CONFORTO TÉRMICO NO COLÉGIO DE APLICAÇÃO PEDAGÓGICA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ:

proposta para melhoria
do desempenho térmico
de um antigo CAIC

Mariana Fortes Goulart

Orient.: Prof^ª. Dr^ª. Rosana Caram

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo

Mariana Fortes Goulart

Conforto térmico no Colégio de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual de Maringá: proposta para melhoria do desempenho térmico de um antigo CAIC

Dissertação apresentada ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – Campus São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração:
Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia

Orientadora:
Profª. Associada Rosana Maria Caram

Apoio:
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES

Versão corrigida.

São Carlos
2014

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

G694c Goulart, Mariana Fortes
Conforto térmico no Colégio de Aplicação Pedagógica
da Universidade Estadual de Maringá: proposta para
melhoria do desempenho térmico de um antigo CAIC /
Mariana Fortes Goulart; orientadora Rosana Maria Caram.
São Carlos, 2014.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Arquitetura e Urbanismo e Área de Concentração em
Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia -- Instituto de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo,
2014.

1. Conforto térmico. 2. Desempenho térmico. 3.
Edificação escolar. 4. Estratégias passivas de
conforto. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Arquiteta e Urbanista Mariana Fortes Goulart

Título da dissertação: *“Conforto térmico no Colégio de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual de Maringá: proposta para melhoria do desempenho térmico de um antigo CAIC”.*

Data da defesa: 07/04/2014.

Comissão Julgadora:

Profa. Assoc. **Rosana Maria Caram (orientadora)**
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo - USP)

Profa. Dra. **Lucila Chebel Labaki**
(Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP)

Profa. Dra. **Telma C. Pichioli de Carvalho**
(Centro Universitário de Araraquara-UNIARA)

Resultado:

aprovado

aprovado

aprovado

Presidente e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Urbanismo: Professor Associado **Márcio Minto Fabrício**

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais Benedito e
Yara, meus irmãos Pedro e João e ao
meu amado marido Leonardo.

Obrigada pelo amor incondicional!

AGRADECIMENTOS

“Gracias a la vida, que me ha dado tanto...”

Mercedes Sosa

Primeiramente a Deus, por ter me dado a vida e o privilégio de conhecer pessoas incríveis durante esta jornada de mestrado. São elas:

O arquiteto Lelé, sem nenhuma dúvida, um grande mestre. Obrigada não só por tornar o meu sonho de encontrá-lo possível, mas por todo trabalho de uma vida dedicada a projetar espaços em que o bem-estar do homem é a maior preocupação. Um grande exemplo!

Minha professora e orientadora Rosana Caram, ser humano excepcional. Tenho muito orgulho de poder ter tido essa experiência ao seu lado. Obrigada pelo incentivo sempre! Todos os professores do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, que me proporcionaram uma formação sólida como pesquisadora em arquitetura e urbanismo. Professoras Lucila Labaki e Kelen Dornelles, pelas colaborações preciosas na banca de qualificação. Obrigada pelo carinho com que foram feitas as correções.

Em especial, a amiga Marieli Lukiantchuki, ser humano de coração enorme, sempre disposta a ajudar. Sem o seu apoio não conseguiria concluir esta etapa, obrigada Mari!

Todo o pessoal que trabalha nos laboratórios, em especial, Obadias e Daniel do Lacaf da Unicamp, que gentilmente organizaram os trâmites do empréstimo de equipamentos; Pedro Mattia, do laboratório do IAU; professor Paulo Fernando, da UEM, suas conversas e colaborações foram importantíssimas.

Pessoal de Maringá que permaneceu em cada sala de aula durante os monitoramentos, vocês não tem ideia do quão importante vocês foram para que este trabalho se tornasse possível. Muito obrigada: Paulo Fernando, Rosana Bacicheti, Priscila Barbosa, Leonardo Barbosa, Geisa Pelissari, Reinaldo Soriani, João Neto, Letícia, Lucas, Leandro, Mário, Natália, meu irmão João Vitor e minha mãe Yara.

Diretores, funcionários, professores e alunos do Colégio de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual de Maringá, muito obrigada pela receptividade a mim dispensada. Este trabalho foi feito para vocês. Espero ter contribuído para a melhoria das condições de trabalho e aprendizagem na escola.

Minha família querida, obrigada por compreenderem que às vezes não era possível estar perto fisicamente, mas estão sempre no meu coração. Por fim, meu marido Leonardo, que sempre esteve ao meu lado me incentivando. Amo você!

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é
senão uma gota de água no mar, mas o mar seria
menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

GOULART, Mariana Fortes. **Conforto térmico no Colégio de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual de Maringá: proposta para melhoria do desempenho térmico de um antigo CAIC**. 2014. 144p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

O Colégio de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual de Maringá (CAP/UEM) fazia parte de um projeto de âmbito nacional criado na década de 1990, os Centros de Atenção Integral à Criança e ao Adolescente – CAIC's. O projeto inicial é de autoria do arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé, reconhecido pela preocupação com o conforto ambiental dos usuários em suas obras. Em geral, sabe-se que os alunos têm uma melhor qualidade no aprendizado quando os espaços estão bem ventilados, iluminados e silenciosos. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar o conforto térmico no edifício do CAP/UEM verificando o desempenho das estratégias passivas para proporcionar conforto térmico, a sensação térmica dos usuários e aferindo o desempenho de uma estratégia, sugerida pelo arquiteto Lelé em entrevista a autora, para melhoria do comportamento térmico da cobertura. A metodologia proposta consiste, inicialmente, em um levantamento de dados que se destaca pela entrevista com o arquiteto. Após, foi feita uma análise projetual para a identificação e caracterização das soluções passivas de conforto e a verificação do funcionamento destas no âmbito de projeto. Para verificar a eficiência destas estratégias foi aplicado o método dos Votos Médios Preditos (PMV), que envolve medições das variáveis ambientais concomitantemente com aplicação de questionários aos alunos no período de verão. Além disso, ainda foi avaliado o desempenho térmico da cobertura, através de medições de temperaturas superficiais internas e externas comparadas entre três salas de aula: uma inalterada, outra lavada e a terceira, lavada e pintada de branco, sugestão do arquiteto Lelé para melhorar o desempenho térmico do edifício. Os resultados indicaram que a cobertura do prédio ocasiona grande ganho térmico e insatisfação dos usuários praticamente o tempo todo, prejudicando as condições de conforto no interior do edifício. Esse alto grau de desconforto pode ser explicado pela falta de manutenção e a pouca inércia térmica do sistema, principalmente da cobertura. A pintura do telhado de branco se mostrou eficiente para diminuir o calor que entra pela cobertura, ressaltando a importância da temperatura radiante para promoção das condições de conforto térmico nas salas de aula.

Palavras-chaves: Conforto térmico. Desempenho térmico. Edificação escolar. Estratégias passivas de conforto.

ABSTRACT

GOULART, Mariana Fortes. **Thermal Comfort in the Pedagogical College of the State University of Maringá: proposal for improving the thermal performance of an old CAIC.** 2014. 144p. Master thesis - Institute of Architecture and Urbanism, University of São Paulo, São Carlos, 2014.

The Pedagogical College of the State University of Maringá (CAP/UEM) was part of a nationwide project created in the 1990s, the Centres for the Integral Care to Children and Adolescents - CAIC's. The initial design was conceived by the architect João Filgueiras Lima (a.k.a. Lelé), acknowledged for his concern for the environmental comfort of users in his work. In general, it is known that the students have a better quality of learning when the spaces are well chilled, lighted and quiet. Therefore, this study aims to evaluate the thermal comfort in the building of the CAP/UEM checking the performance of passive strategies of thermal comfort, thermal sensation of users and verifying the performance of a strategy, suggested by the architect Lelé in an interview for the author, to improve the thermal performance of the roof. The proposed methodology consists, initially, in a collection of the datas that stands out from the interview with the architect. Afterwards, it was made an analysis projectual in order to identify passive solutions to obtain thermal comfort, at the same time, to verify the work system of this project. To check the efficiency of these strategies it was applied the Predicted Mean Vote Method (PMV), that involve measurements of environmental variables concurrently with questionnaires applied to students during the summer time. Further there, it was analyzed the thermal performance of the roof, through indoor and outdoor superficial temperature measurements, compared between three classrooms: one untouchable, another washed and the third one washed and white painted, suggested by the architect Lelé to improve thermal comfort of the building. The results indicate that the roof of the building causes huge thermal gain and dissatisfaction of the users all the time, damaging the comfort conditions within the building. This high level of uncomfortable can be explained by the lack of maintenance and the low thermal inertia of the system, especially the roof. The white paint of the roof has shown efficient to reduce the heating coming throughout the roof, highlighting the importance of radiant temperature for promotion of thermal comfort conditions in classrooms.

Keywords: Thermal Comfort. Thermal performance. School Building. Passive strategies for comfort.

Lista de Figuras

Figura 1: Disbrave (A) e <i>sheds</i> da Disbrave (B).....	28
Figura 2: Hospital de Taguatinga.....	28
Figura 3: Corte e imagem da Secretaria do Centro Administrativo da Bahia.....	29
Figura 4: Escola transitória de madeira (1983)	29
Figura 5: Escola em Abadiânia e a utilização da mão de obra local	30
Figura 6: Corte das escolas transitórias (1982 a 1984)	31
Figura 7: Eventual distribuição de pequenas usinas no território de Goiás.....	31
Figura 8: Planta e maquete do CIAC	34
Figura 9: Vista geral e biblioteca do CIAC	34
Figura 10: Imagens do CIAC Professor Anísio Teixeira, Ceilândia, DF.....	35
Figura 11: PPD em função do PMV.....	36
Figura 12: Gráfico dos limites de conforto segundo a ASHRAE 55 (2010) para espaços condicionados naturalmente.....	37
Figura 13: Perspectiva do interior de uma sala. Direcionamento de reflexões especulares da luz pelo quadro de giz no olho do observador em determinadas posições da sala.....	39
Figura 14: Modelo de referência sem captador e modelo com captador.....	42
Figura 15: Síntese dos resultados das simulações para os captadores.....	43
Figura 16: Resultados por vetores – modelo com peitoril ventilado comum e estendido	43
Figura 17: Trocas de calor através de vedações opacas	44
Figura 18: Curvas espectrais de refletância das amostras analisadas e temperaturas superficiais das amostras expostas ao sol e temperatura do ar	45
Figura 19: Refletância espectral das amostras.....	46
Figura 20: Gráfico de temperaturas superficiais das amostras e temperatura do ar	47
Figura 21: Curva de refletância espectral da cor branca e terra, respectivamente.....	47
Figura 22: Curvas de refletância das tintas Branca e Concreto expostas ao tempo	48
Figura 23: CAP/UEM inserido na cidade.....	51
Figura 24: CAP/UEM em 1995 (A) e atualmente (B).....	52
Figura 25: Foto do auditório e de uma sala de aula padrão do CAP/UEM.....	52
Figura 26: Setorização da planta do CAP/UEM	53
Figura 27: “ <i>Datta Loggers</i> ” TESTO modelos 175-T2, 175-H1, 177-H1, 445, TESTO 405-v1.....	59
Figura 28: Pontos onde foram realizadas as medições (A); equipamento no ponto externo (B); equipamento na sala de aula (C)	60
Figura 29: Termômetro infravermelho e termo higrômetro.....	62
Figura 30: Planta do bloco 03, com indicação das salas monitoradas na Etapa 2.	63
Figura 31: Esquema da cobertura das escolas de Abadiânia - GO.....	68
Figura 32: Esquema geral das primeiras construções de argamassa armada proposta por Lelé	69
Figura 33: Detalhe da cobertura do CAP/UEM – ausência de ventilação do colchão de ar	70

Figura 34: Esquema da estrutura da cobertura (sem <i>sheds</i>) 01	70
Figura 35: Esquema da estrutura da cobertura (sem <i>sheds</i>) 02	70
Figura 36: Esquema do corte da cobertura (sem <i>sheds</i>)	71
Figura 37: Esquema da cobertura – placas de argamassa com colchão de ar	71
Figura 38: Esquema da cobertura – colchão de ar fechado e não ventilado.....	71
Figura 39: Gráfico de Givoni para dados médios mensais de Maringá de 2002-2011	74
Figura 40: Gráfico das estratégias bioclimáticas para Maringá de acordo com dados de 2002-2011	76
Figura 41: Imagem aérea do CAP/UEM	79
Figura 42: Implantação do conjunto no terreno	79
Figura 43: Talude próximo ao bloco 03	80
Figura 44: Sistema de paredes simples e duplas de argamassa armada	80
Figura 45: Corredor de paredes em argamassa armada (CIAC Professor Anísio Teixeira, Ceilândia, DF) e em bloco de concreto (CAP/UEM)	81
Figura 46: Detalhe do fechamento translúcido dos <i>sheds</i>	81
Figura 47: Esquema do bloco de concreto utilizado	82
Figura 48: Implantação com indicação da vegetação, <i>sheds</i> e pestanas	85
Figura 49: Foto da vegetação no pátio externo e no pátio central	86
Figura 50: Ginásio com canteiros externos no nível da ventilação e demais canteiros circundantes à escola	86
Figura 51: Esquema de ventilação natural – BLOCO 01	87
Figura 52: Esquema de ventilação natural – BLOCO 02	87
Figura 53: Esquema de ventilação natural – BLOCO 03	87
Figura 54: Esquema de ventilação natural – GINÁSIO	88
Figura 55: Esquema de ventilação natural – Orientação dos <i>sheds</i>	88
Figura 56: Sistema de abertura das janelas superiores	89
Figura 57: Distribuição lumínica e zona de eficiência para janelas laterais	89
Figura 58: Zona de eficiência da iluminação lateral	90
Figura 59: Relação do nível de distribuição lateral A mais uma zenital B.....	90
Figura 60: Detalhe dos <i>sheds</i> e da inclinação do vidro e foto interna de uma sala de aula.....	91
Figura 61: Detalhe das esquadrias e possibilidades de abertura e uso	91
Figura 62: Foto com detalhe das pestanas amarelas – proteção horizontal.....	92
Figura 63: Croqui com indicação das fachadas estudadas	93
Figura 64: Carta solar e o período de insolação das fachadas	94
Figura 65: Fachada nordeste do bloco 03: pestanas maiores para menores peitoris.....	95
Figura 66: Máscara de sombra da fachada nordeste com pestanas maiores – salas centrais, à direita e à esquerda da fachada	95
Figura 67: Fachada sudoeste do bloco 02: pestanas maiores para menores peitoris – refeitório	96
Figura 68: Máscara de sombra da fachada sudoeste com pestanas maiores – salas centrais, à direita e à esquerda da fachada	96

Figura 69: Fachada sudoeste do bloco 02: diferença de largura das pestanas	97
Figura 70: Fachada sudoeste do bloco 01: portas e pestanas do anfiteatro	97
Figura 71: Fachada nordeste com pestanas menores – biblioteca e salas de aula do bloco 02	98
Figura 72: Fachada sudoeste com pestanas menores–salas de artes do bloco 01 e salas de aula do bloco 02	98
Figura 73: Máscara de sombra para pestanas menores – fachada nordeste e sudoeste	98
Figura 74: Reforma com execução das janelas do bloco 03, imagem interna do bloco 03, janelas a noroeste do bloco 01	99
Figura 75: Estudo de insolação com altura solar no solstício de verão	99
Figura 76: Salas durante monitoramento	102
Figura 77: Gráfico da temperatura média do ar	103
Figura 78: Umidade relativa do ar média (%)	105
Figura 79: Velocidade do ar no dia 01	106
Figura 80: Velocidade do ar no dia 02	106
Figura 81: Velocidade do ar no dia 03	106
Figura 82: Velocidade média do ar	107
Figura 83: Gráfico da média do PMV da sala 01	108
Figura 84: Gráfico da média do PMV da sala 02	108
Figura 85: Gráfico da média do PMV da sala 03	108
Figura 86: Gráfico da média do PMV da sala 04	108
Figura 87: Gráfico da média do PMV da biblioteca	108
Figura 88: Gráfico da média do PMV de todos os ambientes nos três dias	108
Figura 89: Gráfico da porcentagem de insatisfeitos da sala 01	109
Figura 90: Gráfico da porcentagem de insatisfeitos da sala 02	109
Figura 91: Gráfico da porcentagem de insatisfeitos da sala 03	109
Figura 92: Gráfico da porcentagem de insatisfeitos da sala 04	109
Figura 93: Gráfico da porcentagem de insatisfeitos da biblioteca	109
Figura 94: Gráfico da média da porcentagem de insatisfeitos das salas de todos os dias	109
Figura 95: Gráfico da porcentagem da sensação e preferência térmica dos alunos da sala 01 (%)	111
Figura 96: Gráfico da porcentagem da sensação e preferência térmica dos alunos da sala 02 (%)	111
Figura 97: Gráfico da porcentagem da sensação e preferência térmica dos alunos da sala 03 (%)	111
Figura 98: Gráfico da porcentagem da sensação e preferência térmica dos alunos da sala 04 (%)	111
Figura 99: Gráfico da porcentagem da sensação e preferência térmica dos alunos da biblioteca (%)	112
Figura 100: Gráfico da porcentagem média da sensação térmica dos usuários – questionário (%)	112
Figura 101: Gráfico em porcentagem da média da preferência térmica dos usuários	113
Figura 102: Gráfico das temperaturas médias superficiais do teto e do piso medidas internamente.	114
Figura 103: Telhado pintado de branco (sala 3), somente lavado (sala 2), sem alteração (sala 1)	115
Figura 104: Interior da sala 3	116
Figura 105: Sombreamento do <i>shed</i> na cobertura	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Escala de sensação térmica de sete pontos.....	36
Quadro 2: Caracterização dos alunos participantes das entrevistas.....	61
Quadro 3: Esquema das medições referentes à etapa de Avaliação do Desempenho Térmico da Cobertura .	63
Quadro 4: Média dos principais atributos do clima de Maringá no período de 1982-2011	72
Quadro 5: Média dos principais atributos do clima de Maringá no período de 2002-2011	73
Quadro 6: Diferença dos principais atributos do clima dos últimos trinta anos em relação aos últimos dez anos.....	73
Quadro 7: Porcentagem das horas de cada mês que cada estratégia é necessária	75
Quadro 8: Estratégias bioclimáticas para Maringá de acordo com dados de 2002-2011	76
Quadro 9: Normais Climatológicas.....	77
Quadro 10: Diagnóstico tabela de Mahoney	77
Quadro 11: Indicadores de rigor climático	77
Quadro 12: Principais diferenças dos materiais utilizados	82
Quadro 13: Propriedades térmicas da parede de blocos de concreto 19x19x39cm	83
Quadro 14: Propriedades térmicas da cobertura com placas de argamassa armada	83
Quadro 15: Valores calculados para o CAP e os recomendados pela tabela de Mahoney	84
Quadro 16: Período de insolação nas fachadas (sem considerar as pestanas horizontais)	93
Quadro 17: Período de insolação das fachadas com pestanas de larg.: 1,80m e peitoril: 0,45m	94
Quadro 18: Período de insolação das fachadas com pestanas de larg.: 1,80m e peitoril 0,0m (portas)	96
Quadro 19: Período de insolação das fachadas com pestanas de larg.: 1,15m e peitoril: 0,85m	97
Quadro 20: Intervalo de conforto de acordo com a ASHRAE 55 para Maringá (2002-2011)	103
Quadro 21: Média geral da sensação térmica obtida através dos questionários (%)	112
Quadro 22: Média da preferência térmica dos usuários obtida através dos questionários	113
Quadro 23: Diferença de temperatura superficial teto – piso (°C)	115
Quadro 25: Dados das medições com a cobertura sem alteração (sala 1), lavada (sala 2) e pintada de branco (sala 3).....	116

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	JUSTIFICATIVA.....	21
1.2	OBJETIVOS	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	JOÃO FILGUEIRAS LIMA E O PROJETO DOS CAIC'S.....	27
2.2	AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO.....	35
2.3	DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES	38
2.4	POTENCIALIDADES DO USO DE TINTAS CLARAS PARA REDUÇÃO DO CALOR.....	44
3	OBJETO DE ESTUDO	51
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	57
4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS	57
4.2	ANÁLISE BIOCLIMÁTICA	58
4.3	ANÁLISE PROJETUAL.....	58
4.4	O MÉTODO PMV E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS.....	59
4.5	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA COBERTURA.....	61
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	67
5.1	LEVANTAMENTO DE DADOS	67
5.1.1	<i>Entrevista com Lelé</i>	<i>67</i>
5.2	ANÁLISE BIOCLIMÁTICA	72
5.2.1	<i>Análise de Givoni.....</i>	<i>74</i>
5.2.2	<i>Análise de Mahoney</i>	<i>76</i>
5.3	ANÁLISE PROJETUAL	78
5.3.1	<i>Localização e implantação.....</i>	<i>78</i>
5.3.2	<i>Propriedades térmicas dos materiais e componentes utilizados</i>	<i>80</i>
5.3.3	<i>Descrição e comportamento das estratégias passivas</i>	<i>84</i>
5.3.3.1	<i>Vegetação</i>	<i>85</i>
5.3.3.2	<i>Estudos de ventilação</i>	<i>86</i>
5.3.3.3	<i>Estudos de proteção solar.....</i>	<i>89</i>
5.3.4	<i>Discussão acerca da análise projetual</i>	<i>100</i>
5.4	O MÉTODO DO PMV E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS	101
5.4.1	<i>Temperatura do ar e umidade relativa.....</i>	<i>102</i>
5.4.2	<i>Velocidade do ar</i>	<i>105</i>
5.4.3	<i>Votos médios preditos</i>	<i>107</i>
5.4.4	<i>Aplicação de Questionários</i>	<i>109</i>
5.5	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA COBERTURA.....	113
5.5.1	<i>Etapa 1.....</i>	<i>114</i>
5.5.2	<i>Etapa 2.....</i>	<i>115</i>
5.5.3	<i>Discussão acerca das medições e do desempenho térmico da cobertura</i>	<i>119</i>
6	CONCLUSÃO	123
7	REFERÊNCIAS.....	127
8	ANEXOS.....	137

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

O Colégio de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual de Maringá (CAP/UEM), fundado em 1974, localiza-se no Campus da universidade e, inicialmente, funcionava em um dos blocos existentes do campus, sendo que, somente em 1995 foi concluída a obra do atual edifício do CAP, um projeto que fazia parte do programa nacional dos Centros de Atenção Integral à Criança e ao Adolescente – CAIC. O CAIC é um desdobramento do CIAC - Centros Integrados de Atendimento à Criança e ao Adolescente, programa criado em 1990 no governo de Fernando Collor de Melo, que tinha como principal característica a construção de cinco mil escolas de tempo integral as quais previam atendimento em creches, pré-escola e ensino de 1º grau; saúde e cuidados básicos; convivência comunitária e desportiva (FREITAS E GALTER, 2007).

Para atender tal demanda foi necessária a adoção de um sistema construtivo rápido e industrializado para execução das unidades. Assim, o arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé, foi convidado para participar do empreendimento devido ao seu grande conhecimento e experiência prática com sistemas racionalizados de argamassa armada (GUIMARÃES, 2003). Porém, devido às questões políticas, a participação da equipe de Lelé, nessa experiência, limitou-se à execução de dois protótipos e da elaboração dos projetos, posteriormente modificados, descaracterizando a concepção inicial do projeto (LATORRACA, 1999).

Mesmo com a necessidade de rapidez e baixo custo, o arquiteto Lelé lança mão de diversos dispositivos para proporcionar conforto aos usuários do edifício, porque se sabe que os alunos têm uma melhor qualidade no aprendizado quando os espaços estão bem ventilados, iluminados e silenciosos. Uma maneira simples de se obter o conforto térmico é utilizar estratégias passivas, ou seja, estratégias de projeto que não utilizam energia elétrica e proporcionam conforto aos usuários, colaborando para maior eficiência energética do edifício.

1.1 JUSTIFICATIVA

As escolas são vistas como um meio socializador, responsável pela difusão de conhecimentos e pela transmissão de valores de uma cultura entre gerações (MARTIN-BARÓ, 1992 apud ELALI, 2003). A interação entre arquitetos e educadores se faz essencial para atingir a plenitude dos projetos pedagógicos, uma vez que todo meio físico, de qualquer natureza, exerce um impacto direto e simbólico sobre seus ocupantes (ELALI, 2003). Motta Júnior (1895 apud BUFFA, 2008), médico de formação e político, quando era Secretário dos Negócios do Interior do Estado de São Paulo, proferiu uma frase taxativa

acerca da relação da pedagogia com o espaço construído: “sem bons prédios é impossível fazer boas escolas”, reiterando assim, a importância da arquitetura no processo educacional de aprendizagem.

Foi somente a partir de 1970, que se intensificaram os estudos da influência da arquitetura escolar no processo de aprendizagem por meio de pesquisas conjuntas realizadas por agentes de ensino e pelos construtores destes espaços. Diversos estudos apontam que quando os estudantes estão em desconforto, há um déficit do seu desempenho e atenção (SCHNEIDER, 2002 apud MUELLER 2007). Situações que causam desconforto aos usuários como temperaturas extremas, falta de ventilação adequada, umidade excessiva em locais com temperaturas altas podem ser prejudiciais e causar sonolência, alteração dos batimentos cardíacos e aumento da sudorese. Essas situações são muito prejudiciais para o aprendizado e podem provocar apatia e desinteresse pelos estudos (KOWALTOWSKI, 2011). Dessa maneira, para que se efetive o processo de aprendizagem o cérebro precisa receber, categorizar, armazenar e integrar as informações, sendo o espaço escolar o responsável por oferecer estas condições (LEUCZ, 2001 apud MUELLER 2007).

