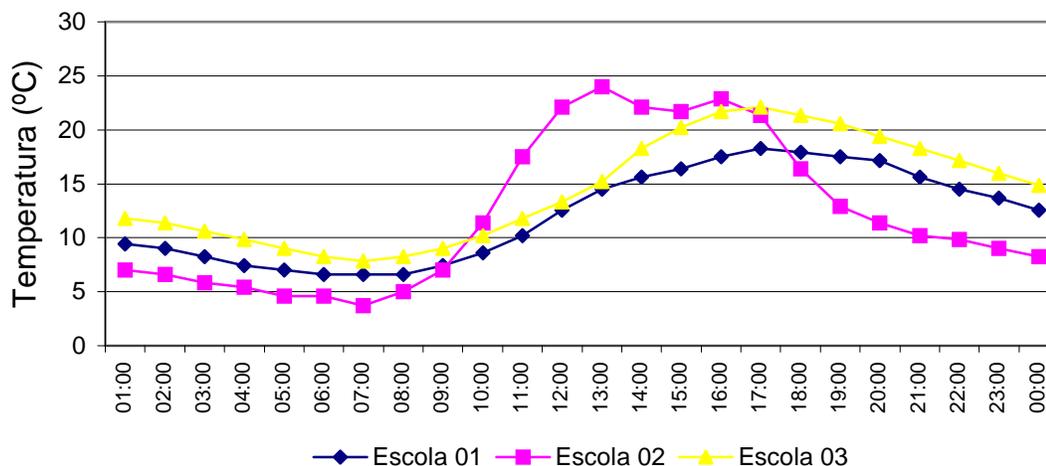


FIGURA 30: Distribuição da temperatura interna aplicando o dia típico: 02/09/2002 (considerando 24 horas)

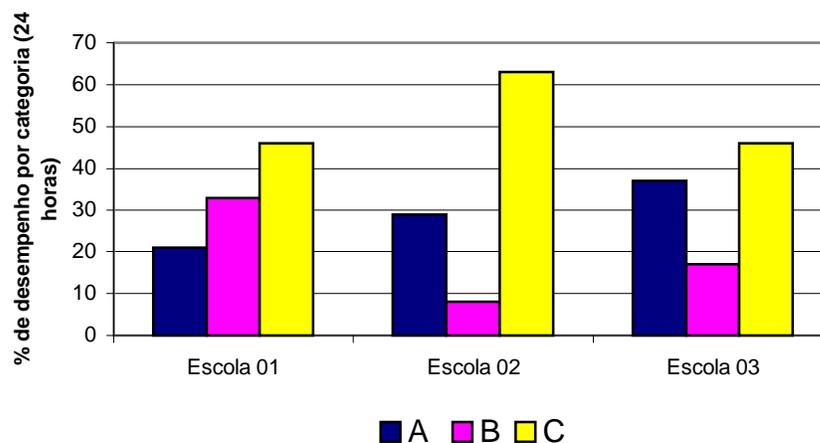


FIGURA 31: Classificação das edificações escolares através dos critérios e desempenho térmico (considerando 24 horas)

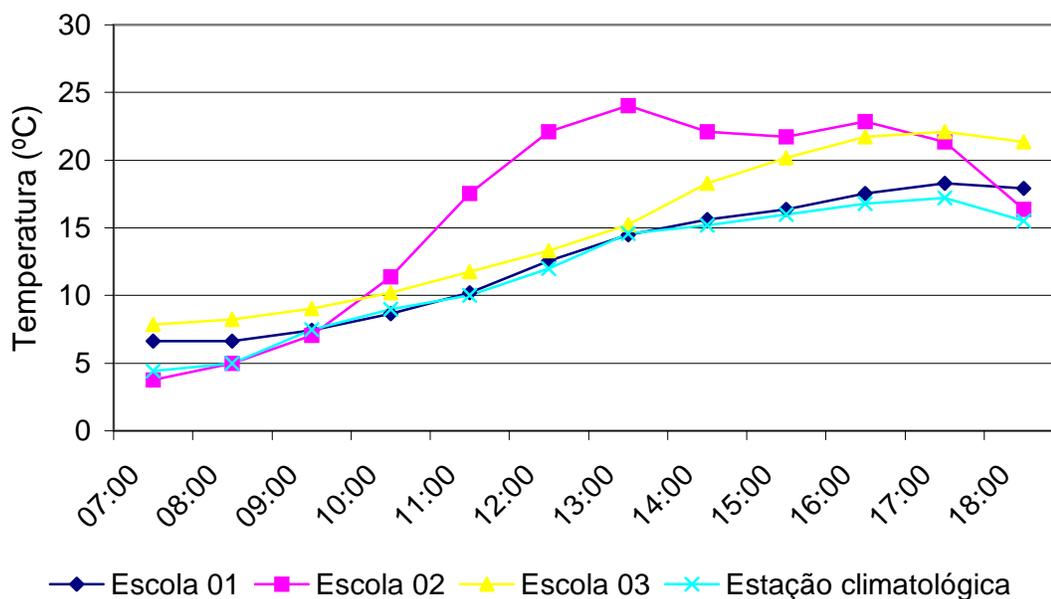


FIGURA 32: Distribuição da temperatura interna aplicando o dia típico: 02/09/2002 (considerando horário de aula)

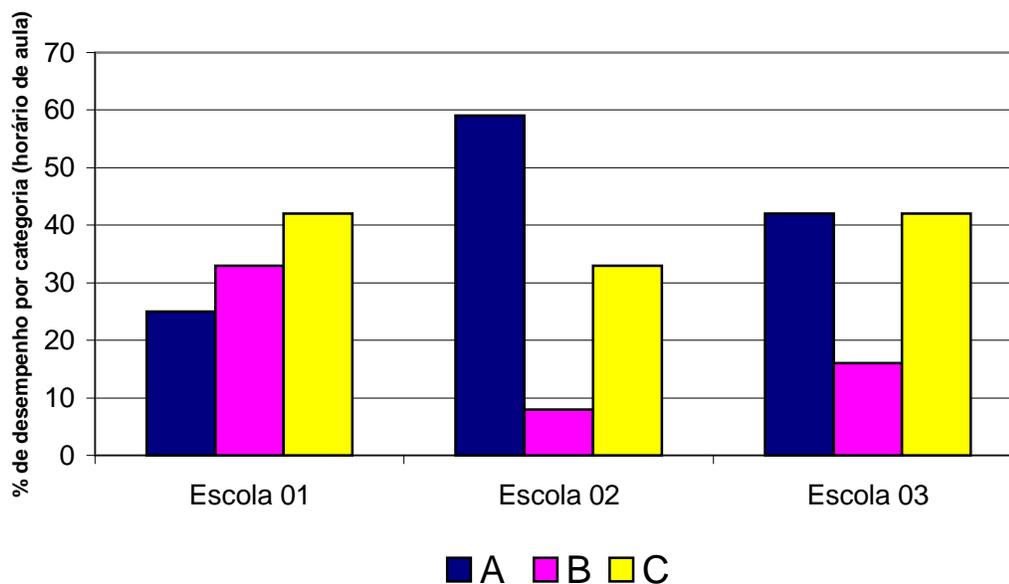


FIGURA 33: Classificação das edificações escolares através dos critérios e desempenho térmico (considerando horário de aula)

Verificamos através da primeira análise (24 horas), figura 31, que as Escolas 01 e 03 registram praticamente o mesmo índice de classificação “C” (temperatura do ar interior $<12^{\circ}\text{C}$), enquanto a Escola 02 assinala os maiores índices desta classificação, mais de 60%.

Na figura 31, verifica-se que a Escola 03 é a que apresenta o maior índice de classificação “A” (temperatura do ar interior $\geq 17^{\circ}\text{C}$), seguida pela Escola 02 e depois pela Escola 01. A Escola 02 é a que soma o maior índice de classificação “B” (17°C > temperatura do ar interior a $\geq 12^{\circ}\text{C}$).

Aplicando este mesmo método considerando somente o horário de funcionamento (das 7h às 18h), figura 33, ocorre uma inversão em relação ao índice de classificação “A”; agora a Escola 02 é a que apresenta o maior índice, próximo a 60%, seguida pela Escola 03 e por último a Escola 01. Como se pode verificar, as Escolas 01 e 03 praticamente mantêm o seu comportamento durante as 24 horas e durante o horário de funcionamento, enquanto a Escola 02 inverte os seus valores de classificação entre os níveis “A” e “C”, um fator que justifica essa inversão refere-se à incidência do sol neste ambiente (figura 21), proporcionando aumento da temperatura ao longo do dia.

A aplicação deste método torna o resultado contraditório e duvidoso, pois o método não apresenta nenhum critério para diferenciar as edificações que estejam num mesmo nível e as temperaturas bases estipuladas deveriam ser revistas para os diversos tipos de clima. Seria interessante desenvolver algum mecanismo que tornasse os índices de classificação mais próximos do real.

4.2.2. Analysis

Foram realizadas duas análises, a primeira considera 2233 horas, simulando os ambientes das escolas durante 24 horas no período de inverno e a segunda com arquivo climático de 559 horas, simulando os ambientes das escolas e as condições externas no período das 7 às 23 horas no período de inverno.

A comparação foi realizada em termos quantitativos de frio, conforto e calor, levando-se em conta a faixa de temperaturas de conforto térmico para países em desenvolvimento como sendo de 18°C a 29°C.

Considerando a primeira análise apresentam-se nas figuras 34, 35 e 36 os diagramas de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 01, Escola 02, Escola 03.

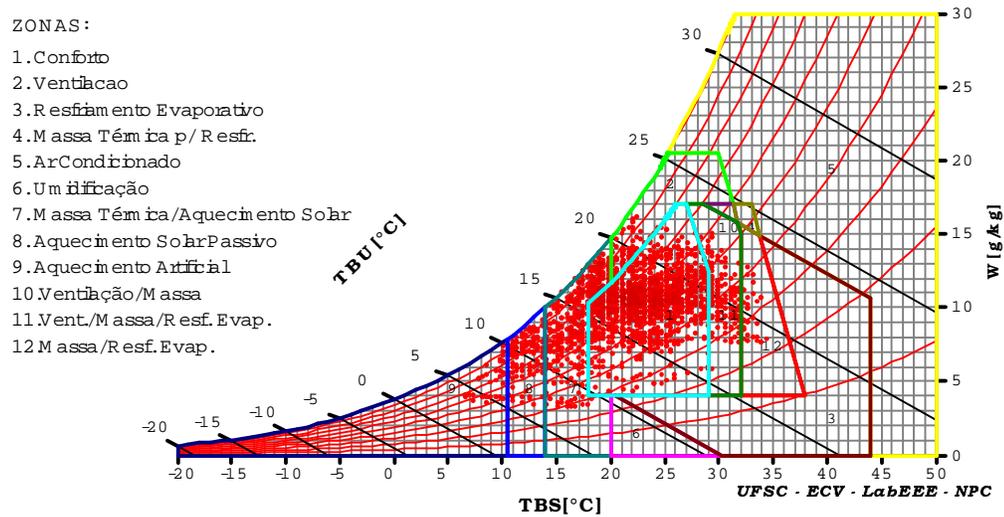


FIGURA 34: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 01. (considerando 24 horas)

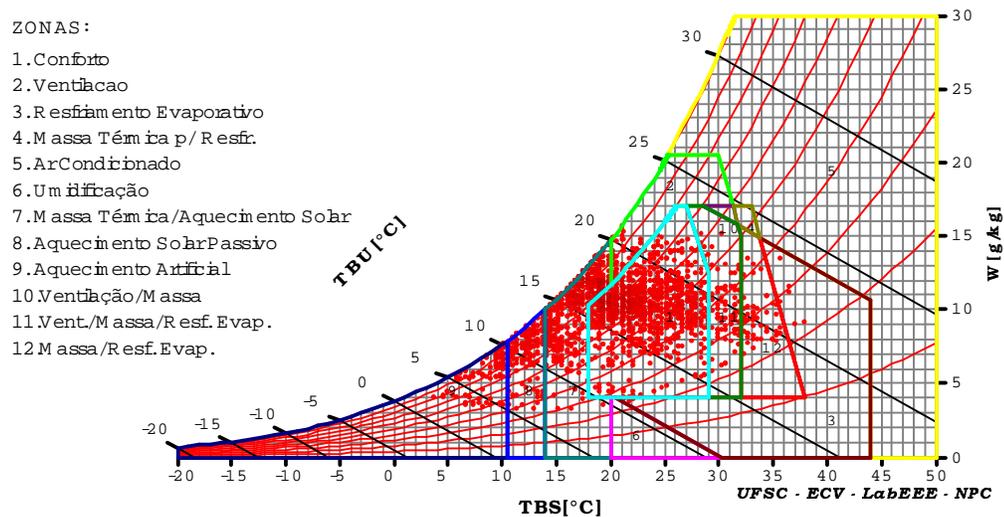


FIGURA 35: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 02. (considerando 24 horas)