Segundo Mueller (2007), a aprendizagem é um processo dinâmico e complexo, que ocorre em qualquer tipo de ambiente. Pesquisas, entretanto, apontam que espaços escolares com alta qualidade ambiental refletem diretamente no desempenho dos estudantes. A qualidade do ar interno é essencial para a saúde dos estudantes; a iluminação natural é importante para a melhor absorção do aprendizado; a temperatura, a umidade e os níveis de ruído interferem na concentração e no desenvolvimento da criatividade.

A implantação da escola e orientação dos ambientes e janelas em relação à insolação e aos ventos são responsáveis pelo ganho de calor dos edifícios, bem como a quantidade, o tamanho e a localização de janelas, as propriedades dos materiais, a resistência térmica, a capacidade térmica e as cores das envoltórias, além da vegetação do entorno. Todavia, mesmo quando se adotam medidas que minimizem o ganho térmico, ainda há ganho interno proveniente das pessoas, equipamentos e iluminação. Para isso, existem estratégias passivas e ativas de resfriamento (MUELLER, 2007).

Dessa maneira, fica evidente que uma sala de aula bem iluminada e apropriadamente ventilada, com boas condições de conforto ambiental no seu interior, proporciona aos alunos um processo de aprendizagem mais rápido, já que estes se sentem mais confortáveis e se distraem menos.

A inquietação acerca desse tema surgiu quando a autora deste trabalho observava em suas idas para a UEM o edifício do CAP. Uma escola projetada pelo arquiteto João Filgueiras Lima, um profissional que desenvolveu ao longo de sua carreira e dos projetos que executa

um cuidado primoroso com o conforto dos ocupantes, colocando-os sempre em primeiro lugar quando se pensa em qualidade ambiental. Ainda que a escola não apresentasse um nível de manutenção adequado, realidade encontrada na maioria de edifícios públicos, é de se admirar a presença de elementos como brises, *sheds*, janelas pivotantes e uso abundante de vegetação no entorno. Quando se observa as escolas construídas mais recentemente, mesmo as de instituições particulares, não se vê o cuidado e a preocupação com os usuários que se vê nessa escola que foi construída na década de 1990.

Inicialmente a ideia deste trabalho era realizar uma avaliação do desempenho térmico dessa escola, porém, com as visitas à escola diagnosticou-se logo no início uma situação extremamente crítica quanto ao conforto térmico, sendo a satisfação dos alunos a maior preocupação deste trabalho. Depois que se identificaram os problemas de ganho térmico devido à cobertura, este trabalho se propôs a lançar diretrizes para solucionar tais questões, contribuindo assim, para o desenvolvimento de uma solução possível de mudança da cobertura ou intervenções. Tanto a diretoria da escola como o prefeito do campus se mostraram bastantes interessados em receber as soluções viáveis para colocar em prática as mudanças.

É nesse contexto que se justifica a avaliação de conforto térmico do edifício do CAP/UEM, tema desta pesquisa de mestrado, devido à relevância do arquiteto que projetou essa obra e a grande quantidade de edifícios com a mesma tipologia espalhados pelo país, o que denota o grande alcance que a pesquisa pode ter; e por acreditar que este trabalho pode levar efetivamente a alguma melhoria da qualidade das escolas e com isso, da educação do país.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o conforto térmico no edifício do CAP/UEM e aferir o desempenho de uma estratégia, sugerida pelo arquiteto Lelé em entrevista a autora, para melhoria do comportamento térmico da cobertura, na tentativa de melhorar a satisfação dos usuários. Como objetivos específicos, destaca-se:

- identificar as soluções projetuais relativas ao conforto térmico no edifício;
- verificar se houve descaracterização do projeto original quando implantado na cidade de Maringá – PR;
- verificar o desempenho das estratégias de conforto térmico aplicadas ao clima local;
- avaliar se as estratégias refletem na satisfação do usuário;

- avaliar se a solução sugerida pelo arquiteto Lelé para resolver o problema da cobertura, pintando-a externamente de branco, de fato, reflete em menores temperaturas internas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 JOÃO FILGUEIRAS LIMA E O PROJETO DOS CAIC'S

João Filgueiras Lima, conhecido como Lelé, nasceu no Rio de Janeiro, e lá se formou em Arquitetura na Escola Nacional de Belas Artes, em 1955. Trabalhou na construção de Brasília ao lado de Oscar Niemeyer, sendo indicado por ele para o cargo de secretário executivo do CEPLAN, Centro de Planejamento dos edifícios da Universidade de Brasília (UnB). O CEPLAN promovia a pesquisa e busca por novas tecnologias para utilizar nos prédios de Brasília, como a do pré-fabricado. Por isso, o arquiteto Lelé foi enviado à Europa e União Soviética para pesquisar mais sobre o assunto (PERÉN, 2006).

Lá aprimorou seus conhecimentos acerca da tecnologia do concreto pré-moldado e tornou este uso recorrente em suas obras, bem como alguns elementos europeus, como a cobertura com *sheds*, ventilação natural, jardins e outros. Lelé, porém, desenvolveu uma tecnologia própria adaptada ao Brasil, já que considera o clima fundamental tanto para a produção do concreto pré-fabricado como para a elaboração de seus projetos (PERÉN, 2006).

Na década de 70, ao assumir o cargo de coordenador técnico da Companhia de Renovação Urbana – RENURB, em Salvador, Lelé desenvolveu estudos com um material mais leve, a argamassa armada, buscando aperfeiçoar o transporte das peças e o trabalho nos canteiros de obra (LUKIENTCHUKI, 2010).

A partir daí, essa tecnologia será usada na Fábrica de Escolas e Equipamentos Urbanos no Rio de Janeiro, responsável pela construção dos CIEP's, entre outros projetos; na Fábrica de Equipamentos Comunitários – Faec – de Salvador, na fábrica dos CIAC's (projeto que deu origem aos CAIC's, em Brasília); e no Centro de Tecnologia da Rede de Hospitais Sarah – CTRS, em Salvador.

A arquitetura de Lelé é caracterizada pelos sistemas racionais e industrializados, com uso de pré-fabricados que aceleram a construção e minimizam os custos, permitindo a flexibilização e futuras ampliações dos espaços. Tais características podem ser vistas em residências, escolas, igrejas, equipamentos urbanos ou hospitais. A preocupação do arquiteto com o conforto ambiental é outra característica que merece destaque, tendo sido desenvolvidos diversos sistemas de iluminação e ventilação natural em suas obras. Além disso, Lelé busca ainda a humanização dos ambientes, utilizando poucos recursos artificiais de aclimação e, assim, consumindo menos energia elétrica. As coberturas com *sheds* que aproveitam a luz e ventilação natural são sua característica mais marcante e presente na grande maioria de suas obras (PERÉN, 2006).

Já em 1965, em uma das suas primeiras obras, Lelé utiliza coberturas com vigas-*shed* pré-fabricadas de concreto na Sede da Distribuidora Brasileira de Veículos – Disbrave/Volkswagen, em Brasília-DF (figura 1A). Segundo Latorraca (1999), as vigas *shed* que cobrem a oficina foram estudadas e orientadas de modo a não permitir a penetração direta do sol (figura 1B).

Figura 1: Disbrave (A) e *sheds* da Disbrave (B)

Fonte: www.disbrave.com.br e LATORRACA, 1999.

A partir daí as soluções projetuais foram sendo aperfeiçoadas. Ainda em Brasília-DF, em 1968, o arquiteto projetou o Hospital Distrital de Taguatinga (figura 2), no qual também recorreu ao uso de *sheds* com aberturas na cobertura, permitindo iluminação e ventilação zenital, além de brises para proteção da fachada.

Figura 2: Hospital de Taguatinga

Fonte: LATORRACA, 1999 e www.r7.com

Para os projetos das Secretarias do Centro Administrativo da Bahia, em 1973, a preocupação com o conforto térmico pode ser observada nos elementos de proteção das fachadas (brises móveis), que variam de acordo com a orientação delas; além do sistema de

circulação de ar, em que este entra pelas esquadrias móveis e sai pelos poços contidos entre os pilares centrais, através do efeito chaminé (figura 3).

Figura 3: Corte e imagem da Secretaria do Centro Administrativo da Bahia

Fonte: LATORRACA, 2009 e <http://institucional.educacao.ba.gov.br/>

Em uma cidade do interior de Goiás, chamada Abadiânia, em 1983, foi realizada a produção dos primeiros edifícios construídos com componentes em argamassa armada, as escolas rurais (figura 4), cujo protótipo foi executado em madeira totalmente desmontável. As escolas rurais foram batizadas de escolas transitórias porque, sendo desmontáveis, podiam acompanhar o ciclo de cultivo da terra, o maior fator de evasão escolar do município (RIBEIRO, 2004).

Figura 4: Escola transitória de madeira (1983)

Fonte: LIMA, 1984.

O material composto de argamassa de cimento e areia e malha de ferro é oriundo de pesquisas do francês Jean Louis Lambot, na construção de embarcações, e as de Pier Luigi Nervi, que difundiu o material com o nome de ferro-cimento. No Brasil, as experiências realizadas pela equipe de Lelé se iniciaram em Brasília e foram retomadas posteriormente em Salvador, com a colaboração do engenheiro Frederico Schiel, que introduziu essa tecnologia no Brasil através de suas pesquisas realizadas em argamassa armada na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (LATORRACA, 1999).

As características do material, como a leveza e a flexibilidade, facilitariam o transporte e o manuseio, implicando grande facilidade de se empregar essa tecnologia na pré-fabricação e industrialização, proporcionando economia, conforto ambiental e baixo custo na manutenção, requisitos necessários ao município de Abadiânia, escasso de recursos financeiros (TRIGO, 2009).

O modelo, agora proposto em argamassa armada (figura 5), foi concebido para ser construído pela própria comunidade, já que o emprego da mão-de-obra local, não especializada, foi uma condição de projeto. Lelé afirma, em um livro publicado em 1984 pelo MEC/CEDATE (Ministério de Educação e Cultura; e Centro de Desenvolvimento e apoio técnico à educação), que o modelo em argamassa armada, além de mais econômico, ainda oferecia melhor controle do conforto ambiental; maior resistência e durabilidade; baixíssimo custo de manutenção; menor incidência de produtos provenientes dos grandes centros industriais do país, com o conseguinte e desejável aumento de emprego de matéria-prima e mão de obra local ou de regiões circunvizinhas no próprio estado; utilização, em maior escala, de mão-de-obra não qualificada, o que facilita a indispensável participação comunitária em níveis local e municipal; rapidez de execução (o prazo total da experiência, incluindo fabricação e montagem, foi de 45 dias) (LIMA, 1984).

Figura 5: Escola em Abadiânia e a utilização da mão de obra local

Fonte: LIMA, 1984.

As diretrizes para implantação das escolas transitórias ditavam que o vigamento principal fosse orientado para Norte-Sul, para que também a fachada maior ficasse nessa orientação e os *sheds* ficassem voltados para o sul, garantindo ventilação cruzada permanente. A proteção contra insolação e chuva da fachada norte era resolvida com amplos beirais de dois metros, conforme figura 6.

Figura 6: Corte das escolas transitórias (1982 a 1984)

Fonte: LATORRACA, 1999.

Lelé afirma ainda que este modelo em argamassa armada poderia ser utilizado na construção de escolas urbanas, creches, postos de saúde e pequenos hospitais devido à sua adaptabilidade e extensibilidade dos espaços internos com recursos adicionais de iluminação e ventilação zenitais. Este projeto visava à busca de soluções construtivas visando à otimização dos recursos disponíveis, sejam eles humanos, técnicos ou materiais, isso em 1984.

O projeto era implantar cinco usinas de pré-fabricação no estado de Goiás, localizadas em pontos estratégicos, com raios de ação inferiores a 200 km (figura 7), para construir escolas no estado todo, em que o transporte seria facilitado pela leveza das peças com dimensões não superiores a 5 metros, e com peso total de 45 toneladas. Mas, a escola de Abadiânia limitou-se em uma experiência piloto devido aos entraves administrativos e políticos (LIMA, 1984).

Figura 7: Eventual distribuição de pequenas usinas no território de Goiás

Fonte: LIMA, 1984.

Quando Leonel Brizola elegeu-se governador do estado do Rio de Janeiro, em 1983, seu vice, Darcy Ribeiro, nomeado Secretário da Cultura, Ciência e Tecnologia e Coordenador do Programa Especial de Educação, interessou-se pelo modelo de escola produzido em Goiás. Darcy tinha o encargo de implantar quinhentos Centros Integrados de Educação Pública – CIEP's, grandes escolas de turno completo para mil crianças e adolescentes cujo projeto arquitetônico era de Oscar Niemeyer (BASTOS, 2009). O CIEP surgiu em um cenário de abertura democrática do país e tinha como pretensão revolucionar o ensino público no Rio de Janeiro, além de garantir educação a todos os cidadãos. Darcy, então, convidou Lelé para implantar no Rio uma Fábrica de Escolas e Equipamentos Urbanos que desse auxílio, produzindo creches e escolas que complementavam o Programa Especial de Educação (LIMA, 2004).

Em 1986, em Salvador, Lelé criou a Fábrica de Equipamentos Comunitários (FAEC) para desenvolver passarelas, creches e escolas com uso de argamassa armada e o ferro. Os programas das escolas foram ampliados, aumentando o número de componentes para sua construção. O aumento de um pavimento superior exigiu a produção de novas peças, como a viga que ganhou uma variação para piso e cobertura (TRIGO, 2009). Essa experiência durou três anos, mas foi muito rica e suas pesquisas serviram de base para as experiências futuras dos CIAC's e do CTRS. Também foi na FAEC que se introduziu a tecnologia do aço em conjunto com a argamassa armada.

A estrutura pedagógica e programática da experiência carioca dos CIEP's e a experiência construtiva da FAEC foram referências para a criação do programa dos Centros de Integração de Apoio à Criança e ao Adolescente – CIAC, criado em 1990, no governo do Presidente Fernando Collor de Melo. Esse projeto, de âmbito nacional, inicialmente se denominava “Projeto Minha Gente” e tinha como principal característica a construção de escolas de tempo integral que previssem o atendimento em creches, pré-escola e ensino de 1º e 2º graus, atendimento médico-odontológico, além de convivência comunitária e desportiva (FREITAS; GALTER, 2007).

Segundo Guimarães (2003), esse programa estava ligado a uma estratégia governamental que se apoiava na crença da escola redentora vista como a solução dos problemas sociais, buscando resgatar a dignidade e os direitos da criança e do adolescente através de melhorias das condições de saúde, ensino e qualidade de vida.

A meta era construir cinco mil unidades em quatro anos e atender cerca de seis milhões de crianças (FREITAS; GALTER, 2007). Para cumprir tal demanda, foi necessária a adoção de um sistema construtivo rápido e industrializado para execução das unidades. Assim, o arquiteto Lelé foi convidado para participar do empreendimento devido ao seu grande

conhecimento e experiência prática com sistemas racionalizados utilizando argamassa armada (GUIMARÃES, 2003).

Devido aos fatores como a escala do programa e o caráter emergencial, que levaram à elaboração de um complexo programa e grande variedade de implantação, foi criado um número muito maior de componentes que os utilizados anteriormente. Nas primeiras escolas em argamassa armada em Abadiânia foram utilizados menos de 20 tipos de componentes; mais tarde, na Fábrica de Escolas do Rio de Janeiro, foram utilizadas cerca de 50 peças; na FAEC, foram mais de 100 e nos CIAC's mais de 200.

As empresas de engenharia contratadas pelo governo, sem licitação pública, para gerenciar o empreendimento foram a Promon e, mais tarde, a Lix da Cunha. Para que a meta das cinco mil unidades fosse atingida, previu-se a construção de vinte e cinco fábricas de componentes pré-fabricados, em que cada uma seria responsável por atender a demanda de 250 municípios (GUIMARÃES, 2003).

De acordo com Lelé, em entrevista cedida à autora em 25/11/2011, o objetivo principal era construir escolas com um grau médio de conforto ambiental, mas que fossem extremamente baratas. Desse modo, o preço inicial por metro quadrado de construção seria de 200 dólares. Depois, a pedido da construtora, o arquiteto aceitou em fixar o preço em 240 dólares o metro quadrado. Porém, mais tarde, estavam fixando os valores em 500 dólares, e foi aí que Lelé se desligou do programa, pelo fato de não aceitar a corrupção advinda do superfaturamento das construtoras. Além disso, as alterações do projeto inicial, a falta de fiscalização das obras e o descaso das partes envolvidas colaboraram para seu desligamento.

Assim, a participação da equipe técnica de Lelé, nessa experiência, limitou-se a execução de dois protótipos e da elaboração dos projetos, posteriormente modificados, descaracterizando a concepção inicial do projeto, que apesar do descontentamento do arquiteto devido às questões políticas, mostrou-se capaz de adaptar-se a diversas condições de terreno e de clima e constituiu uma solução de construção rápida e eficiente (LATORRACA, 1999). Foi nessa época, em 1992, que o então presidente da República, Fernando Collor de Mello sofreu o processo de impugnação de mandato e o projeto foi abandonado.

Durante o governo do vice Itamar Franco, em 1993, o Ministério da Educação assumiu novamente o projeto, que passou a se chamar PRONAICA - Programa Nacional de Atenção Integral à Criança e ao Adolescente – sendo a principal diferença a busca por parcerias com os órgãos federais, estaduais, municipais, ONG's e organismos internacionais para o seu

desenvolvimento. Os CIAC's passaram, então, a ser denominados de CAIC's – Centro de Atenção Integral à Criança (FREITAS; GALTER, 2007).

Segundo Latorraca (1999), a elaboração completa dos projetos dos edifícios típicos, dos projetos de industrialização dos componentes e dos de implantação das fábricas foi feita em pouco mais de dois meses. Entre a aprovação do anteprojeto, em junho de 1991, e a inauguração do protótipo em Brasília em outubro do mesmo ano, decorreram somente cinco meses.

A planta do edifício é marcada pela setorização dos usos em cinco blocos distintos, de um ou dois pavimentos, com o primeiro bloco abrigando as oficinas, um segundo bloco destinado à creche, o terceiro contemplando o posto médico, o quarto bloco destinado à escola propriamente dita com salas de aula, biblioteca, cozinha/refeitório e serviços, e o quinto bloco o ginásio coberto para abrigar as atividades esportivas (figura 8).

Figura 8: Planta e maquete do CIAC

Fonte: LATORRACA, 1999.

Figura 9: Vista geral e biblioteca do CIAC

Fonte: LATORRACA, 1999.

A seguir algumas fotos do primeiro CIAC, Professor Anísio Teixeira, em Ceilândia-DF, cedidas gentilmente pelo fotógrafo de arquitetura Leonardo Finotti.

Figura 10: Imagens do CIAC Professor Anísio Teixeira, Ceilândia, DF

Fonte: © 2012 photo@leonardofinotti.com

2.2 AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

A sensação de conforto térmico está relacionada ao esforço realizado pelo organismo para manter o equilíbrio térmico. Situações de desconforto podem causar sonolência, alteração dos batimentos cardíacos, aumento da sudorese e, psicologicamente, causar apatia e desinteresse pelo trabalho. Segundo a norma americana ASHRAE¹ 55 (2010), conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico. A ISO² 7730 (2005) define conforto térmico como o estado de espírito que exprime satisfação com o ambiente térmico e considera que a insatisfação pode ocorrer em razão do aquecimento ou resfriamento do corpo como um todo ou de partes determinadas, o que recebe a designação de desconforto localizado.

O ser humano é um ser homeotérmico, ou seja, mantém sua temperatura por volta de $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. O corpo humano age como uma máquina térmica, consome combustível em forma de alimento, para gerar calor em equilíbrio com as perdas e ganhos de calor para o ambiente. Se o ambiente está muito quente ou o corpo produz muito calor devido à sua atividade física, a temperatura da pele aumenta, os vasos sanguíneos se dilatam e transportam calor para a superfície da pele, a fim de perder mais calor por radiação, convecção ou por evaporação, por meio do suor. A ventilação tem a função de retirar o ar saturado de umidade da pele e substituí-lo por ar menos saturado. Por isso, quando o ambiente está muito úmido, é mais difícil evaporar o suor. Já quando o ambiente está mais frio do que o corpo, o corpo começa a perder mais calor do que ganha, nesse caso os vasos sanguíneos se contraem diminuindo o fluxo de sangue e as perdas de calor por radiação e convecção. Para produzir mais calor, o corpo reage através de mecanismos automáticos como o arrepios, calafrios e o tricar (RUAS, 1999).

A Norma ISO 7730 (2005) – *Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD*

¹ ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Sociedade Americana dos Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar condicionado).

² ISO: International Organization for Standardization (Organização Internacional para Normatização).

indices and local thermal comfort criteria baseia-se na pesquisa desenvolvida por Fanger (1970) na Dinamarca. Essa norma tem como objetivo apresentar um método para diagnosticar a sensação térmica e a porcentagem estimada de pessoas insatisfeitas quando expostas a ambientes moderados, bem como especificar condições ambientais aceitáveis de conforto térmico. Aplica-se a homens e mulheres saudáveis.

Essa norma utiliza como método de avaliação os Votos Médios Preditos, ou, em inglês, *Predicted Mean Vote* (PMV). Quando os parâmetros ambientais são medidos e os pessoais são estimados a partir de tabelas, a sensação térmica pode ser estimada pelo cálculo do voto médio estimado. A norma também possibilita calcular ou obter graficamente (Figura 11) a porcentagem estimada de pessoas insatisfeitas com o ambiente (PPD), ou seja, pessoas que desejam que o ambiente esteja mais frio ou mais quente, bem como critérios de desconforto térmico localizado.

Figura 11: PPD em função do PMV

Fonte: ISO 7730 (2005).

Segundo a ISO 7730 (2005), o PMV é um índice que prevê o valor médio de um grupo grande de pessoas, segundo uma escala de sensações de sete pontos, baseada no balanço de calor do corpo humano com o ambiente (quadro 1). Ambientes termicamente aceitáveis são aqueles que satisfaçam a maioria de seus ocupantes. Quando pelo menos 90% dos usuários estão satisfeitos, ou seja, quando o PPD for no máximo 10%, e o PMV estiver entre -0,5 e 0,5, o ambiente é termicamente confortável.

Quadro 1: Escala de sensação térmica de sete pontos

-3	Muito frio
-2	Frio
-1	Levemente frio
0	Neutro
+1	Levemente quente
+2	Quente
+3	Muito quente

Fonte: ISO 7730 (2005).

A ISO 7730 (2005) recomenda que se utilize o índice PMV apenas para valores de PMV entre +2 e -2, e também, quando:

- M (taxa metabólica) = 46 W/m² a 232 W/m² (0,8 met a 4 met)
- I_{CL} (Isolamento da roupa) = 0m².°C/W a 0,310m².°C/W (0 clo a 2 clo)
- T_{ar} (temperatura do ar) = 10 a 30°C
- T_r (temperatura radiante média) = 10 a 40°C
- V_{ar} (velocidade relativa do ar) = 0 a 1 m/s
- P_a (pressão parcial do vapor d'água) = 0 a 2700 Pa

A ASHRAE 55 (2010) denominada “*Thermal environmental conditions for human occupancy*”³ é uma norma americana que estabelece condições térmicas do ambiente para ocupação em relação às combinações do ambiente interno e fatores pessoais que influenciam na aceitabilidade das condições de conforto térmico. A diferença desta norma para a ISO 7730 é que ela apresenta um método simples para determinar as condições térmicas aceitáveis em espaços condicionados naturalmente.

O critério para avaliação térmica adotado por esta norma fornece os intervalos das temperaturas operativas consideradas confortáveis, a certa porcentagem de ocupantes, de acordo com a temperatura externa, considerando a adaptabilidade do usuário ao clima local (Figura 12). A temperatura operativa é uma média da temperatura do ar e da temperatura média radiante.

Figura 12: Gráfico dos limites de conforto segundo a ASHRAE 55 (2010) para espaços condicionados naturalmente

Fonte: ASHRAE (2010).

³ Condições térmicas ambientais para ocupação humana.

A temperatura operativa ideal, ou de “neutralidade térmica” (T_n) da ASHRAE 55 (2010) é dada pela equação: $T_n = 17,8 + 0,31 \times T_{\text{Med}}$. Em que T_{Med} é a temperatura média mensal do ar exterior. A norma indica a possibilidade de substituição da temperatura operativa pela temperatura do ar quando há pouca diferença entre as temperaturas superficiais e a temperatura do ar. O intervalo de temperaturas confortáveis, para atender 80% das pessoas, é dado por $T_n \pm 3,5^\circ\text{C}$, já para satisfazer 90% dos usuários, este limite é dado por $T_n \pm 2,5^\circ\text{C}$.

2.3 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES

A preocupação com a obtenção de níveis adequados de conforto térmico nos edifícios, de maneira geral, objetiva a satisfação dos usuários, mas também a incorporação da eficiência energética à construção civil, a fim de minimizar os gastos de energia, reduzindo usos de iluminação e refrigeração artificiais. Dessa maneira, os edifícios adequados ao clima vêm ganhando cada vez mais destaque nas discussões e pesquisas relacionadas ao tema.

Em se tratando da tipologia específica dos CAIC's, objeto de estudo deste trabalho, encontram-se poucos trabalhos na literatura. Costa e Barbirato (2009) realizaram uma análise climática comparativa de três instituições que fizeram parte do programa localizadas na cidade de Maceió. A análise qualitativa mostrou aspectos desfavoráveis em relação à ventilação e iluminação natural, já que, mesmo com grandes aberturas, elas não são suficientes para garantir boa luminosidade e ventilação natural nos ambientes, sendo necessário uso de ventiladores o tempo todo. Costa e Barbirato (2009) destacam a falta de manutenção dos edifícios, o que causa ainda mais insatisfação: “O projeto arquitetônico prevê a impermeabilização anual das estruturas, limpeza de calhas, tratamento contra ferrugem nas esquadrias e revisões periódicas nas redes hidráulica e elétrica e isso nem sempre é realizado.” Por fim, concluem que as unidades poderiam ter melhor desempenho se orientadas corretamente e respeitando seu entorno próximo.

Freire (2001) estudou a iluminação natural nas escolas da FAEC⁴, em Salvador-BA, experiência de João Filgueiras Limas que antecedeu a dos CAIC's. A iluminação no plano de trabalho horizontal foi satisfatória nos casos de escolas com entorno desobstruído e orientadas de acordo com as diretrizes do projeto (Norte-Sul). Já na parede em que está o quadro de giz, o desempenho visual é desfavorecido devido à acentuada gradação de luz em sua extensão e também devido ao material de acabamento, que reflete parte da luz que entra pela janela de forma especular (Figura 13), causando ofuscamentos indesejáveis.

⁴ Fábrica de Equipamentos Comunitários – ver item 2.1.

Figura 13: Perspectiva do interior de uma sala. Direcionamento de reflexões especulares da luz pelo quadro de giz no olho do observador em determinadas posições da sala

Fonte: LIMA, 1984 e FREIRE, 2001, respectivamente.

Os *sheds* também não apresentaram desempenho luminoso tão eficiente quanto se pretendia na proposta arquitetônica, devido à dificuldade de promover iluminação zenital em localidades de baixa latitude, como Salvador. A proteção da radiação solar direta também dificulta a entrada de radiação difusa. Porém, quando o sol está incidindo no *shed*, ainda que não atinja a parte translúcida, houve aumento de 100% no centro da sala.

Em relação aos trabalhos que avaliam o conforto ambiental em edificações escolares, podem-se listar diversos estudos. Infelizmente, o panorama nacional apresenta resultados insatisfatórios em quase todos os casos, em diferentes localidades. Como pontos em comum, observou-se a queixa da falta de manutenção adequada, descontentamento dos usuários em relação ao conforto térmico, visual e acústico, além do uso de ventiladores o tempo todo, já que a maioria dos estudos são feitos em escolas públicas sem ar condicionado. O aspecto positivo é que há soluções possíveis de fácil implementação para tentar minimizar o problema, melhorando as condições internas das salas de aula e, consequentemente, o ensino brasileiro.

Para exemplificar o exposto acima, cita-se a pesquisa de Labaki e Bueno-Bartholomei (2001), que avalia quinze escolas públicas de Campinas-SP. Para avaliação do conforto térmico foi utilizado o método do Voto Médio Estimado (PMV) com aplicação de questionários e o conforto luminoso, medições do nível de iluminância. Nas medições de verão observaram-se situações confortáveis no primeiro horário da manhã, ligeiramente quente ao meio-dia e muito desconfortáveis à tarde. Detectou-se o desconforto devido à falta de forro, em telhado com telhas de amianto, elevando a temperatura radiante, além da sensação de desconforto localizado (radiação térmica elevada na cabeça das pessoas). Como solução, indicaram-se protetores solares externos (brises) ou internos (cortinas) ou melhoria da ventilação natural, esta última mais difícil de ser executada.

Kowaltowski *et al.* (1999) também avaliaram o conforto em escolas estaduais de Campinas através de observações, medidas de parâmetros ambientais térmicos, acústicos, luminosos e funcionais e avaliação de satisfação por questionários. Detectou-se falta de cuidados com um paisagismo adequado e uma manutenção periódica, implantações com orientações equivocadas, causando grande ganho térmico, inadequações acústicas nas salas de aula devido à superlotação e falta de tratamento acústico entre as salas, além da falta de espaços específicos para algumas atividades como bibliotecas, sala de professores e etc.

Paes e Bastos (2013) estudaram a qualidade ambiental nas escolas públicas da cidade do Rio de Janeiro com ênfase no conforto ambiental, devido à relação direta com a eficácia do processo educativo. Constatou-se que a cidade do Rio de Janeiro não representa uma exceção às condições preocupantes de qualidade ambiental das escolas brasileiras, onde se constata a padronização do projeto para essas escolas, repetindo modelos e problemas não solucionados.

Já Faria e Kaneko (2001), analisaram o comportamento térmico das salas de aula do campus da UNESP de Bauru-SP por meio de medições de temperatura e umidade dos ambientes durante período de maiores temperaturas. Utilizaram também o método de graus-hora de desconforto térmico, cujos valores foram posteriormente convertidos em energia necessária para restabelecer a situação de conforto térmico. Os resultados mostraram desconforto durante toda tarde, em todas as salas. Da análise dos dados da medição lançados em carta bioclimática, verificou-se ser possível melhorar as condições internas, aumentando a velocidade do ar no interior.

Em Blumenau-SC, Bogo e Voss (2001) avaliaram qualitativamente vinte escolas da rede pública por meio dos critérios: insolação (com uso do diagrama solar), adaptação da arquitetura ao clima (através das tabelas de Mahoney) e critérios de sustentabilidade, como: coberturas e paredes claras, uso efetivo de iluminação natural difusa, materiais de baixo conteúdo energético, ventilação natural, iluminação artificial eficiente, tratamento de solo para evitar erosão, características naturais do terreno e facilidade de acesso. Não se observaram os requisitos de conforto ambiental bem implantados nas escolas, denotando falta de preocupação quanto ao conforto térmico e luminoso, sendo o principal problema o excesso de insolação direta em quase todas as escolas.

Krüger, Adriazzola e Michaloski (2001) monitoraram salas de aula do CEFET-PR, em Curitiba e em Ponta Grossa, cidades com climas mais amenos. Os resultados indicaram que, no inverno, a menor transmitância das paredes implicou em maior desconforto por frio. No verão, por outro lado, o efeito da diminuição da transmitância e o aumento da inércia térmica das paredes implicou maior retenção de calor nas salas mais antigas.

Farias *et al.* (2009) estudaram conforto térmico em uma escola de Salvador-BA voltado para o ambiente de trabalho do professor, avaliando as condições de conforto térmico e estresse térmico. Foram realizadas medições *in loco* de temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido, temperatura de globo, velocidade do ar e Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo (IBUTG), para assim calcular os índices de conforto térmico. Os valores foram comparados com os limites de conforto das normas nacionais e internacionais. Os resultados mostraram, mais uma vez, situação crítica de extremo desconforto em sala de aula, com provável diagnóstico de ambiente insalubre, em períodos anuais mais quentes. Constatou-se que o desconforto se deve, nesse caso, ao muro limítrofe que impede o aproveitamento dos ventos dominantes. Com o uso de ventiladores para tentar amenizar o calor, o professor tem um desgaste maior para falar e ouvir.

Em Ouro Preto-MG, Fontanella e Souza (2009) avaliaram, através de questionários e medições *in loco*, o ambiente térmico de salas de aula da Universidade Federal de Ouro Preto. Neste caso, obteve-se uma porcentagem de aproximadamente 70% de satisfeitos com o ambiente térmico. Ainda em Minas Gerais, Cerqueira e Pereira (2013) analisaram o conforto térmico em um projeto-padrão do Estado através de simulação computacional em diversas cidades (em diferentes zonas bioclimáticas). As análises foram para orientação norte e em uma combinação de diferentes configurações de ventilação natural, assim como a presença e ausência de brises horizontais. Concluiu-se que o uso do projeto-padrão para o Estado de Minas Gerais é satisfatório, desde que haja um estudo adequado e individualizado do desempenho térmico na zona bioclimática a ser implantado.

Gonçalves, Sardeiro e Soares (2013) investigaram as condições de conforto térmico em três salas de aula da Universidade Estadual de Maringá-PR, através de medições *in loco* e questionários para obtenção de dados do PMV. Também foi feita simulação no *software Design Builder* para avaliar estratégias de condicionamento térmico passivo, comparando o modelo atual adicionado de brises horizontais e verticais, somente brises verticais e com modificação do vidro incolor de 3mm original para o vidro verde de 6mm. Do ponto de vista do conforto térmico, o modelo com brise horizontal e vertical apresentou melhor comportamento. Em relação às salas de aula analisadas, o entorno se mostrou capaz de influenciar o conforto nas salas, apresentando melhor resultado nas salas que continham árvores e outros edifícios ao redor, e a sala desobstruída apresentou maiores índices de desconforto.

Akutsu *et al.* (2013) verificaram o uso de inércia térmica como uma estratégia de adequação climática para escolas da região metropolitana da cidade de São Paulo. Foram realizadas medições da temperatura do ar do interior e exterior, bem como temperaturas superficiais internas e externas de paredes de duas salas de aulas, sendo uma com alvenaria de blocos

vazados de concreto com 19 cm de espessura, e outra em alvenaria com os mesmos elementos mas preenchidos com areia, de modo a aumentar a inércia térmica da parede. O preenchimento dos vazios do bloco com areia mostrou ser pouco significativo para a edificação analisada, a substituição do espaço de ar pela areia acarretou uma diminuição na sua resistência térmica ou o aumento da transmitância térmica.

Como foi possível observar, a maioria das pesquisas indicou como soluções de condicionamento térmico passivo para climas quentes, a proteção da insolação direta nas fachadas, através da inserção de brises ou cortinas, sendo que o brise externo é mais indicado, pois, quando dimensionado corretamente, elimina a entrada dos raios infravermelhos, responsáveis pelo ganho de calor nos ambientes. Outra estratégia importante é a promoção da ventilação natural cruzada, imprescindível para retirada de calor no interior das salas, sendo mais difícil de ser implantada, mas não impossível; os *sheds*, nesse caso, podem contribuir para que ocorra a ventilação desejada.

Um trabalho apresentado por Dias e Souza (2011) avaliou o desempenho térmico de sete diferentes tipologias de coberturas metálicas usadas em galpões estruturados em aço, variando sua geometria para as oito zonas bioclimáticas brasileiras, através de simulações no *software Energy plus*. Os resultados mostraram que as tipologias que permitem ventilação natural apresentam melhor desempenho, independente da condição climática, destacando-se a cobertura tipo *shed* transversal para condições de verão e lanternim duplo para condições de inverno.

Bittencourt, Cândido e Batista (2003) propuseram um dispositivo para adaptar às escolas de Maceió-AL que utilizam um modelo de planta caracterizada por um corredor central e salas em ambos os lados, que acontece na maioria das escolas devido ao melhor rendimento no terreno e redução dos custos da construção. Este dispositivo funciona ora como captador, ora como extrator dos ventos, localizados sobre o corredor central. Através das análises utilizando o *software* Phoenix 3.4, verificou-se que a introdução dos captadores apresentou melhora significativa, tanto na uniformização dos fluxos de ar nos espaços internos, como na intensidade desses fluxos (Figura 14).

Figura 14: Modelo de referência sem captador e modelo com captador

Fonte: BITTENCOURT, CÂNDIDO, BATISTA (2003).

O modelo tipo *shed* também foi testado em mesa d'água e se mostrou como eficiente estratégia passiva de ventilação para casas geminadas em Maceió-AL, em pesquisa conduzida por Torres, Adelino e Bittencourt (2013). Araujo e Pedrini (2013) avaliaram o potencial de captadores de vento no incremento da ventilação natural em Natal-RN, por meio do *software Design Builder*. Embora fossem encontradas algumas limitações na simulação, observou-se aumento das velocidades do ar no interior dos ambientes e diferenças nos padrões de fluxo de ar, indicando que os captadores funcionaram melhor como exaustores (Figura 15).

CASO	RESULTADO	OBSERVAÇÕES
CB		<ul style="list-style-type: none"> - Ventilação na região mais próxima à abertura - Parte posterior do ambiente sem circulação do ar
C01		<ul style="list-style-type: none"> - Distribuição do ar semelhante nos casos com captadores - Em geral, velocidades do ar similares, maiores que no CB, com pequenas variações entre os casos - O elemento não capta o ar na maioria dos casos. Funciona para exaustão considerando a geometria específica analisada. Provavelmente se o elemento tivesse altura maior, o ar entraria pela abertura - Formação de zonas turbulentas quando o captador está voltado para a ventilação predominante - Quanto maior a altura do captador, maior a zona turbulenta formada - Captadores locados para exaustão apresentam maiores velocidades e por consequência melhor desempenho - C02 ao C04 casos menos indicados para áreas adensadas, sendo a segunda variação dos casos (C02_2 ao C04_2) mais apropriada - Necessidade de maior ventilação na parte posterior do ambiente: utilizar a segunda variação dos casos (C01_2 ao C04_2) ou o C05 - O C05 apresenta a maior média de velocidade e não provoca a formação de zonas turbulentas após o captador
C02
C03
C04
C05

Figura 15: Síntese dos resultados das simulações para os captadores

Fonte: ARAÚJO e PEDRINI, 2013.

Outra estratégia que poderia ser incorporada nos projetos de edificações escolares para aumentar a ventilação natural nas salas de aula é o peitoril ventilado. Leal, Bittencourt e Cândido (2005) demonstraram com o auxílio do *software* Phoenix 3.4, a eficácia deste dispositivo para aumentar o fluxo de ar no interior das salas estudadas. Os resultados indicaram melhores condições de ventilação natural, principalmente no nível de trabalho dos estudantes sentados (0,80 m), para o modelo com peitoril ventilado estendido, que pode ser observado na Figura 16.

Figura 16: Resultados por vetores – modelo com peitoril ventilado comum e estendido

Fonte: LEAL, BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005.

2.4 POTENCIALIDADES DO USO DE TINTAS CLARAS PARA REDUÇÃO DO CALOR

O fluxo de calor que adentra um edifício por meio de suas envoltórias depende das temperaturas superficiais e das propriedades termo físicas dos elementos construtivos que as compõem. De toda energia radiante que incide em uma superfície opaca, uma parcela é refletida e outra absorvida, sendo a soma das duas parcelas o total da radiação. Quando uma superfície está exposta à radiação solar e há diferenças das temperaturas externa e interna, a troca de calor que acontece pode ser visualizado na Figura 17 (DORNELLES e RORIZ, 2007).

Figura 17: Trocas de calor através de vedações opacas

Fonte: DORNELLES e RORIZ, 2007.

Assim, a quantidade de energia absorvida determinará a quantidade de calor que adentrará no ambiente interno, refletindo diretamente nas temperaturas internas. Esta propriedade das superfícies chama-se absorptância solar (α) e é definida como: “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície plana pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” (ABNT, 2005). Dornelles e Roriz (2007) analisaram, através de ensaios laboratoriais com espectrofotômetro, diversas amostras de tintas de diferentes marcas. Observou-se que, mesmo tintas de cores aparentes iguais ou parecidas, apresentaram diferenças significativas nas absorptâncias totais, demonstrando que absorptância e refletância não dependem das cores “visíveis”, mas também de sua composição química. A análise deve ser feita em toda região do espectro, pois deve ser avaliada também a região do infravermelho próximo, que é a maior responsável pela absorção do calor. Além da influência da composição química, Dornelles (2009) observou o efeito da rugosidade superficial sobre a absorptância solar de amostras pintadas com diferentes cores de tintas. Os resultados indicaram que a rugosidade aumenta linearmente a absorptância das superfícies, concluindo que apenas a cor da tinta não é fator determinante da absorptância de uma superfície opaca. Os estudos de Santos *et al.* (2011) concordaram com o de Dornelles (2009), destacando que a variação da rugosidade das tintas com alta

capacidade de absorção (ex: preto e verde) não interfere significativamente sobre os resultados obtidos, ao contrário das tintas claras, como o branco, por exemplo.

Devido à grande necessidade de resfriamento das edificações, revestimentos frios (“cool materials”) têm sido apontados como alternativa para minimizar o problema do calor. Materiais frios, também chamados de refletivos ou seletivos, são aqueles que possuem altas refletâncias e altas emitâncias. A emitância é uma propriedade característica das superfícies, definida como a taxa de emissão de radiação por unidade de área (ABNT, 2005). “Maiores refletâncias reduzem os ganhos de calor solar do edifício, sem necessariamente alterar as perdas. Ao mesmo tempo, aumentar a emitância pode incrementar as trocas de calor por radiação em ondas longas” (GOMES, 1962 apud DORNELLES *et al.* 2011).

Dornelles *et al.* (2011) analisaram o comportamento térmico de tintas refletivas brancas com microesferas cerâmicas vendidas como isolantes térmicos para coberturas de edifícios. O estudo foi feito através de medições da refletância com o espectrofotômetro, medição das temperaturas superficiais e simulação computacional para estimativa do consumo de energia com refrigeração. A partir das curvas espectrais de refletância, observou-se que a tinta convencional apresentou refletância solar total superior às tintas refletivas e todas as amostras apresentaram alta refletância (Figura 18). Em relação à temperatura superficial, a presença das microesferas cerâmicas na composição das tintas não interferiu significativamente nas temperaturas superficiais das amostras, com redução destas como indicado pelos fabricantes. Por fim, os resultados das simulações computacionais comprovaram que tanto o uso das tintas brancas refletivas quanto as convencionais são eficientes na redução do desconforto térmico no interior de edificações localizadas em clima quente através da pintura da cobertura.

Figura 18: Curvas espectrais de refletância das amostras analisadas e temperaturas superficiais das amostras expostas ao sol e temperatura do ar

Fonte: DORNELLES *et al.*, 2011.

Pereira, Ghisi e Güths (2013) analisaram três revestimentos brancos indicados para uso externo: tinta branca comum, tinta branca especial (alta refletância no infravermelho) e

revestimento branco impermeabilizante para cobertura. Comparando os resultados medidos de refletância, emitância e temperatura superficial, verificaram-se resultados parecidos para as tintas brancas comuns e especiais nas faixas do ultravioleta e do visível, porém, as tintas brancas especiais possuem maior refletância no infravermelho próximo (Figura 19). A temperatura máxima superficial das amostras de tinta branco especial foi cerca de 8°C inferior à máxima das amostras de branco impermeabilizante, e aproximadamente 4°C inferior à máxima das amostras de branco comum.

Figura 19: Refletância espectral das amostras

Fonte: PEREIRA, GHISI E GÜTHS, 2013.

Dornelles, Caram e Schieri (2013) avaliaram tintas frias e convencionais de várias cores para pintura externa de paredes e coberturas através da caracterização de suas absorptâncias e emissividades, bem como o desempenho térmico a partir de medições de temperaturas superficiais. Os resultados indicaram que tintas frias com alta absorção no infravermelho-próximo, porém de cor e tonalidade iguais às tintas convencionais, resultam em tintas com menores absorptâncias solares. As temperaturas superficiais das amostras expostas ao sol evidenciaram que a absorptância solar das tintas afeta diretamente o desempenho térmico das superfícies pintadas, comprovando que quanto mais baixa é a absorptância solar da superfície, menor a temperatura do envelope construtivo. Esta pesquisa destacou a possibilidade de se utilizar cores com tonalidades mais escuras, porém refletivas, que apresentam melhor desempenho térmico quando comparadas com tintas convencionais da mesma cor (Figura 20).

Figura 20: Gráfico de temperaturas superficiais das amostras e temperatura do ar

Fonte: DORNELLES, CARAM e SCHIERI, 2013.

Como as tintas em fachadas e coberturas ficam expostas à intensa radiação solar, é preciso avaliar o comportamento desses revestimentos ao longo do tempo, a fim de investigar a perda da sua capacidade de refletância. Figueiredo *et al.* (2009) avaliaram, com um espectrofotômetro com esfera integradora, amostras pintadas em pastilhas com várias cores de tintas expostas às condições climáticas durante dois anos. Os resultados demonstraram que as cores consideradas como claras e médias tiveram seus valores de refletância diminuídos, podendo inferir que o acúmulo de sujeira depositada ao longo do tempo teve bastante influência na redução das refletâncias. Já as cores escuras tiveram suas refletâncias aumentadas, podendo considerar que o efeito do desbotamento, para essas cores, foi mais influente que o efeito do acúmulo de sujeiras, como pode ser visto na Figura 21.

Figura 21: Curva de refletância espectral da cor branca e terra, respectivamente

Fonte: FIGUEIREDO *et al.*, 2009.

Dornelles e Caram (2012) também determinaram as alterações da refletância de 20 amostras de tintas expostas ao tempo, após três e cinco meses de exposição. Depois disso, as amostras foram submetidas a um processo de limpeza para avaliar a capacidade de manutenção das propriedades refletivas das tintas. Os resultados indicaram que houve diminuição das refletâncias com o tempo, mas, com a limpeza, conseguiram recuperar a refletância solar próxima à inicial, para a maioria das amostras (Figura 22). Isso indica a necessidade de limpeza periódica ou repintura das coberturas, além da necessidade de desenvolvimento de tintas que mantenham as características refletivas ao longo do tempo, principalmente para as tintas brancas ou de tonalidades mais claras.

Figura 22: Curvas de refletância das tintas Branca e Concreto expostas ao tempo

Fonte: Dornelles e Caram, 2012.

OBJETO DE ESTUDO

3 OBJETO DE ESTUDO

O Colégio de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual de Maringá (CAP-UEM) oferece ensino fundamental e médio, localiza-se no Campus da universidade (Figura 23) e tem por mantenedor o Governo do Estado do Paraná. Foi fundado em 1974 para atender à comunidade e servir como laboratório de investigação, testagem, experimentação pedagógica, renovação e melhoria do ensino fundamental e médio, bem como campo de estágios para os cursos de licenciatura da universidade. Augusta Padilha, diretora do CAP de outubro de 2010 a maio de 2013, em entrevista ao “Informativo UEM”, ressalta que a escola busca instrumentalizar a comunidade escolar para o desempenho consciente da cidadania e prestar serviços à comunidade relacionados com a sua finalidade de ensino, pesquisa e extensão (INFORMATIVO UEM, 2011).

Figura 23: CAP/UEM inserido na cidade

Fonte: Prefeitura do campus universitário - PCU.

Criados em 1946 por legislação federal, os colégios de aplicação surgiram para que os alunos de licenciatura pudessem aplicar na realidade uma situação de ensino-aprendizagem dos conhecimentos adquiridos durante a graduação. Para Padilha, a eficiência de uma universidade se mede pela qualidade de profissionais que ela forma e a qualidade desses profissionais depende do treinamento que tiveram como alunos (INFORMATIVO UEM, 2011).

Inicialmente, o CAP funcionava em um dos blocos existentes do campus, sendo que, somente em 1995, durante o governo de Fernando Henrique Cardoso, foi concluída a obra do atual edifício do CAP (Figura 24), um projeto que fazia parte do programa dos CAIC's⁵.

⁵ Centro de Atenção Integral à Criança – Item 2.1.

Figura 24: CAP/UEM em 1995 (A) e atualmente (B)

Fonte: Secretaria do Estado da Educação do Paraná (A) e acervo da autora, 2010 (B).

Na Figura 26 se observa a implantação do conjunto, onde é possível perceber o bloco 01, térreo, originalmente concebido para alocar os consultórios médicos e odontológicos, salas de artes e atividades lúdicas, além da biblioteca, auditório (Figura 25a) e cantina. Nos antigos consultórios hoje há salas de reforço que acontecem em contra turno, as salas de artes servem às salas para a nova primeira série (do ciclo de nove anos) e à secretaria. A biblioteca e auditório se mantêm no local original. O bloco 02, único com dois pavimentos (térreo + 1), concentra no térreo o refeitório, a cozinha e área de serviço (DML e lavanderia), além da parte administrativa com as salas da direção, arquivos, sala de professores, banheiros, sala de informática, laboratório de ciências. No segundo pavimento ficam as salas de aulas para alunos do Ensino Fundamental (Figura 25b). O conjunto conta ainda com o ginásio para atividades esportivas, fortemente identificado pela sua volumetria triangular, tornando-se símbolo deste projeto; e o bloco 03, onde antigamente funcionava o bloco da pré-escola, hoje atende alunos do Ensino Médio de manhã e das séries iniciais do Ensino Fundamental no período da tarde.

Figura 25: Foto do auditório e de uma sala de aula padrão do CAP/UEM

Fonte: Acervo da autora, 2011.

Figura 26: Setorização da planta do CAP/UEM

Fonte: Prefeitura do Campus da UEM (PCU), modificado pela autora, 2014.

MATERIAIS E MÉTODOS

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia proposta consiste, inicialmente, em um levantamento de dados que contempla visitas *in loco* e levantamento fotográfico para identificação e registro no local dos aspectos projetuais, construtivos e climáticos do edifício estudado. Esta etapa também se destaca por uma entrevista realizada com o arquiteto Lelé para averiguar possíveis modificações do edifício existente em relação ao projeto original.

Posteriormente, foi realizada uma análise projetual, por meio da leitura do projeto e de literatura especializada que possibilitassem a identificação e caracterização das soluções passivas de conforto. Durante esta fase foi realizada uma caracterização climática da cidade de Maringá, análise da localização e implantação do projeto, análise das propriedades térmicas dos materiais utilizados e, por fim, descrição e análise do uso de estratégias passivas no projeto.

Para avaliar o conforto no edifício, foi aplicado o método do PMV (descrito no item 2.2), proposto pela ISO 7730 (2005), que consiste em medições das variáveis ambientais *in loco* e estimativa das variáveis pessoais para estimar o voto médio predito dos alunos e a porcentagem de insatisfeitos. Concomitantemente com as medições, foram aplicados questionários que aferiam sensação e preferência térmica dos alunos durante o período de verão. Para análise da temperatura do ar foi utilizada a faixa de conforto térmico aceitável proposta pela ASHRAE 55 (2010) para edifícios ventilados naturalmente.

Para avaliar o desempenho térmico da cobertura, primeiramente, foram feitas medições da temperatura superficial da laje e do piso (medidas internamente), e, posteriormente, foram feitas medições das temperaturas superficiais externa e interna da laje de cobertura em três salas de aulas: uma no estado atual, sem modificações, outra com a cobertura apenas lavada e outra com a cobertura pintada de branco, esta última, solução sugerida pelo arquiteto Lelé para resolver o problema da cobertura.