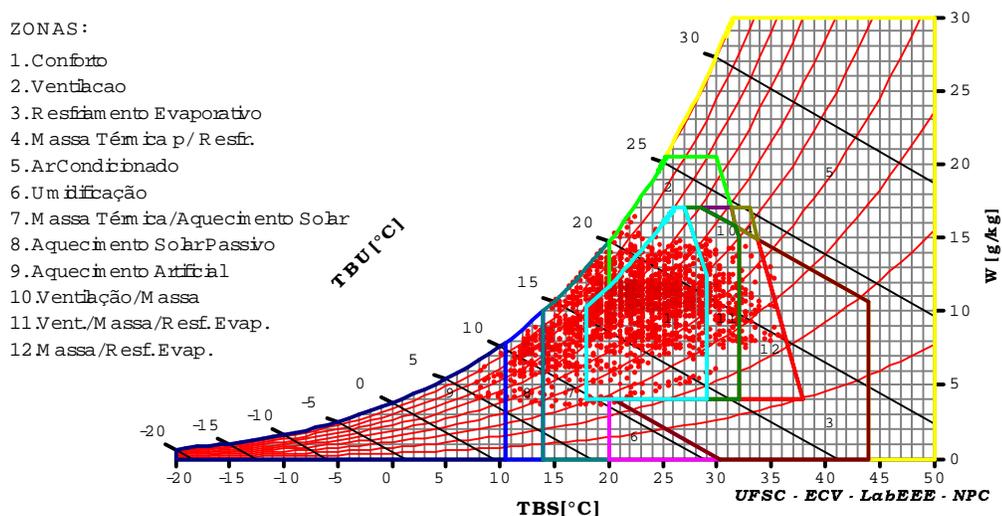


FIGURA 36: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 03. (considerando 24 horas)

Por meio dos diagramas, observa-se que muitos pontos estão situados fora da zona 01 caracterizada com Zona de Conforto. Através da Tabela 02 apresenta-se um comparativo entre as Escolas em termos de valores de conforto e desconforto, divididos em por frio e por calor.

Tabela 02: Quadro comparativo entre os resultados do Analysis

Escolas	Conforto	Desconforto	Frio	Calor
Escola 01	59,60%	40,40%	27,00%	13,40%
Escola 02	49,50%	50,50%	39,70%	10,80%
Escola 03	58,80%	41,20%	23,20%	18,00%

Através da Tabela 02 verifica-se que a Escola 01 e a Escola 03 apresentam praticamente os mesmos valores em termos de Conforto e Desconforto, entretanto quando analisado o desconforto, por frio e por calor, a Escola 01 apresenta uma maior parcela de desconforto por frio. Analisando os resultados da Escola 02 verifica-se que esta apresentou o maior número de horas de desconforto por frio.

Realizando a segunda análise, considerando o horário de funcionamento das Escolas, apresentam-se os diagramas nas figuras 37, 38, 39 e 40, com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 01, Escola 02, Escola 03 e Estação Climatológica.

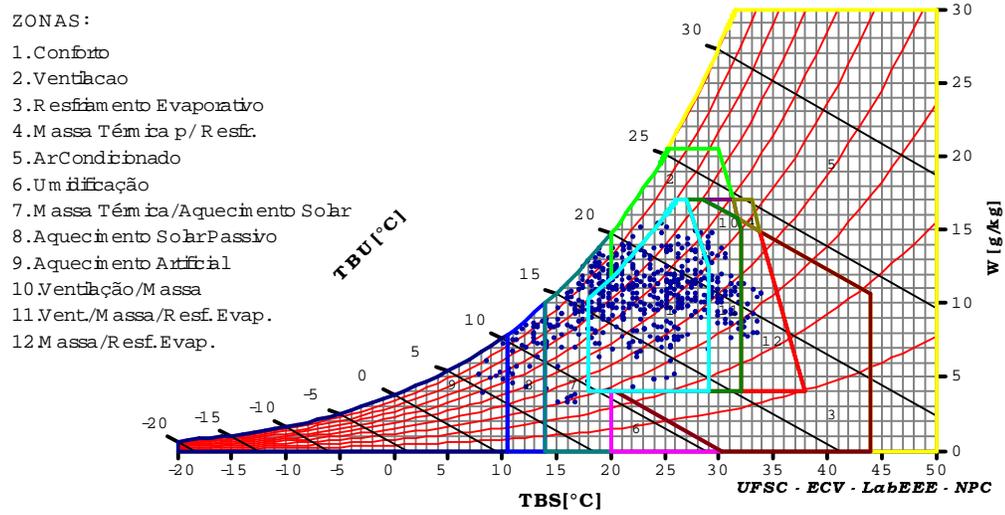


FIGURA 37: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 01 (considerando horário de aula).

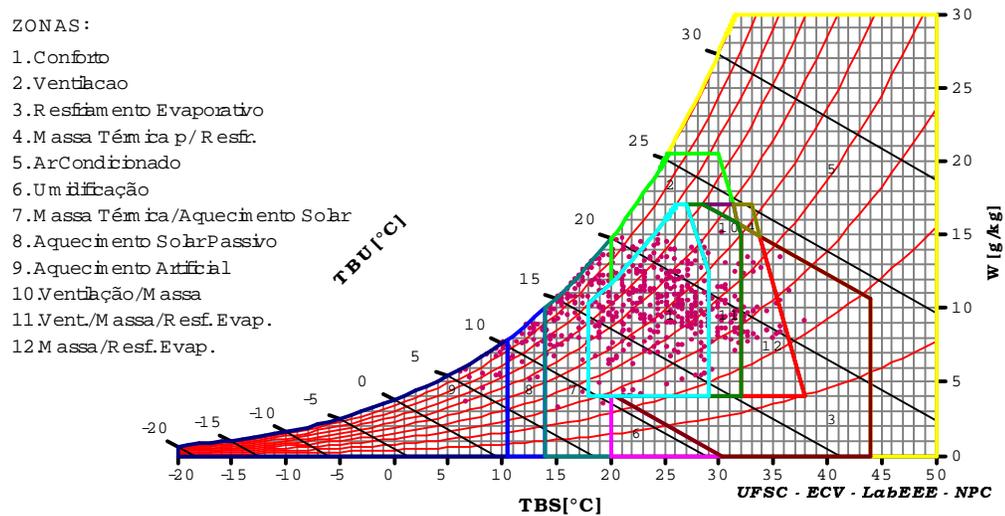


FIGURA 38: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 02 (considerando horário de aula).

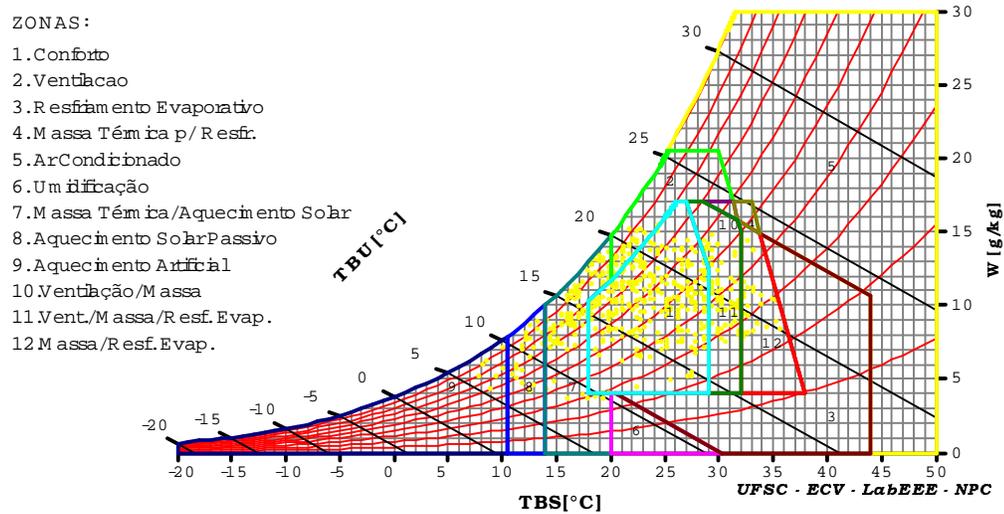


FIGURA 39: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Escola 03 (considerando horário de aula).

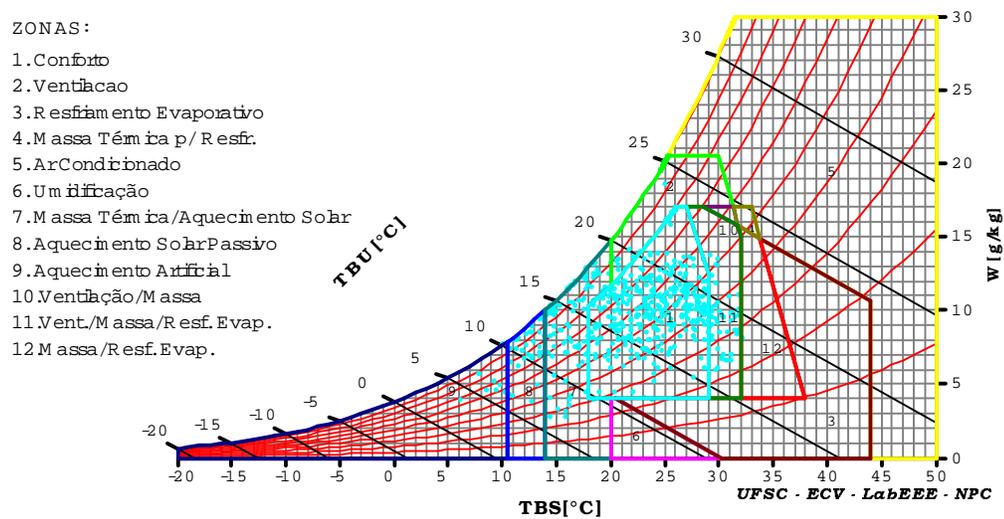


FIGURA 40: Diagrama de conforto com valores horários de temperatura e umidade no inverno para a Estação Climatológica (considerando horário de aula).

Após a realização dos diagramas são emitidos os relatórios, que foram organizados através de um quadro comparativo entre as Escolas e a Estação Climatológica em termos de valores de conforto e desconforto, divididos em por frio e por calor, que pode ser visualizado através da Tabela 03

Tabela 03: Quadro comparativo entre os resultados do Analysis

Escolas	Conforto	Desconforto	Frio	Calor
Escola 01	52,60%	47,40%	26,80%	20,60%
Escola 02	52,10%	47,90%	27,50%	20,40%
Escola 03	50,10%	49,90%	24,50%	25,40%
Estação Climatológica	62,40%	37,60%	25,80%	11,80%

Através da Tabela 03 verifica-se que a Escola 01, Escola 02 e Escola 03 apresentam praticamente os mesmos valores em termos de conforto e desconforto, entretanto quando analisado o desconforto, por frio e por calor, a Escola 02 apresenta uma maior parcela de desconforto por frio e a Escola 03 apresenta maior parcela de desconforto por calor. Analisando os resultados da Estação Climatológica verifica-se que esta apresentou o maior número de horas de conforto, mas quando analisado o desconforto verifica-se que apresentou praticamente o mesmo valor do desconforto por frio do obtido nas Escolas.

Analisando as duas tabelas, verifica-se que as Escolas 01 e 03 apresentam uma diminuição de horas de conforto, os valores referentes ao desconforto por frio continuam praticamente os mesmos e os valores de desconforto por calor diminuem. Em relação à Escola 02 ocorre uma mudança nos resultados nos valores de conforto e desconforto, mas a mudança mais significativa refere-se ao desconforto por frio, sendo que na primeira análise apresentou 39,70% e na segunda análise 27,50%. Esta mudança refere-se a orientação das aberturas para norte e o material da cobertura, ocasionando ganhos internos de calor.

4.2.3. Amplitude térmica

Nas figuras 41, 42, 43 e 44, demonstra-se a distribuição das amplitudes dos ambientes internos e externos obtidos nas Escolas e Estação Climatológica, nos períodos estabelecidos, para uma melhor visualização.