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento de dados é um processo contínuo de leituras e pesquisas em busca de dados e informações que contribuam ao trabalho e possibilitem análise das situações propostas no edifício. O projeto arquitetônico do CAP/UEM foi conseguido junto à Prefeitura do campus da Universidade Estadual de Maringá (PCU) com o arquiteto responsável, Marco Goes. Esse projeto, originalmente desenhado em papel vegetal, mas disponibilizado em formato de AutoCad (.DWG), não apresentava dados no carimbo que pudessem contribuir à pesquisa, por exemplo, não havia informações da equipe que executou e/ou implantou o edifício no lote especificamente. Assim, não se pode assumir que o prédio construído na

UEM seja de autoria do arquiteto Lelé. Era preciso comparar os riscos iniciais do arquiteto, da época do CIAC, com o projeto implantado em Maringá. Como o projeto foi polêmico, pois envolveu questões políticas, a construtora não disponibiliza material referente a este projeto. Dessa maneira, foi realizada uma entrevista com o arquiteto Lelé a fim de fazer uma possível comparação entre o projeto inicial e o implantado em Maringá.

A entrevista aconteceu no dia 25 de novembro de 2011 em seu escritório em Salvador. Durante essa conversa, a autora mostrou fotos e o projeto arquitetônico do CAP e o arquiteto identificou alguns itens que ele lembrava ter sido feito de maneira diferente do projeto original.

Vale registrar ainda a pesquisa de dados climáticos junto à Estação Climatológica Principal de Maringá, localizada na UEM, a fim de que pudesse ser realizada a análise bioclimática da cidade.

4.2 ANÁLISE BIOCLIMÁTICA

Para iniciar as análises do edifício, foi imprescindível um estudo do clima da cidade de Maringá. A partir da obtenção dos diversos dados climáticos da cidade, foi realizada a análise bioclimática, utilizando-se os métodos da carta de Givoni e da tabela de Mahoney, com o objetivo de apresentar as estratégias de projeto a serem adotadas nos edifícios de Maringá. Para desenvolver a carta bioclimática de Givoni da cidade de Maringá, foi utilizado o *software* Analysis Bio 2.1.5, no qual foram anexados os valores médios mensais de temperatura e umidade dos anos de 2002 a 2011. O Analysis Bio foi desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina e calcula a porcentagem de horas do ano em que cada estratégia é mais apropriada. Para estudo com a tabela de Mahoney, também foram inseridos os dados de 2002 a 2011.

4.3 ANÁLISE PROJETUAL

A análise projetual buscou identificar, caracterizar e analisar as estratégias utilizadas pelo arquiteto no âmbito do projeto arquitetônico e a sua implantação no clima da cidade de Maringá. Essa análise foi baseada nos dados coletados na etapa anterior e na revisão de literatura. Foi realizada uma avaliação comparativa dos materiais opacos e transparentes da edificação atual do CAP e do projeto inicial, que teve uso de materiais diferentes. Foram calculadas a resistência térmica, transmitância, atraso e fator solar, que puderam ser comparados entre si e com as recomendações de Mahoney para o clima de Maringá.

Foram também caracterizadas as estratégias passivas encontradas no edifício. Para verificar a potencialidade dos componentes do edifício, realizaram-se estudos para

caracterizar o possível fluxo de ventilação natural de acordo com a direção dos ventos dominantes em Maringá. Também foram procedidos estudos de insolação a fim de verificar como o sol penetra no edifício, uma vez que os raios solares devem ser aproveitados para otimizar a iluminação, o que acarretaria diminuição do gasto com energia; mas também são os maiores responsáveis pelo ganho de calor no edifício, devendo as aberturas estar bem protegidas. Esses estudos foram feitos com base na carta solar para latitude 24°Sul, a que mais se aproxima da latitude de Maringá.

4.4 O MÉTODO PMV E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS

As medições das variáveis ambientais aconteceram concomitantemente com a aplicação de questionários aos alunos nos dias 28 e 29 de novembro e 01 de dezembro de 2011, no período das 07h30 às 11h30 e das 13h30 às 17h30. Foram avaliadas quatro salas de aulas e a biblioteca, além de um ponto externo de referência. As salas foram escolhidas de acordo com a orientação de suas fachadas, sendo que duas são orientadas para nordeste e duas para sudoeste (Figura 28). As salas 01 e 02 ficam no único bloco que possui dois pavimentos e elas estão no pavimento superior, as salas 03 e 04 se encontram no térreo e são circundadas por um muro externo de 2,0 metros de altura. As variáveis medidas foram: temperatura do ar, temperatura de globo (para cálculo da temperatura radiante média), umidade relativa e velocidade do vento. Os dados de temperatura do ar também foram comparados com o intervalo de temperatura aceitável de acordo com a ASHRAE 55 (2010).

Os equipamentos utilizados foram emprestados do Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada da Universidade Estadual de Campinas e do Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Estadual de Maringá, além do próprio Laboratório de Conforto Ambiental do IAU (Instituto de Arquitetura e Urbanismo). Foram utilizados os “*data loggers*” da marca TESTO modelos 175-T2, 175-H1, 177-H1, 445, além do anemômetro TESTO 405-v1 (Figura 27).

Figura 27: “Data Loggers” TESTO modelos 175-T2, 175-H1, 177-H1, 445, TESTO 405-v1

Fonte: www.testo.com.br

Figura 28: Pontos onde foram realizadas as medições (A); equipamento no ponto externo (B); equipamento na sala de aula (C)

Fonte: Autora, 2012.

Os “data loggers” são registradores que armazenam os dados e é possível descarregá-los em um computador. O modelo 175-T2 realiza medições de temperatura do ar e tem um canal externo para sonda onde foi conectado o sensor de temperatura acoplado à esfera de cobre preta para medição da temperatura de globo. A precisão deste equipamento é de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para o canal interno e $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ para o externo. O modelo 175-H1 mede temperatura do ar e umidade relativa, sua precisão é de $\pm 2\%$ para umidade relativa e de $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ para temperatura do ar. O modelo 177-H1 foi usado para medição externa e afere temperatura do ar, umidade relativa e já possui o canal externo para sonda em que foi realizada a medição da temperatura de globo externa. Já o equipamento 445 mede e armazena os dados de velocidade do ar através de uma sonda que possui uma esfera quente com sensor onidirecional, ou seja, mede o vento em todas as direções. Possui uma precisão de $\pm 0,5\%$ da velocidade média do vento. Como havia apenas três equipamentos como esse, ele foi usado no ponto externo e nas salas 01 e 02. Nas salas 03 e 04 foi utilizado o anemômetro da Testo modelo 405-v1, que faz leituras instantâneas e não armazena os dados.

Os dados de temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo (que depois foi usada para o cálculo da temperatura radiante média) foram registrados de 10 em 10 minutos, das 7h30 às 11h30 e das 13h30 às 17h30. Os dados da velocidade do ar para o

ponto externo, salas 01 e 02, foram registrados automaticamente de 20 em 20 segundos. Porém, para manter o mesmo padrão das medições manuais, utilizou-se a média durante aproximadamente três minutos a cada 10 minutos, totalizando uma média de 10 leituras. Nas salas 03 e 04 havia um monitor que anotava dez leituras aleatórias de velocidades do vento durante dois minutos de 10 em 10 minutos, das 7h30 às 11h30 e das 13h30 às 17h30, orientando o anemômetro para a maior incidência dos ventos. No primeiro dia isso foi possível, pois foi solicitado que os ventiladores fossem mantidos desligados, o que não ocorreu nos outros dias, devido ao grande desconforto dos alunos. Os ventiladores eram localizados na frente e no fundo das salas.

Foram aplicados questionários referentes à sensação térmica, preferência térmica e roupa utilizada pelos entrevistados⁶. A roupa contribuiu para o cálculo do isolamento térmico da mesma. Os questionários foram aplicados em dois períodos matutinos, no início e fim da manhã (aproximadamente às 8h e às 11h) e dois períodos vespertinos, início e fim da tarde (aproximadamente às 14h e às 17h). Baseando-se nessa mesma escala, também foi perguntada qual a sensação térmica que as pessoas gostariam de estar sentindo no ambiente.

Como as salas foram escolhidas de acordo com a sua localização, a idade dos participantes variou bastante. Na biblioteca, participaram da pesquisa uma quantidade flutuante de alunos, já que não havia uma regularidade da permanência destes no local. As turmas ficaram assim divididas:

Quadro 2: Caracterização dos alunos participantes das entrevistas

	Turma manhã	Idade média	Total de alunos	Turma tarde	Idade média	Total de alunos
Sala 01	6 EF ⁷	12 anos	30	5 EF	11 anos	28
Sala 02	7 EF	13 anos	29	4 EF	10 anos	29
Sala 03	1 EM ⁸	15 anos	30	2 EF	7 anos	26
Sala 04	2 EM	16 anos	28	3 EF	8 anos	25
Biblioteca	-	-	-	-	-	-

Fonte: CAP, organizado pela autora, 2012.

4.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA COBERTURA

Para avaliar o desempenho térmico da cobertura, procedeu-se a duas etapas distintas de medições: a primeira etapa (ET1), que aconteceu nos dias 04 e 05 de abril de 2012; e a segunda etapa (ET2), que aconteceu em 18 de fevereiro de 2014 (Quadro 3).

A primeira etapa teve como objetivo verificar a diferença de temperatura superficial interna da cobertura e do piso das salas de aula avaliadas em etapa anterior. Foi utilizado

⁶ Modelo de questionário em anexo.

⁷ EF – Ensino Fundamental

⁸ EM – Ensino Médio

termômetro digital da marca Minipa, modelo MT-350, que usa sistema de medida por irradiação infravermelha (Figura 29). Os alunos estavam em período letivo, mas as medições ocorreram antes da aula, no intervalo e depois da aula, às 7h, 9h30, 12h, 13h, 15h30 e 18h, assim, as salas se encontravam vazias. As medidas eram tiradas no centro das salas, mas como a biblioteca era muito grande, mediu-se em vários pontos e calculou-se a média das temperaturas. A temperatura do ar e a umidade relativa foram medidas com um termo higrômetro digital simples da marca RadioShack, conforme Figura 29.

Figura 29: Termômetro infravermelho e termo higrômetro

Fonte: www.minipa.com.br e www.radioshack.com

A segunda etapa da medição para avaliação do desempenho da cobertura teve como objetivo comparar três situações distintas da cobertura, sendo que duas delas foram testadas como possíveis soluções para minimização do ganho de calor pela cobertura. As lajes externas da cobertura de duas salas de aula foram lavadas com lavadora de alta pressão, após, uma dessas salas foi pintada de branco externamente. O objetivo de somente lavar uma das salas de aula, foi verificar se os resultados dariam muita diferença da sala pintada de branco, pois a lavagem seria uma solução mais barata. Foram realizadas medições de temperaturas superficiais externas e internas da laje de cobertura em três salas de aula (Figura 30): 1 – sala sem modificações; 2 – sala lavada com lavadora de alta pressão; 3 – sala lavada e pintada de branco. Além disso, foi registrada a temperatura do ar e umidade relativa externa e interna. Foram utilizados o mesmo termômetro de infravermelho e o termo higrômetro da medição anterior. Todas as salas se localizam no bloco 03, estão orientadas a nordeste e são cercadas por muros.

Foram aplicadas duas demãos de tinta branca acrílica fosca da marca Sherwin-Williams linha Metalatex na sala 03, com intervalo de 12 horas, pois a primeira demão foi feita em um dia e a segunda demão no outro. Foi escolhida essa marca de tinta devido à existência de dados consistentes de absorvância, realizado pela pesquisadora Kellen Dornelles em seu

trabalho de pós-doutorado. Segundo Dornelles (2009), a absorptância ajustada ao espectro solar padrão da cor branca é de 15,8%. A medição foi feita nos horários em que não havia alunos na sala, para não atrapalhar as aulas: 7h, 9h30, 12h, 15h30, 17h30. Esperava-se cinco minutos nas salas para fazer a leitura da temperatura e umidade relativa do ar.

Quadro 3: Esquema das medições referentes à etapa de Avaliação do Desempenho Térmico da Cobertura

Etapa/Data	Variável medida	Interno/Externo	Local
Etapa 1 / Abril 2012	Temperatura superficial laje	Interno	Salas 01, 02, 03, 04, biblioteca (mesmas medições anteriores)
	Temperatura superficial do piso	Interno	
	Temperatura Ar	Interno e Externo	
	Umidade relativa	Interno e Externo	
Etapa 2 / Fevereiro 2014	Temperatura superficial laje	Externo	Salas 01, 02 e 03 (novas salas do bloco 03)
	Temperatura superficial laje	Interno	
	Temperatura do Ar	Interno e Externo	
	Umidade relativa	Interno e externo	

Fonte: Autora, 2014.

Figura 30: Planta do bloco 03, com indicação das salas monitoradas na Etapa 2.

Fonte: Autora, 2014

ANÁLISE DOS RESULTADOS

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

5.1.1 Entrevista com Lelé

O arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé, relatou nessa entrevista a decepção acerca do projeto dos CIAC's. O motivo de divergência política, já explicitado na revisão bibliográfica, levou ao desligamento de toda equipe de Lelé por não aceitarem o aumento do preço do metro quadrado de construção das unidades. Segundo Lelé, o governo federal contratou o arquiteto e equipe para fazer o projeto do edifício e estabelecer todas as fábricas. A construtora, que não tinha ligação direta com Lelé, tinha o dever de montar as fábricas e realizar a construção dos prédios, mas ela que estabelecia quanto ia cobrar pelos serviços. Como a tecnologia da pré-fabricação é muito racional, a construtora começou a mudar o projeto para justificar preços mais altos cobrados. O desligamento da equipe de Lelé aconteceu depois da construção de dois protótipos, que fizeram para ter a convicção de que o preço que haviam aceitado estava correto.

Em relação às mudanças projetuais, o arquiteto lembra:

Por exemplo, a argamassa armada, tinha uns *sheds* assim de proteção, aí eles quiseram fazer metálico. Mudaram o ginásio, passaram a fazer metálico. Eles foram mudando tudo.

Em relação aos *sheds* da cobertura, embora tenha havido mudança de material em alguns projetos, o de Maringá foi feito em argamassa armada, e a forma, conforme o próprio Lelé relatou, se manteve em todos os casos. O material translúcido usado no *sheds* do CAP é de fibra de vidro, enquanto no projeto original era feito de um plástico transparente chamado “Elvic”⁹. A estrutura do edifício, isto é, os pilares e vigas são de argamassa armada, mas as paredes são de blocos de concreto, sendo que no projeto original eram placas de argamassa armada dupla para as paredes externas e simples para as internas.

Durante essa entrevista, Lelé revelou também que eram previstas diferentes tipologias de projetos, dependendo do clima da cidade onde seriam implantados, que chegaram a ser estudados. Dentre as primeiras fábricas a serem estudadas, a do Paraná, que ficava em Curitiba, foi a localizada mais ao sul do país e possuía tipologia diferente do restante. Lelé destaca que o clima do Brasil não apresenta grandes diferenças, apenas deve-se tomar cuidado com lugares muito altos, como alguns no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, por apresentarem clima frio; ou lugares muito úmidos, como Manaus, Belém do Pará, que aí precisa criar um sistema de ventilação eficiente para retirar essa umidade.

⁹ Embora relatado pelo arquiteto, não se encontrou material em bibliografia sobre este tipo de material.

É importante destacar que a preocupação no projeto dos CIAC's era fazer um projeto econômico, barato, e com um nível de conforto mediano. Nas palavras de Lelé:

Pra educação, a gente pensa o seguinte: tem muito pouco dinheiro pra educação, tem muito pouco dinheiro pra saúde, se a gente fizer uma obra cara, evidentemente, menos pessoas vão ser atendidas e há uma demanda gigantesca. Então a gente tem que procurar, no projeto, fazer uma coisa que tenha certa qualidade, mas que seja econômica, o que eu chamo de arquitetura transitória. Eu acho que isso é arquitetura transitória. E eu acho que o nosso país, rico com nossas carências todas, ele tem que se apoiar na arquitetura transitória, mais barata e bem mais econômica do que uma arquitetura com todos os recursos que você tem de tecnologia. Então, se você faz uma escola mais barata, evidentemente sobra mais dinheiro pra comprar computadores, e outras coisas. Então eu acho que a preocupação com a economia tem que ser grande nas escolas, nesses programas sociais. Então a questão do conforto ambiental é subjetiva.

Apesar de todas as frustrações acerca deste projeto, Lelé afirma o seguinte:

Agora o que eu posso te garantir é o seguinte, de todos esses projetos em argamassa armada que nós fizemos, esse projeto foi o melhor de todos. Quer dizer, melhor não quer dizer que ele seja ótimo. Foi melhor que os outros, entende? (...) Com as escolas do Rio de Janeiro que tinham 20 e poucos componentes, você cria limitações pra atender certas questões de funcionalidades e essa coisa toda. Quando você tem 200 componentes, você é como um automóvel, se você tiver uma roda e um carburador, o carro anda né, mas ele carece de um conforto maior. Então eu acho que, com os 200 componentes que tinham, voltados exclusivamente pro conforto, eu acho que era preciso fazer uma coisa boa, um sistema de isolamento.

Em relação ao sistema de cobertura, Lelé utilizava um sistema de encaixe das placas de argamassa armada do tipo “capa-canal” formando um colchão de ar ventilado entre elas (Figura 31). Segundo ele, esse espaço ventilado sem ponte térmica serviria para que o calor incidente na parte mais externa não fosse transmitido para a peça de baixo.

Figura 31: Esquema da cobertura das escolas de Abadiânia - GO

Fonte: TRIGO, 2009 e BENTES, 1992, respectivamente.

Durante a entrevista, perguntado sobre a influência da espessura do colchão de ar no ganho térmico, ele afirma que se esse colchão de ar for muito bem ventilado, a espessura não

influenciaria muito e que esse tipo de telhado foi resultado de muitas experiências anteriores. Não se vê no CAP/UEM, porém, abertura para entrada e saída de ar, somente um pequeno vão sobre a viga que é por onde a água da chuva é recolhida e o próprio espaçamento entre as placas, mas as placas da cobertura são fechadas, formando o colchão de ar interno, mas não ventilado. Nas primeiras experiências das escolas de Abadiânia, que serviram como base para o projeto do CIAC, haviam aberturas para circulação de ar, pode ser que as construtoras tenham modificado esse aspecto do projeto depois. Lelé ainda afirmou que o ideal seria pintar a cobertura de branco para refletir o calor, mas, refletindo a respeito da manutenção de um edifício público, que é muito ruim, em pouco tempo ficaria preto, então, nas palavras dele: “é melhor enfrentar logo um escuro mesmo e fazer um colchão maior”. Essas afirmações norteiam a proposta de soluções para melhorar o conforto térmico do CAP, objetivo principal deste trabalho.

A Figura 32 mostra o esquema que deveria ser a cobertura com os colchões de ar ventilados nas primeiras experiências realizadas em Abadiânia, com algumas placas do perímetro abertas. A Figura 33 mostra fotos da cobertura do CAP/UEM onde é possível observar que as placas do perímetro são fechadas, impedindo uma ventilação adequada da cobertura. Para melhor compreensão, a autora modelou o sistema de cobertura e o resultado pode ser visto nas imagens Figura 34 a Figura 38.

Figura 32: Esquema geral das primeiras construções de argamassa armada proposta por Lelé

Fonte: BENTES, 1992.

Figura 33: Detalhe da cobertura do CAP/UEM – ausência de ventilação do colchão de ar
Fonte: Acervo da autora, 2011.

Figura 34: Esquema da estrutura da cobertura (sem sheds) 01
Fonte: Modelagem feita pela autora através do projeto e de fotos, 2012.

Figura 35: Esquema da estrutura da cobertura (sem sheds) 02
Fonte: Modelagem feita pela autora através do projeto e de fotos, 2012.

Figura 36: Esquema do corte da cobertura (sem *sheds*)

Fonte: Modelagem feita pela autora através do projeto e de fotos, 2012.

Figura 37: Esquema da cobertura – placas de argamassa com colchão de ar

Fonte: Modelagem feita pela autora através do projeto e de fotos, 2012.

Figura 38: Esquema da cobertura – colchão de ar fechado e não ventilado

Fonte: Modelagem feita pela autora através do projeto e de fotos, 2012.

5.2 ANÁLISE BIOCLIMÁTICA

A cidade de Maringá está localizada no norte do Paraná, na latitude -23° 25' 31", longitude - 51° 56' 19" e altitude de 596m. Segundo a classificação de Köepen, a cidade possui clima 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 e um alto nível de radiação solar durante o ano todo (TAMANINI, 2002).

Pietrobon, Lamberts e Pereira (1999), através de estudos estatísticos, consideraram o ano climático de referência (TRY) de Maringá o ano de 1991, determinado para o período de 1983-1995. O ano climático de referência é o ano real que mais se aproxima da Normal Climatológica, dados médios dos elementos climáticos de uma série histórica de estações meteorológicas. Tem-se observado, entretanto, mudanças climáticas e, para verificar essa diferença, foram elaborados os quadros 4, 5 e 6. O quadro 4 traz os dados de 1982 a 2011, já o quadro 5 traz os dados de 2002 a 2011. Os dados em vermelho destacam os valores máximos e mínimos de temperatura e umidade relativa.

Quadro 4: Média dos principais atributos do clima de Maringá no período de 1982-2011

Meses	Temperatura média (°C)			Média Comp. (°C)	UR (%)	Precipitação pluvial (mm)	Veloc. Vento (m/s)
	Máxima	Mínima	Média				
Janeiro	30,2	20,8	25,8	24,8	75,6	214,6	0,92
Fevereiro	30,1	20,6	25,6	24,6	75,6	191,2	0,90
Março	30,1	20,1	25,5	24,4	71,6	144,2	0,89
Abril	28,5	18,5	24,0	22,8	70,4	118,0	0,98
Maio	24,8	15,2	20,4	19,3	72,9	124,3	1,01
Junho	23,8	14,1	19,4	18,2	72,4	97,6	0,99
Julho	24,2	13,9	19,5	18,6	66,8	67,7	1,18
Agosto	26,5	15,3	21,5	20,2	59,4	55,3	1,20
Setembro	27,3	16,3	22,5	21,3	62,7	133,5	1,20
Outubro	29,2	18,2	24,4	23,2	65,7	156,4	1,15
Novembro	30,0	19,2	25,5	24,2	65,4	150,2	1,05
Dezembro	30,2	20,2	25,8	24,7	70,5	186,0	0,97
Média geral	27,9	17,7	23,3	22,2	69,1	136,6	1,04

Fonte: ECPM/INMET, organizado pela autora.

Quadro 5: Média dos principais atributos do clima de Maringá no período de 2002-2011

Meses	Temperatura média (°C)			Média Comp. (°C)	UR (%)	Precipitação pluvial (mm)	Veloc. Vento (m/s)
	Máxima	Mínima	Média				
Janeiro	30,0	21,1	25,6	24,8	77,8	222,6	0,92
Fevereiro	30,7	21,0	26,0	25,1	74,0	183,0	0,89
Março	31,0	20,6	26,2	25,1	69,2	142,1	0,90
Abril	29,3	19,2	24,6	23,5	69,1	84,7	0,91
Maio	24,9	15,0	20,5	19,3	71,4	105,8	0,96
Junho	24,9	14,7	20,3	19,0	69,5	55,8	0,95
Julho	24,6	14,6	20,0	18,8	66,9	95,0	1,06
Agosto	27,0	15,4	21,9	20,5	57,7	56,0	1,22
Setembro	28,2	16,7	23,1	21,8	60,7	125,4	1,24
Outubro	29,6	18,6	24,7	23,5	67,8	182,8	1,15
Novembro	30,1	19,2	25,5	24,2	66,4	171,0	1,05
Dezembro	30,5	20,4	26,1	24,9	70,5	176,0	1,01
Média geral	28,4	18,0	23,7	22,5	68,4	133,3	1,02

Fonte: ECPM/INMET, organizado pela autora.

Quadro 6: Diferença dos principais atributos do clima dos últimos trinta anos em relação aos últimos dez anos

Meses	Temperatura média (°C)			Média Comp. (°C)	UR (%)	Precipitação pluvial (mm)	Veloc. Vento (m/s)
	Máxima	Mínima	Média				
Janeiro	-0,2	+0,3	-0,2	+0,0	+2,2	+8,0	-
Fevereiro	+0,6	+0,4	+0,4	+0,5	-1,6	-8,2	-0,01
Março	+0,9	+0,5	+0,7	+0,7	-2,4	-2,1	+0,01
Abril	+0,8	+0,7	+0,6	+0,7	-1,3	-33,3	-0,07
Maio	+0,1	-0,2	+0,1	+0,0	-1,5	-18,6	-0,05
Junho	+1,1	+0,6	+0,9	+0,8	-2,9	-41,9	-0,04
Julho	+0,4	+0,7	+0,5	+0,2	+0,1	+27,3	-0,12
Agosto	+0,5	+0,1	+0,4	+0,3	-1,7	+0,7	+0,02
Setembro	+0,9	+0,3	+0,6	+0,4	-2,0	-8,1	+0,04
Outubro	+0,4	+0,4	+0,3	+0,3	+2,1	+26,4	-
Novembro	+0,1	+0,0	+0,0	+0,0	+1,0	+20,8	-
Dezembro	+0,3	+0,2	+0,3	+0,2	+0,0	-10,0	+0,04
Média geral	+0,5	+0,3	+0,4	+0,3	-0,7	-3,2	-0,01

Fonte: Autora, 2012.

O Quadro 6 registra a variação dos principais atributos do clima quando se compara os últimos dez anos e os últimos trinta anos. O sinal positivo significa que o valor aumentou e o negativo que diminuiu. Percebe-se que em geral, nos últimos dez anos, as temperaturas subiram em média 0,5°C, sendo que a maior diferença se observa na temperatura máxima do mês de junho, em que houve um aumento de 1,1°C. A temperatura mínima de abril e julho também aumentou em 0,7°C e em junho 0,6°C, podendo-se dizer que o inverno tem ficado mais quente.

Cabe registrar que a norma NBR 15220/3 (2005), que trata do Zoneamento Bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, foi feita utilizando o ano típico de 1991 para Maringá e, por isso, o enquadramento de Maringá como zona 01 não condiz com seu clima, não sendo adotada essa análise neste trabalho.

A zona bioclimática 01 da NBR 15220/3 (2005) engloba 0,8% das cidades brasileiras, sendo esta, a zona que abrange as cidades mais frias e localizadas mais ao sul do país, como Caxias do Sul (RS), São Joaquim (RS), Campos do Jordão (SP), Curitiba (PR) e outras. Além disso, traz como estratégias de condicionamento térmico passivo o aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas, não indicadas para uma cidade com temperaturas médias de 26°C no verão e 20°C no inverno como Maringá.

Esta norma está em processo de revisão desde 2012 após a constatação da imprecisão na caracterização climática de algumas cidades brasileiras.

5.2.1 Análise de Givoni

Para analisar os dados de 2002 a 2011, inseriram-se, manualmente no *software* Analysis Bio, valores médios mensais em que os resultados são apresentados através de retas, visualizadas na Figura 39.

Figura 39: Gráfico de Givoni para dados médios mensais de Maringá de 2002-2011

Fonte: *Software* AnalysisBio 2.2 – elaborado pela autora, 2012.

O relatório gerado pelo programa pode ser visto no Quadro 7, com as estratégias necessárias para se obter conforto térmico apresentadas mês a mês.

Quadro 7: Porcentagem das horas de cada mês que cada estratégia é necessária

Janeiro	Conforto	25,24%
	Ventilação	63,01%
	Ventilação, inércia e resfriamento evaporativo	11,75%
Fevereiro	Conforto	33,55%
	Ventilação	38,08%
	Ventilação e Inércia térmica	8,72%
	Ventilação, inércia e resfriamento evaporativo	19,66%
Março	Conforto	47,45%
	Ventilação	21,06%
	Ventilação e Inércia térmica	3,81%
	Ventilação, inércia e resfriamento evaporativo	27,69%
Abril	Conforto	70,51%
	Ventilação	9,54%
	Aquecimento passivo e Inércia térmica	7,93%
	Ventilação, inércia e resfriamento evaporativo	12,03%
Mai	Conforto	69,70%
	Aquecimento passivo e Inércia térmica	30,31%
Junho	Conforto	67,65%
	Aquecimento passivo e Inércia térmica	32,36%
Julho	Conforto	66,00%
	Aquecimento passivo e Inércia térmica	34,00%
Agosto	Conforto	77,59%
	Aquecimento passivo e Inércia térmica	22,42%
Setembro	Conforto	88,70%
	Aquecimento passivo e Inércia térmica	11,31%
Outubro	Conforto	66,57%
	Ventilação	7,75%
	Aquecimento passivo e Inércia térmica	12,73%
	Ventilação, inércia e resfriamento evaporativo	12,96%
Novembro	Conforto	62,62%
	Ventilação	11,56%
	Aquecimento passivo e Inércia térmica	7,34%
	Ventilação, inércia e resfriamento evaporativo	18,48%
Dezembro	Conforto	42,99%
	Ventilação	28,32%
	Ventilação e Inércia térmica	3,73%
	Ventilação, inércia e resfriamento evaporativo	24,97%

Fonte: Software AnalysisBio 2.2 – elaborado pela autora, 2012.

Para melhor visualização dos dados foi elaborado o gráfico da Figura 40.

Figura 40: Gráfico das estratégias bioclimáticas para Maringá de acordo com dados de 2002-2011

Fonte: Autora, 2012.

Considerando o total de estratégias recomendadas para Maringá para o ano todo, tem-se o Quadro 8. Observa-se que em quase 60% do ano, Maringá apresenta condições de conforto térmico. Dentre os 40,12% de desconforto, 26,92% é devido ao calor, e apenas 13,2% é devido ao frio. Para amenizar o problema do calor, a estratégia mais indicada foi promover ventilação (14,94%), seguida da ventilação, inércia térmica e resfriamento evaporativo (região 11 do gráfico de Givoni, Figura 39). Para os períodos de frio (13,2%), indica-se aquecimento solar passivo e alta inércia térmica para se obter condições de conforto. A inércia térmica configura como uma solução boa tanto para resolver problemas ligados ao calor e ao frio.

Quadro 8: Estratégias bioclimáticas para Maringá de acordo com dados de 2002-2011

		Estratégias construtivas	Valores	% de sensação	Total
Conforto		---	---	---	59,88%
Desconforto	Calor	Ventilação	14,94%	26,92%	40,12%
		Ventilação, inércia e resfriamento	10,63%		
		Ventilação e inércia térmica	1,35%		
	Frio	Aquecimento passivo e inércia térmica	13,20%	13,20%	

Fonte: Autora, 2012.

5.2.2 Análise de Mahoney

A tabela de Mahoney foi organizada a partir dos dados climáticos do Quadro 5, que traz a média dos principais atributos do clima de Maringá de 2002 a 2011.

A primeira etapa deste método consiste no preenchimento das planilhas, observado no Quadro 9.

Quadro 9: Normais Climatológicas

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp. Med. Max. (°C)	30	30,7	31	29,3	24,9	24,9	24,6	27	28,2	29,6	30,1	30,5
Temp. Med. Min. (°C)	21,1	21	20,6	19,2	15	14,7	14,6	15,4	16,7	18,6	19,2	20,4
Amplitude Média (°C)	8,9	9,7	10,4	10,1	9,9	10,2	10	11,6	11,5	11	10,9	10,1
Umidade Relativa (%)	77,8	74	69,2	69,1	71,4	69,5	66,9	57,7	60,7	67,8	66,4	70,5
Pluviosidade (mm)	222,6	183	142,1	84,7	105,8	55,8	95	56	125,4	182,8	171	176

TEMP. MAX	31,0	22,8	TMA= (MAX+MIN)/2
TEMP. MIN	14,6	16,4	AMA=MÁX-MIN

Quadro 10: Diagnóstico tabela de Mahoney

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Grupo Umidade	4	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4
Limite Sup. Dia	27	27	29	29	27	29	29	29	29	29	29	27
Temp. Med. Max.	30	30,7	31	29,3	24,9	24,9	24,6	27	28,2	29,6	30,1	30,5
Limite Inf. Dia	22	22	23	23	22	23	23	23	23	23	23	22
Limite Sup. Noite	21	21	23	23	21	23	23	23	23	23	23	21
Temp. Med. Min.	21,1	21	20,6	19,2	15	14,7	14,6	15,4	16,7	18,6	19,2	20,4
Limite Inf. Noite	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Diagn. Diurno	Q	Q	Q	Q	C	C	C	C	C	Q	Q	Q
Diagn. Noturno	Q	C	C	C	F	F	F	F	F	C	C	C

Quadro 11: Indicadores de rigor climático

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAIS
Umidade	U1	X	X										X	3
	U2					X								1
	U3	X												1
Aridez	A1			X	X		X	X	X	X	X	X		8
	A2													0
	A3													0

Observando os indicadores de umidade no Quadro 11, percebe-se que no verão a ventilação é indispensável, pois a combinação de temperatura elevada e alta taxa de umidade demanda movimento do ar para retirada do calor e melhorar sensação de conforto. O índice de aridez indica necessidade de alta inércia térmica para armazenamento do calor uma vez que a amplitude média mensal é alta e a umidade relativa moderada. A alta inércia também foi recomendação de Givoni, tanto para o resfriamento nos meses mais quentes quanto para o aquecimento nos meses mais frios.

A segunda etapa consiste nas recomendações para o projeto, de acordo com os indicadores de umidade e aridez. Para os dados inseridos, as recomendações de projeto são as seguintes:

A – Implantação: Edifícios alongados com fachadas maiores voltadas para norte e sul, para reduzir a exposição ao sol;

B – Espaços entre edificações: Aumentar distância entre edificações para melhorar ventilação, mas com possibilidade de controlar a ventilação para barrar ventos indesejáveis (quentes ou frios e que carreguem pó);

C – Ventilação: Para obter uma ventilação cruzada permanente, as habitações devem ser dispostas em fila simples, ao longo do edifício;

D – Tamanho das aberturas: 15 a 20% das fachadas, pois aberturas relativamente pequenas contribuem com a inércia aumentando o armazenamento térmico;

E – Posição das aberturas: Nas fachadas Norte e Sul, permitindo ventilação ao nível dos corpos dos ocupantes;

F – Proteção das aberturas: Evitar radiação solar direta nos interiores da edificação;

G – Paredes e pisos: Como foi requerida alta inércia térmica, as paredes e pisos devem ser pesados, com transmitância térmica não superior a $2,0 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, atraso térmico mínimo de 8 horas e máximo de 14 horas e fator solar menor ou igual a 4%. Também é recomendado superfícies externas claras, mas as excessivamente claras poderão provocar ofuscamento ao refletirem a intensa luz solar;

H – Coberturas: Como as paredes e pisos, as coberturas devem ser pesadas para retardar o tempo de transmissão térmica. Para aumentar essa inércia podem ser necessários materiais isolantes nas faces exteriores às paredes. Recomenda-se transmitância térmica menor ou igual a $0,85 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, atraso solar maior ou igual a 8 horas e fator solar menor ou igual a 3%;

I – Exterior da edificação: proteger contra chuvas, embora somente em janeiro a pluviosidade seja maior que 200 mm por mês.

5.3 ANÁLISE PROJETUAL

5.3.1 Localização e implantação

O CAP/UEM está localizado dentro do campus da UEM. Observa-se, no seu entorno, baixa densidade com presença de abundante vegetação, pois se trata de um campus universitário (Figura 41). Os edifícios possuem aberturas em duas fachadas opostas que estão

orientadas para nordeste e sudoeste, com azimuth igual a 21,6 graus e 201,6 graus, respectivamente (Figura 42).

Figura 41: Imagem aérea do CAP/UEM

Fonte: www.informativo.uem.br

Figura 42: Implantação do conjunto no terreno

Fonte: PCU, modificado pela autora, 2012.

Analisando as curvas de nível (em vermelho na Figura 42), percebe-se que houve movimento de terra, tendo ficado a escola toda em um único nível, configurando um platô. O

terreno cai em direção ao norte. Próximo à curva mais ao Sul da escola, o terreno era mais alto e foi necessário escavar, formando um grande talude que se configura como uma barreira para a incidência de ventos, principalmente no bloco 03, que fica semienterrado, como pode ser observada na Figura 43.

Figura 43: Talude próximo ao bloco 03

Fonte: Acervo da autora, 2012.

5.3.2 Propriedades térmicas dos materiais e componentes utilizados

Os materiais utilizados talvez tenham sido as maiores mudanças que os projetos posteriores tenham sofrido. As paredes originais, como a maioria dos elementos que Lelé trabalha, eram de placas de argamassa armada, sendo as exteriores duplas com camada de ar no meio e as internas simples (Figura 44). As paredes do edifício atual do CAP são de bloco de concreto de 19x19x39 cm de dimensão, não rebocadas, mas pintadas externamente de branco e internamente de cinza até 1,60m de altura e depois disso de branco. Os elementos estruturais como pilares e vigas, bem como o sistema de lajes da cobertura são de argamassa armada como no projeto original (Figura 45).

Figura 44: Sistema de paredes simples e duplas de argamassa armada

Fonte: LIMA, 1984

Figura 45: Corredor de paredes em argamassa armada (CIAC Professor Anísio Teixeira, Ceilândia, DF) e em bloco de concreto (CAP/UEM)

Créditos: © 2012 photo@leonardofinotti.com e acervo da autora, 2011.

Durante a entrevista, Lelé afirmou que as esquadrias eram mais delicadas, mas o sistema de aberturas pivotantes e o material (ferro, vidro e placa de MDF) são os mesmos. As pestanas, que são os brises horizontais amarelos, e os *sheds*, elementos para proporcionar ventilação e iluminação natural na cobertura, no projeto original eram feitos de argamassa armada e no CAP/UEM as pestanas são metálicas e os *sheds* em argamassa armada pintada de azul externamente. O elemento que permite entrada de luz pelos *sheds* no CAP é feito de fibra de vidro translúcida, já Lelé afirma em sua entrevista que era com plástico “Elvic”. Hoje em dia a fibra de vidro está amarelada e em alguns lugares não permite entrada de luz natural, conforme pode ser visto na Figura 46.

Figura 46: Detalhe do fechamento translúcido dos *sheds*

Fonte: Acervo da autora, 2011.

Assim, como síntese das principais diferenças observadas no edifício atual em relação ao original, descrito por Lelé, foi elaborado o Quadro 12.

Quadro 12: Principais diferenças dos materiais utilizados

Primeiros projetos	CAP/UEM
Paredes duplas de painéis de argamassa armada	Bloco de concreto
Pilares, vigas e lajes de argamassa armada	Pilares, vigas e lajes de argamassa armada
Pestanas em argamassa armada	Pestanas metálicas
<i>Sheds</i> em argamassa armada	<i>Sheds</i> em argamassa armada
Plástico transparente “Elvic” nos <i>sheds</i>	Fibra de vidro translúcida nos <i>sheds</i>

Fonte: Autora, 2012.

É sabido que a envoltória tem papel fundamental no desempenho térmico dos edifícios. Para tanto, foram calculados valores de transmitância térmica, atraso solar e fator solar das paredes e cobertura para que pudessem ser comparados com os valores recomendados pela tabela de Mahoney. Consideraram-se as paredes de bloco de concreto com pintura branca e a cobertura de laje maciça pré-moldada de argamassa armada aparente.

Os cálculos foram feitos de acordo com a norma NBR 15220 (2005) que trata do Desempenho Térmico de Edificações, parte 2: Métodos de Cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, seguindo as seções observadas na Figura 47.

Figura 47: Esquema do bloco de concreto utilizado

Fonte: Autora, 2012.

Quadro 13: Propriedades térmicas da parede de blocos de concreto 19x19x39cm

Quadro 15: Propriedades técnicas da parede de blocos de concreto 19x19x39cm											
Parede de bloco de concreto 19x19x39 (camadas homogêneas e não homogêneas, sem reboco, mas com argamassa de assentamento)											
		Camada	Larg.	Alt.	Espessura	Área	Condut.	Rcamada	Densid.	Calor esp.	CT
Tijolo	Seção 1	Concreto	0,02	0,19	0,19	0,0038	1,75	0,1086	2400	1	456
	Seção 2	Concreto	0,165	0,19	0,02	0,0314	1,75	0,0114	2400	1	48
		Ar			0,15		-	0,1700			
		Concreto			0,02		1,75	0,0114	2400	1	48
Seção A		Argamassa	0,39	0,015	0,02	0,0117	1,15	0,0174	2000	1	40
		Ar			0,15			0,1700			
		Argamassa	0,39	0,015	0,02		1,15	0,0174	2000	1	40
		Absort. branca	0,2		A tijolo	0,0741	RA	0,2048			
		B0	58		Rse	0,04	Rparede	0,1761			
		B1	74,34		Rsi	0,13	R2	0,1929			
		B2	-24,2				Rtijolo	0,1723	CT (KJ/m².K)		104
							RT	0,3461	U (W/(m².K))		2,89
									Fator solar (%)		2,32
									Atraso térm. (h)		2,02

Quadro 14: Propriedades térmicas da cobertura com placas de argamassa armada

Cobertura - argamassa (2,5 cm) + camada de ar (10 cm) + argamassa (2,5 cm) Total cobertura 15 cm									
Camada	Absort.	Condut.	Espessura	R camada	Rse	Rsi	Densid.	Calor esp.	CT
Argamassa		1,15	0,025	0,022			2100	1	52,5
Camada de ar			0,10	0,210			0	0	0
Argamassa		1,15	0,025	0,022			2100	1	52,5
Cor ext. conc. aparente	0,80		Rt	0,253	0,04	0,17		CT (KJ/m².K)	105
Cor externa preta	0,97		RT((m².K)/W)	0,46				U (W/(m².K))	2,16
B0	53							Fator solar	6,90
B1	46,809							Fator solar	8,37
B2 (desconsiderado)	-2,802							Atraso térm.(horas)	2,40

A partir dos cálculos realizados, pode-se comparar os resultados obtidos com os estipulados pela tabela de Mahoney (Quadro 15). Verifica-se que o único requisito que atende às recomendações de Mahoney é o fator solar da parede, pois é pintado de branco externamente e com baixa absorvência o fator solar não é alto. Os demais requisitos ficaram muito inferiores aos recomendados, com destaque para a diferença do atraso térmico, em que Mahoney indica atraso maior que 8 horas e o resultado deu apenas 2 horas, indicando que tanto a parede quanto a cobertura possuem menos inércia térmica do que o indicado para Maringá. O fator solar da cobertura que foi calculado considerando a cor externa como concreto aparente já deu um valor bem maior que os 3% recomendados por Mahoney,

porém, devido à falta de manutenção, a cor do telhado externamente é praticamente preta. Quando calculado com valor de absorvência de 0,97, obtém-se um valor 8,37% de fator solar, extremamente maior que os 3% recomendados.

Quadro 15: Valores calculados para o CAP e os recomendados pela tabela de Mahoney

	Propriedades	CAP/UEM	Mahoney
Paredes	Capacidade térmica	104 (KJ/m ² .K)	-
	Transmitância	2,89 W/(m ² .K)	≤ 2,00 W/(m ² .K)
	Fator solar	3,47%	≤ 4%
	Atraso térmico	2,02 horas	≥ 8horas
Cobertura	Capacidade térmica	105 (KJ/m ² .K)	-
	Transmitância	2,16 W/(m ² .K)	≤ 0,85 W/(m ² .K)
	Fator solar concreto aparente	6,90 %	≤ 3%
	Fator solar preto	8,37 %	≤ 3%
	Atraso térmico	2,40 horas	≥ 8horas

Em relação às paredes, mesmo que os valores não sejam adequados, a proporção de alvenaria em relação às janelas é pequena, ou seja, a maioria da área do envelope vertical deste edifício é constituída de esquadrias (aberturas). Tal fato confirma que a cobertura, parte mais exposta de uma edificação à radiação solar, é responsável pelo ganho de calor interno. De acordo com os cálculos realizados, verificou-se que uma mudança dos materiais utilizados no CAP/UEM, principalmente na cobertura, pode melhorar o desempenho térmico do edifício e, assim, melhorar a satisfação dos alunos.

5.3.3 Descrição e comportamento das estratégias passivas

Através das visitas *in loco* e da análise do projeto, identificaram-se algumas estratégias passivas, são elas:

- Uso de vegetação no entorno;
- Promoção da ventilação natural cruzada;
- Aproveitamento da iluminação natural com proteção da radiação direta.

Figura 48: Implantação com indicação da vegetação, *sheds* e pestanas

Fonte: PCU, modificado pela autora, 2012.

5.3.3.1 Vegetação

Todo o conjunto dos blocos educacionais do CAP é cercado por grandes áreas gramadas. A vegetação melhora o conforto higrotérmico, evita a re-emissão da radiação em forma de calor, equilibra a temperatura e estabiliza o clima, devido ao processo de fotossíntese que as plantas fazem. Além disso, reduz a impermeabilização do solo, melhora a qualidade do ar e proporciona bem-estar, aumentando a qualidade de vida dos ocupantes.

É interessante observar que no bloco 03, das séries iniciais do ensino fundamental, onde o arquiteto cria pátios externos às salas de aula, delimitado com um muro, são espaços mais íntimos forrados com vegetação. O arquiteto utiliza ainda uma floreira no pátio interno desta edificação, como pode ser visto na Figura 49.

Figura 49: Foto da vegetação no pátio externo e no pátio central

Fonte: Acervo da autora, 2012.

O ginásio também conta com canteiros de vegetação natural por toda sua extensão longitudinal, no nível das aberturas, como pode ser visto na Figura 50.

Figura 50: Ginásio com canteiros externos no nível da ventilação e demais canteiros circundantes à escola

Fonte: Acervo da autora, 2012.

5.3.3.2 Estudos de ventilação

Um estudo, feito em Maringá por Galvani *et al.* (1999), caracteriza a direção predominante do vento e demonstra maiores ocorrências de vento da direção nordeste, estando correta a orientação do edifício, tanto nas questões de insolação quanto na questão da captação e melhor aproveitamento dos ventos. Assim, pode-se pensar no fenômeno esquematizado nas figuras Figura 51 a Figura 55, onde as fachadas voltadas para nordeste captariam o vento pelas janelas laterais e por diferença de pressão esse vento sairia pelos *sheds*, funcionando como extratores de vento. Já nas fachadas que seriam prejudicadas por não estarem na

orientação de incidência dos ventos, o ar poderia entrar pelos *sheds*, que funcionariam como captadores de vento, e sair pelas janelas laterais.

Além disso, o edifício conta com janelas superiores nas divisões internas dos ambientes, que garantiriam a circulação do vento. Assim, é evidente a preocupação do arquiteto com o conforto de seus usuários, e em uma escola isso é fundamental para o processo de aprendizagem dos alunos. O que se observou, porém, durante as visitas à escola, foi uma falta de conhecimento por parte dos professores acerca do manuseio do sistema de abertura dos *sheds* e das janelas altas. A maioria dos professores não sabia sequer da possibilidade de abrir essas janelas, sendo que somente as janelas laterais maiores são abertas e, dessa forma, não há diferença de pressão para que o vento percorra o ambiente. A questão do barulho entre as salas também contribuiu para que as portas fiquem fechadas o tempo todo.

Figura 51: Esquema de ventilação natural – BLOCO 01

Fonte: Autora, 2012.

Figura 52: Esquema de ventilação natural – BLOCO 02

Fonte: Autora, 2012.

Figura 53: Esquema de ventilação natural – BLOCO 03

Fonte: Autora, 2012.

Figura 54: Esquema de ventilação natural – GINÁSIO

Fonte: Autora, 2012.

Figura 55: Esquema de ventilação natural – Orientação dos sheds

Fonte: Autora, 2012.

Durante o tempo em que se realizaram as medições na escola, a equipe da pesquisa incentivou que as janelas altas e *sheds* fossem abertas e os professores e funcionários atenderam prontamente a solicitação, providenciando uma barra de ferro alta para abri-las, demonstrando a necessidade e o desejo de mudanças na escola. Para as janelas superiores ficarem abertas, elas contam com uma corrente metálica que se prende em uma espécie de “prego” fixado na parede (Figura 56). A maioria das janelas, porém, já não contam mais com essa corrente, ficando impossível mantê-las abertas. A diretoria da escola demonstrou, inclusive, interesse em comprar novas correntes para repor as que faltam.

Figura 56: Sistema de abertura das janelas superiores

Fonte: Acervo da autora, 2011.

5.3.3.3 Estudos de proteção solar

No projeto dos CAICs, Lelé utiliza o sistema de iluminação lateral, pelas janelas, e zenital, proveniente dos *sheds*. A iluminação lateral causa desuniformidade da distribuição lumínica no ambiente, pois o nível de luminância diminui conforme a distância da janela. Segundo Egan (1983) e O'Connor (1997), a zona de eficiência da iluminação lateral é 1,5 vezes a altura do piso até a verga da janela (Figura 57), neste caso, a eficiência da janela é de 3,52 metros, quase a metade da sala de aula (Figura 58). A distância máxima recomendada para um maior aproveitamento da luz natural é de 5,87 metros (2,5 vezes a altura do piso até a verga da janela), que é quase a largura total da sala, que é 6,10 metros.

Figura 57: Distribuição lumínica e zona de eficiência para janelas laterais

Fonte: Egan (1983) e O'Connor (1997), respectivamente, modificado pela autora, 2012.

Figura 58: Zona de eficiência da iluminação lateral

Fonte: Autora, 2012.

A iluminação zenital, neste projeto utilizado com *sheds*, em conjunto com a iluminação natural, proporciona uma iluminação mais uniforme e maiores níveis de iluminância sobre o plano de trabalho. A desvantagem dos *sheds* é a manutenção, que é mais cara e onerosa. A limpeza e manutenção são essenciais para manter os padrões de luz naturais, garantidos no projeto original, que acabam sendo prejudicados pela dificuldade de acesso. Porém, como solução de iluminação natural, a combinação de luz lateral mais zenital pode ser bastante interessante para se obter uniformidade no ambiente, como mostra a Figura 59.

Figura 59: Relação do nível de distribuição lateral A mais uma zenital B

Fonte: MAJOROS, 1998.

Devido ao grande ganho térmico propiciado pelo sol, proteger o edifício da radiação solar direta é uma exigência fundamental para atingir o conforto térmico. O ganho de calor pela cobertura, pelas paredes e áreas envidraçadas são os principais fatores que causam aquecimento do ar interno, não desejável para um clima quente, como o de Maringá. Assim, o arquiteto Lelé utiliza diversos dispositivos de proteção para as áreas envidraçadas. A começar pelos *sheds*, cujo elemento translúcido (fibra de vidro) não recebe radiação direta, pois está protegido, como pode ser visto na Figura 60.

Figura 60: Detalhe dos sheds e da inclinação do vidro e foto interna de uma sala de aula

Fonte: Autora, 2012.

Outra questão interessante de observar é que o modelo de esquadria que o arquiteto desenha pode funcionar também como um brise vertical para barrar a entrada de sol nos períodos em que este se encontra mais baixo ou impedir o ofuscamento que sua luz direta causa. É uma esquadria pivotante com quatro folhas, cada folha é dividida em duas partes, uma parte é composta por um painel branco, e a outra parte possui vidro e mais o painel opaco (Figura 61a), tornando opcional a abertura do segundo painel (Figura 61b). Se o painel estiver totalmente fechado e a janela estiver aberta, então se tem um brise vertical que pode barrar o sol mais baixo de inverno ou início e final do dia (Figura 61c).

Figura 61: Detalhe das esquadrias e possibilidades de abertura e uso

Fonte: Acervo da autora, 2012.