No mês de junho, através da figura 42, as amplitudes internas apresentam-se abaixo frente às amplitudes externas. No mês de julho e agosto, o que predomina é o equilíbrio entre as amplitudes internas e externas, conforme figuras 43 e 44, respectivamente.

Nos períodos mais frios, com manhãs frias e tardes amenas ou quentes, registram-se as maiores amplitudes. Nos dias com madrugadas ou manhãs frias ou amenas e tardes frias ou amenas, ocorrem as menores amplitudes registradas.

Através dos resultados obtidos, verifica-se que as amplitudes externas variam de 1,4°C a 17,8°C, e as amplitudes internas: Escola 01 de 1,1°C a 17,7°C; Escola 02 de 0,76°C a 22,88°C e a Escola 03 de 1,14 a 18,49°C. Neste caso, compreende-se que os valores mínimos e máximos obtidos na Estação Climatológica, na Escola 01 e Escola 03, são próximos, enquanto a Escola 02 apresenta o menor e o maior valor obtido.

Analisando as figuras, nota-se que nos três meses avaliados a Escola 02 apresenta, na maioria dos dias, valores de amplitude acima dos encontrados nas outras avaliadas. Essa diferença perceptível decorre do uso do ambiente e do local onde está inserido e da orientação das aberturas.

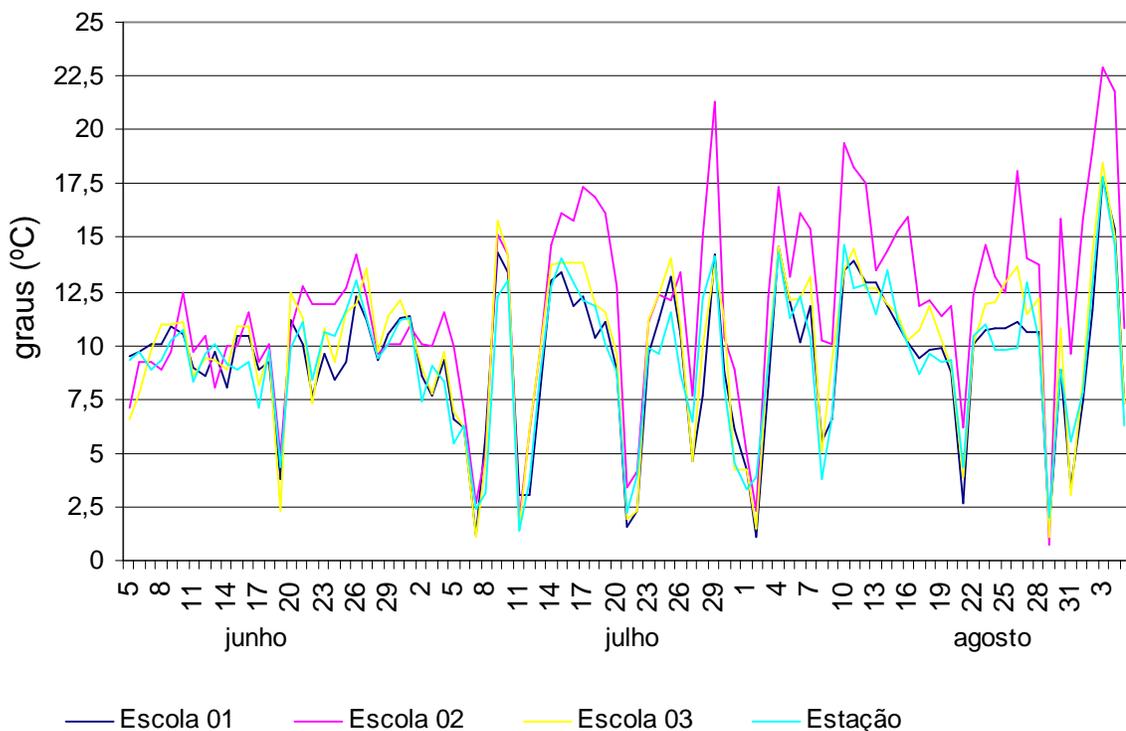


FIGURA 41: Amplitude térmica – período de 05/06/2002 a 05/09/2002

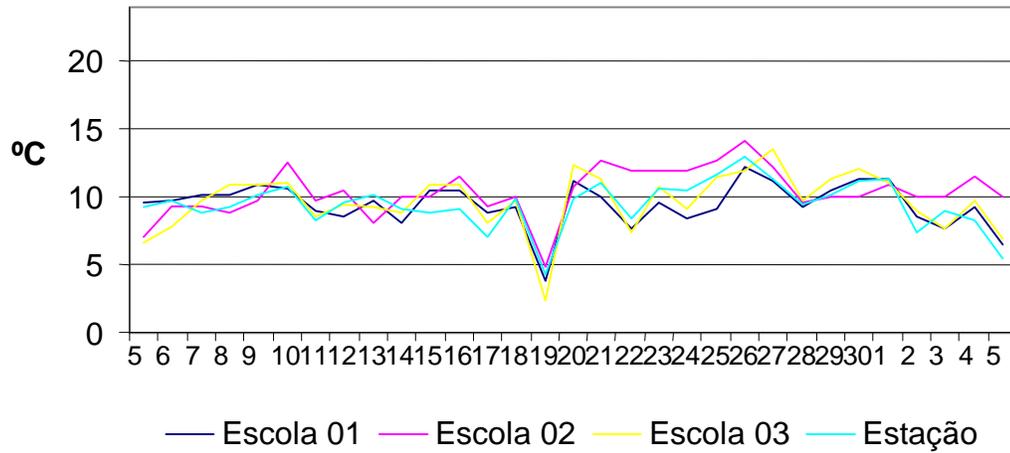


FIGURA 42: Amplitude térmica – período de 05/06/2002 a 05/07/2002

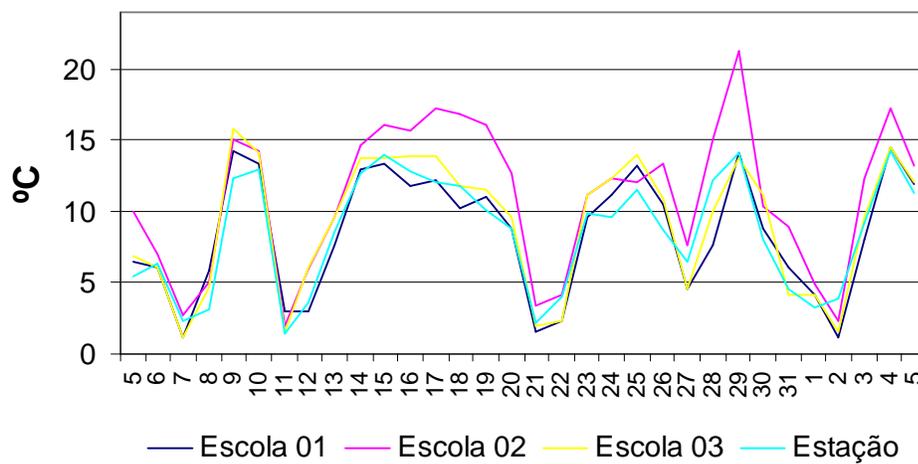


FIGURA 43: Amplitude térmica – período de 05/07/2002 a 05/08/2002

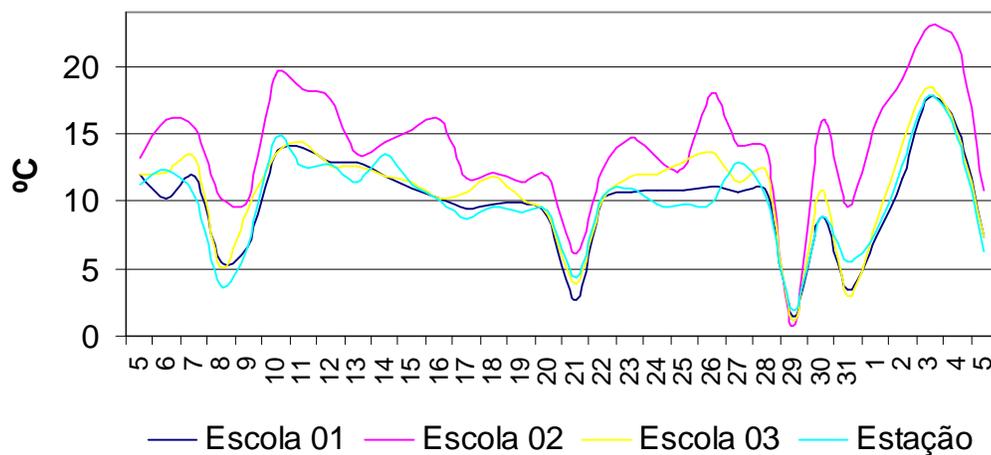


FIGURA 44: Amplitude térmica – período de 05/08/2002 a 05/09/2002

4.2.4. Atraso térmico

O atraso térmico consiste no número de horas entre o momento que ocorreu a maior temperatura externa e o momento que ocorreu a maior temperatura interna.

O atraso térmico é apresentado através das figuras 45, 46 e 47.

O atraso térmico da Escola 01 ficou geralmente entre 1 e 2 horas. Pelas figuras, percebe-se que em um dia houve atraso térmico de 3 horas. Isto se deve ao fato da temperatura externa ter seu maior valor registrado às 13h; nos outros dias, este era registrado entre 14h e 16h.

Na Escola 02, verifica-se que, na maior parte dos dias, a temperatura máxima interna ocorre antes da temperatura máxima externa. Assim, o atraso térmico praticamente não ocorre, e, quando aparece, fica em torno de 1 a 3 horas. Um dos motivos para isso acontecer refere-se a orientação das aberturas.

A Escola 02, nos meses de junho e julho, apresenta atraso térmico em apenas um dia de cada mês, com 1 hora de atraso. No mês de agosto, como nos outros meses, quase não há ocorrência de atraso térmico, mas notam-se alguns dias com atraso térmico, entre 1 e 3 horas. Ao verificarmos, percebe-se que nesses dias a temperatura máxima interna acontece depois da temperatura máxima externa, fato que não ocorre nos outros dias.

A Escola 03 é a única que apresenta atraso térmico de 4 horas. A maior predominância de atraso térmico fica entre 1 e 2 horas. No período mais quente, o atraso térmico varia de 1 a 4 horas.

A Escola 03 e a Escola 01 apresentam quase todos os dias atraso térmico, sendo que a Escola 03 registra os maiores valores encontrados, 3 e 4 horas de atraso térmico; é a que mostra o maior número de dias acima de 1 hora de atraso térmico.

Analisando comparativamente as três escolas, verifica-se que a Escola 01 e Escola 03 apresentam atraso térmico em torno de 1 e 2 horas, ocasionalmente 3 e 4 horas (Escola 03), enquanto na Escola 02 praticamente não ocorre atraso térmico.