Com essas esquadrias, tem-se a possibilidade do total fechamento, o que não permite que a luz natural nem os ventos entrem. Para que a ventilação natural ocorra, as esquadrias têm que estar abertas, e dessa maneira, a luz e o calor vão entrar. Dessa maneira, faz-se também necessário o estudo da incidência do sol nas fachadas, pois se infere que as janelas estarão abertas na maior parte do tempo, devido ao calor que faz em Maringá.

Para a realização dos estudos de insolação, vale destacar que o arquiteto utiliza as pestanas, que são brises horizontais das janelas laterais (Figura 62). Essas pestanas servem para proteger da radiação solar do ofuscamento causado pela incidência direta do sol no ambiente, gerando desconforto térmico e visual e também da chuva, e possibilitando permanecer com a janela aberta quando esta não está associada a ventos fortes. Para verificar a eficácia dessas proteções, procedeu-se a estudos de insolação nas fachadas do edifício.

Figura 62: Foto com detalhe das pestanas amarelas – proteção horizontal

Fonte: Acervo da autora, 2012.

Para tal estudo, foi utilizada a carta solar com a latitude mais próxima à latitude de Maringá, que é de $-23,42^\circ$, para isso, se usou a carta solar com latitude de -24° . Após, foram realizadas as máscaras de sombra proporcionada pelas pestanas a fim de verificar a eficiência dessas proteções e avaliar a incidência do sol nas fachadas e a penetração do sol através das aberturas.

Foram estudadas as fachadas que possuem aberturas laterais, que é a Nordeste (azimute= $21,6^\circ$), Sudoeste (azimute= $201,6^\circ$) e Noroeste (azimute= $291,6^\circ$). No projeto original existiam aberturas apenas nas fachadas nordeste e sudoeste, porém, há três salas na fachada noroeste que foram feitas em reformas posteriores, e não contam com nenhum tipo de proteção (Figura 63).

Figura 63: Croqui com indicação das fachadas estudadas

Fonte: Autora, 2012.

No Quadro 16, pode-se observar os períodos que o sol incide nas fachadas sem considerar as pestanas, como se elas não existissem. Nota-se que a fachada nordeste receberia sol durante praticamente o ano todo, sendo que no verão receberia o sol da manhã, nos equinócios até às 15 horas e no inverno, o dia todo, até às 17h15. Já a fachada oposta, a sudoeste, receberia o sol da tarde toda no verão, nos equinócios somente depois das 15 horas e no inverno não receberia sol. Já a fachada noroeste, receberá sol durante o ano todo, a partir do meio dia no verão, das 11h30 nos equinócios e das 10h45 no inverno.

Quadro 16: Período de insolação nas fachadas (sem considerar as pestanas horizontais)

Fachada	Solstício de verão	Equinócios	Solstício de inverno
Nordeste (21,6°)	6h00 até as 12h00	06h00 até as 15h00	06h45 até as 17h15
Sudoeste (201,6°)	12h00 até as 18h30	15h00 até as 18h00	----
Noroeste (291,6°)	12h00 até as 18h30	11h30 até as 18h00	10h45 até as 17h15

Figura 64: Carta solar e o período de insolação das fachadas

Fonte: Autora, 2012.

Existem ainda, pestanas com duas larguras, isso porque o peitoril também varia. Nas salas de aula que foram inicialmente concebidas para ser da pré-escola e, dessa forma, atender aos alunos mais novos, o peitoril é de 45 centímetros e a pestana tem 1,80 metros de largura. Talvez esse rebaixamento do peitoril seja para que a ventilação cruzada acontecesse na altura dos corpos dos ocupantes, que neste caso é mais baixa e, então, necessitaria de maior proteção horizontal, como de fato aconteceu. Isso ocorre também no refeitório e nos locais onde, ao invés de janelas, têm-se portas. Já as demais salas, para alunos mais velhos e funcionários, o peitoril é de 85 centímetros e a pestana tem 1,15 metros de largura.

Como os blocos possuem grande comprimento, cerca de 40 a 50 metros, e suas janelas e pestanas estão alinhadas, as janelas mais ao centro dos blocos são mais bem protegidas, visto que, pode-se considerar que os brises destas janelas são horizontais infinitos, já que os ângulos γ_d ou γ_e das janelas são 3° . Quanto mais próximas às extremidades, menor é a eficiência da proteção, uma vez que a proteção se restringirá a apenas um lado, o lado protegido pelo brise. Os estudos foram feitos considerando as janelas centrais como se fossem brises infinitos.

Quadro 17: Período de insolação das fachadas com pestanas de larg.: 1,80m e peitoril: 0,45m

Fachada	Solstício de verão	Equinócios	Solstício de inverno
Nordeste (21,6°)	----	06h até às 8h20	06h45 até às 12h00 16h15 até às 17h15
Sudoeste (201,6°)	16h25 até às 18h30	16h50 até às 18h00	----

No Quadro 17, tem-se o período de insolação nas fachadas nordeste e sudoeste com as pestanas maiores e o peitoril mais baixo, que só acontece no bloco das séries iniciais, no refeitório e nos locais onde há portas ao invés de janelas. Percebe-se que, no verão, a fachada nordeste estará totalmente protegida, não incidindo sol nessa fachada. Já nos

equinócios, o sol incidirá apenas das 6h da manhã até as 08h20. No inverno, essa fachada receberá o sol da manhã, até o meio dia, o que pode ser uma boa estratégia, visto que as estratégias bioclimáticas para Maringá exigem aquecimento passivo no inverno. Comparando estes dados com o Quadro 16, percebe-se o grau de eficiência dessa proteção para a fachada nordeste, pois durante o verão haveria sol até o meio dia, nos equinócios até às 15 horas e no inverno até as 17h15. As janelas localizadas à direita das fachadas nordeste não receberão sol no verão, no inverno vão receber sol o dia todo e nos equinócios das 6h00 às 8h25 e das 11h25 às 15h. Já as janelas localizadas à esquerda das fachadas nordeste receberão sol até o meio dia no verão, no inverno vão receber sol das 6h45 às 15h15 e das 16h30 às 17h15; e nos equinócios das 6h às 11h25 (Figura 66).

Figura 65: Fachada nordeste do bloco 03: pestanas maiores para menores peitoris

Fonte: Acervo da autora, 2011.

Figura 66: Máscara de sombra da fachada nordeste com pestanas maiores – salas centrais, à direita e à esquerda da fachada

Fonte: Autora, 2012.

Já observando a fachada sudoeste, percebe-se que, se não fosse protegida, esta receberia sol nos meses mais quentes do ano, a partir do meio dia no verão e a partir das 15h nos equinócios. Os dispositivos utilizados protegem bem essa fachada, pois permitem a incidência do sol no verão somente depois das 16h25, e no inverno depois das 16h50, considerando que as aulas terminam às 17h30, os alunos terão um incômodo de apenas

uma hora no final da tarde, que pode ser amenizado com as esquadrias, as quais funcionam como brises verticais. As janelas localizadas à direita das fachadas sudoeste terão a mesma eficiência das janelas centrais com pestanas. Já as janelas localizadas à esquerda das fachadas sudoeste receberão sol como se as pestanas não existissem, ou seja, a pestana nesse caso não faz diferença (Figura 68).

Figura 67: Fachada sudoeste do bloco 02: pestanas maiores para menores peitoris – refeitório

Fonte: Acervo da autora, 2011.

Figura 68: Máscara de sombra da fachada sudoeste com pestanas maiores – salas centrais, à direita e à esquerda da fachada

Fonte: Autora, 2012.

As pestanas maiores, de 1,80 metros, também são utilizadas quando há portas ao invés de janelas, que ocorre no anfiteatro e no bloco principal, no segundo pavimento, onde há uma saída para uma passarela elevada, como pode ser visto na Figura 69. Nos dois casos a fachada é sudoeste, o peitoril é zero, e a eficiência pode ser vista no Quadro 18.

Quadro 18: Período de insolação das fachadas com pestanas de larg.: 1,80m e peitoril 0,0m (portas)

Fachada	Solstício de verão	Equinócios	Solstício de inverno
Nordeste (21,6°)	----	06h até as 08h40	06h45 até as 13h00
Sudoeste (201,6°)	16h15 até as 18h30	16h45 até às 18h	----

Figura 69: Fachada sudoeste do bloco 02: diferença de largura das pestanas

Fonte: Acervo da autora, 2012.

Figura 70: Fachada sudoeste do bloco 01: portas e pestanas do anfiteatro

Fonte: Acervo da autora, 2012.

No Quadro 19, tem-se o período de insolação nas fachadas nordeste e sudoeste com as pestanas menores e o peitoril mais alto, situação que acontece nas salas de aula do bloco 02, na biblioteca do bloco 01 e nos locais de serviço onde os usuários são funcionários adultos. A eficiência dessa fachada é muito parecida a das pestanas maiores, com uma diferença de, aproximadamente, 20 minutos a mais de incidência de sol. No verão a fachada nordeste estará protegida, como no caso das pestanas maiores; nos equinócios o sol incidirá até as 08h40; e no inverno até às 13h15. Já observando a fachada sudoeste, no verão, ao invés de receber sol depois das 16h25, esses casos receberão sol a partir das 16h15, nos equinócios a proteção valerá a partir das 16h50min, como no caso das pestanas maiores.

Quadro 19: Período de insolação das fachadas com pestanas de larg.: 1,15m e peitoril: 0,85m

Fachada	Solstício de verão	Equinócios	Solstício de inverno
Nordeste (21,6°)	----	06h00 até as 08h40	06h45 até as 13h15 16h25 até às 17h15
Sudoeste (201,6°)	16h15 até as 18h30	16h50 até as 18h00	----

Figura 71: Fachada nordeste com pestanas menores – biblioteca e salas de aula do bloco 02

Fonte: Acervo da autora, 2012.

Figura 72: Fachada sudoeste com pestanas menores – salas de artes do bloco 01 e salas de aula do bloco 02

Fonte: Acervo da autora, 2012.

Figura 73: Máscara de sombra para pestanas menores – fachada nordeste e sudoeste

Fonte: Autora, 2012.

O conjunto conta ainda com três salas que estão orientadas a Noroeste. Estas salas, onde funciona a sala dos professores e sala de reforço do bloco 03 e a sala de espera dos antigos consultórios do bloco 01, foram adaptadas e construídas depois que o edifício estava pronto, portanto não faziam parte do projeto original. As janelas são basculantes e não possuem proteções de nenhum tipo, portanto o Quadro 16 representa o período de insolação das fachadas. Pode-se perceber que o sol incidirá na sala no verão, a partir do meio dia, nos equinócios, a partir das 11h30, e no inverno, a partir das 10h45, ou seja, durante o ano todo receberá insolação à tarde. É o caso mais crítico da edificação, pois além das aberturas estarem em uma orientação em que o ganho de energia pelo sol é alto, não são protegidas.

Figura 74: Reforma com execução das janelas do bloco 03, imagem interna do bloco 03, janelas a noroeste do bloco 01

Fonte: Acervo da autora, 2012.

Em relação à altura solar, a Figura 75 ilustra os períodos de penetração do sol pelas janelas. Observa-se que o sol entra até aproximadamente 9h e depois das 15h, quando os ângulos de incidência são menores. Como as aulas começam 7h30 e terminam às 17h30, os alunos tem em média, 2 horas de sol incidindo diretamente nas salas. Para amenizar o problema, as esquadrias basculantes podem ser usadas para barrar o sol. Dessa maneira, fica comprovada a eficácia das pestanas projetadas pelo arquiteto Lelé na maior parte do ano.

Figura 75: Estudo de insolação com altura solar no solstício de verão

Fonte: Autora, 2012.

5.3.4 Discussão acerca da análise projetual

A análise bioclimática para Maringá foi feita baseada na carta de Givoni e na tabela de Mahoney com os dados climáticos de 10 anos, de 2002 a 2011. Como resultado, a carta de Givoni indica um desconforto em 40% do ano, sendo que destes 26,92% são em relação ao calor e 13,20% para o frio. Para períodos de calor as principais indicações de estratégia a serem utilizadas são a ventilação, a inércia térmica alta e o resfriamento evaporativo. Já para o frio a principal estratégia deve ser a massa térmica para aquecimento solar passivo (13,20%).

O método de Mahoney também dá algumas recomendações de projeto. Quanto à implantação, recomenda-se que os edifícios sejam alongados e orientados para norte e sul, requisito que se cumpre em parte, pois o edifício está orientado a 21,6 graus em relação ao norte, uma rotação pequena que não ocasiona grandes danos. Em relação à ventilação, ele sugere que se tenha ventilação cruzada, mas com possibilidade de controle, o que é cumprido. Quanto às aberturas, orienta que estas não ultrapassem 15 a 20% da área de fachada e estejam localizadas nas fachadas norte e sul, permitindo ventilação no nível dos corpos ocupantes. Embora as aberturas sejam maiores que 20% da área da fachada, o arquiteto cria proteções a essas superfícies transparentes e também coloca o peitoril no nível do corpo dos usuários, pois nas salas de aula dos alunos mais velhos, secretaria e administração o peitoril é 40 cm mais alto que nas salas de aulas das crianças mais novas.

Ao estudar a implantação do edifício, percebe-se que está correta, visto que, além da sua orientação estar para nordeste e sudoeste, o entorno com edificações baixas e bastante espaçadas favorece a ventilação natural. Mas o movimento de terra necessário para deixar o edifício todo em um nível só prejudicou o bloco 03 que ficou “semienterrado” ao lado de um talude. Os muros externos ao bloco 03 também prejudicam a ventilação.

Em relação às propriedades dos materiais das paredes e pisos, o método de Mahoney orienta a utilização de paredes, pisos e coberturas pesados para aumentar a inércia térmica e, assim, retardar a entrada de radiação solar da edificação. Os cálculos indicam os maiores problemas na cobertura, mas nenhum item (nem das paredes nem da cobertura) foi atendido de acordo com a solicitação de Mahoney, somente o fator solar das paredes porque elas são pintadas de branco externamente. Para a transmitância da cobertura, foi indicado valor menor ou igual a 0,85 W/(m²K), e o que se obteve foi 2,16 W/(m²K), muito acima do desejado. O atraso solar, tanto da cobertura quanto da parede, foi muito abaixo do esperado, resultando em atraso de 2,4 horas para a cobertura e 2,05 para as paredes; mas, pelas recomendações de Mahoney, o atraso deveria ser maior que 8 horas. De acordo com essas análises, pode-se inferir que o edifício é leve, ou seja, as envoltórias não representam

uma barreira contra as condições climáticas externas; pelo contrário, em dias muito quentes, o acúmulo de calor na cobertura pode esquentar ainda mais o ambiente através das trocas de calor por radiação.

Em relação às estratégias passivas, o uso da vegetação melhora o conforto higro-térmico e visual da edificação. A iluminação natural entra, na maioria das vezes, de forma difusa, o que é bom, pois não causa ofuscamento nem causa ganho térmico. As proteções solares, presente nos *sheds*, nas esquadrias que podem funcionar como brises e as próprias pestanas, não permitem a entrada da radiação direta do sol na maioria dos ambientes e horários. Isso significa que, com o uso desses dispositivos, a luz do sol entra, mas não entra o calor ocasionado por ele.

Através dos estudos de proteção solar, conclui-se que as fachadas nordeste e sudoeste estão bem protegidas pelas pestanas horizontais. O sol entra nas salas somente nos primeiros horários da manhã e nos últimos da tarde. As salas a noroeste, que não são protegidas foram feitas depois e não fazem parte do projeto original.

Ao analisar o edifício percebe-se que o arquiteto cria diversos dispositivos que favorecem a ventilação pela ação do vento, como aberturas nas paredes opostas, proporcionando ventilação cruzada, além de *sheds*, que funcionam ora como captadores, ora como extratores de vento. A ventilação cruzada garante também maiores índices de conforto no interior, estratégia sugerida para Maringá por métodos de análise bioclimática como Givoni e Mahoney. As aberturas destinadas à ventilação higiênica e os *sheds* ficam fechados, tanto pela questão do usuário não saber se pode ou como abrir as janelas, quanto pela falta de manutenção em que não há mais os elementos que mantêm estas janelas e *sheds* abertos.

Em relação à cobertura, é fundamental notar que durante a entrevista do Lelé, ele afirma a existência de um colchão de ar ventilado na cobertura dos edifícios. O que se vê, porém, por meio de fotos e estudos na literatura, é que quase não há abertura para ventilação na cobertura.

5.4 O MÉTODO DO PMV E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS

Durante os dias de monitoramento, havia em média 28 alunos por sala de aula mais um professor (a) e um monitor da pesquisa, totalizando 30 pessoas. No primeiro dia, os dois ventiladores, um localizado a frente e outro nos fundos da sala, permaneceram desligados a pedido da equipe de pesquisa, nos dias restantes eles foram ligados o tempo todo, pois era impossível mantê-los desligados devido ao calor. Na sala 03 no período da tarde a professora se recusou a deixar o ventilador desligado alegando que as crianças passariam mal, tamanho desconforto interno. Os demais equipamentos que haviam nas salas de aula

eram um aparelho de televisão, quase nunca usado, e as lâmpadas fluorescentes tubulares, totalizando 16 lâmpadas de 32W em cada sala, acesas o tempo todo.

Com excessão do pedido para o desligamento dos ventiladores no primeiro dia, as salas foram medidas como os usuários a deixam (Figura 76). As janelas ficavam abertas praticamente o tempo todo, com excessão de algumas vezes em que o sol causava reflexo no quadro e era necessário fechar a janela. Outro ponto interessante de ser perceber é que o modelo da esquadria pivotante obriga os alunos que sentam na fileira próximo à janela a estarem um pouco afastados da mesma, e como eles queriam ficar encostados na parede (que tem janela), às vezes as janelas ficavam fechadas por isso. Os *sheds* estavam todos fechados, bem como algumas janelas superiores, devido à falta de manutenção e de conhecimento por parte dos usuários, conforme já relatado neste trabalho. As portas, na maioria do tempo, precisavam ficar fechadas por causa do barulho.

Figura 76: Salas durante monitoramento

Fonte: Acervo da autora, 2011.

5.4.1 Temperatura do ar e umidade relativa

A Figura 77 apresenta o gráfico com a média das temperaturas medidas nos três dias (dia 1: 28/11/2011; dia 2: 29/11/2011 e dia 3: 01/12/2011), que tiveram valores muito semelhantes, sendo a média representativa do comportamento das salas monitoradas. A linha tracejada representa os dados da temperatura e umidade medidos no ponto externo. No horário de almoço, das 11h30 às 13h30, não foram realizadas medições, ficando, assim, o gráfico interrompido.

A área pintada de cinza no gráfico traz a faixa de temperatura operativa interna de conforto para espaços condicionados naturalmente de acordo com a ASHRAE 55 (2010). Os dados de entrada deste método são dados da temperatura externa do local, não sendo inseridos dados de umidade ou velocidade do ar. As médias mensais de temperatura externa utilizadas para Maringá foram calculadas para o período de 2002-2011. O limite

recomendado foi de 80%, que é o adotado para edifícios comuns, já que os 90% é utilizado quando se deseja um padrão mais elevado de conforto térmico. Substituindo os valores das médias mensais nas equações das retas do gráfico (conforme descrito nas páginas 35 e 36), obtiveram-se os intervalos de conforto visualizados no Quadro 20. Sendo assim, adotou-se o intervalo de 22°C a 29°C como faixa de conforto para os dias do monitoramento (em cinza no gráfico da Figura 77).

Quadro 20: Intervalo de conforto de acordo com a ASHRAE 55 para Maringá (2002-2011)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temp. externa média	25,6	26,0	26,2	24,6	20,5	20,3	20,0	21,9	23,1	24,7	25,5	26,1
Temp.interna recomendada												
Máxima	29,2	29,3	29,4	28,9	27,7	27,6	27,5	28,1	28,4	28,9	29,2	29,3
Mínima	22,2	22,3	22,4	21,9	20,7	20,6	20,5	21,1	21,4	21,9	22,2	22,3

Fonte: Autora, 2012.

Figura 77: Gráfico da temperatura média do ar

No período da manhã, até por volta de 10h30, as temperaturas estão dentro da faixa aceitável segundo a ASHRAE 55 (2010). No período da tarde nenhum dia apresentou temperaturas aceitáveis, sendo quase sempre maiores que 30°C. Interessante perceber que a temperatura externa, no período da tarde, é menor que no interior das salas de aula, ou seja, se os alunos tivessem aula ao ar livre em local coberto, seria mais confortável nesses dias.

Durante os dias analisados, a temperatura máxima externa de 33,9°C ocorreu no dia 02 às 15h50, e a temperatura mínima externa deste mesmo dia aconteceu às 7h30 da manhã,

com 22,8°C, totalizando em uma amplitude térmica de 11,1°C. No dia 03 a temperatura máxima externa de 32,8°C foi registrada também às 15h50, já no dia 01 a máxima de 33°C aconteceu às 17h30. As mínimas para o dia 01 e 03 também aconteceram às 7h30, e foi de 22° e 22,5°C, respectivamente.

Analisando as curvas de temperatura média para os diferentes ambientes avaliados (Figura 77), percebe-se que mesmo tendo comportamento parecido, as salas 01 e 03 apresentam temperaturas um pouco mais altas e estão orientadas a nordeste. As salas 02 e 04 apresentam temperaturas um pouco mais baixas que as citadas anteriormente, ficando estas orientadas a sudoeste. Já a biblioteca, que também está orientada a nordeste, registrou as temperaturas menores entre todas as salas. De manhã a biblioteca apresenta temperaturas menores que a externa, mas, à tarde, a temperatura externa é a mais amena entre todas, comprovando a crítica situação dos alunos e professores.

A maior temperatura de todas as salas durante os três dias foi de 35,6°C registrado na sala 01 (nordeste) no dia 02 das 16h30 até, praticamente, o fim da tarde, 17h30. Já as menores temperaturas, excetuando as externas, foram de 24,4°C registradas na sala 03 às 7h30 do dia 01 e na biblioteca às 8h10 do dia 02, ambas com orientação a nordeste. A temperatura um pouco mais baixa da biblioteca pode ser explicada pela baixa ocupação, ou seja, o ambiente é grande e vazio, já as salas de aulas, com mais alunos se movendo, o ganho térmico devido às pessoas é maior. O fato de a mesma orientação apresentar os valores mais altos e mais baixos de temperatura reforça a tese de que o maior ganho da edificação vem pela cobertura.

Analisando os limites de temperatura proposto pela ASHRAE 55 (2010), observa-se que nas salas 01 e 03 só se está dentro dessa faixa de manhã até as 10h30. As salas 02 e 04 apresentam um período um pouco maior em conforto, até aproximadamente 11h15. A biblioteca está dentro dos limites na manhã toda. Durante a tarde, porém, todas as temperaturas marcaram mais que 29°C, ou seja, estão em desconforto.

Em relação à umidade relativa do ar (Figura 78), a máxima umidade relativa externa registrada foi de 79,9% no dia 03 às 7h30; nesse mesmo dia a mínima foi de 31,8% às 17h, apresentando uma variação de 47,9%. Já para os dias 01 e 02 as máximas umidades relativas externas foram de 72,2% e 77,7% ambos às 7h30; as mínimas para esses dias foram de 36,8% às 17h30 e 37% às 15h10, respectivamente. No dia 02 as umidades relativas mais baixas, tanto a externa quanto as internas, aconteceram por volta de 15h30, modificando um pouco a curva da umidade. Nota-se um decaimento acentuado da umidade relativa ao longo de todos os dias constatando os altos níveis de radiação solar que evaporam as partículas de água presentes no ar e fazem a temperatura subir.

Figura 78: Umidade relativa do ar média (%)

5.4.2 Velocidade do ar

Analisando os gráficos da velocidade do ar, percebe-se uma grande diferença no gráfico da Figura 79 em relação a velocidade do ar medido no ponto externo e as velocidades do ar medidas internamente. Isso porque no dia 01 os ventiladores estavam desligados, demonstrando a extrema necessidade de utilização deles. A ventilação natural de fato, não acontece nas salas de aulas e biblioteca. O vento não consegue penetrar nos ambientes, pois com os *sheds*, janelas superiores e portas fechadas, não se cria o diferencial de pressão necessário para que o ar circule nos ambientes.

No dia 01, a biblioteca, durante a manhã, apresentou valores mais altos de ventilação natural, pois além de ser fachada nordeste, orientação dos ventos dominantes de Maringá, é o edifício mais ao nordeste de todos e com o entorno praticamente livre. Nos dias seguintes, a velocidade do ar na biblioteca foi menor que as de algumas salas, porque havia menos ventiladores na biblioteca que nas salas, proporcionalmente. Nota-se a alta velocidade do ar no dia 01 para a sala 03 à tarde, que é a sala em que a professora se recusou a desligar os ventiladores devido a pouca idade das crianças que passariam mal sem eles.

Figura 79: Velocidade do ar no dia 01

Figura 80: Velocidade do ar no dia 02

Figura 81: Velocidade do ar no dia 03

Figura 82: Velocidade média do ar

Analisando a média de todos os dias (Figura 82), a média dos ventos externos foi de 0,94m/s, o que não significa uma potencialidade muito grande para o aproveitamento dos ventos naturais como estratégia de resfriamento. A sala 01 apresentou uma média de 0,65m/s; enquanto a sala 02 obteve uma média de 0,20m/s, a sala 03 de 0,28m/s e a sala 04 de 0,26m/s. A biblioteca, como média geral, obteve 0,22m/s. Esses dados se referem à média de um dia com ventiladores desligados e dois dias com eles ligados.

A sala 01, localizada a nordeste e no pavimento superior, apresentou as maiores velocidades. Já a sala 02, embora no mesmo pavimento da sala 01, está localizada a sotavento dos ventos dominantes e apresentou as menores velocidades do vento, sendo a utilização de *sheds* como captadores de vento uma boa alternativa para as salas com essa orientação. As salas 03 e 04 são as localizadas próximas a um talude e cercadas por muros, o que prejudicou, de fato, a ventilação, apresentando valores baixos de velocidade de vento.