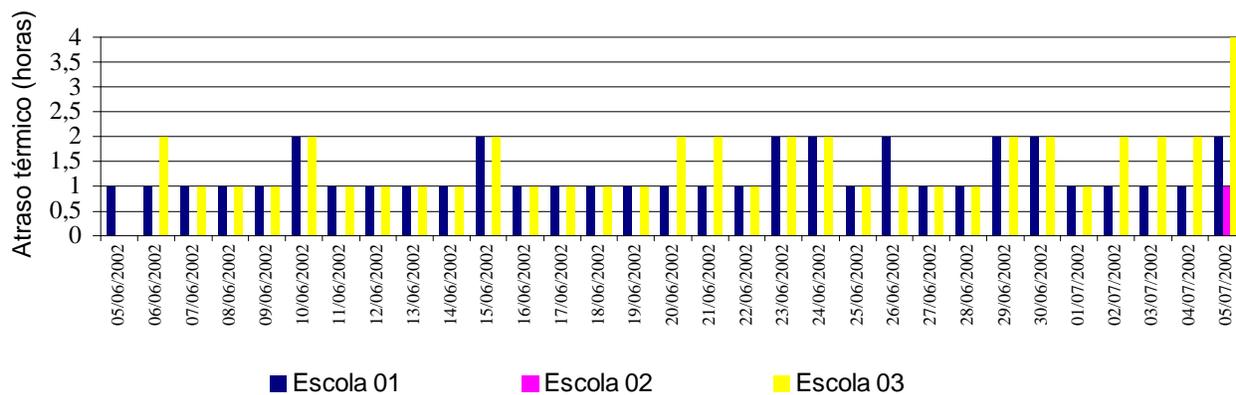


FIGURA 45: Atraso térmico – período 05/06/2002 a 05/07/2002

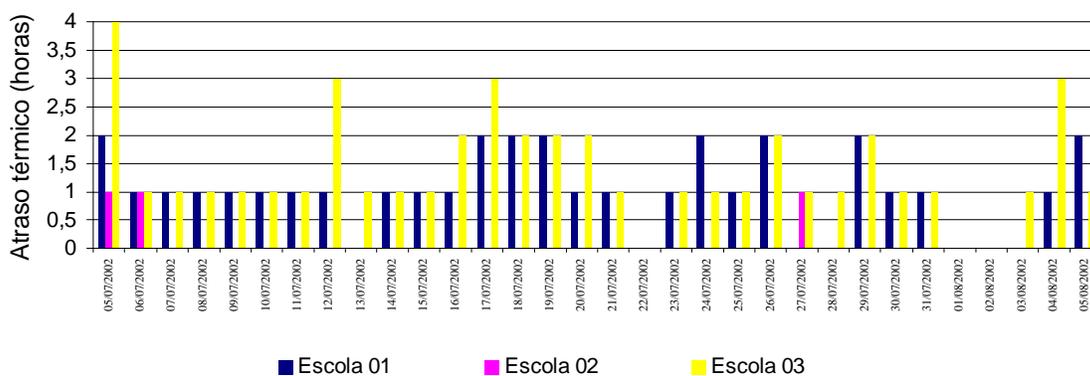


FIGURA 46: Atraso térmico – período 05/07/2002 a 05/08/2002

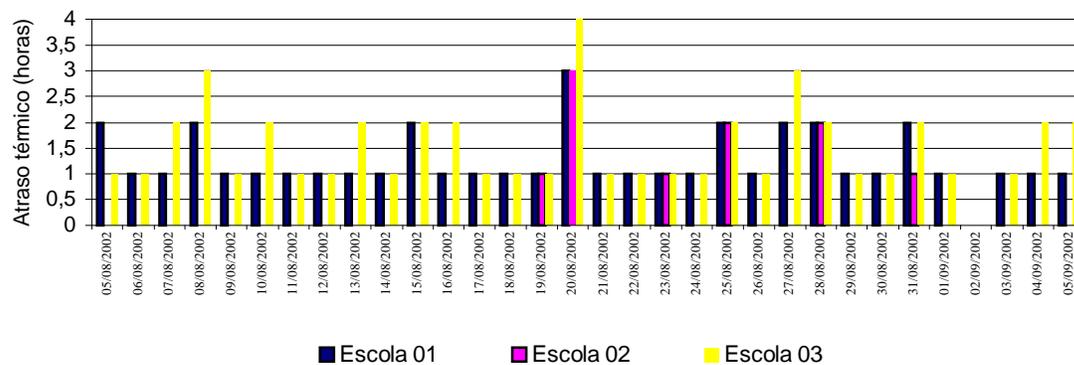


FIGURA 47: Atraso térmico – período 05/08/2002 a 05/09/2002

4.2.5. Somatório de graus-horas

Em decorrência do horário de levantamento realizado pela Estação Climatológica, foram realizadas duas análises. A primeira considerou somente o resultado obtido entre os três ambientes avaliados, neste caso adotando como base a temperatura registrada hora a hora durante 24 horas (figura 48); a segunda considerou as temperaturas obtidas nos três ambientes e as da Estação Climatológica, adotando como base para a análise a temperatura registrada durante o funcionamento das Escolas, das 7h às 18h (figura 49).

Através da figura 48, percebe-se que, quando considerado o período de 24 horas, a Escola 02 soma o maior número de horas de desconforto, seguido pela Escola 01 e, por último a Escola 03. As Escolas 01 e 03 mostram valores muito próximos, enquanto a Escola 02 apresenta o grau médio em função da temperatura superior nos três meses; entretanto no mês de agosto os valores ficam mais próximos entre as Escolas.

Os valores abaixo de 19°C são registrados na madrugada, fato que ocorre com mais frequência na Escola 02. O número de horas de desconforto é bem maior em relação ao número de horas quando consideradas somente as horas de funcionamento. Enquanto o número de horas de desconforto das Escolas 01 e 03 caem pela metade, quando considerado somente o horário de funcionamento, na Escola 02 cai para um terço.

Nota-se que o mês de julho adiciona o maior número de horas de desconforto, sendo o mês de agosto o que apresenta os maiores graus médios obtidos. Isto ocorre tanto considerando as 24 horas como as horas de funcionamento. Por ter sido um inverno atípico, as menores temperaturas registradas foram registradas no mês de agosto, fato anormal em relação aos outros anos.

Na base de 19°C nos meses de junho, julho e agosto verificou-se que todas as salas apresentaram horas abaixo da base de 19° C. A sala da Escola 02 é o ambiente interno que apresenta a menor quantidade de horas na análise de temperaturas abaixo de 19° C, considerando o horário de funcionamento das Escolas.

O mês de junho é o único mês em que a Escola 02 registra o maior número de horas de desconforto em relação às outras Escolas. Entretanto, quando analisamos o grau médio em

função da temperatura, verifica-se que a Escola 02 continua sendo a que aponta os maiores valores em relação as outras Escolas e também em relação à Estação climatológica.

Na análise de temperaturas nas bases abaixo de 19° C, o grau médio externo é sempre maior que o interno. O ambiente que apresenta o pior desempenho térmico no período frio foi a sala da Escola 02, pois apresenta o grau médio superior aos outros ambientes.

O ambiente da Escola 02, por estar inserido dentro de uma área verde, apresenta um número maior de horas com temperatura abaixo das bases analisadas, isto considerando 24 horas (figura 48). Considerando o horário de funcionamento este ambiente apresenta normalmente menos horas com temperatura abaixo das bases analisadas do que os outros ambientes internos (figura 49), isso devido à orientação das aberturas para norte, ocasionando ganhos internos de calor.

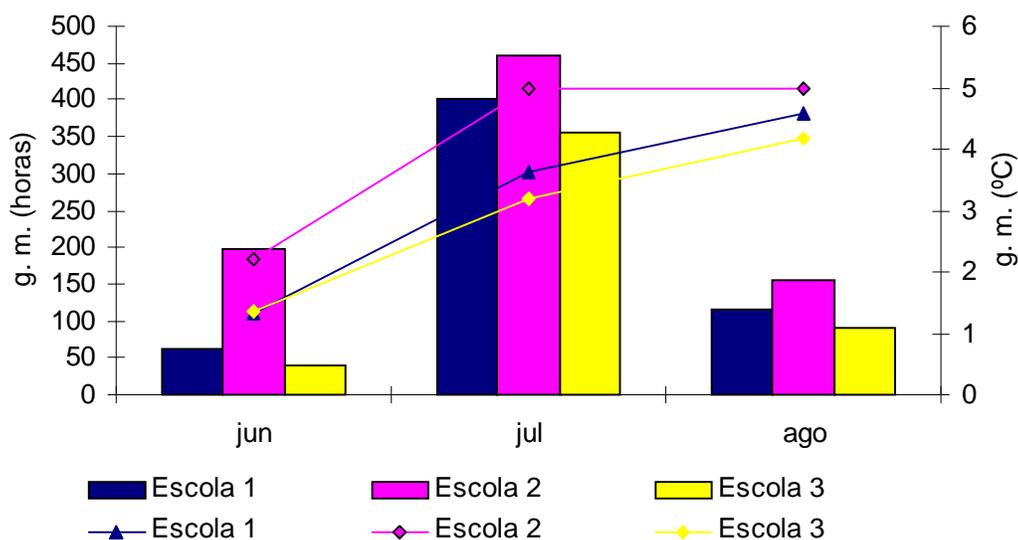


FIGURA 48: Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 19°C (considerando somente as três salas – medidos hora a hora durante 24h)

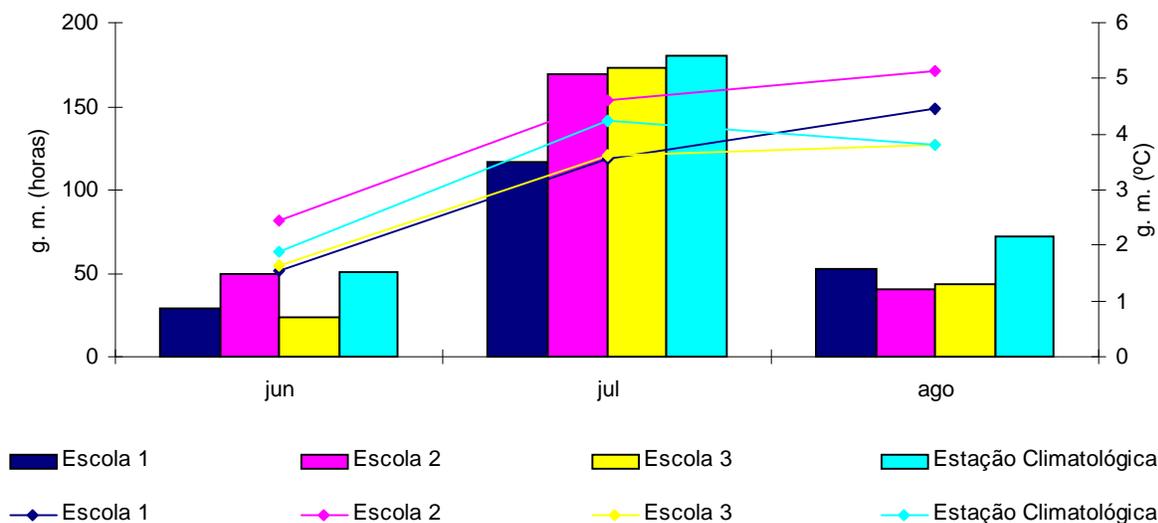


FIGURA 49: Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 19°C (considerando horário de aula)

4.2.6. Questionário

O levantamento realiza-se através de uma avaliação de satisfação dos usuários onde os parâmetros como sensação térmica, preferência térmica e resistência térmica das roupas são obtidos através de um questionário.

Este questionário passou por reformulações após aplicação do questionário piloto, onde se verificaram dificuldades para o preenchimento das questões. Assim, procurou-se objetivar ao máximo a respostas das questões, buscando verificar como o usuário estava se sentindo no momento da pesquisa e como gostaria de estar se sentindo, além de verificar a resistência térmica das roupas, utilizando-se de um mecanismo que facilite o preenchimento da questão, neste caso, o emprego de figuras das vestimentas (como pode ser observado no questionário em anexo).

A aplicação do questionário ocorreu simultaneamente nas três escolas, no dia 03 de setembro, às 9h no período da manhã, e às 14h, no período da tarde.

As figuras 50, 51, 52 e 53 apresentam o resultado referente ao sexo e à idade dos entrevistados, divididos por períodos - manhã e tarde.

Resultados obtidos no período da manhã às 9:00h.