5.4.3 Votos médios preditos

Para a análise dos votos médios preditos (PMV) que foram calculados utilizando os valores medidos das variáveis ambientais e dos dados de isolamento devido à roupa, conseguidos nos questionários que foram aplicados aos alunos, serão apresentados gráficos por sala avaliada. A faixa pintada de cinza ao fundo representa o intervalo do PMV em que os usuários estão em conforto, ou seja, os votos de -0,5 a +0,5.

Figura 83: Gráfico da média do PMV da sala 01

Figura 84: Gráfico da média do PMV da sala 02

Figura 85: Gráfico da média do PMV da sala 03

Figura 86: Gráfico da média do PMV da sala 04

Figura 87: Gráfico da média do PMV da biblioteca

Figura 88: Gráfico da média do PMV de todos os ambientes nos três dias

Analisando os gráficos, observa-se que, até aproximadamente às 10h, as pessoas encontram-se em conforto, o que confirma o intervalo de temperatura da ASHRAE 55 (2010). No período da tarde a maioria dos PMV's ultrapassa +2, denotando sensação de muito calor. A biblioteca e as salas 01, 03 e 04 apresentam valores negativos para o PMV no início da manhã, mas ainda estão dentro da área de conforto.

Figura 89: Gráfico da porcentagem de insatisfeitos da sala 01

Figura 91: Gráfico da porcentagem de insatisfeitos da sala 03

Figura 93: Gráfico da porcentagem de insatisfeitos da biblioteca

Figura 90: Gráfico da porcentagem de insatisfeitos da sala 02

Figura 92: Gráfico da porcentagem de insatisfeitos da sala 04

Figura 94: Gráfico da média da porcentagem de insatisfeitos das salas de todos os dias

A porcentagem de insatisfeitos também reflete o conjunto de todas as variáveis, apresentando faixa de conforto de até 10% de insatisfeitos até às 10h da manhã. Praticamente a tarde toda a porcentagem de insatisfeitos é maior que 90%.

5.4.4 Aplicação de Questionários

Para completar a análise através do método PMV, aplicaram-se 2700 questionários em todas as salas pesquisadas para todos os alunos que estavam nas salas no momento, que

contou com aproximadamente 225 alunos. Basicamente constava no questionário três perguntas: qual era a sensação térmica no momento, a preferência térmica e a roupa que estavam vestindo. A informação da roupa serviu para os cálculos do PMV e a sensação e preferência térmica é mostrada nesta seção.

O modelo de gráfico escolhido foi o de colunas 100% empilhadas para comparar a porcentagem de contribuição de cada valor em relação a um total entre categorias utilizando retângulos verticais. Nos gráficos estão representados os totais de respostas, em valores absolutos, de cada dia em cada período analisado. A porcentagem de cada grupo de resposta pode ser vista no eixo vertical. O período M1 significa que foi o primeiro horário da manhã, por volta de 8h; M2 seria no final da manhã, próximo das 11h; T1 é o primeiro horário da tarde, aproximadamente 14h, e T2 o último horário da tarde, em torno de 17h. Na biblioteca não foi possível estabelecer horários fixos, pois a visita dos alunos é espaçada e não segue uma lógica, inclusive só foi possível aplicar os questionários à tarde no primeiro dia, pois as crianças menores não frequentam a biblioteca. Nos gráficos, as cores mais quentes, a partir do vermelho até o alaranjado claro, representam as respostas em que os alunos estavam com muito calor ou que preferiam um ambiente muito mais quente. Os diferentes tons de azuis significam preferência pela temperatura mais amena.

As crianças mais novas, 3ª e 4ª séries do ensino fundamental (salas 03 e 04 no período da tarde) tiveram dificuldades para entender a diferença entre sensação e preferência térmica, sendo que foram descartados questionários que apresentavam voto em +3 para sensação térmica e +3 para preferência térmica; ou seja, estavam com muito calor e preferiam estar com mais calor ainda, indicando o não entendimento das perguntas.

Para análise da sensação térmica, os votos foram agrupados em três categorias: desconforto por frio (votos de -3 a -0,49), em conforto (-0,5 a 0,5) e em desconforto por calor (+0,51 a +3,0), de acordo com a escala de sete pontos recomendada na ASHRAE 55 (2010).

Assim, observando o gráfico da sensação e preferência térmica dos alunos das salas 01, 02, 03, 04 e biblioteca (Figura 95 a Figura 99), verifica-se grande maioria em desconforto por calor e preferindo sentir mais frio na sala. Os gráficos apresentaram resultados semelhantes, pois as variáveis climáticas nos três dias analisados foram muito semelhantes, estando a média (Figura 100), representativa do comportamento no período.

Figura 95: Gráfico da porcentagem da sensação e preferência térmica dos alunos da sala 01 (%)

Figura 96: Gráfico da porcentagem da sensação e preferência térmica dos alunos da sala 02 (%)

Figura 97: Gráfico da porcentagem da sensação e preferência térmica dos alunos da sala 03 (%)

Figura 98: Gráfico da porcentagem da sensação e preferência térmica dos alunos da sala 04 (%)

Figura 99: Gráfico da porcentagem da sensação e preferência térmica dos alunos da biblioteca (%)

A média da quantidade de alunos que estavam em desconforto por frio e em conforto ou desconforto por calor pode ser visto no Quadro 21 e na Figura 100. Observa-se no início da manhã (M1) um leve desconforto por frio. Os períodos de maior conforto acontecem no início da manhã também (M1), seguido por M2, T1 e T2. Em comparação, porém, à quantidade total de votos, a grande maioria se sente desconfortável pelo calor, fato este que comprova as deficiências da escola já observadas na análise projetual e nas demais medições.

Quadro 21: Média geral da sensação térmica obtida através dos questionários (%)

	DIA 1				DIA 2				DIA 3			
	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2
Desconforto por frio	0,6	0,0	0,0	0,0	1,6	0,2	0,0	0,4	0,8	0,0	0,2	0,4
Em conforto	7,0	4,0	2,6	2,2	7,2	3,2	4,4	3,2	6,2	3,0	4,2	4,8
Desconforto por calor	14,4	14,4	18,8	18,4	14,0	18,6	17,4	18,4	9,4	14,2	17,8	15,6

Figura 100: Gráfico da porcentagem média da sensação térmica dos usuários – questionário (%)

Analizando as respostas obtidas pelos questionários, percebeu-se que apontaram para o desconforto por calor (Figura 100). No entanto, no período M1, ou seja, no início da manhã, a porcentagem de pessoas em conforto foi maior que no restante do dia, em que predominou o desconforto por calor. Isso se confirmou com a faixa de conforto da temperatura do ar, PMV e PPD, até aproximadamente às 10h30. Com relação à preferência térmica, a maioria respondeu que preferiria um ambiente mais frio (votos em -3 a -1), como pode ser visto na Figura 101. Novamente, no início da manhã (M1) houve maior preferência para que o ambiente não se alterasse, ou seja, estavam em conforto.

Quadro 22: Média da preferência térmica dos usuários obtida através dos questionários

	DIA 1				DIA 2				DIA 3			
	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2	M1	M2	T1	T2
Com muito mais frio (-3)	1,0	2,5	3,8	6,0	2,3	2,3	3,3	4,5	1,0	1,5	3,3	2,3
Com mais frio (-2)	3,8	4,3	6,3	4,0	3,5	4,0	5,0	4,3	1,3	3,3	4,0	4,3
Com um pouco mais de frio (-1)	12,8	8,3	5,5	6,8	7,3	10,8	5,8	6,0	6,8	6,3	6,5	5,5
Sem alteração (0)	8,0	5,3	5,5	4,5	9,3	6,3	5,3	5,5	5,8	4,8	6,8	8,3
Com um pouco mais de calor (1)	0,5	0,0	0,0	0,3	0,8	0,0	0,5	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0
Com mais calor (2)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Com muito mais calor (3)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0

Figura 101: Gráfico em porcentagem da média da preferência térmica dos usuários

5.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA COBERTURA

Observando os resultados das medições *in loco*, verificou-se que a biblioteca apresentou os melhores resultados e a sala 01 os piores, sendo que estas salas possuem a mesma orientação, nordeste. Além disso, a maior temperatura atingida na sala 01, também a nordeste, indicam o grande ganho de calor pela cobertura.

5.5.1 Etapa 1

A avaliação do desempenho térmico da cobertura foi dividida em duas etapas. A fim de verificar a diferença de temperatura vertical interna nos ambientes monitorados, precedeu-se à realização da etapa 1. Os dados tabelados com os resultados completos se encontram em anexo – item 8.3.

Observando o gráfico da Figura 102, que traz as temperaturas médias superficiais do teto e do piso dos dois dias de medições, observa-se que no início da manhã, às 7h, o teto está mais frio que o piso, isso porque foi resfriado durante a noite, no qual se tem as temperaturas mais baixas. Isso demonstra a pouca inércia do edifício, pois por volta de 10 horas essa situação se inverte, chegando ao ápice às 15h30, atingindo temperaturas superficiais do teto mais altas que a temperatura externa do ar. Nota-se uma queda da temperatura superficial do teto por volta das 18h, fato explicado pela chuva que ocorreu nesse horário no segundo dia. Assim, demonstra-se que com o resfriamento da cobertura, a situação interna melhoraria significativamente.

Figura 102: Gráfico das temperaturas médias superficiais do teto e do piso medidas internamente.

Analisando o Quadro 23, que mostra a diferença das temperaturas teto-piso, notam-se as maiores diferenças entre a temperatura do teto e do piso no período da tarde, por volta de 15h30, sendo que na sala 04 essa diferença chegou a 10,5°C (destacado em vermelho). Esse forro superaquecido, combinado com o pé-direito baixo, de 2,80 metros (embaixo das vigas é de apenas 2,30 metros), é o responsável pelo grande desconforto devido à diferença de temperatura radiante.

Quadro 23: Diferença de temperatura superficial teto – piso (°C)

	Dia 01					Dia 02				
	Bibl.	Sala 01	Sala 02	Sala 03	Sala 04	Bibl.	Sala 01	Sala 02	Sala 03	Sala 04
07:00	-3	-3	-3,5	-3	-3,5	-2,5	-3,5	-3	-3,5	-2,5
09:30	-1	-0,5	0	1	1,5	-1,3	-0,5	-1	1	2
12:00	2,8	5,5	6	6	7,5	2,8	6	6,5	7	8
13:00	5,8	9	9	9,5	10	6,4	8	9,5	8	8,5
15:30	6,7	9	9,5	9,5	10,5	5,2	6,5	6	6,5	8
18:00	5	5	5,5	4,5	5	4,2	1,5	2	2,5	3

Tanto a ISO 7730 (2005) quanto a ASHRAE 55 (2010) tratam do desconforto térmico localizado, sendo que, dentro da temperatura radiante assimétrica, as pessoas são mais sensíveis a uma radiação assimétrica causada por um teto quente do que por superfícies verticais quentes ou frias. A ASHRAE 55 considera, ainda, um limite máximo de 5°C de diferença da temperatura radiante assimétrica devido a um forro aquecido (o observado no CAP chega a 10,5°C).

5.5.2 Etapa 2

Para verificar a eficiência de uma sugestão de resfriamento da cobertura, foi realizada a segunda etapa de medições, que contou com a medição da temperatura superficial da cobertura em três tipos de sala de aula: 1. cobertura do jeito atual, sem modificações; 2. cobertura lavada; e 3. cobertura lavada e pintada de branco (Figura 103).

Figura 103: Telhado pintado de branco (sala 3), somente lavado (sala 2), sem alteração (sala 1)

Fonte: Acervo da autora, 2014.

Todas possuem a mesma orientação nordeste, ficam no bloco 03 e possuem as janelas com peitoris mais baixos (h: 0,45 m), como pode ser visto na Figura 104.

Figura 104: Interior da sala 3

Fonte: Acervo da autora, 2014.

No dia da medição, nos primeiros horários da manhã, o clima estava agradável, com bastante vento o dia todo, esquentando mais no período da tarde. Observando os resultados das medições no Quadro 24, no primeiro horário da manhã (7h), os valores da temperatura superficial da laje externa estão bem próximos à interna, com diferença de 3°C entre o telhado inalterado (sala 1) e o branco (sala 3). Nesse horário as temperaturas superficiais da laje interna foram as mesmas para as três salas, 20°C. Por volta das 9h30, a diferença na temperatura superficial da laje externa aumentou, marcando 37°C na sala inalterada, 34°C na sala só lavada e 22°C na sala pintada de branco, dando uma diferença de 15°C entre a sala 1 e a 3.

Quadro 24: Dados das medições com a cobertura sem alteração (sala 1), lavada (sala 2) e pintada de branco (sala 3)

Horário	Sala	Temp. do ar externa/UR	Temp. laje externa	Temp. laje interna	Temp. do ar interna/UR
07h00	Sala 1	23°C / 61%	19°C	20°C	23°C / 63%
	Sala 2		18°C	20°C	24°C / 63%
	Sala 3		16°C	20°C	24°C / 63%
09h30	Sala 1	26°C / 63%	37°C	24°C	26°C / 62%
	Sala 2		34°C	24°C	26°C / 62%
	Sala 3		22°C	22°C	26°C / 60%
12h00	Sala 1	30°C / 50%	53°C	32°C	30°C / 49%
	Sala 2		48°C	31°C	30°C / 48%
	Sala 3		31°C	27°C	30°C / 48%
15h30	Sala 1	34°C / 35%	43°C	35°C	34°C / 36%
	Sala 2		40°C	34°C	33°C / 37%
	Sala 3		28°C	30°C	32°C / 39%
17h30	Sala 1	32°C / 40%	34°C	34°C	33°C / 40%
	Sala 2		31°C	33°C	33°C / 39%
	Sala 3		30°C	30°C	32°C / 40%

De maneira geral, as temperaturas superficiais externas da sala sem modificações e da somente lavada não apresentaram grandes diferenças, sendo a cor cinza clara do concreto, uma cor que absorve bastante a radiação solar. Já comparando a sala sem alteração com a pintada de branco, veem-se resultados bastante significativos, como no horário das 12h, em que se constatou uma diferença de 22°C, ou no horário das 15h30, em que a diferença foi de 15°C.

As diferenças de temperaturas superficiais externas entre as salas refletiram nas temperaturas superficiais internas. As temperaturas superficiais internas das salas 01 e 02 apresentaram valores menores que as temperaturas superficiais externas, com exceção do primeiro horário, em que a interna apresentou valor maior para todas as salas e o último horário das 17h30, em que a interna se igualou com a externa. Isso significa que, mesmo a cobertura sendo leve, ela consegue amortecer o fluxo térmico. Nas salas pintadas de branco, embora a diferença entre temperatura externa e interna não seja tão grande, os valores de temperatura superficial interno sempre foram menores que as das outras salas, demonstrando que pintar a cobertura de branco é uma solução viável, barata e de fácil execução para promover o resfriamento da cobertura.

Observou-se também, que às 17h30, os *sheds* sombreavam quase todo o telhado, ficando as temperaturas superficiais da laje externa muito próximas. Observou-se, também, que nos locais em que haviam *sheds*, se medíssemos a temperatura da laje interna nos locais em que se fazia uma “previsão” de onde estariam as sombras dos *sheds* (dependendo do horário do dia), teria uma temperatura em média 5°C mais baixa que nos demais pontos, o que demonstra que o sombreamento da laje é uma solução que melhoraria a situação do ganho de calor pela cobertura (Figura 105).

Figura 105: Sombreamento do *shed* na cobertura

Fonte: Acervo da autora, 2014.

Em relação à temperatura do ar interno, observam-se valores muito próximos à temperatura do ar externo. Porém, às 15h30, verificou-se uma diminuição de 2°C em relação à temperatura externa na sala pintada de branco e em relação às demais salas. Às 17h30 o valor se igualou à temperatura externa (32°C), porém ficou 1°C abaixo das outras duas salas (33°C). Pode-se constatar, assim, que o maior responsável pela alteração nas condições de conforto nas salas de aula é a temperatura radiante e não a temperatura do ar somente. Além disso, o ar quente trazido de fora, também aquece as superfícies internas.

Conforme explica Givoni (1992), quando a temperatura ultrapassa os 29°C e a umidade relativa é inferior a 60%, o resfriamento convectivo noturno é mais indicado, visto que a ventilação diurna implicaria calor adicional dentro dos ambientes nestas condições. A redução significativa da temperatura interna durante o dia abaixo da máxima externa só pode ser obtida com edifícios de grande massa e resistência térmica e um efetivo controle solar. Para edifícios de grande massa térmica, bem isolado e sombreado, fechados durante o dia e ventilados somente durante a noite, uma queda da temperatura interna de 45 a 55% em relação à máxima externa é possível.

Cabe ressaltar que as condições internas não são resultado somente do fluxo de calor que atravessa a cobertura, mas em conjunto com suas superfícies verticais que, embora bem protegidas da radiação solar direta, transmitem diretamente o calor e as condições externas para o interior.

5.5.3 Discussão acerca das medições e do desempenho térmico da cobertura

Por meio da análise do gráfico da temperatura interna, notou-se que as temperaturas das salas de aula se mantiveram acima da temperatura externa, uma vez que, no período da manhã, observou-se um limite de conforto aceitável para todas as salas. Esse limite é o estabelecido pela ASHRAE 55 (2010), a qual considera o ambiente termicamente confortável e aceitável, aquele em que no mínimo 80% das pessoas expressam satisfação com o ambiente analisado. Isso foi refletido no PMV e PPD calculados, pois se constatou uma faixa de conforto até às 10h, em que $-0,5 < \text{PMV} < +0,5$ e a porcentagem de insatisfeitos (PPD) são menores que 10%. No restante do dia, evidenciaram-se condições de extremo desconforto, inadequadas para que haja qualquer qualidade no processo de aprendizagem.

Em relação às salas de aula, aquelas voltadas para o nordeste (01 e 03) foram as que apresentaram as maiores temperaturas. Embora se verificou, nas análises anteriores, que as janelas estão bem protegidas da radiação solar direta, há grande ganho térmico interno, o que ressalta a importância do cuidado com a cobertura, responsável por esse ganho. Além disso, a baixa inércia térmica da sua envoltória resulta em grandes áreas de janelas que se abrem quase que totalmente e pequenas áreas de alvenarias (massa térmica).

A cobertura é de placas de argamassa armada com colchão de ar pouquíssimo ventilado; além disso, na parte externa, devido à falta de manutenção, está preto, o que leva a absorver praticamente toda radiação incidente. Analisando o desempenho térmico da cobertura, verificou-se grande diferença entre a temperatura superficial da laje e do piso. Para amenizar esse problema, uma pintura do telhado na cor branca seria eficiente, pois como o branco reflete a radiação, a passagem do fluxo de calor é menor, fato comprovado através dos resultados em que se observou diferença das temperaturas superficiais internas das lajes.

Pintar o telhado de branco é uma solução que se mostrou eficiente, viável, fácil e barata, porém, com temperaturas externas maiores que 30°C no período da tarde, dificilmente se teria conforto sem utilização de sistemas ativos complementares. Para se conseguir temperaturas internas menores que a externa, é necessário promover a ventilação noturna e o aumento da massa, recomendada por Givoni (1992), porém são soluções inviáveis, pois envolveria mudança drástica da estrutura da escola. Mas, pensando em dias com temperaturas mais amenas, em torno de 23°C a 28°C, que é a maioria dos dias em um ano, a pintura do telhado de branco se constitui uma boa solução, pois, reduz bastante o ganho de calor pela cobertura, observado na diminuição da temperatura superficial externa.

6

CONCLUSÃO

6 CONCLUSÃO

As análises das soluções projetuais mostraram que o edifício foi bem concebido para permitir ventilação natural cruzada, protege bem suas fachadas, prevê um colchão de ar na sua cobertura, demonstrando o cuidado do arquiteto com o conforto ambiental. A análise de Givoni e Mahoney indicaram duas questões fundamentais para se obter conforto em edificações em Maringá, promoção da ventilação cruzada e grande inércia térmica. Em relação aos materiais, a edificação é leve, e seu desempenho térmico não responde aos indicados por Mahoney para o clima de Maringá. Quanto à ventilação, a edificação está orientada para os ventos dominantes e conta com elementos como *sheds* e janelas superiores para promoção da ventilação cruzada em situações mais desfavoráveis, mas esses dispositivos ficam fechados por falta de manutenção e desconhecimento por parte do usuário. Ainda, de maneira geral, as análises de insolação e proteção solar demonstraram que as superfícies de esquadrias estão bem protegidas pelas pestanas e as próprias esquadrias funcionam como brises verticais móveis.

As medições *in loco* indicaram grande ganho térmico interno, observado por meio das altas temperaturas das salas de aula, maiores do que a externa, e a insatisfação dos usuários em praticamente todo o tempo. Os piores resultados obtidos nas salas 01 e 03 que possuem orientação nordeste e os melhores resultados da biblioteca, que também está a nordeste, demonstraram o grande ganho de calor que entra pela cobertura e a importância de se promover ventilação cruzada para a retirada do calor. A diferença de mais de 10 graus das temperaturas superficiais do forro e do piso em um pé direito de 2,80 metros, comprovaram que o calor que vem da cobertura contribui para a má condição das salas, necessitando de intervenção de sua arquitetura.

Esse alto grau de desconforto pode ser explicado pela falta de manutenção, que acarretou o escurecimento da superfície externa da cobertura, absorvendo grande quantidade de calor. A pintura do telhado de branco demonstrou que melhora a temperatura superficial externa e interna, diminuindo o calor que entra pela cobertura e ressaltando a importância da temperatura radiante para promoção de condições de conforto térmico. A falta de ventilação da cobertura e a pouca inércia do envelope construtivo, prejudicam as condições de conforto no interior e, conseqüentemente, o processo de ensino-aprendizagem. O aumento do colchão de ar, aumentando a ventilação na cobertura, proposta pelo arquiteto Lelé, e a elevação da massa térmica do sistema se mostraram como possíveis soluções, entretanto, inviáveis de serem colocadas em prática.

Para finalizar, conclui-se que o edifício conta com diversos dispositivos que deveriam promover melhor condição de conforto térmico no interior, mas o que se viu, por meio das

medições, foi uma situação precária de calor extremo, prejudicando crianças e funcionários que trabalham ali o dia todo. A questão da manutenção e conscientização do usuário, junto com a melhoria do desempenho térmico da cobertura, são questões fáceis que melhorariam a sensação térmica no interior.

7

REFERÊNCIAS

7 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

AKUTSU, M.; BRITO, A. C.; AQUILINO, M. M.; REIS FILHO, A.; SILVA, W. S. **O efeito da inércia térmica de paredes no desempenho térmico de edificações escolares**. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. Anais do XII ENCAC e VIII ELACAC, 2013.

ARAUJO, C. V. A.; PEDRINI, A. **Análise de captadores de vento para potencialização da ventilação natural**. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. Anais do XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2013. p. 1166

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2010.

BASTOS, M. A. J. A escola-parque: ou o sonho de uma educação completa (em edifícios modernos). **AU**, São Paulo, n. 178, p. 42-45, jan. 2009.

BENTES, R. F. **Considerações sobre projeto e produção de componentes pré-fabricados de argamassa armada**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1992.

BITTENCOURT, L. S.; CÂNDIDO, C. M.; BATISTA, J. O. **A utilização de captadores de vento para aumentar a ventilação natural em espaços de sala de aula**. In: III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações - COTEDI / ENCAC 2003, 2003, Curitiba. Anais do COTEDI/ENCAC 2003. Curitiba: ANTAC, 2003. p. 177-184.

BOGO, A. J.; VOSS, M. **Avaliação de conforto ambiental e de sustentabilidade em edificações escolares: aspectos negativos encontrados**. In: ENCAC 2001 III Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído e VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Pedro SP. Anais..., São Pedro – SP, 2001.

BUFFA, E. Pesquisas sobre arquitetura e educação: aspectos teórico-metodológicos. In: SANTOS, A. V. dos; VECHIA, A. (Org.). **Cultura escolar e história das práticas pedagógicas**. Curitiba: UTP, 2008.

CERQUEIRA, R. M.; PEREIRA, I. M. **Análise do Conforto Térmico por meio de Simulação Computacional em Projeto de Escola Padrão do Estado de Minas Gerais**. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. Anais do XII ENCAC e VIII ELACAC, 2013. p. 712-721

COSTA, Ana M. V.; BARBIRATO, G. M. **Arquitetura adaptada ao clima: análise comparativa dos Centros de Atenção Integral à criança de Maceió**. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal-RN. Anais do X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009.

DIAS, A. S.; SOUZA, H. A. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas nas zonas bioclimáticas brasileiras**. In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2011, Búzios, RJ. Anais do... Búzios, RJ: Org. Enedir Ghisi e Maria Júlia de Oliveira Santos, 2011.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: base de dados de tintas látex acrílica e PVA e a influência da rugosidade superficial**. In: X ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal. Anais..., 2009. p. 612-621.

DORNELLES, K. A.; CARAM, R. M. **Impactos da exposição ao intemperismo natural sobre as refletâncias de tintas para cobertura de edifícios**. In: XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012, Juiz de Fora. Anais do XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012. p. 847-855

DORNELLES, K. A.; CARAM, R. M.; SICHIERI, E. P. **Absortância solar e desempenho térmico de tintas frias para uso no envelope construtivo**. In: XII ENCONTRO NACIONAL E VIII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2013, Brasília-DF. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2013. p. 875-884.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. **A ilusão das cores na identificação da absortância solar de superfícies opacas**. In: IX Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto.

Anais do IX Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Porto Alegre: ANTAC, 2007.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M.; RORIZ, V.; CARAM, R. M. **Desempenho térmico de tintas brancas com microesferas cerâmicas para uso em coberturas de edifícios**. In: XI ENCAC E VII ELACAC, 2011, Búzios-RJ. Anais do XI ENCAC E VII ELACAC, 2011.