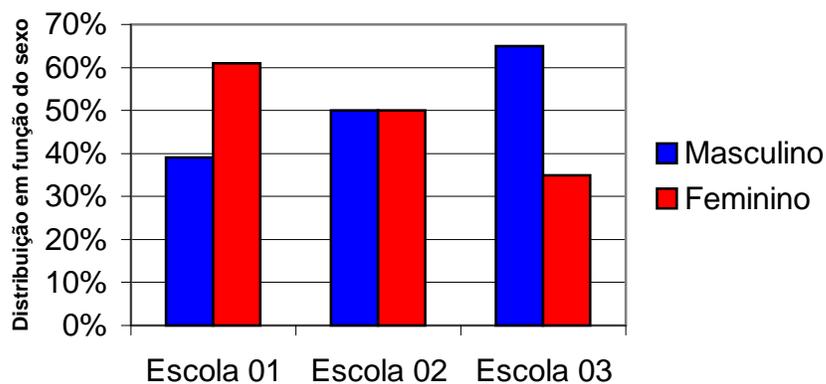


FIGURA 50: Distribuição entre meninos e meninas dos ambientes analisados

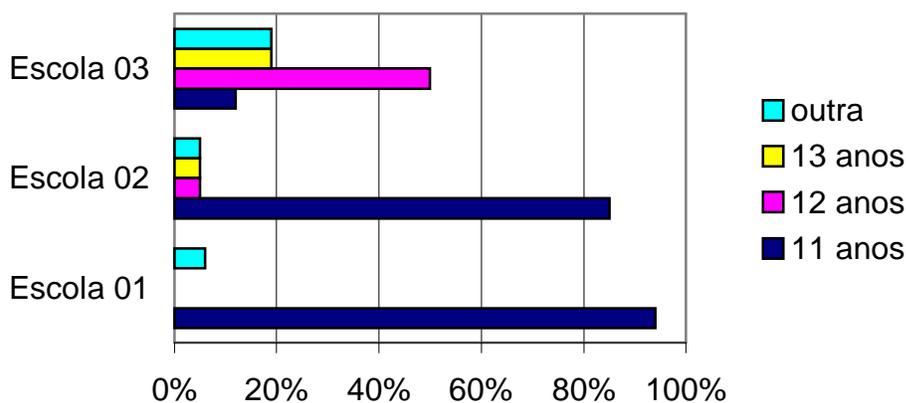


FIGURA 51: Distribuição da idade dos entrevistados

Resultados obtidos no período da tarde às 14h

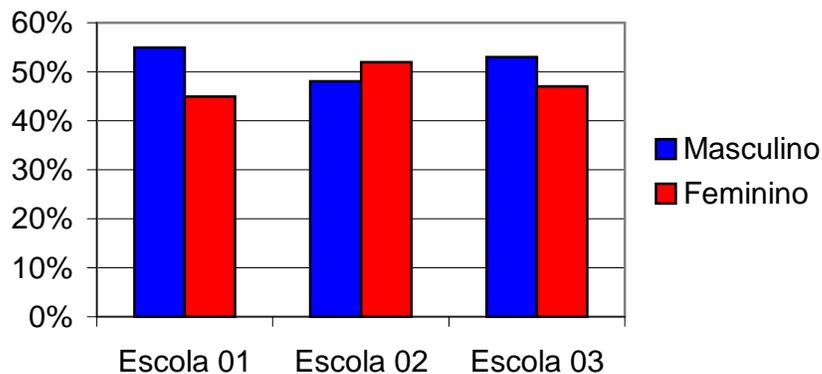


FIGURA 52: Distribuição entre meninos e meninas dos ambientes analisados

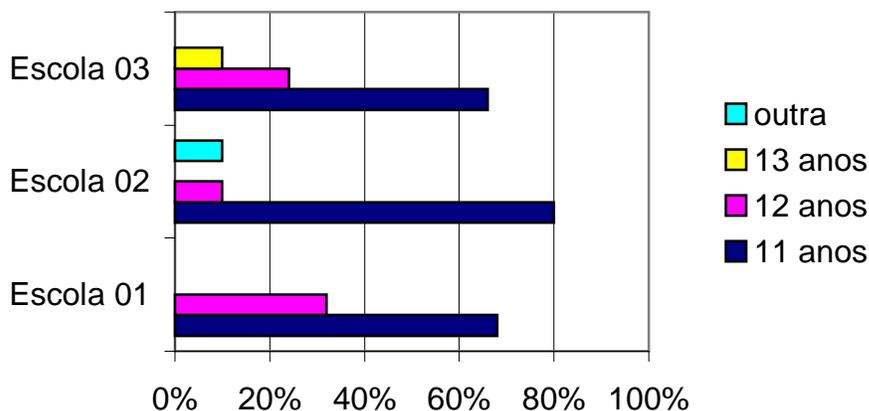


FIGURA 53: Distribuição da idade dos entrevistados

As figuras 54, 55, 57 e 58 representam os resultados de como as pessoas estavam se sentindo no momento da aplicação do questionário (figura 54 – manhã e figura 57 – tarde); de como gostariam de estar se sentindo (figura 55 – manhã e figura 58 – tarde) e de como estavam vestidos durante a aplicação dos questionários (figura 56 – manhã e 59 – tarde).

Através do tratamento dos dados obtidos no questionário, observa-se na figura 54, do período da manhã que os usuários da Escola 01 são os que apresentam a maior parcela dos que estão com muito frio, seguido pela Escola 03 e por último a Escola 02. Verificando os que estão com frio, a Escola 02 apresenta a maior parcela, seguida pela Escola 03 e depois pela Escola 01. Nas outras duas respostas avaliadas, pouquinho de frio e bem, nem com frio e nem com calor, verifica-se a maior parcela da Escola 02, seguida pela Escola 03 e Escola 01.

Observando a questão de como os usuários gostariam de estar se sentindo no momento (figura 55), verifica-se que as Escolas 01 e 03 apresentam praticamente os mesmos resultados, sendo que os maiores valores aparecem na alternativa bem mais quente, com quase metade dos usuários optando por esta alternativa. Já a Escola 02 apresenta uma maior parcela dos usuários que gostariam de estar mais quente, seguido por um pouquinho mais quente, depois por assim mesmo, nem mais quente ou frio e, por último, bem mais quente.

Relacionando estas respostas com a temperatura medida na hora da aplicação do questionário, verifica-se que a Escola 02 apresenta a temperatura mais alta, ou seja, 17,5 °C, enquanto a Escola 01 e 03 assinala 12,5 °C. No geral, verifica-se que a Escola 02 apresenta maior número de horas

de desconforto e o maior grau médio em relação às outras Escolas; por apresentar uma menor área de aberturas, o controle e o armazenamento do calor produzido no interior da edificação pode ser um dos fatores que justifique essa temperatura. Isso pode ser comprovado, comparando os gráficos que mostram o número de horas de desconforto no período integral da medição (manhã, tarde, noite) com o período que considera somente o período de duração das aulas (manhã e tarde).

Ao analisarmos os resultados obtidos no período da tarde (figura 57), verifica-se um resultado mais parecido entre as três escolas. Entretanto, a Escola 02 continua sendo a Escola que apresenta a maior porcentagem dos usuários que no momento da aplicação do questionário, estavam se sentindo bem, nem com calor nem com frio. Ao relacionarmos com a outra questão (figura 58), praticamente temos os mesmos usuários que gostariam de estar assim mesmo, nem mais quente ou frio.

Examinando a resistência térmica das vestimentas nas três escolas, verifica-se que, nos períodos avaliados, os valores obtidos são muito próximos. No período da manhã, verifica-se através da figura 56, que o valor fica entre 1,1 a 1,15 clo e, no período da tarde, através da figura 59, entre 0,84 a 0,86 clo. Nesse caso, a diferença se dá pelo aumento da temperatura ao longo do dia.

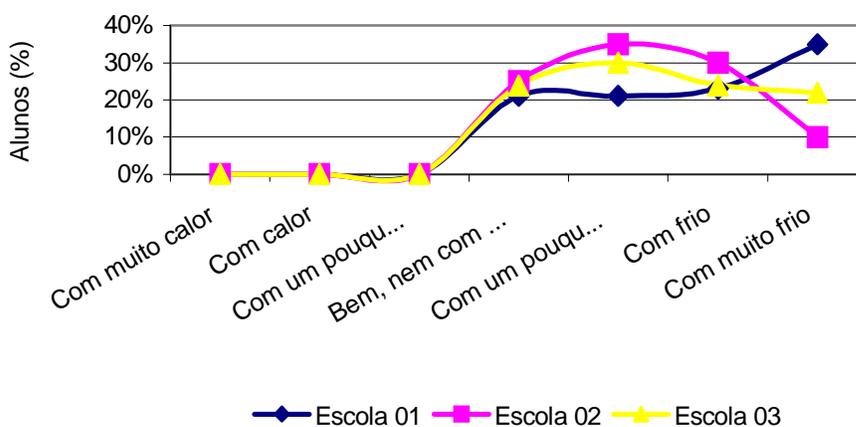


FIGURA 54: Distribuição referente a questão de como as pessoas estavam se sentindo no momento da aplicação do questionário – período de 03/09/2002 às 9h.

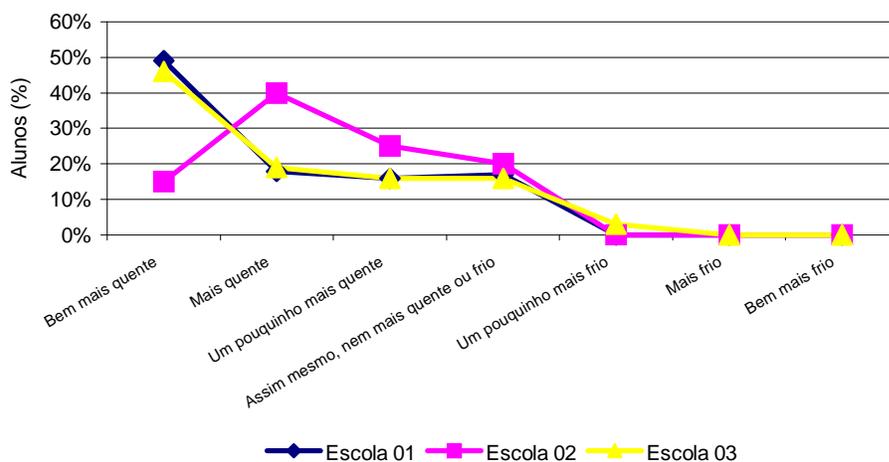


FIGURA 55: Distribuição referente a questão de como as pessoas gostariam de estar se sentindo no momento da aplicação do questionário – período de 03/09/2002 às 9h .

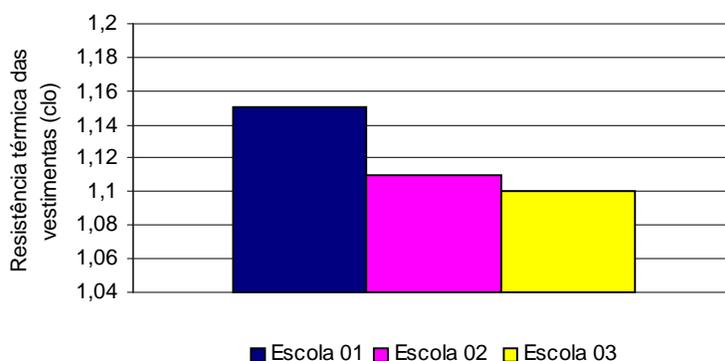


FIGURA 56: Distribuição da resistência térmica das vestimentas – Unidade de medida: clo

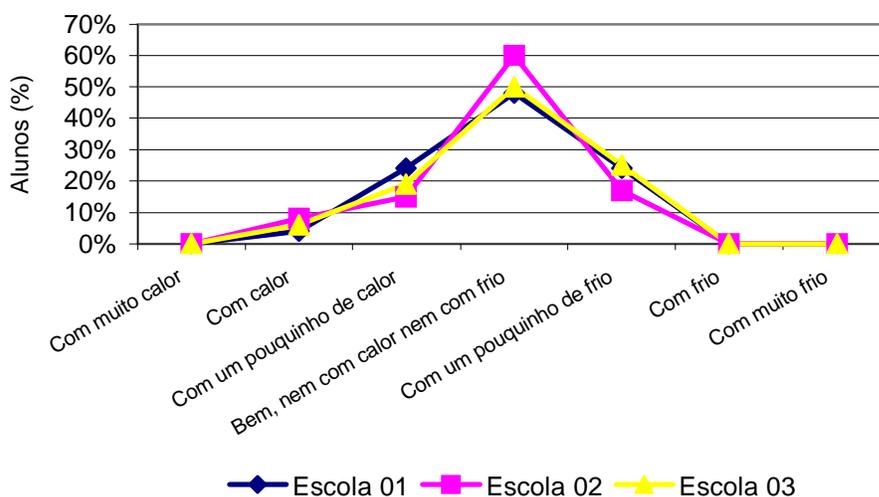


FIGURA 57: Distribuição referente a questão de como as pessoas estavam se sentindo no momento da aplicação do questionário – período de 03/09/2002 às 14h.

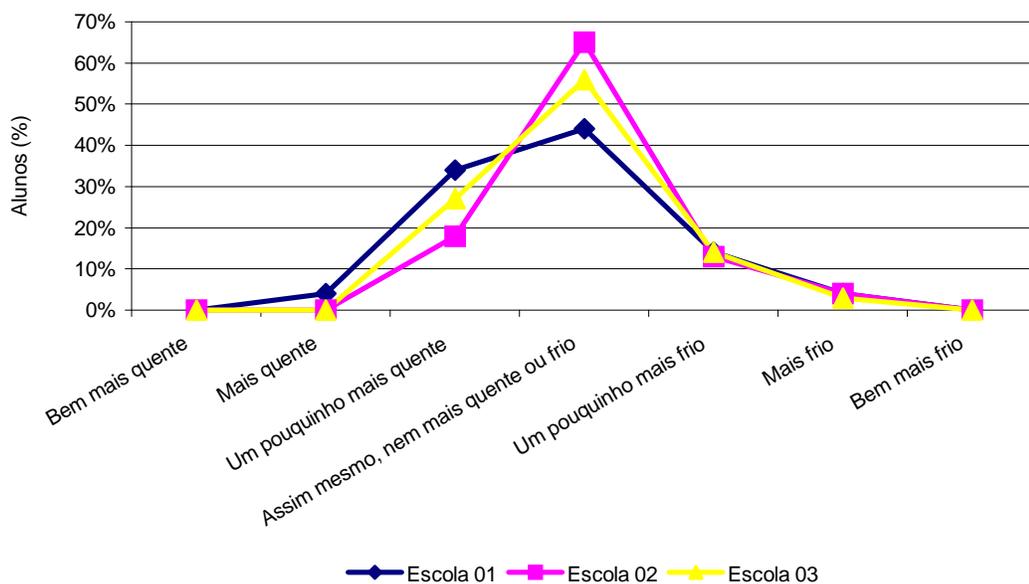


FIGURA 58: Distribuição referente a questão de como as pessoas gostariam de estar se sentindo no momento da aplicação do questionário – período de 03/09/2002 às 14h

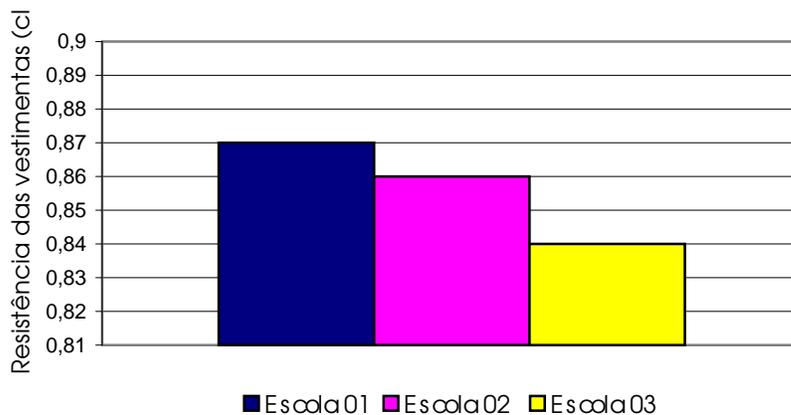


FIGURA 59: Distribuição da resistência térmica das vestimentas – Unidade de medida: clo

5. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo a avaliação do desempenho térmico de salas de aula de Escolas da rede estadual de ensino. As medições de temperatura e umidade relativa foram monitoradas durante três meses, em três edificações localizadas em locais distintos e edificadas com sistemas construtivos diferentes.

Nesta pesquisa, não foram levantadas as diversas variáveis que influenciam na temperatura interna, sendo que o desempenho térmico foi caracterizado em função da temperatura e umidade relativa. As edificações foram monitoradas nos meses de junho a setembro de 2002. Nesse período, caracterizado como inverno, a distribuição de TBS mostrou-se atípica, apresentando valores acima da média mensal dos últimos anos.

As medições resumiram-se na coleta de TBS interna nas três escolas e externamente na Estação Climatológica. Os dados horários de TBS e umidade relativa foram plotados em base horária; calcularam-se as amplitudes térmicas, o atraso térmico. Outros métodos foram utilizados para analisar os dados: o método do IPT, o programa Analysis, o somatório de graus-hora.

Assim, através do Método do IPT verificou-se, com a primeira análise (24 horas), que a Escola 02 apresenta os maiores índices de classificação “C” (temperatura do ar interior $<12^{\circ}\text{C}$), caracterizando uma classificação de desconforto.

Aplicando este mesmo método, considerando somente o horário de funcionamento (das 7h às 18h), ocorre uma inversão em relação ao índice de classificação “A” (temperatura do ar interior $\geq 17^{\circ}\text{C}$). Agora a Escola 02 é a que registra o maior índice, próximo a 60%, seguida pela Escola 03 e por último a Escola 01. Como se pode verificar, as Escolas 01 e 03 praticamente mantêm o seu comportamento durante as 24 horas e durante o horário de funcionamento, enquanto a Escola 02 inverte os seus valores de classificação entre os níveis “A” e “C”, em decorrência de sua orientação das aberturas para a face norte.

Através do método de somatórios graus-horas, percebe-se que, quando considerado o período de 24 horas, temos que a Escola 02 soma o maior número de horas de desconforto, seguido pela

Escola 01 e por último a Escola 03. A Escola 01 e 03 apresentam valores muito próximos, enquanto na Escola 02 acentua-se o grau médio, em função da temperatura superior nos três meses; entretanto, no mês de agosto os valores ficam mais próximos entre as Escolas.

Quando se considera somente o período de funcionamento, verifica-se que somente no mês de junho a Escola 02 apresenta o maior número de horas de desconforto em relação às outras Escolas. Entretanto, quando analisamos o grau médio em função da temperatura, nota-se que a Escola 02 continua sendo a que apresenta os maiores valores em relação às outras Escolas e também em relação à Estação Climatológica.

Na análise de temperaturas nas bases abaixo de 19° C, o grau médio externo é sempre maior que o interno. O ambiente que apresenta o pior desempenho térmico no período frio foi a sala da Escola 02, pois apresenta o grau médio superior aos outros ambientes.

O importante deste método consiste nisto: se utilizássemos somente o conceito de horas abaixo de uma temperatura base para avaliar, não obteríamos um resultado mais confiável. A aplicação do grau médio mostra na média quanto as temperaturas estariam abaixo da temperatura base; assim, para uma avaliação é recomendável utilizar estes dois conceitos.

Os dados de temperatura e umidade foram plotados para que sua leitura pudesse ser realizada pelo programa Analysis. Dessa forma, os dados foram plotados na carta psicromática. A partir dos relatórios do Analysis, as porcentagens de horas em frio, conforto e calor foram comparadas.

Analisando-se os resultados obtidos, utilizando-se das tabelas e gráficos apresentados, nota-se que no inverno, em relação à troca de paredes externas e cobertura, o conjunto que apresentou o melhor desempenho térmico, considerando o período de 24 horas, foi a Escola 03, que apresenta fechamento da cobertura em argamassa armada, obtendo o maior grau de conforto e menor grau de desconforto por frio em relação as demais Escolas avaliadas.

Pelo monitoramento realizado no período de inverno, de 05 de junho a 05 de setembro de 2002, das Escolas monitoradas, a que apresentou o melhor desempenho térmico foi a Escola 03, com fechamento das paredes e cobertura em argamassa armada e orientação da fachada para Norte. A Escola 02, com fechamento das paredes em tijolo cerâmico 06 furos, da cobertura com forro em

madeira e telha fibrocimento e orientação da fachada para o Norte, apresentou o pior desempenho térmico dentre as Escolas monitoradas.

O tipo de cobertura, junto com outros fatores, tais como a orientação das fachadas, a área de aberturas protegidas com sombreamento adequado, o local onde está inserido, a ocupação, dentre outros, influi nos resultados do monitoramento das salas. Essas diferenças podem ter sido influenciadas não só pelo tipo de cobertura, mas também devido ao fator da orientação das fachadas serem diferentes.

No inverno, as transmitâncias das coberturas influem nos graus de conforto nas fachadas ensolaradas. Isso se deve ao efeito conjugado da orientação solar e das características termofísicas dos materiais. Para o inverno este efeito apresenta um menor grau de desconforto por frio, entretanto no verão pode proporcionar um maior grau de desconforto por calor.

É de grande importância que os profissionais ligados a projetos tenham o domínio básico e conceitos relativos ao desempenho térmico das edificações, onde o conhecimento das propriedades físicas dos materiais especificados em seus projetos, o uso de isolamento térmico, a proteção solar, os tipos de coberturas utilizadas, dentre outros aspectos, podem evitar ganhos ou perdas térmicas desnecessárias.

Obtendo os resultados dos métodos, com a troca de materiais de paredes e coberturas, e selecionando aqueles de melhor desempenho térmico, o profissional ligado à área de projetos de arquitetura poderá optar, nas especificações dos projetos de edificações destinadas a salas de aula, os materiais que se destacam como aqueles de melhor desempenho térmico.

O conhecimento dos parâmetros climáticos e de conforto, associados às características termofísicas dos materiais, permite uma análise apurada que, ocorrendo durante o processo de criação do projeto de uma edificação, pode intervir de maneira tal que o arquiteto possa optar por soluções, cujo desempenho térmico final seja o mais adequado para determinada região, clima local e às características e necessidades das pessoas.

Prever no projeto elementos que resultem em características térmicas convenientes não significa necessariamente um aumento no custo da construção. Ao contrário, isso possibilita uma

diminuição do custo de utilização e manutenção, além de contribuir para um maior conforto térmico de seus usuários.

Na elaboração de um projeto, deve-se ter em mente: a importância da orientação solar; o dimensionamento adequado de aberturas para ventilação e iluminação; a localização; a escolha correta dos materiais de construção, levando-se em conta que, para cada região ou lugar específico, tem-se determinado tipo de clima.

Por fim, a pesquisa demonstra que o sistema construtivo está associado ao projeto arquitetônico e aos condicionantes que o norteiam, sendo que só um condicionante não proporciona o bom desempenho da edificação, seja em relação ao conforto térmico como no desempenho térmico.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos posteriores:

1. Avaliar detalhadamente a influência do microclima no desempenho térmico das edificações.
2. Relações ideais de aberturas/fechamentos em função da orientação, área de uso por volume da edificação, em função das características climáticas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUTSU, Maria; VITORINO, Fulvio. **Proposta de procedimentos para o tratamento de dados climáticos.** In Anais do I Encontro Nacional sobre Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Térmico em Edificações. Florianópolis, 1991.

AKUTSU, Maria; VITORINO, Fulvio. **A tendência atual dos métodos de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações.** In Anais do IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Salvador, 1997.

AKUTSU, Maria; VITORINO, Fulvio. **Avaliação do conforto térmico e lumínico.** In Revista Técnica, maio/junho, 2000.

ALVES, Silvia Aparecida; INO, Akemi. **Análise comparativa entre um protótipo de madeira e outro de alvenaria, inseridos no clima de São Carlos - SP.** In Anais do VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. São Pedro, 2001.

AZEVEDO, Giselle Arteiro Nielsen. **Adequação e eficiência de sistemas construtivos na produção da arquitetura escolar do Rio de Janeiro.** In Anais do VII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, 1998.

BARBOSA, M. J.; LEMOS, P.N. **Avaliação comparativa de desempenho térmico entre cinco sistemas construtivos de habitação popular.** In Anais do V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza, 1999.

BERNARDI, Núbia; KOWALTOWSKI, Doris C. C.K. **Avaliação da interferência comportamental do usuário para a melhoria do conforto ambiental em espaços escolares: Estudo de caso em Campinas – SP.** In Anais do VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. São Pedro, 2001.

BOGO, Amílcar José; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Análise de desempenho térmico e verificação do potencial de uso de iluminação natural para edificações escolares.** In Anais do IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Salvador, 1997.

- CHAPANIS, Aphonse. **A engenharia e o relacionamento homem-máquina**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1972.
- CONESP. **Manual de diretrizes gerais para projetos de construções escolares**. São Paulo, 1977.
- COSTA, F.J.M.; OLIVEIRA, M.M.F. **Desempenho térmico: análise dos materiais de um ambiente**. In Anais do V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza, 1999.
- COZENZA, Carlos A. **Avaliação pós-ocupação**. Revista do IAB-RJ. Rio de Janeiro: n°80, 1997.
- KARYONO, Tri Harso. **Report on termal comfort and building energy studies in Jakarta – Indonesia**. In Building and Environment. Vol. 35 (2000).
- KIEFER, F. **Escolas: construindo o ensino**. São Paulo: Revista Projeto, Arco Editorial, n. 85, p.45, abr.1994.
- KRÜGER, Eduardo; ADRIAZOLA, Márcia K.O.; MICHALOSKI, Ariel O. **Desempenho térmico de salas de aula do Cefet – PR**. In Anais do VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. São Pedro, 2001.
- LABAKI, Lucila Chebel; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina Lotufo. **Avaliação do conforto térmico e luminoso e prédios escolares da rede publica, Campinas – SP**. In Anais do VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. São Pedro, 2001.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.R.O. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores,1997.
- LAMBERTS, Roberto, PAPST, Ana Lígia. **A biometereologia e o ambiente construído**. In Anais do III Congresso Brasileiro de Biometeorologia. Maringá, 2001.

- LAWRENCE, Jerry. **A escola básica para o ano 2000**. In Anais do 1º Encontro nacional sobre edificações e equipamentos escolares. São Paulo, 1994.
- LIMA, João Filgueiras / organizador: Giancarlo Latorraca. **Arquitetos brasileiros**. São Paulo: Instituto Lina Bo e P.M. Bardi, 1999a.
- LIMA, João Filgueiras. **Entrevista**. In Revista AU, Pini editora, mar/1999b.
- LIMA, Mayumi Watanabe de Souza. **A importância da qualidade do espaço na educação das crianças**. In Revista Criança 27, Gráficas Bloch, 1994.
- MIMBACAS, Alicia; LEITÃO, Eleanara Stein; REIS, Antonio; LAY, Maria C. **Avaliação de desempenho térmico, lumínico e acústico – EPA e PNE**. In Anais do VII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, 1998.
- ORNSTEIN, Sheila; BRUNA, Gilda; ROMÉRO, Marcelo. **Ambiente construído e comportamento: a avaliação pós-ocupação e qualidade ambiental**. São Paulo: Studio Nobel, 1995.
- ORNSTEIN, Sheila, ROMÉRO, Marcelo. **Avaliação pós-ocupação do ambiente construído**. São Paulo: Studio Nobel, 1992.
- PAPST, Ana Lúcia. **Uso de inércia térmica no clima subtropical: Estudo de caso em Florianópolis**. Florianópolis, 1999. Tese (Mestrado) – Universidade de Santa Catarina.
- PAPST, Ana Lúcia; LAMBERTS, Roberto. **Comparação do desempenho térmico de três ambientes residenciais naturalmente ventilados em Florianópolis, Sul do Brasil**. Foz do Iguaçu, 2002. In Anais do IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Foz do Iguaçu, 2002.
- PIETROBON, Cláudio Emanuel. **Conforto na edificação**. In: VII Semana da Engenharia. Maringá: UEM, 2000.

PIETROBON, Cláudio Emanuel; LAMBERTS, Roberto; PEREIRA, Fernando Ruttkay. **Base de dados de elementos meteorológicos para a bioclimatologia aplicada às edificações: o caso de Maringá – PR.** In Anais do III Congresso Brasileiro de Biometeorologia. Maringá, 2001.

RAJA, I.A. et al. **Termal comfort: use of controls em naturally ventilated building.** In Energy and Buildings. Vol. 33 (2000)

REGO, Andréa Queiroz. **Manual para elaboração de projetos de edifícios escolares na cidade do Rio de Janeiro: Pré-escolar, 1º grau /** Andréa Queiroz Rego, Marina Birro Ribeiro, Mauro Senna. Rio de Janeiro, 1996. Tese (Pós-graduação). Universidade do Rio de Janeiro.

RIBEIRO, S.C. **Mito e realidade dos indicadores educacionais.** In: Anais do encontro nacional sobre edificações e equipamentos escolares. 1. São Paulo, 1994.

SEGAWA, H. **Arquiteturas escolares.** São Paulo: Revista Projeto, Arco Editorial, 1987.

TEPERMAN, Sérgio. **Escolas para ontem.** In Anais do 1º Encontro nacional sobre edificações e equipamentos escolares. São Paulo, 1994.

WOLF, José. **Escolas.** In Revista AU, Pini editora, 1995.

_____. Unidade escolar de ensino de 1º grau. In Revista Projeto: Arco Editorial, 1993.

ANEXOS

Anexo A - QUESTIONÁRIO Análise de desempenho térmico de edificações escolares.

Prezado aluno:

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa científica, a respeito das condições de conforto térmico. O sucesso desta pesquisa depende da sinceridade que você responde os itens abaixo.

	Escola Municipal Nadir Maria Alegrete
	Escola Estadual Oberon Floriano Dittert
	Escola Estadual Juscelino Kubtshek

01) Sexo:

	Feminino
	Masculino

02) Idade:

	11 anos
	12 anos
	13 anos
	14 anos
	Outra

3) Como você está se sentindo nesse momento?

	Com muito calor
	Com calor
	Com um pouquinho de calor
	Bem, nem com calor nem com frio
	Com um pouquinho de frio
	Com frio
	Com muito frio

4) Como você gostaria de estar se sentindo nesse momento?

	Bem mais quente
	Mais quente
	Um pouquinho mais quente
	Assim mesmo, nem mais quente ou frio
	Um pouquinho mais frio
	Mais frio
	Bem mais frio

05) Vestimenta: assinale as peças que você está usando.

	<p>Bermuda</p> 		<p>Saia</p> 		<p>Ceroula</p> 
	<p>Calça fina</p> 		<p>Calça média</p> 		<p>Calça grossa</p> 
	<p>Camiseta</p> 		<p>Camisa</p> 		<p>Blusa fina</p> 
	<p>Blusa grossa</p> 		<p>Jaqueta</p> 		<p>Meia fina</p> 
	<p>Meia grossa</p> 		<p>Sapato</p> 		<p>Tênis</p> 

**Sua participação foi muito importante para esta pesquisa.
Muito obrigado.**

Anexo B – Dia típico para a realização do Método IPT – 02/09/2002:

02/09/2002 Horário	Temperatura (°C)		
	Escola 01	Escola 02	Escola 03
01:00	9,42	7,03	11,77
02:00	9,03	6,62	11,38
03:00	8,23	5,81	10,6
04:00	7,43	5,4	9,82
05:00	7,03	4,57	9,03
06:00	6,62	4,57	8,23
07:00	6,62	3,74	7,83
08:00	6,62	4,99	8,23
09:00	7,43	7,03	9,03
10:00	8,63	11,38	10,21
11:00	10,21	17,52	11,77
12:00	12,55	22,09	13,32
13:00	14,47	24,01	15,23
14:00	15,62	22,09	18,28
15:00	16,38	21,71	20,19
16:00	17,52	22,86	21,71
17:00	18,28	21,33	22,09
18:00	17,9	16,38	21,33
19:00	17,52	12,93	20,57
20:00	17,14	11,38	19,42
21:00	15,62	10,21	18,28
22:00	14,47	9,82	17,14
23:00	13,7	9,03	16
00:00	12,55	8,23	14,85

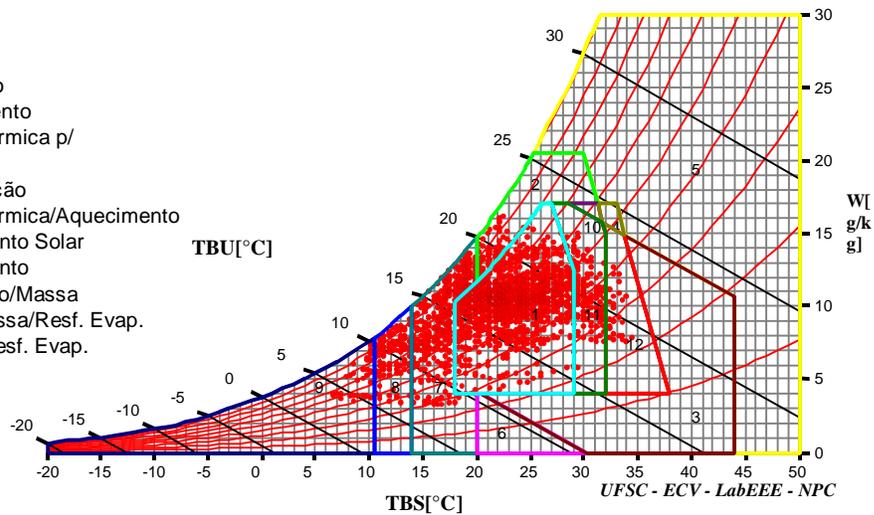
Anexo C - Relatórios do Analysis para:

- Período de 24 horas

Escola 01

ZONAS:

1. Conforto
2. Ventilacao
3. Resfriamento
4. Massa Térmica p/
5. Ar
6. Umidificação
7. Massa Térmica/Aquecimento
8. Aquecimento Solar
9. Aquecimento
10. Ventilação/Massa
11. Vent./Massa/Resf. Evap.
12. Massa/Resf. Evap.



GERAL

- » Conforto: 59.6%
- » Desconforto: 40.4%
- Frio: 27%
- Calor: 13.4%

Calor

- » Ventilação: 11.9%
- » Massa p/ Resfr.: 9.54%
- » Resfr. Evap.: 9.54%
- » Ar Condicionado: 0%

Frio

- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 20%
- » Aquecimento Solar Passivo: 5.42%
- » Aquecimento Artificial: 1.61%
- » Umidificação: 0%

POR ZONAS

- » Ventilação: 3.85%
- » Ventilação/Massa: 0%
- » Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo: 8.02%
- » Massa Térmica p/ Resfriamento: 0%
- » Massa/Resfriamento Evaporativo: 1.52%
- » Aquecimento Artificial: 1.61%
- » Conforto: 59.6%
- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 20%
- » Aquecimento Solar Passivo: 5.42%
- » Ar Condicionado: 0%
- » Resfriamento Evaporativo: 0%
- » Umidificação: 0%

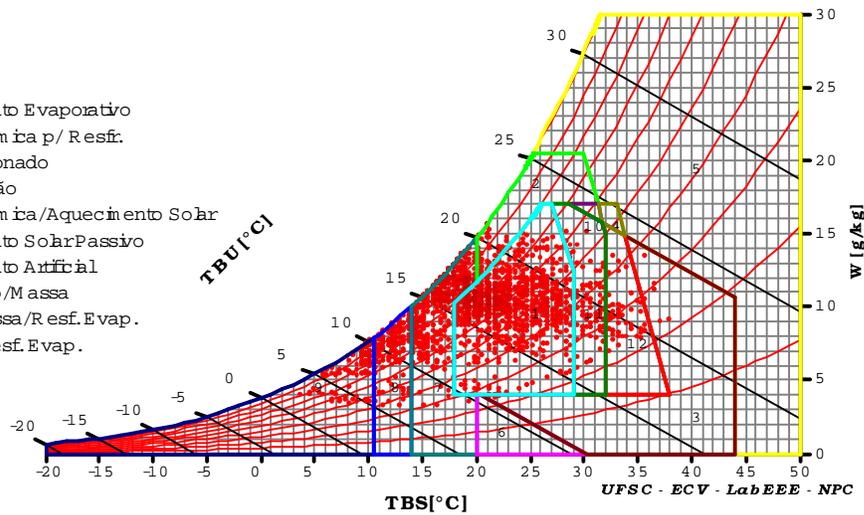
SOMBREAMENTO

- » Porcentagem: 65 %

Escola 02

ZONAS :

1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Massa Térmica p/ Resfr.
5. Ar Condicionado
6. Umidificação
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Massa
11. Vent./Massa/Resf. Evap.
12. Massa/Resf. Evap.



GERAL

- » Conforto: 49.5%
- » Desconforto: 50.5%
- Frio: 39.7%
- Calor: 10.8%

Calor

- » Ventilação: 7.75%
- » Massa p/ Resfr.: 7.57%
- » Resfr. Evap.: 7.97%
- » Ar Condicionado: 0%

Frio

- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 27.5%
- » Aquecimento Solar Passivo: 7.61%
- » Aquecimento Artificial: 4.52%
- » Umidificação: 0%

POR ZONAS

- » Ventilação: 2.82%
- » Ventilação/Massa: 0%
- » Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo: 4.93%
- » Massa Térmica p/ Resfriamento: 0%
- » Massa/Resfriamento Evaporativo: 2.64%
- » Aquecimento Artificial: 4.52%
- » Conforto: 49.5%
- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 27.5%
- » Aquecimento Solar Passivo: 7.61%
- » Ar Condicionado: 0%
- » Resfriamento Evaporativo: 0.403%
- » Umidificação: 0%

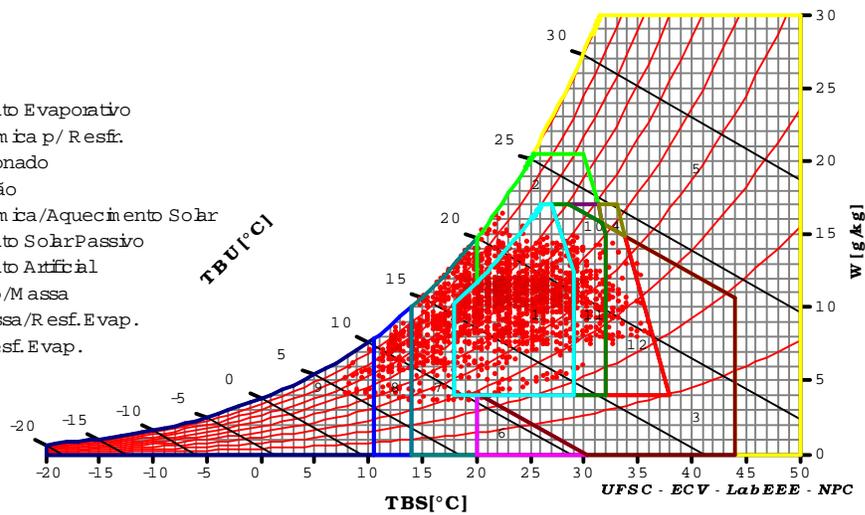
SOMBREAMENTO

- » Porcentagem: 52.5 %

Escola 03

ZONAS :

1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Massa Térmica p/ Resfr.
5. Ar Condicionado
6. Umidificação
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Massa
11. Vent./Massa/Resf. Evap.
12. Massa/Resf. Evap.



GERAL

- » Conforto: 58.8%
- » Desconforto: 41.2%
- Frio: 23.2%
- Calor: 18%

Calor

- » Ventilação: 14.7%
- » Massa p/ Resfr.: 13.4%
- » Resfr. Evap.: 13.6%
- » Ar Condicionado: 0%

Frio

- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 17.7%
- » Aquecimento Solar Passivo: 4.52%
- » Aquecimento Artificial: 0.94%
- » Umidificação: 0.0448%

POR ZONAS

- » Ventilação: 4.39%
- » Ventilação/Massa: 0%
- » Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo: 10.3%
- » Massa Térmica p/ Resfriamento: 0%
- » Massa/Resfriamento Evaporativo: 3.05%
- » Aquecimento Artificial: 0.94%
- » Conforto: 58.8%
- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 17.7%
- » Aquecimento Solar Passivo: 4.52%
- » Ar Condicionado: 0%
- » Resfriamento Evaporativo: 0.224%
- » Umidificação: 0.0448%

SOMBREAMENTO

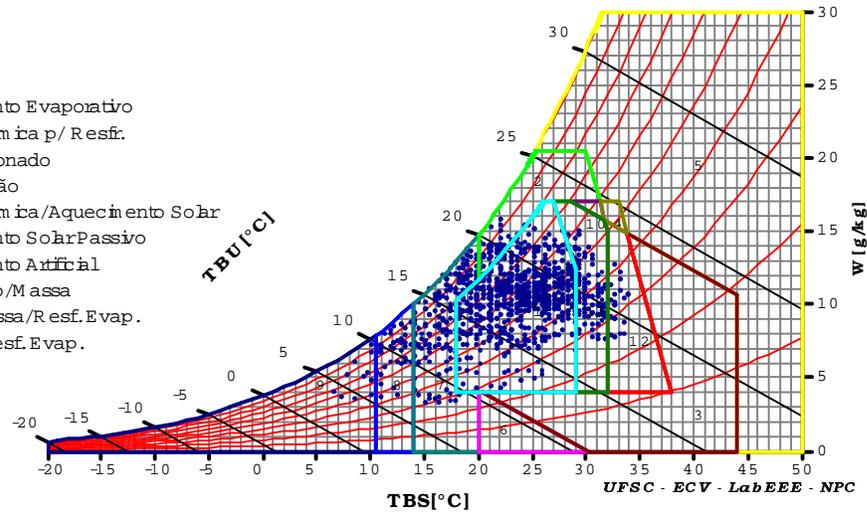
- » Porcentagem: 70.9 %

- Horário de aula

Escola 01

ZONAS :

1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Massa Térmica p/ Resfr.
5. Ar Condicionado
6. Umidificação
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Massa
11. Vent./Massa/Resf. Evap.
12. Massa/Resf. Evap.



GERAL

- » Conforto: 60.2%
- » Desconforto: 39.8%
- Frio: 22.1%
- Calor: 17.8%

Calor

- » Ventilação: 15.7%
- » Massa p/ Resfr.: 13.3%
- » Resfr. Evap.: 13.3%
- » Ar Condicionado: 0%

Frio

- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 17.3%
- » Aquecimento Solar Passivo: 3.66%
- » Aquecimento Artificial: 1.07%
- » Umidificação: 0%

POR ZONAS

- » Ventilação: 4.46%
- » Ventilação/Massa: 0%
- » Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo: 11.2%
- » Massa Térmica p/ Resfriamento: 0%
- » Massa/Resfriamento Evaporativo: 2.05%
- » Aquecimento Artificial: 1.07%
- » Conforto: 60.2%
- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 17.3%
- » Aquecimento Solar Passivo: 3.66%
- » Ar Condicionado: 0%
- » Resfriamento Evaporativo: 0%
- » Umidificação: 0%

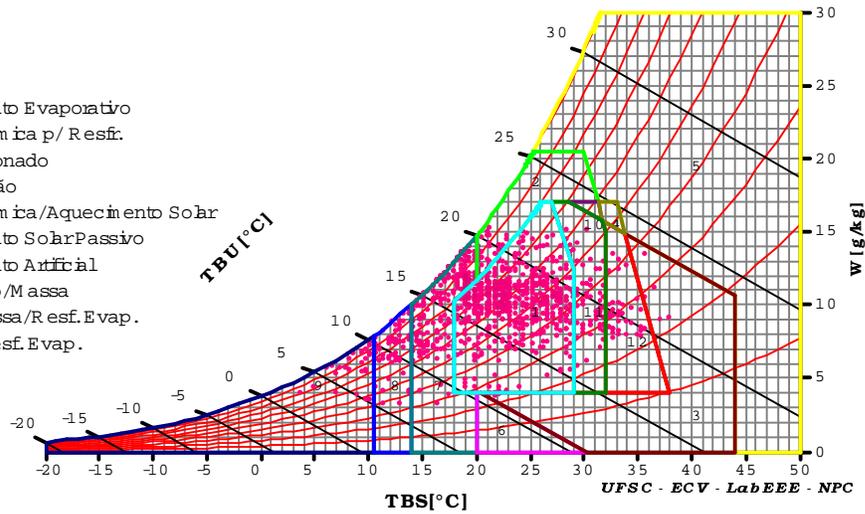
SOMBREAMENTO

- » Porcentagem: 71.7%

Escola 02

ZONAS :

1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Massa Térmica p/ Resfr.
5. Ar Condicionado
6. Umidificação
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Massa
11. Vent./Massa/Resf. Evap.
12. Massa/Resf. Evap.



GERAL

- » Conforto: 54.1%
- » Desconforto: 45.9%
- Frio: 30.9%
- Calor: 15%

Calor

- » Ventilação: 10.6%
- » Massa p/ Resfr.: 10.8%
- » Resfr. Evap.: 11.5%
- » Ar Condicionado: 0%

Frio

- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 22.6%
- » Aquecimento Solar Passivo: 5.8%
- » Aquecimento Artificial: 2.5%
- » Umidificação: 0%

POR ZONAS

- » Ventilação: 3.48%
- » Ventilação/Massa: 0%
- » Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo: 7.14%
- » Massa Térmica p/ Resfriamento: 0%
- » Massa/Resfriamento Evaporativo: 3.66%
- » Aquecimento Artificial: 2.5%
- » Conforto: 54.1%
- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 22.6%
- » Aquecimento Solar Passivo: 5.8%
- » Ar Condicionado: 0%
- » Resfriamento Evaporativo: 0.714%
- » Umidificação: 0%

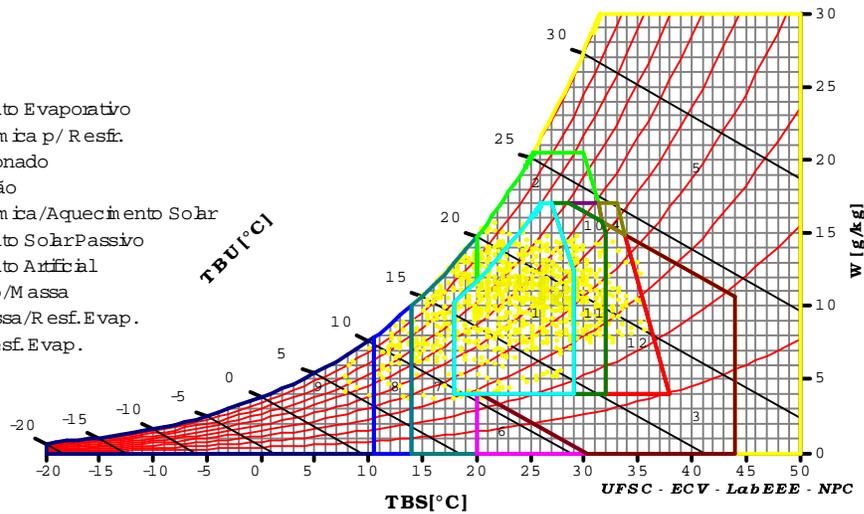
SOMBREAMENTO

- » Porcentagem: 62.4 %

Escola 03

ZONAS :

1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Massa Térmica p/ Resfr.
5. Ar Condicionado
6. Umidificação
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Massa
11. Vent./Massa/Resf. Evap.
12. Massa/Resf. Evap.



GERAL

- » Conforto: 55.6%
- » Desconforto: 44.4%
- Frio: 19.9%
- Calor: 24.5%

Calor

- » Ventilação: 19.8%
- » Massa p/ Resfr.: 18.7%
- » Resfr. Evap.: 19.1%
- » Ar Condicionado: 0%

Frio

- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 15.9%
- » Aquecimento Solar Passivo: 3.3%
- » Aquecimento Artificial: 0.714%
- » Umidificação: 0.0893%

POR ZONAS

- » Ventilação: 5.27%
- » Ventilação/Massa: 0%
- » Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo: 14.6%
- » Massa Térmica p/ Resfriamento: 0%
- » Massa/Resfriamento Evaporativo: 4.11%
- » Aquecimento Artificial: 0.714%
- » Conforto: 55.6%
- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 15.9%
- » Aquecimento Solar Passivo: 3.3%
- » Ar Condicionado: 0%
- » Resfriamento Evaporativo: 0.446%
- » Umidificação: 0.0893%

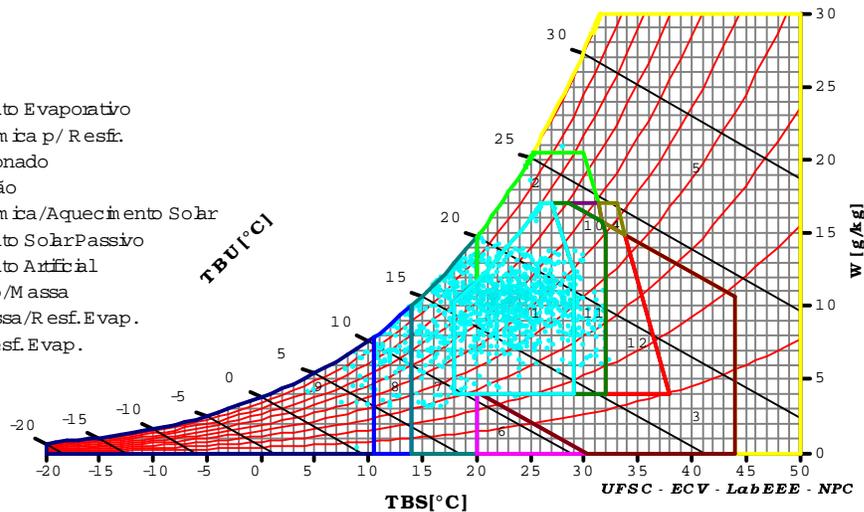
SOMBREAMENTO

- » Porcentagem: 75.9 %

Estação Climatológica

ZONAS :

1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Massa Térmica p/ Resfr.
5. Ar Condicionado
6. Umidificação
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Massa
11. Vent./Massa/Resf. Evap.
12. Massa/Resf. Evap.



GERAL

- » Conforto: 64.5%
- » Desconforto: 35.5%
- Frio: 27.1%
- Calor: 8.39%

Calor

- » Ventilação: 7.68%
- » Massa p/ Resfr.: 5.98%
- » Resfr. Evap.: 6.25%
- » Ar Condicionado: 0.0893%

Frio

- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 19%
- » Aquecimento Solar Passivo: 6.16%
- » Aquecimento Artificial: 1.96%
- » Umidificação: 0%

POR ZONAS

- » Ventilação: 2.05%
- » Ventilação/Massa: 0%
- » Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo: 5.62%
- » Massa Térmica p/ Resfriamento: 0%
- » Massa/Resfriamento Evaporativo: 0.357%
- » Aquecimento Artificial: 1.96%
- » Conforto: 64.5%
- » Massa Térmica/Aquecimento Solar: 19%
- » Aquecimento Solar Passivo: 6.16%
- » Ar Condicionado: 0.0893%
- » Resfriamento Evaporativo: 0.268%
- » Umidificação: 0%

SOMBREAMENTO

- » Porcentagem: 65.5 %