EGAN, M.J. **Concepts in Architectural Lighting**. New York, MacGraw-Hill, 1983

ELALI, G. V. M. A. O ambiente da escola - o ambiente na escola: uma discussão sobre a relação escola-natureza em educação infantil. **Estudos de Psicologia**, Natal, v. 8 (2), n. 1, p. 309-319, 2003.

FANGER, O. **Thermal comfort** - analysis and application in environmental engineering. New York: MacGraw-Hill, 1970.

FARIA, J. R. G.; KANEKO, P. M. **Análise térmica das salas de aula do campus da UNESP - Bauru**. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Pedro - SP. Anais do ENCAC 2001. São Pedro - SP, 2001.

FARIAS, P. M.; NERY, J.; FREIRE, M. R.; MORAES, L. R. S. **Conforto térmico e ambiente de trabalho docente em uma escola municipal de Salvador-BA**. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal-RN. Anais... Natal-RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009. v.1. p.465-465.

FIGUEIREDO, E. S.; CASTRO, A. P. de A. S.; CARAM, R. M.; LABAKI, L. C. **Medidas de refletância de cores para pintura externa exposta ao tempo**. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal. Anais do... São Paulo: Antac - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2009.

FONTANELLA, M.S.; SOUZA, H. A. **Avaliação de índices de conforto térmico entre os universitários na cidade de Ouro Preto**. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal - RN. Anais do... Natal-RN, 2009. v. 1. p. 632-641.

FREIRE, M. R. Iluminação Natural em Salas de Aula: o caso das escolas FAEC em Salvador/Ba. **Arqtexto** (UFRGS), v. 1, p. 12-15, 2001.

FREITAS, C. R.; GALTER, M. I. Reflexões sobre a educação em tempo integral no decorrer do século. **EducereetEducare**, v. 2, n.3, p. 123-138, 2007.

GALVANI *et al.* Caracterização da direção predominante do vento em Maringá – PR. In **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, 1999, Santa Maria – RS, 1999.

GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines, **Energy and Buildings**, 18(1), p. 11-23, 1992.

GOMES, R. J. **Condicionamentos climáticos da envolvente dos edifícios para habitação: ensaio de aplicação ao caso da região de Lisboa**. Lisboa: Ministério das Obras Públicas - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Memórias do LNEC, v.2, 1962.

GONÇALVES, R. B.; SARDEIRO, P. S.; SOARES, P. F. **Conforto térmico em salas de aula: medições in loco e simulações em software**. In: XII Encontro Nacional e VIII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília-DF. Anais do... Brasília-DF, 2013.

GUIMARÃES, A. G. **João Filgueiras Lima: O último dos modernistas**. 196p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

INFORMATIVO UEM. **Colégio de aplicação da UEM recebe professores**. Ano XXI, n.943, Maringá, 16 a 22/2/2011. Disponível em: <<http://www.informativo.uem.br/novo/index.php/informativos-2011/215-informativo-943/4524-colegio-de-aplicacao-recebe-professores-do-estado>>. Acesso em: 13 out. 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, 2005.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura Escolar: o projeto do ambiente de ensino**. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; BORGES FILHO, F.; LABAKI, L. C.; RUSCHEL, R. C.; BERNARDI, N.; BERTOLI, S. R.; PINA, S. A. M. G.; CAMARGO, R. F. **Melhoria do Conforto Ambiental em Edificações Escolares na região de Campinas**. In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza. Anais..., 1999.

KRÜGER, E. L.; ADRIAZZOLA, M. K. O.; MICHALOSKI, A. O. **Desempenho térmico de salas de aula do CEFET-PR**. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Pedro/SP. Anais do VI ENCAC. Campinas/São Carlos/POA:

UNICAMP/UFSCar/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2001. v. 1. p. 1-7.

LABAKI, L. C.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. **Avaliação do conforto térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública, Campinas, SP.** In: ENCAC 2001 - VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Pedro, SP. Anais... São Pedro, 2001.

LATORRACA, G. (Org). **João Filgueiras Lima, Lelé.** São Paulo: Instituto Lina BO e P.M. Bardi, 1999.

LEAL, T. de A.; BITTENCOURT, L. S.; CÂNDIDO, C. M. **Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em escolas.** In: IV Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió. Anais do VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e IV Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. São Paulo: ANTAC, 2005. v. 1. p. 1-8.

LEUCZ, J. **Ambiente de trabalho das salas de aula no ensino básico nas escolas de Curitiba.** 2001. 86 p. Dissertação (mestrado) – Engenharia de produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

LIMA, J. F. **Escola transitória – modelo rural: experiência com argamassa armada.** Brasília: MEC/CEDATE, 1984.

LIMA, J. F. **O que é ser arquiteto: memórias profissionais de Lelé (João Filgueiras Lima);** em depoimento a Cynara Menezes. Rio de Janeiro: Record, 2004.

LUKIENTCHUKI, M. A. **A evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação natural na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro.** Dissertação (Mestrado) – escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

MAJOROS, A. **Daylighting.** PLEA Notes, Note 4. PLEA in Association with Department of Architecture, University of Queensland. Ed. Szokolay, 1998.

MARTIN-BARÓ, I. **Acción y ideología – Psicología Social desde Centroamérica.** San Salvador: UCA Editores, 1992.

MUELLER, C. M. **Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto**. Dissertação (Mestrado – Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP. São Paulo, 2007.

O'CONNOR, J. *et al.* **Tips for Daylighting with windows: the integrated approach**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997. Disponível em: <http://windows.lbl.gov/daylighting/designguide/designguide.html>. Acesso em 03.03.2012.

PAES, R. F. de S.; BASTOS, L. E. G. **Qualidade ambiental na edificação: o caso das escolas públicas da cidade do Rio de Janeiro**. In: XII Encontro Nacional e VIII Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. Anais... Brasília, 2013.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E.; GÜTHS, S. **Comparação do desempenho térmico de revestimentos brancos**. In: XII ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. Conforto e Projeto, 2013. v. 1. p. 828-835.

PERÉN, J. I. M. **Ventilação e iluminação naturais na obra de João Filgueiras Lima, Lelé**. 2006. 262 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PIETROBON, C. E.; LAMBERTS, R.; PEREIRA, F. O. R. **Tratamento de elementos climáticos para a climatologia das edificações: o caso de Maringá – PR**. In: V ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II ELACAC - Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza. Anais do V ENCAC E II ELACAC, 1999.

RIBEIRO, G. P. **Conforto ambiental e sustentabilidade na obra de João da Gama Filgueiras Lima (Lelé): os hospitais da rede Sarah**. Dissertação (mestrado). Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2004.

RUAS, A.C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999.

SANTOS, E. I.; COIMBRA, I. L.; MARINOSKI, D. L ; LAMBERTS, R.; DORNELLES, K. A. **Influência da rugosidade superficial sobre os valores da absorptância solar determinados com o espectrômetro portátil ALTA II**. In: XI ENCAC E VII ELACAC, 2011, Búzios. Anais do XI ENCAC E VII ELACAC, 2011.

SCHNEIDER, M. Do school facilities affect academic autcomes? **National Clearinghouse for Educational Facilities**, nov. 2002.

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

TORRES, D.; ADELINO, T.; BITTENCOURT, L. S. **Análise da utilização de *sheds* como estratégia passiva de ventilação em casa geminada**. In: VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC 2013) e XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC 2013), 2013, Brasília. Anais do VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído e XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído- Conforto e Projeto. Brasília: ANTAC; Cláudia Naves David Amorim e Léa Cristina Lucas de Souza, 2013. p. 821-827.

TRIGO, C. C. **Pré-fabricados em argamassa armada: material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ANEXOS

8 ANEXOS

8.1 MODELO DE QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ALUNOS

Universidade de São Paulo
Instituto de Arquitetura e Urbanismo

iau usp

QUESTIONÁRIO SOBRE CONFORTO TÉRMICO Colégio de Aplicação Pedagógica – UEM

Data: ____/____/2011 - Sala: 01 Hora: ____:____

Turma: _____

Idade: ____ anos

Sexo: () Feminino () Masculino

1. Marque com um X como você está se sentindo nesse momento:

2. Marque com um X como você gostaria de estar se sentindo nesse momento:

3. Marque com um X as roupas que você está usando agora:

() Camiseta () Shorts () Tênis () Sandália
() Jaqueta () Calça () Meia

Sua participação foi muito importante para essa pesquisa! Obrigada!!!

8.2 ENTREVISTA COM O ARQUITETO LELÉ

Essa conversa aconteceu com a autora deste trabalho juntamente com a pesquisadora Marieli Azoia Lukiantchuki em que ela coletava dados para sua pesquisa de doutorado. A transcrição a seguir é somente de alguns trechos, os que se referiam a presente pesquisa, da entrevista realizada com o arquiteto Lelé, em Salvador, no dia 25 de novembro de 2011.

A conversa sobre o CIAC se inicia quando Marieli conversava com o arquiteto a respeito do sistema de manutenção dos edifícios da rede Sarah e aproveitei para perguntar sobre a manutenção dos CIAC's.

Mariana: Então, como a gente tá falando de manutenção, chegou a ser pensado em como seria feita a manutenção dos CIAC's depois?

Lelé: Não, o que eu tinha pensado nos CIACs era o seguinte: cada empresa construtora era obrigada a montar uma fábrica e manter essa fábrica não só para a construção dos CIACs, mas para a construção de todos os programas escolares e de creche que houvesse na região. Então o projeto dos CIACs ele tinha muitas peças, chega a ter 200 peças. A experiência do programa poderia atender praticamente o que quisesse, com as peças do CAIC. Então a nossa preocupação era essa, que essas fábricas fossem montadas e ficassem vivendo a vida inteira. Então era uma fábrica em cada local. Como agora, por exemplo, eu fiz com a "Minha Casa Minha Vida", era uma pequena unidadezinha que estava no local lá, se não, depois você não consegue transportar uma peça dessas.

Mariana: O CIAC seria implantado no Brasil inteiro, como seria trabalhada a questão da adaptação ao clima local? Haveria diretrizes?

Lelé: Havia várias tipologias diferentes. Nós montamos só dois. Montamos no Rio de Janeiro e em Brasília, só esses dois, e aí saímos. Você quer a explicação porque nós saímos? Uma das razões é que desde o início nós estávamos muito envolvidos com a questão do custo. Aquilo era um programa pra fazer escolas no Brasil inteiro e tinham que ser econômicas e nós estudamos detalhadamente com muito cuidado a questão dos orçamentos e chegamos à conclusão de custo de 190 dólares por metro quadrado naquela época. Aí as empresas construtoras "chiaram": que era muito barato e que não dava pra fazer, mas tínhamos orçado tudo direitinho. Aí chegaram a um preço de 240 dólares, também acima do que eu tinha proposto. Mas mesmo assim a gente aceitou, mas nós íamos montar dois protótipos, para ter convicção de que aquele custo estava certo, e confirmamos. Aí para a surpresa minha, eles começaram a querer mexer para chegar a 500 dólares. Aí entrou PC Farias, aí eu me retirei.

Mariana: O governo contratou você e sua equipe...

Lelé: O governo contratou a nossa equipe para fazer o projeto e estabelecer todas as fábricas. A construtora montava a fábrica e daí por diante ela cobrava. Nós estabelecemos um preço, aceitamos em 240 dólares, mas aí eles não se contentaram com isso, e aí, para justificar a mudança, eles começaram a tentar mudar o projeto. Tentaram não, mudaram. Para justificar outros preços, entende?

Mariana: E o senhor lembra-se dessas mudanças?

Lelé: Por exemplo, a argamassa armada, tinha uns *sheds* assim de proteção, aí eles quiseram fazer metálico. Mudaram o ginásio, passaram a fazer metálico. Eles foram mudando tudo.

Nesse momento mostrei para ele fotos do CAP de Maringá .

Lelé: Os *sheds* são metálicos, mas manteve a mesma forma. Paredes de bloco de concreto: Ah que horror! A tipologia da esquadria – a nossa não era assim, era mais delicada. É o que a gente vai fazer?? É eles foram fazendo uma misturada aí danada...

Mariaa: O material dos *sheds* e aberturas, eles utilizaram fibra de vidro.

Lelé: Não, Não.

Mariana: Era o que antes?

Lelé: Era um plástico transparente chamado plástico “Elvic”. Você vê esse aqui (Maringá) ainda tem a estrutura toda em argamassa armada, ainda tem algumas coisas que sobraram... Mas eu acho que atualmente eles foram mudando com a intenção de mudar os preços, a intenção não é de você melhorar, a intenção é alterar pra ter outros custos, e eles chegaram a 500 dólares o metro quadrado. Um absurdo.

Mariana: Mas de qualquer forma, analisando as outras escolas como a de Abadiânia, ele também foi uma evolução das outras escolas. Nessa época em que ele foi feito também foi uma evolução tecnológica.

Lelé: É eu acho que sim, eu acredito ainda hoje que a argamassa armada que é um material, que... esses prédios que eu estudei pra “Minha Casa Minha Vida”, estão todos de argamassa armada. Estrutura metálica de chapa dobrada, estrutura mista em argamassa armada e aço. E eu acho que esse casamento do aço com a argamassa armada produz coisas muito baratas e de boa qualidade. Barata mesmo. Para você ter uma ideia, quando nós fizemos a proposta do minha casa, minha vida, o nosso preço era 27, 28 mil cada unidade. Naquela época estavam cobrando 46 e as empresas reclamaram já, depois passou pra 55 e agora eles tão querendo 75. Nosso preço era “mixuruca”.

Mariana: A argamassa armada tem mais vantagem sobre a estrutura metálica além do preço, o material é mais vantajoso? Tem melhores características?

Lelé: É eu acho que sim. Todo material é bom e tem suas boas qualidades e suas más qualidades. Eu gosto muito da estrutura mista. Estrutura mista é uma estrutura em que a argamassa e o aço eles trabalham juntos. Nas passarelas de Salvador, não é de estrutura mista. As passarelas são de estrutura metálica e os complementamos de argamassa armada, eles são vedações ou lajes. Mas enfim, eles não trabalham juntos. No prédio do Darcy Ribeiro é tudo estrutura mista. É muito mais econômico. Existe uma laje que agora que eles começaram... Sabe que quando eu fui pra Brasília eu fazia tudo de estrutura mista né... Eu tinha assim um estalo de que aquilo ia dar certo... Mas naquela época ninguém... poxa naquela época eu tentei fazer uma estrutura mista e eles quase me xingaram, aí eu desisti, sabe?

Marieli: Lelé estrutura mista seria o trabalho da argamassa armada junto com o metálico? Como se o metálico fosse uma armadura mesmo?

Lelé: Pronto. Como se fosse uma armadura. Por exemplo, essas lajes steel deck, ela é assim. Ela tem aderência. Agora, tem várias maneiras de criar aderência. A aderência que eu tinha estudado era tudo com chapa dobrada. Esses prédios, por exemplo dos CIACs, isto não era estrutura mista, são todos sistemas bi apoio, são todas peças isostáticas.

Mariana: Fiquei impressionada com a esbeltez da seção das vigas. 2,5cm

Lelé: Mas você sabe, que você vai ver depois, lá no CTRS tudo é de argamassa armada. Tudo 2cm, 2,5cm. Mas eu acho que isso é que falta, hoje em dia, pra gente, na arquitetura, é esse tipo de laboratório onde você possa testar. Se errar, sempre a gente vai errar, pra poder acertar.

Mariana: E nos CIACs vocês iam fazer várias tipologias diferentes. Chegaram a fazer os projetos?

Lelé: Chegamos a estudar o projeto. Na verdade as primeiras fábricas que foram implantadas, a fábrica mais ao Sul foi a do Paraná. A gente já tinha feito, inclusive, o levantamento. Curitiba né? Tinha uma tipologia um pouco diferente. Mas o clima do Brasil também, tirando assim, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, alguns lugares mais altos, tem um clima que não tem muita diferença. Aí tem Manaus, que é muito úmido né... Mesmo Belém do Pará, que eu pensei... por exemplo, o nosso Sarah no Amapá, eu fiquei muito preocupado. Lá existe uma umidade grande né aí aumentamos o pé-direito, criamos uma série de sistemas de ventilação diferentes. Sabe que hoje em dia eu vou lá, não tem ar condicionado. E não era nenhum bico de sete cabeças. Tá funcionando bem. Apenas o que

nós fizemos foram aberturas maiores nos *sheds*. Aí nós fizemos um sistema, porque quando você faz um *shed* muito alto, você tem um problema pra manipular aquilo ali.

(...)

Lelé: Mas eu não posso te ajudar muito nesse negócio não sabe Mariana porque eu não sei realmente o que aconteceu. Nós nos retiramos dois meses depois de começar o projeto.

Mariana: Eu queria muito conseguir o projeto inicial.

Lelé: Ele tá na Promon. Nós fizemos pra Promon. Tá muito bem detalhado sabe. As fábricas todas estão detalhadas.

Mariana: E o que aconteceu com as fábricas?

Lelé: Eu não sei filha, eu fiquei tão descrente, eu fiquei tão amargurado, eu tive um infarto por causa disso. Então eu acho que eu fiquei muito amargurado, e com as questões que se colocavam também... a mídia né? Quer dizer, misturavam tudo, a tecnologia com a roubalheira né? E eu acho que os CIACs atrasaram a evolução da argamassa armada em muito tempo.

Mariana: É inclusive já ouvi que o trabalho mal feito das fábricas, deixavam armaduras expostas e isso causava muitas patologias. Com a mídia, criou-se um preconceito em cima desse material.

Lelé: É... criou-se um preconceito. É a tal coisa. Não adianta você dar um piano de cauda pra uma pessoa que não sabe tocar piano, que não vai tocar. Não é a fábrica que resolve o problema, você tem que ter conhecimento do que você tá fazendo, pra saber manipular com aquilo. Eu acho que as fábricas ficaram muito boas, nosso projeto era baseado em muitas outras experiências anteriores, e a gente tinha muita segurança do que estava fazendo. Agora, infelizmente na visão dos empreiteiros, tem que ganhar dinheiro a qualquer preço.

Mariana: Como era a questão da cobertura? Tem a laje e depois tem outro elemento por cima...

Lelé: É o elemento de isolamento térmico né?

Mariana: Porque era uma laje bem fininha né? 2,5cm... aí tinha um espaço e já ...

Lelé: É o espaço ventilado. É uma peça completamente solta. Não tem ponte térmica, ela só apoia aqui nessas pontinhas. Com isso, o calor, esse aquecimento aqui, ele tem esse colchão de ar que é ventilado e aí não transmite pra peça de baixo. Você tem que criar sempre um colchão de ar ventilado na cobertura, entende? Então o sistema era esse.

Mariana: Então a espessura do colchão de ar vai influenciar nesse caso?

Lelé: Se for bem ventilado, não muito. O negócio é você ter isolamento térmico e acústico. O isolamento termo acústico é uma coisa bastante fácil de você usar. O isolamento térmico em Brasília que é um lugar muito seco é muito fácil, quanto mais úmido, melhor. Agora, aqui, nesse caso, isso aí foi resultado de muitas experiências anteriores. O ideal é pintar isso aqui você de branco pra refletir ainda mais. Mas mesmo que você pinte, como a manutenção é muito ruim, daqui a pouco vai ficar preto. É melhor enfrentar logo um escuro mesmo e fazer um colchão maior.

Mariana: Não tem como saber se essa espessura é a mesma do projeto inicial né?

Lelé: Pode ser que eles tenham mexido, mas esse desenho aqui me parece que tão respeitando. Eu acho o seguinte. Eu não defendo esse projeto. Eu acho que foi feito com a intenção de ser uma coisa muito barata, econômica. Pra educação, a gente pensa o seguinte: tem muito pouco dinheiro pra educação, tem muito pouco dinheiro pra saúde, se a gente fizer uma obra cara, evidentemente, menos pessoas vão ser atendidas e há uma demanda gigantesca. Então a gente tem que procurar, no projeto, fazer uma coisa que tenha certa qualidade, mas que seja econômica, o que eu chamo de arquitetura transitória. Eu acho que isso é arquitetura transitória. E eu acho que o nosso país, rico com nossas carências todas, ele tem que se apoiar na arquitetura transitória, mais barata e bem mais econômica do que uma arquitetura com todos os recursos que você tem de tecnologia. Então, se você faz uma escola mais barata, evidentemente sobra mais dinheiro pra comprar computadores, e outras coisas. Então eu acho que a preocupação com a economia tem que ser grande nas escolas, nesses programas sociais. Então a questão do conforto ambiental é subjetiva. Eu acho, por exemplo, que às vezes você tem um ambiente mais bem disrutado você pode ter um conforto pior que as pessoas aceitam melhor. Então, são questões subjetivas. Eu acho que se você tá fazendo alguma coisa que você gosta, então você aceita melhor o calor e o frio, porque você está numa situação agradável. Se você estiver numa situação desagradável, aí você tem horror ao frio, horror ao calor. E outra coisa, de pessoa pra pessoa varia muito. Essa coisa de dizer que 21 graus é o ideal, pra mim não, eu sou baiano, pra mim o ideal é 25, 26, 27 graus. Com 27 graus eu tô muito satisfeito. Então isso também é uma questão individual, algumas pessoas aceitam mais o frio, outras não aceitam. Então eu acho, que se a gente ficasse numa faixa aí de temperatura, aqui na Bahia, se os baianos fossem decentes, eles aceitariam até 29 graus. Eu aceito muito bem e não sou nascido aqui. Então não precisaria de ar condicionado, se tivesse um mínimo de tratamento.

Mariana: Preocupação com o conforto. Hoje em dia não se vê.

Lelé: Se você pudesse conseguir os projetos do CIACs, eles ficaram todos na Promon, estão lá. Agora o que eu posso te garantir é o seguinte, de todos esses projetos em argamassa armada que nós fizemos, esse projeto foi o melhor de todos. Quer dizer, melhor não quer dizer que ele seja ótimo. Foi melhor que os outros, entende? Que nós tínhamos chegado a 200 e tantos componentes. Com as escolas do Rio de Janeiro que tinham 20 e poucos componentes, você cria limitações pra atender certas questões de funcionalidades e essa coisa toda. Quando você tem 200 componentes, você é como um automóvel, se você tiver uma roda, um carburador, o carro anda né, mas ele carece de um conforto maior. Então eu acho que, com os 200 componentes que tinham, voltados exclusivamente pro conforto, eu acho que era preciso fazer uma coisa boa, sistema de isolamento.

8.3 RESULTADO DAS MEDIÇÕES DA ETAPA 1 DA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA COBERTURA

		Dia 01					Dia 02				
		Bibl.	Sala 01	Sala 02	Sala 03	Sala 04	Bibl.	Sala 01	Sala 02	Sala 03	Sala 04
07:00	T _{sup.} Teto (°C)	22,5	22,5	21,5	22	21	24	24	22,5	22,5	23
	T _{sup.} Piso (°C)	25,5	25,5	25	25	24,5	26,5	27,5	25,5	26	25,5
	T _{pt} ar int. (°C)	24	25	24	24	24	24	25	24	24	24
	UR int. (%)	56	50	52	54	54	61	57	58	59	60
	T _{pt} ar ext. (°C)	25°					24°				
	UR ext. (%)	53%					59%				
09:30	T _{sup.} Teto (°C)	25,5	26,5	26	27,5	27,5	26,2	27,5	25,5	29	29
	T _{sup.} Piso (°C)	26,5	27	26	26,5	26	27,5	28	26,5	28	27
	T _{pt} ar int. (°C)	26	25	25	28	27	28	27	27	29	29
	UR int. (%)	57	54	56	55	55	50	51	52	51	51
	T _{pt} ar ext. (°C)	28°					27°				
	UR ext. (%)	53%					52%				
12:00	T _{sup.} Teto (°C)	30,3	34	34	34,5	35	32,3	36	36	36,5	37
	T _{sup.} Piso (°C)	27,5	28,5	28	28,5	27,5	29,5	30	29,5	29,5	29
	T _{pt} ar int. (°C)	30	30	31	31	31	33	32	33	33	33
	UR int. (%)	40	40	41	40	39	34	37	33	37	37
	T _{pt} ar ext. (°C)	31°					33°				
	UR ext. (%)	36%					38%				
13:00	T _{sup.} Teto (°C)	34,3	37,5	37	38,5	38	35,4	39	39	37,5	37,5
	T _{sup.} Piso (°C)	28,5	28,5	28	29	28	29	31	29,5	29,5	29
	T _{pt} ar int. (°C)	33	36	34	34	34	33	34	34	35	35
	UR int. (%)	36	27	28	29	29	38	35	35	33	34
	T _{pt} ar ext. (°C)	33°					35°				
	UR ext. (%)	33%					32%				
15:30	T _{sup.} Teto (°C)	36,7	40,5	40	40	40	35,7	38,5	38	36,5	38
	T _{sup.} Piso (°C)	30	31,5	30,5	30,5	29,5	30,5	32	32	30	30
	T _{pt} ar int. (°C)	34	33	33	30	33	34	34	34	36	35
	UR int. (%)	31	34	36	39	33	39	39	40	30	36
	T _{pt} ar ext. (°C)	32° (nublado)					36°				
	UR ext. (%)	37%					33%				
18:00	T _{sup.} Teto (°C)	35	37	37	34,5	34	34,2	32,5	32	32	32,5
	T _{sup.} Piso (°C)	30	32	31,5	30	29	30	31	30	29,5	29,5
	T _{pt} ar int. (°C)	32	32	32	31	31	32	30	30	30	31
	UR int. (%)	35	36	36	38	38	49	56	59	55	57
	T _{pt} ar ext. (°C)	29°					31° (chuva e nublado)				
	UR ext. (%)	31%					57%				

Universidade de São Paulo

Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU/USP

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Área de concentração: Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia