

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E LUMÍNICO EM
UMA ESCOLA PÚBLICA NA CIDADE DE CUIABÁ/MT:
ESTUDO DE CASO**

FLÁVIA MARIA DE MOURA SANTOS

Orientadora: **Prof^ª. Dr^ª. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira**

Cuiabá, MT
Outubro de 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E LUMÍNICO EM
UMA ESCOLA PÚBLICA NA CIDADE DE CUIABÁ/MT:
ESTUDO DE CASO**

FLÁVIA MARIA DE MOURA SANTOS

*Dissertação apresentada junto ao programa de
pós-graduação em Física Ambiental da
Universidade Federal de Mato Grosso, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Física e Meio Ambiente.*

Orientadora: **Prof^ª. Dr^ª. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira**

Cuiabá, MT
Outubro de 2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

FOLHA DE APROVAÇÃO

**Título: ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E LUMÍNICO EM UMA
ESCOLA PÚBLICA NA CIDADE DE CUIABÁ/MT: ESTUDO DE CASO**

FLÁVIA MARIA DE MOURA SANTOS

Prof.^a Dr.^a Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira
Universidade Federal de Mato Grosso-FAET/UFMT
Orientadora

Prof. Titular Francisco Antonio Rocco Lahr
Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP
Examinador Externo

Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo
Universidade Federal de Mato Grosso-ICET/UFMT
Examinador Interno

Prof. Dr. José de Souza Nogueira
Universidade Federal de Mato Grosso-ICET/UFMT
Examinador Interno- Suplente

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus,
força maior do universo...
A minha amada família, pela
força e carinho dispensados nos
momentos necessários.

AGRADECIMENTOS

- A Prof.^a. Dr.^a Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira pela confiança e ensinamentos repassados.
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pela dedicação e empenho no programa de pós-graduação.
- Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).
- Aos meus pais Fernando e Vera, pela força e exemplo de toda uma vida.
- As minhas Irmãs Fernanda e Fabíola, pela amizade e convívio.
- Ao meu namorado Geraldo, pelo companheirismo e carinho incentivadores.
- A toda minha família companheira por acreditarem em meu potencial.
- A companheira e amiga de pesquisa Angela Oliveira, pelo auxílio e carinho em todo o mestrado.
- A Luciane Cleonice Durante e aos Professores Carlo Raph de Musis e Luciana Sanches, pelas orientações e disposição nos momentos de dúvidas.
- A Soilce pelo auxílio técnico na secretaria da Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente(UFMT).
- Aos técnicos administrativos Liór e Cesário pelo apoio técnico na secretaria da Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia(UFMT) .
- A todos os colegas e amigos da Pós-graduação pelo convívio saudável.
- Aos meus companheiros de trabalho e pesquisa: Alyson, Aguinaldo, Paulo Nince Carol, Vanessa, Carlos, Rejane e Natália.
- A escola estadual João Brienne de Camargo pela disponibilidade de realização da pesquisa, e aos professores e alunos pela compreensão.
- A Eletrobrás/PROCEL/FAPEMAT pelo apoio financeiro para esta pesquisa.
- A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE QUADROS	XI
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. JUSTIFICATIVA.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. RECOMENDAÇÕES DE PROJETO PARA O CASO DE CUIABÁ	5
2.2. CLIMA.....	6
2.2.1. <i>Características Climáticas</i>	6
2.2.2. <i>Clima Urbano</i>	7
2.3. CONFORTO TÉRMICO	10
2.3.1. <i>Teoria de Conforto Térmico</i>	10
2.3.2. <i>Mecanismos de termo-regulação</i>	11
2.3.3. <i>Trocas térmicas entre o corpo e o ambiente</i>	12
2.3.4. <i>As variáveis de conforto térmico</i>	13
2.3.5. <i>Normalização existente sobre conforto térmico</i>	16
2.4. CONFORTO LUMÍNICO	18
2.4.1. <i>Fluxo radiante e fluxo luminoso</i>	19
2.4.2. <i>Eficiência luminosa</i>	20
2.4.3. <i>Iluminância</i>	20
2.4.4. <i>Luminância</i>	22
2.5. ARQUITETURA ESCOLAR BRASILEIRA	25
2.5.1. <i>Cronologia Histórica</i>	25
2.5.2. <i>As condições de conforto em ambiente escolar</i>	27
2.6. ARQUITETURA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	29
2.6.1. <i>Regulamentos energéticos</i>	30
2.7. BIOCLIMATOLOGIA	31
2.7.1. <i>As cartas bioclimáticas</i>	31
2.7.2. <i>Zoneamento Bioclimático Brasileiro</i>	35
3. ÁREA DE ESTUDO	37
3.1. INFLUÊNCIAS DO CLIMA NO BRASIL.....	37
3.2. CLIMA DE CUIABÁ.....	37
3.3. A ESCOLA	39
3.3.1. <i>Caracterização da Sala 01</i>	42
3.3.2. <i>Caracterização da Sala 02</i>	44
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	47

4.1.	MATERIAL	47
4.1.1.	<i>Procedimentos utilizados para coleta de dados</i>	47
4.1.2.	<i>Equipamentos utilizados na coleta dos dados</i>	48
4.1.3.	<i>Pontos de coleta de dados</i>	50
4.2.	MÉTODOS	51
4.2.1.	<i>Caracterização do microclima</i>	51
4.2.2.	<i>Avaliação do conforto térmico</i>	52
4.2.3.	<i>Índice de insalubridade e sensações e preferências térmicas</i>	53
4.2.4.	<i>Iluminância</i>	54
4.2.5.	<i>Consumo de energia elétrica</i>	54
5.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	55
5.1.	CARACTERIZAÇÃO DO MICROCLIMA EXTERNO E INTERNO	55
5.1.1.	<i>Sala 01</i>	55
5.1.2.	<i>Sala 02</i>	62
5.2.	AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO	69
5.2.1.	<i>Sala 01</i>	69
5.2.2.	<i>Sala 02</i>	71
5.2.3.	<i>Comparação das Salas 01 e 02 com o TRY de Cuiabá</i>	73
5.2.4.	<i>Análise estatística da temperatura do ar da Sala 01 e Sala 02</i>	74
5.3.	ÍNDICE DE INSALUBRIDADE E SENSações E PREFERÊNCIAS TÉRMICAS	77
5.3.1.	<i>Índice de insalubridade</i>	77
5.3.2.	<i>Sensações e preferências térmicas</i>	78
5.4.	ILUMINÂNCIA.....	81
5.4.1.	<i>Sala 01</i>	82
5.4.2.	<i>Sala 02</i>	87
5.5.	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	92
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
6.1.	SUGESTÕES DE MELHORIAS CONSTRUTIVAS NAS SALAS DE AULA	95
6.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	96
7.	BIBLIOGRAFIA.....	98
7.1.	BIBLIOGRAFIA CITADA.....	98
7.2.	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	101
ANEXOS		103
ANEXO A- MODELO DE QUESTIONÁRIO		104

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Conversão da potência (W) em fluxo luminoso (lm).....	20
FIGURA 2- Iluminância.....	21
FIGURA 3- Variações da iluminância em função do ângulo de incidência	22
FIGURA 4- Zoneamento Bioclimático Brasileiro	36
FIGURA 5- Localização da escola analisada.....	41
FIGURA 6- Localização da Sala 01.....	43
FIGURA 7- Fachada frontal da Sala 01	43
FIGURA 8- Layout da Sala 01 - (a) Período matutino (b) Período vespertino	44
FIGURA 9- Localização da Sala 02.....	45
FIGURA 10- Fachada frontal da Sala 02	45
FIGURA 11- Layout da Sala 02 - (a) Período matutino (b) Período vespertino	46
FIGURA 12- Termômetro de Globo Digital.....	48
FIGURA 13- Anemômetro Digital	49
FIGURA 14- Abrigo termométrico com detalhe do psicrômetro	49
FIGURA 15- Luxímetro Digital Portátil.....	50
FIGURA 16- Pontos de medição nos ambientes analisados (Sala 01 e Sala 02).....	51
FIGURA 17- Desempenho térmico na estação do verão na Sala 01	57
FIGURA 18- Desempenho térmico na estação do outono na Sala 01	58
FIGURA 19- Desempenho térmico na estação do inverno na Sala 01	59
FIGURA 20- Desempenho térmico na estação da primavera na Sala 01	60
FIGURA 21- Média horária de velocidade do vento interna e externa na Sala 01, referente às quatro estações analisadas	61
FIGURA 22- Desempenho térmico na estação do verão na Sala 02	64
FIGURA 23- Desempenho térmico na estação do outono na Sala 02	65
FIGURA 24- Desempenho térmico na estação do inverno na Sala 02	66
FIGURA 25- Desempenho térmico na estação da primavera na Sala 02	67
FIGURA 26- Média horária de velocidade do vento interna e externa na Sala 02, referente às quatro estações analisadas	68
FIGURA 27- Carta Bioclimática para Sala 01, correspondente as quatro estações .	70

FIGURA 28- Carta Bioclimática para Sala 02, correspondente as quatro estações .	72
FIGURA 29- Comportamento estatístico das salas de aula	75
FIGURA 30- Comportamento estatístico das estações do ano	76
FIGURA 31- Índice de insalubridade por período do dia - Sala 01	77
FIGURA 32- Índice de insalubridade por período do dia - Sala 02.....	78
FIGURA 33- Barreiras construtivas para insolação direta; a- Ala de salas de aula, b-Vegetação, c- Beiral, d- Salas de aula analisadas, e- Muro, f- Construção vizinha	82
FIGURA 34- Peitoris das janelas das salas de aula analisadas; a) janela alta - P = 2,00m, b) janela baixa – P = 0,80m, c) porta – 0,90 x 2,10m	82
FIGURA 35- Desempenho Lumínico na estação do verão na Sala 01	83
FIGURA 36- Desempenho Lumínico na estação do outono na Sala 01	84
FIGURA 37- Desempenho Lumínico na estação do inverno na Sala 01	85
FIGURA 38- Desempenho Lumínico na estação da primavera na Sala 01	86
FIGURA 39- Desempenho Lumínico na estação do verão na Sala 02	87
FIGURA 40- Desempenho Lumínico na estação do outono na Sala 02	88
FIGURA 41- Desempenho Lumínico na estação do inverno na Sala 02.....	90
FIGURA 42- Desempenho Lumínico na estação da primavera na Sala 02	91
FIGURA 43- Histórico do consumo de energia elétrica	92

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Iluminância por classe de tarefas visuais	25
TABELA 2- Comparação das metodologias das zonas de conforto	33
TABELA 3- Características dos usuários da Sala 01	44
TABELA 4- Características dos usuários da Sala 02	46
TABELA 5- Média ($\pm DP^*$) das temperaturas e umidade relativa na Sala 01	56
TABELA 6- Média ($\pm DP^*$) das temperaturas e umidade relativa na Sala 02	63
TABELA 7- Relatório de saída para a Sala 01	70
TABELA 8- Estratégias Bioclimáticas por zonas do TRY para Sala 01	71
TABELA 9- Relatório de saída para a Sala 01	72
TABELA 10- Estratégias Bioclimáticas por zonas do TRY para Sala 02	73
TABELA 11- Comparativo das Estratégias Bioclimáticas por zonas do TRY para Sala 01 e 02 com TRY de Cuiabá	74
TABELA 12- Grau de significância	75
TABELA 13- Grau de significância entre as estações	76
TABELA 14- Sensações e preferências térmicas – estação outono	79
TABELA 15- Sensações e preferências térmicas – estação inverno	80
TABELA 16- Sensações e preferências térmicas – estação primavera	81

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- Número de unidades escolares e alunos por escolaridade	40
QUADRO 2- Características físicas das Salas 01 e 02	42
QUADRO 3- Períodos de coleta de dados	47

RESUMO

SANTOS, F.M.M. *Análise de desempenho térmico e lumínico em uma escola pública na cidade de Cuiabá/MT: estudo de caso*. 2008. 117f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

No processo de ensino-aprendizagem que ocorre em sala de aula é necessário que o ambiente físico seja adequado e tenha condições mínimas de conforto, de forma a contribuir positivamente no desempenho das atividades desenvolvidas por alunos e professores. Neste contexto, o conforto térmico e lumínico são elementos fundamentais na garantia de uma boa condição ambiental, devendo haver uma preocupação quanto à escolha dos materiais na concepção dos projetos escolares, buscando-se assim minimizar fatores que possam interferir no rendimento psicopedagógico dos usuários. Para investigar estes fatores foi realizado estudo de caso em duas salas de aula de uma escola estadual situada na cidade de Cuiabá-MT, com o objetivo de verificar o desempenho térmico e lumínico dos ambientes, bem como identificar estratégias e alternativas que possam minimizar o desconforto das salas de aula. O desempenho térmico das unidades escolares foi analisado através da Carta Bioclimática de Givoni, sendo identificadas as horas em desconforto, bem como as estratégias bioclimáticas mais adequadas para obtenção do conforto. Foram também caracterizados os microclimas externo e interno, o índice de insalubridade e paralelamente, foram investigados dados de sensações e preferências térmicas. As coletas de dados foram realizadas em quatro períodos representativos das estações: primavera, verão, outono e inverno. Observou-se que mesmo os ambientes sendo salubres para o uso a que são destinados, há necessidade de adequação da arquitetura local às reais condições climáticas da cidade, de maneira a atenuar o desconforto térmico e lumínico, favorecendo desta forma a eficiência na utilização da energia elétrica e contribuindo na produção de novos espaços escolares na região, no sentido de otimizar a concepção de ambientes de sala de aula saudáveis que não prejudiquem o processo de ensino-aprendizagem dos usuários.

Palavras-Chave: Conforto ambiental, arquitetura escolar, eficiência energética.

ABSTRACT

SANTOS, F.M.M. **Analysis of performance and heat lumínico in a public school in the city of Cuiaba / MT: case study**. 2008. 117f. Dissertation (Master in Physics and Environment), Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

In the process of teaching-learning that occurs in the classroom it is necessary that the physical environment is appropriate and have minimum conditions of comfort, to contribute positively in be performance of activities by pupils and teachers. In this context, the thermal comfort and illumination are key elements in securing a good environmental condition and should be a concern about the choice of materials in the design of school, thereby seeking to minimize factors that may interfere with the teaching of psycho-income users. To investigate these factors case study was conducted in two classrooms of a state school located in the city of Cuiabá-MT, with the objective of verifying the performance of heat and illumination environments, and identify strategies and alternatives that could minimize the discomfort of classrooms. The performance of thermal units school was examined by the Charter of Bioclimatic Givoni, and identified the hours in discomfort, as well as bio most appropriate strategies for obtaining comfort. They were also characterized the microclimates external and internal, the index of unsanitary and in parallel, data about thermal sensations and preferences were investigated data. The collections of data were performed in four stations covering the periods: spring, summer, autumn and winter. It was observed that even with healthy environments for the purpose for which they are intended, there is need for adequacy of the local architecture to the real climate of the city, so as to alleviate the discomfort and heat illumination, thus promoting efficiency in energy use electrical and contributing in the production of new school space in the region in order to optimize the design of the classroom environments that do not harm the healthy process of teaching-learning from users.

Keywords: Environmental comfort, architecture school, energy efficiency.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

Há uma busca constante de materiais alternativos e adequados para a construção civil, ou seja, materiais disponíveis que minimizem o custo da edificação, mas que principalmente, apresentem características técnicas necessárias para se conseguir um bom desempenho global da construção.

Durante muito tempo projetava-se levando em consideração apenas aspectos estéticos e tecnológicos, sem a preocupação com o conforto ambiental pós-ocupação da edificação, criando-se ambientes desconfortáveis e impróprios para a qualidade da saúde física e psicológica dos usuários, e sem a preocupação com a eficiência energética da edificação.

O organismo humano quando exigido gera calor que deve ser dissipado de forma proporcional ao ambiente, a fim de que não haja um desequilíbrio da temperatura interna do corpo. Como o homem é um animal homeotérmico, com temperatura corporal praticamente constante, essas variações térmicas ocasionadas entre a geração e a dissipação do calor pelo organismo podem ocasionar sensações desconfortáveis, ou mesmo patologias em casos mais extremos (stress térmico).

Dessa forma, o conforto térmico pode ser definido como o nível de satisfação do usuário em um ambiente, conseqüente da relação da temperatura média, umidade relativa, velocidade do ar, atividade desenvolvida e a vestimenta utilizada, causando a sensação de bem estar na pessoa, sendo, portanto, considerado as diferenças de hábitos, cultura e particularidades da população analisada.

O atendimento às exigências de conforto térmico e lumínico é de extrema importância, principalmente no Brasil, caracterizado por um clima tropical, com temperaturas em níveis elevados na maior parte do país, além de apresentar grande incidência de radiação solar.

Em Cuiabá, que apresenta um clima predominantemente quente, acentuado pelo processo desordenado e descontrolado de urbanização, no caso de edificações públicas escolares têm-se o agravante de possuírem partidos arquitetônicos e sistemas construtivos inadequados para as características climáticas da região, fazendo com que os ambientes destas instituições de ensino não sejam satisfatoriamente confortáveis, e consequentemente, interferindo nos hábitos dos usuários.

1.2. JUSTIFICATIVA

A construção de uma edificação sustentável e adaptada ao clima envolve quatro etapas, sendo a primeira o levantamento dos dados climáticos e meteorológicos locais e a sua análise. A segunda etapa é a avaliação do impacto das variáveis climáticas em termos psicofisiológicos. A terceira etapa é a implementação tecnológica para a solução do problema conforto-clima, que pode ser conseguido com a aplicação de materiais e finalmente, a quarta etapa é a conjunção final de todas as soluções em harmonia arquitetônica.

Cada vez mais, tem-se buscado a relação conforto ambiental e edificação, já que aumentaram-se as exigências quanto à qualidade do ambiente construído. Além disso, as pessoas começam a se conscientizar dos prejuízos do consumo de energia, tanto econômica como ambientalmente, levando à busca de alternativas para a otimização da edificação, objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrado com as características da vida e do clima local, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental.

Neste contexto, os estudos relacionados ao conforto ambiental vêm aumentando, havendo um crescimento em pesquisas relacionadas a este tema, além da preocupação com estratégias de projeto que beneficiem o ambiente construído. Apesar do maior interesse pela área, no Brasil, as pesquisas ainda são muito recentes, refletindo na escassez de literatura do assunto, forçando a busca de modelos utilizados em outros países, para aplicá-los em casos locais.

A maioria dos ambientes escolares, além de não atenderem às condições mínimas de conforto para os seus usuários, comprometem a qualidade do ensino e aprendizagem, e provocam um custo excessivo de energia elétrica. Em Cuiabá, a

maioria das instituições de ensino público municipais e estaduais apresenta partidos arquitetônicos e sistemas construtivos inadequados ao clima local, não satisfazendo, portanto, as necessidades básicas de conforto ambiental.

Deste modo, este trabalho tem como objetivo geral a análise dos índices de conforto térmico e lumínico de um ambiente escolar em Cuiabá-MT, por meio da avaliação de duas salas de aula, com pontos fixos internos e externos de medições de temperatura, iluminação e ventilação, buscando-se assim, contribuir para um banco de dados visando estudos do conforto ambiental de escolas públicas, de forma que favoreça o aprendizado e a saúde de seus usuários. Para atingir tal objetivo foram definidos alguns objetivos específicos tais como: caracterizar o microclima externo e interno das salas de aula; avaliar o desempenho térmico dos ambientes e disponibilidade de ventilação natural; verificar se os ambientes são salubres para o uso proposto, investigar as condições de conforto dos usuários, levando em consideração as sensações e preferências térmicas e sua possível aclimatação; analisar o desempenho lumínico das salas de aula; análise do histórico do consumo de energia elétrica da escola; propor melhorias de conforto a partir dos resultados encontrados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A fundamentação teórica designada para esta pesquisa busca principalmente nos estudos relacionados à Bioclimatologia, conceitos iniciais até os atuais que ajudem na construção das bases do conhecimento necessário para a busca de edificações escolares eficientes e confortáveis.

Uma boa qualidade de ensino não só depende da capacitação dos professores, mas também das condições físicas das salas de aulas beneficiando a interação com os alunos garantindo um ambiente com condições saudáveis para o ensino.

Vários estudos já constataram que a produtividade e a qualidade dos usuários estão diretamente relacionadas com as boas condições do ambiente em que se desenvolvem as atividades. Para que se sintam bem em um ambiente é preciso que o usuário usufrua de uma situação descrita como Conforto Ambiental, que é relativo, pois cada pessoa reage de forma diferente a estímulos externos. No entanto é possível criar um ambiente que satisfaça às condições de conforto da grande maioria das pessoas que usufruem do espaço.

É muito comum no Brasil encontrar edificações (públicas ou privadas) com ambientes termicamente desconfortáveis, com necessidade de sistemas de refrigeração artificial, nem sempre eficientes. Quanto à iluminação, dentre os problemas mais comuns encontrados são: iluminação em excesso, falta de aproveitamento da iluminação artificial e uso de equipamentos com baixa eficiência luminosa.

É importante ressaltar que as pesquisas na busca do conforto correspondem a um investimento para a saúde e bem estar dos professores e dos alunos das escolas, e refletirão positivamente na melhoria dos índices de aprendizagem, desde que levadas em consideração na elaboração, construção e implantação de futuras edificações escolares.

2.1. RECOMENDAÇÕES DE PROJETO PARA O CASO DE CUIABÁ

Os materiais de construção têm grande influência sobre as condições de conforto do ambiente interior. As especificações dos mesmos exigem o entendimento de suas propriedades e de sua adequação às características plásticas do projeto. O uso de isolamento térmico ou proteção solar em paredes, janelas e telhados, o tipo de telha e o tipo de vidro a serem empregados devem ser estudados a fim de se evitar ganhos térmicos excessivos e obter melhorias nas condições de conforto interno.

Duarte (1995) recomenda a utilização, sempre que possível, de uma forma compacta com pátio interno ou semi-interno corretamente tratado, e que permita o aproveitamento dos ventos na estação quente-úmida; na utilização de formas alongadas, deve-se dispor as fachadas maiores voltadas para Norte e Sul, com mínima exposição a Leste e, principalmente a Oeste; neste caso deve-se promover ampla ventilação cruzada tirando-se proveito dos ventos dominantes a Norte e Noroeste.

A mesma autora coloca ainda a importância da utilização de coberturas duplas, preferencialmente como telhas de barro, ático ventilado com aberturas voltadas para os ventos dominantes, combinadas com um forro pesado, que permita máximo atraso e amortecimento térmico, e com pé-direito aumentado, já que a altura do mesmo influencia diretamente a eficiência do efeito chaminé: quanto maior a altura do pé-direito, maior a eficiência da ventilação.

Nas fronteiras verticais deve-se considerar que o aumento da capacidade térmica melhora as condições diurnas por proporcionar maior atraso e amortecimento térmico, como por exemplo, na utilização de tijolos maciços dispostos na maior largura; deve-se, porém, considerar que, para que o calor acumulado durante o dia nesses componentes não impeça boas condições internas noturnas, torna-se essencial promover ampla ventilação nesse período. Outro fator a ser considerado é o efeito do isolamento proporcionado pelas células de ar aprisionadas nos tijolos furados que, quando utilizados, devem ser dispostos de uma vez, pelo menos nas paredes externas (DUARTE, 1995).

O uso da cor mais clara reduz a absorção da radiação solar, sendo conveniente ainda a redução de superfície exposta envidraçada contribuindo assim, com a queda de temperatura do ar no interior, principalmente durante o dia.

“É fundamental proteger as superfícies envidraçadas sempre, em qualquer orientação, de preferência com dispositivos externos de cor clara e que não obstruam a ventilação; é conveniente também proteger os componentes externos opacos principalmente a Leste e Oeste, de preferência com vegetação ou com um amplo beiral, que apresenta a vantagem de proteger contra a chuva e permitir a abertura das janelas nesse período, o que é extremamente vantajoso no período quente-úmido” (DUARTE, 1995).

As aberturas devem apresentar máxima área efetiva de ventilação, com possibilidade de direcionamento do fluxo de ar e de separação dos fluxos de ar quente e frio, sendo a melhor solução a separação de funções, com aberturas destinadas exclusivamente à iluminação, outras à ventilação, etc.

No programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente/UFMT várias pesquisas na área de conforto ambiental já foram desenvolvidas em edificações no município de Cuiabá, LEÃO (2006), SAMPAIO (2006), OLIVEIRA (2007) e LIBOS (2007) analisaram o desempenho ambiental em residências de padrão popular localizadas em distintas regiões do município.

2.2. CLIMA

2.2.1. Características Climáticas

Segundo Duarte (2000) no Brasil, o clima tropical continental predomina na região centro-oeste, sendo o clima do estado de Mato Grosso classificado como Quente semi-úmido, na faixa Tropical Brasil Central, com 4 a 5 meses secos. Uma característica importante é o ritmo sazonal de precipitação bastante marcado, com uma nítida estação seca, no período de inverno, além de apresentar temperaturas constantemente altas, com poucas variações ao longo do ano.

De acordo com a mesma autora, geralmente pode-se identificar três períodos distintos em função da temperatura:

- a) Estação seca e mais fresca, no inverno;
- b) Estação seca e mais quente, um pouco antes das chuvas;
- c) Estação úmida e quente, durante as chuvas no verão.

Praticamente em toda a região centro-oeste, mais de 70% do total de chuvas acumuladas durante o ano precipitam-se de novembro a março, com ocorrências de violentas tempestades, que provocavam inundações, situação hoje controlada em Cuiabá e entorno pela usina hidrelétrica de Manso, entremeadas por períodos de transição sob o calor do sol intenso.

Apesar de boa parte da região não apresentar um mês sequer com temperatura média inferior a 20°C, em Cuiabá ocorrem em média 17 dias por ano com temperatura média inferior a 20°C e apenas 8 dias por ano com temperatura inferior a 18°C, no período de maio a setembro (Campelo Jr. *et al.* 1991).

De acordo com Duarte (2000) no inverno frentes frias podem chegar até a região, provocando o fenômeno conhecido localmente como Friagem, e que se caracteriza por uma queda brusca e rápida da temperatura, provocada por penetração de ventos frios da massa polar atlântica, que avança pela vertente leste dos Andes Argentinos e Bolivianos atingindo o centro-oeste Brasileiro.

2.2.2. Clima Urbano

Segundo Romero (2001) o clima de um lugar pode ser considerado como a integração de uma série de elementos que se verificam em escalas diferentes, abrangendo desde a macro até a microescala. O clima regional cobre a maior parte de um continente na macroescala, e essas características regionais podem ser encontradas em latitudes similares, estabelecendo-se assim, uma primeira ordem de atributos, como as temperaturas das estações e o regime de chuvas.

O clima regional é determinado por fatores sinóticos, por efeitos modificantes por orografia local e por modificações introduzidas pelos edifícios ou grupos de edifícios. A escala regional quando modificada por fatores como o ambiente urbano pode estabelecer o clima do entorno próximo, que também é definido pelas modificações de todas as variáveis meteorológicas, consequência das construções individuais, ou seja, os elementos meteorológicos sofrem influência direta da área construída.

Os efeitos das complexas superfícies geométricas, a sombra e a orientação dos edifícios individuais, as propriedades térmicas e higrótérmicas dos edifícios, vias e outros elementos construídos, o calor do metabolismo e dos vários processos de combustão da cidade bem como os poluentes cedidos nas trocas do ar criam um clima

diferente daquele das áreas não urbanas ou não construídas. (ROMERO, 2001)

Os materiais urbanos são possuidores de uma capacidade térmica maior que as das áreas do entorno, além de terem melhor condutividade térmica. Por apresentar um aspecto mais rugoso que de áreas não construídas, a superfície urbana tem uma maior fricção com os ventos que a atravessam e ao mesmo tempo atua como refletora e radiadora, que em conjunto, aumenta os efeitos da radiação incidente.

Segundo Frota e Schiffer (2003) as modificações climáticas podem ser tais que as áreas urbanas, notadamente as maiores, resultem em verdadeiras ilhas de calor, que são geradas por modificações impostas à drenagem do solo, devido ao revestimento da superfície com concreto e asfalto.

As posições das construções vizinhas interferem na quantidade de radiação solar recebida, além de poderem funcionar como barreiras para o sol e o vento, aumentando assim a sensação de calor, no entanto no núcleo urbano a precipitação em forma de chuva é favorecida devido as partículas sólidas em suspensão no ar que contribuem para a aglutinação de água que formarão a gota de chuva.

2.2.2.1. Adequação ao Clima Quente Seco

De acordo com Frota e Schiffer (2003) as diferenças quanto à umidade relativa do ar vão requerer partidos arquitetônicos distintos em função da conseqüente variação da temperatura diária, que basicamente definirá as vantagens ou não de uma ventilação interna.

Tomando-se a cidade de Brasília como exemplo de um clima seco, onde a amplitude climática mínima (noturna) é de 15,4° C e a máxima (diurna) de 30,7°C observa-se que, idealmente, a arquitetura nestes climas secos e quentes deveria possibilitar, durante o dia, temperaturas internas abaixo das externas e, durante a noite, acima. Portanto, a ventilação não seria útil, pois o vento externo estaria, em um mesmo instante, ou mais frio ou mais quente que a temperatura do ar interno.

Nesse sentido podem-se adotar partidos arquitetônicos que tenham, primordialmente, uma inércia elevada (que é a associação de dois fenômenos de grande significado para o comportamento térmico do edifício: o amortecimento e o atraso da onda de calor, devido, a qual acarretará grande amortecimento do calor recebido e um atraso significativo no número de horas que esse calor levará para

atravessar as vedações da edificação. Assim, é possível obter-se um desempenho térmico tal do espaço construído, de modo que o calor que atravessa os vedos só atinja o interior da edificação à noite, quando a temperatura externa já está em declínio acentuado. Por isto, parte do calor armazenado pelos materiais durante o dia será devolvido para fora, não penetrando no ambiente.

Outro fator a se considerar no projeto é o tamanho das aberturas, já que não há conveniência de ventilação, pode-se ter pequenas aberturas, o que também facilitará a sua proteção de excessiva radiação solar direta.

Quanto à proteção da radiação solar direta, é vantajoso terem-se soluções arquitetônicas onde as construções sejam as mais compactas possíveis, para possibilitar que menores superfícies fiquem expostas tanto à radiação quanto ao vento, que normalmente, em clima seco, traz também consigo poeira em suspensão.

As edificações, no conjunto urbano, podem ser pensadas de modo a se adotar em partidos onde estejam locadas aglutinadas, para fazer sombras umas às outras.

Em clima quente seco a vegetação deve funcionar como barreira aos ventos, além de, naturalmente, reter parte da poeira em suspensão no ar.

Os espaços abertos nesses climas podem conter espelhos de água, chafariz, ou outras soluções semelhantes. A umidificação que esta água ao se evaporar trará ao ar próximo permitirá maior sensação de conforto às pessoas.

O uso da água como elemento de alteração de microclimas também pode ser incorporado às construções, principalmente se localizado em pátios internos. Se as condições desses pátios forem tais que permitam que as paredes laterais opostas se auto-sombreiem em partes do dia, é possível criar condições microclimáticas bastante agradáveis nesses espaços, já que a maior umidade do ar resultará também em melhores condições térmicas.

O entorno da cidade também pode conter elementos construtivos de porte adequado, tal que possam funcionar como barreiras ao vento que atinge o núcleo da edificação.

2.2.2.2. Adequação ao Clima Quente Úmido

Segundo Frota e Schiffer (2003) no clima quente úmido a variação da temperatura noturna não é tão significativa, neste clima, que cause sensação de frio,

mas suficiente para provocar alívio térmico, a ventilação noturna é bastante desejável.

Devem-se, então, prever aberturas suficientemente grandes para permitir a ventilação nas horas do dia em que a temperatura externa está mais baixa que a interna. Do mesmo modo, as aberturas devem ser protegidas da radiação solar direta, mas estas proteções não devem servir de obstáculos aos ventos.

No clima quente úmido as construções não devem ter uma inércia, já que isto dificultaria a retirada do calor interno armazenado durante o dia, prejudicando o resfriamento da construção quando a temperatura externa noturna está mais agradável que internamente. Nesse sentido, deve-se prever uma inércia de média a leve, porém com elementos isolantes nos vedos, para impedir que grande parte do calor da radiação solar recebida atravesse a construção e gere calor interno em demasia.

A cobertura deve seguir o mesmo tratamento dos vedos, isto é, ser de material com inércia média, mas com elementos isolantes, ou espaços de ar ventilados, os quais têm como característica retirar o calor que atravessa as telhas que, deste modo, não penetrará nos ambientes.

Em climas úmidos, a vegetação não deve impedir a passagem dos ventos, o que dará limitações quanto à altura mínima das copas de modo a produzirem sombra, mas não servir como barreira à circulação do ar.

No que se referem ao arranjo das edificações nos lotes urbanos, elas devem estar dispostas de modo a permitir que os ventos atinjam todos os edifícios e possibilite a ventilação cruzada nos seus interiores. Isto significa que o partido arquitetônico deve prever construções alongadas no sentido perpendicular ao vento dominante.

2.3. CONFORTO TÉRMICO

2.3.1. Teoria de Conforto Térmico

Segundo Silva (2002) o conforto térmico não é um conceito exato, já que não implica uma temperatura exata, dependendo de fatores quantificáveis como: temperatura do ar, velocidade do ar, umidade, etc. e de fatores não quantificáveis como: estado mental, hábitos, educação, cultura, etc. Assim, as preferências de

conforto das pessoas variam bastante conforme a sua aclimatização particular ao ambiente local.

Para a obtenção de um ambiente termicamente confortável para os seus usuários, as normas sobre conforto térmico é uma ferramenta essencial. Inicialmente estas normas tinham como principal preocupação definir as condições de conforto térmico, sem considerar os consumos energéticos necessários para atingir o conforto do ambiente, mas devido aos problemas ambientais que são cada vez mais evidentes e à busca do desenvolvimento sustentável, estas normas de conforto térmico têm de considerar formas de atingi-lo com o menor consumo energético possível, contribuindo desta forma com a eficiência energética da edificação.

2.3.1.1. Condições para o conforto térmico

Segundo Xavier (1999), para que uma pessoa se encontre em estado de conforto térmico, são necessários que se verifiquem três condições fisiológicas e ambientais, sem as quais este estado não é capaz de ser atingido, quais sejam: que a pessoa se encontre em neutralidade térmica; que a temperatura de sua pele e a sua taxa de secreção de suor, estejam dentro de certos limites compatíveis com sua atividade; que a pessoa não esteja sujeita a nenhum tipo de desconforto térmico localizado.

A primeira condição para que uma pessoa esteja em conforto térmico, é que a mesma se encontre em *balanço térmico*, isto é, que todo o calor gerado por seu organismo seja transferido na mesma proporção ao ambiente, através de perdas por convecção, radiação, evaporação e eventualmente também por condução através das roupas. Embora essa condição seja necessária, não é suficiente, pois existem muitas combinações de variáveis ambientais e pessoais que, mesmo satisfazendo a situação de balanço térmico, não fornecem conforto à pessoa. Quando ocorre este tipo de combinação, a pessoa está sujeita a algum tipo de desconforto localizado (FANGER, 1970 apud XAVIER, 1999).

2.3.2. Mecanismos de termo-regulação

O ser humano é homeotérmico, já que mantém sua temperatura corporal constante, através de um sistema orgânico denominado termo-regulador que causa o

equilíbrio térmico do organismo, permitindo o funcionamento dos sistemas vitais do homem, impedindo assim, grandes variações de temperatura.

As reações da termo-regulação vão variar em função do ambiente que o homem está condicionado pois em altas temperaturas do meio existem dificuldades para eliminar o calor, aumentando-se o volume de sangue e acelerando o ritmo cardíaco provocando a transpiração. Já em baixas temperaturas do meio existem as dificuldades para manter o calor, que provoca a diminuição do volume de sangue e do ritmo cardíaco. O arrepios e o tiritar provocam atividade, gerando calor.

O balanço térmico no corpo humano é função da energia produzida no interior do corpo e das perdas térmicas para o exterior. A energia produzida no interior do corpo é chamada de **Atividade Metabólica** e depende do tipo de atividade efetuada. A unidade utilizada para caracterizar a atividade metabólica é o *met*, que corresponde ao calor libertado por uma pessoa em descanso – 100 W. Considerando que, em média, as pessoas têm uma superfície de pele de 1,8 m², 1 *met* corresponde a 58,2 W/m² (SILVA, 2002).

Em função do que já foi visto, pode-se afirmar que a pele é o principal órgão termo-regulador do organismo humano, pois é através dela que se realizam as trocas de calor. A temperatura da pele é regulada pelo fluxo sanguíneo que a percorre, ou seja, quanto mais intenso o fluxo, mais elevada sua temperatura.

Outro mecanismo de termo-regulação da pele é a transpiração, que tem início quando as perdas por convecção e radiação são inferiores às perdas necessárias à termo-regulação.

2.3.3. Trocas térmicas entre o corpo e o ambiente

Segundo Lamberts *et al.* (2006), a quantidade de calor liberado pelo organismo é função da atividade desenvolvida. Este calor será dissipado através de mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente envolvendo: trocas secas: - condução, convecção, radiação e trocas úmidas: - evaporação.

De acordo com o mesmo autor, o calor perdido para o ambiente através das trocas secas é denominado calor sensível e é função das diferenças de temperatura entre o corpo e o ambiente. O calor perdido através das trocas úmidas é denominado calor latente e envolve mudanças de fase – o suor (líquido) passa para o estado gasoso através da evaporação.

2.3.4. As variáveis de conforto térmico

Lamberts *et al.* (2006) define conforto térmico como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente. A norma internacional para averiguar o conforto térmico em ambientes é a ISO 7730 (1994).

As variáveis de conforto térmico estão divididas em variáveis ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar; e variáveis humanas: metabolismo gerado pela atividade física e resistência térmica oferecida pela vestimenta.

Além disso, variáveis como sexo, idade, raça, hábitos alimentares, peso, altura etc. podem exercer influência nas condições de conforto de cada pessoa e devendo portanto, ser consideradas.

2.3.4.1. Metabolismo

É o processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos, ou seja, através do metabolismo, o organismo adquire energia. Porém, de toda energia produzida pelo organismo humano, apenas 20% são transformadas em potencialidade de trabalho. Os 80% restantes são transformados em calor que deve ser dissipado para que a temperatura interna do organismo seja mantida em equilíbrio.

Isto acontece porque a temperatura interna do organismo humano deve ser mantida praticamente constante em 37°C (variando entre 36,1 e 37,2°C). Os limites para sobrevivência estão entre 32 e 42 °C.

Como a temperatura interna do organismo deve ser mantida constante, quando o meio apresenta condições térmicas inadequadas, o sistema termo-regulador do homem é ativado, reduzindo ou aumentando as perdas de calor pelo organismo através de alguns mecanismos de controle, como reação ao frio e ao calor.

Quando o organismo, sem recorrer a nenhum mecanismo de termo-regulação, perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo compatível com a atividade realizada, experimenta-se a sensação de conforto térmico.

2.3.4.2. Vestimenta

A vestimenta pode ser considerada uma barreira para as trocas de calor por convecção, já que funciona como isolante térmico, pois mantém junto ao corpo uma camada de ar mais aquecido ou menos aquecido, conforme seja mais ou menos isolante, conforme seu ajuste ao corpo e a porção do corpo que cobre.

Em climas secos (desertos), onde se atinge elevadas temperaturas, poder-se-ia pensar que a ausência de roupas poderia garantir condições mais confortáveis para os habitantes destas regiões. No entanto, em climas secos, vestimentas adequadas podem manter a umidade advinda do organismo pela transpiração e evitar a desidratação. A vestimenta reduz o ganho de calor relativo à radiação solar direta, as perdas em condições de baixo teor de umidade e o efeito refrigerador do suor (LAMBERTS *et al.*, 2006).

A vestimenta reduz também a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar.

Sua resistência térmica depende do tipo de tecido, da fibra, do ajuste ao corpo, e deve ser medida através das trocas secas relativas a quem usa. Sua unidade é o clo, originada de clothes.

Assim: $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W} = 1 \text{ terno completo}$.

2.3.4.3. Temperatura do ar

A temperatura do ar é considerada a principal variável do conforto térmico. A sensação de conforto baseia-se na perda de calor do corpo pela diferença de temperatura entre a pele e o ar, relacionada com os outros mecanismos termoreguladores. O calor é produzido pelo corpo através do metabolismo e suas perdas são menores quando a temperatura do ar está alta ou maiores quando a temperatura está mais baixa.

A diferença de temperatura entre dois pontos no ambiente provoca a movimentação do ar, chamada de convecção natural: a parte mais quente torna-se mais leve e sobe enquanto a mais fria, desce, proporcionando uma sensação de resfriamento do ambiente.

2.3.4.4. Velocidade do ar

A velocidade do ar, que costuma ser abaixo que 1m/s, ocorre em ambientes internos sem necessariamente a ação direta do vento. O ar se desloca pela diferença de temperatura no ambiente, onde o ar quente sobe e o ar frio desce (convecção natural). Quando há um deslocamento de ar por meios mecânicos, como um ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, elevando assim, a sensação de perda de calor (convecção forçada). O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência e assim, reduzindo a sensação de calor.

2.3.4.5. Umidade relativa do ar

De acordo com Lamberts *et al.* (2006), a umidade é caracterizada pela quantidade de vapor d'água contido no ar. Este vapor se forma pela evaporação da água, processo que supõe a mudança do estado líquido ao gasoso, sem modificação da sua temperatura.

O ar, a uma determinada temperatura, somente pode conter certa quantidade de vapor de água, chegando a esse valor máximo diz-se que o ar está saturado. Ultrapassado este limite, ocorre a condensação, no qual o vapor excedente muda o estado físico para líquido, provocando assim, o aumento da temperatura da superfície onde ocorre a condensação.

Estes processos dão lugar a uma forma particular de transferência de calor: um corpo perde calor por evaporação que será ganho por aquele no qual se produz a condensação.

A umidade do ar conjuntamente com a velocidade do ar intervém na perda de calor por evaporação. Como aproximadamente 25% da energia térmica gerada pelo organismo são eliminados sob a forma de calor latente (10% por respiração e 15% por transpiração) é importante que as condições ambientais favoreçam estas perdas.

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

Porém, quando a temperatura do ar é superior a da pele, a pessoa estaria ganhando calor por convecção. Mas, ao mesmo tempo se produz um fenômeno de efeito contrário, já que a circulação do ar acelera as perdas por evaporação. No momento em que o balanço começa a ser desfavorável, ou seja, quando apenas ganharíamos calor, a umidade do ar torna-se importante. Se o ar está saturado, a evaporação não é possível, o que faz a pessoa começar a ganhar mais calor assim que a temperatura do ar seja superior a da pele. No caso em que o ar está seco, as perdas continuam ainda com as temperaturas mais elevadas (LAMBERTS *et al.*, 2006).

Assim, a **umidade absoluta** representa o peso de vapor d'água contido em uma unidade de massa de ar (g/kg) e a **umidade relativa**, a relação entre a umidade absoluta do ar e a umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura.

2.3.5. Normalização existente sobre conforto térmico

Segundo Xavier (1999), as principais normas referentes aos estudos de conforto térmico foram elaboradas pela ISO (International Organization for Standardization) e pela ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) sendo que possui em comum o fato de serem extraídas de estudos realizados em regime estacionário, em câmaras climatizadas, principalmente os de Fanger (1970). As principais normas encontram-se relacionadas abaixo:

2.3.5.1. ISO 7730/94 – Ambientes térmicos moderados – Determinação dos índices PMV e PPD e especificações das condições de conforto

Esta Norma Internacional se aplica à avaliação de ambientes térmicos moderados.

Quando os parâmetros físicos de um ambiente, temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar, bem como os parâmetros pessoais como atividade desempenhada e vestimenta utilizada pelas pessoas são conhecidos ou medidos, a sensação térmica para o corpo como um todo pode ser estimada pelo cálculo do índice do voto médio estimado, PMV, descrito nesta Norma.

A Norma também descreve como calcular o índice da percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente, PPD, que é a percentagem de pessoas que

gostariam que o ambiente estivesse mais quente ou mais frio. Além disso, fornece também um método para o cálculo da percentagem de pessoas insatisfeitas devido às correntes de ar, bem como apresenta os parâmetros relativos à condição de aceitabilidade térmica de um ambiente, tendo em vista os índices do PMV e PPD. A principal atualização entre a ISO7730 - 1994 e sua versão anterior, ISO 7730 - 1984, diz respeito a inclusão de parâmetros relativos à desconforto localizado devido a correntes de ar indesejáveis, "draught rating", apresentando esse parâmetro como um índice de desconforto, DR, cuja metodologia de determinação encontra-se atualizada na norma.

2.3.5.2. ISO/DIS 7726/96 – Ambientes térmicos – Instrumentos e métodos para a medição dos parâmetros físicos

Seu objetivo principal é a definição dos parâmetros e orientação com relação às medições dos parâmetros físicos de ambientes térmicos, tanto ambientes moderados, para análise de conforto térmico, como ambientes extremos, para análise de stress térmico. Especifica as características mínimas dos equipamentos e métodos de medição das variáveis físicas. Objetiva apenas a padronização do processo de registro de informações sobre as variáveis, que levem à obtenção do índice global de conforto térmico. Deve ser utilizada como referência quando se deseja fornecer especificações a fabricantes e usuários de equipamentos de medição de variáveis físicas de um ambiente. Essa versão atualizada é mais abrangente no que diz respeito à classificação de ambientes, homogêneos ou heterogêneos, para efeito de medições, e apresenta também relações psicrométricas do ar úmido de maneira mais completa.

2.3.5.3. ASHRAE Standard 55-92– Ambientes térmicos – Condições para ocupação humana

Essa é uma Norma Norte-americana utilizada em estudos de conforto térmico. O padrão atual ASHRAE 55-1992, é abrangente, pois inclui informações sobre isolamento das vestimentas, medições dos períodos e localizações, desconforto com correntes de ar, juntamente com uma bibliografia atualizada. Este padrão é acordado com a ISO 7726 (1996) e 7730 (1994) baseado nos estudos de Fanger em câmaras climatizadas. Considera a temperatura efetiva (TE^*) como índice para definir limites, mas passa a retratar zonas de conforto distintas para o verão e para o inverno. Essa

norma americana também é uma atualização de outra pré-existente, ASHRAE Standard 55 - 1981, sendo que as principais alterações na versão atualizada dizem respeito a uma maior seção de definições, maiores informações a respeito do isolamento térmico das vestimentas, melhor enfoque sobre períodos e locais apropriados de medições, desconforto devido a correntes de ar, apresentando uma bibliografia bem mais atualizada sobre o assunto. Esta Norma Norte-americana encontra-se em conformidade com a ISO 7730, bem como a ISO 7726.

2.4. CONFORTO LUMÍNICO

Segundo Fiorin *et al.* (2006) a otimização do consumo de energia é um dos atuais desafios enfrentados pela sociedade moderna, devido à crescente escassez dos recursos naturais que, muito provavelmente, trará impactos para as gerações futuras. O uso da energia pela sociedade moderna responde por uma série de impactos ambientais. Uma das formas de minimizar o consumo de energia elétrica e combustíveis é o melhor aproveitamento da iluminância natural. A iluminância natural é uma medida do fluxo fotométrico por unidade de área, consistindo numa grandeza física que fornece informações sobre o fluxo de energia eletromagnética na faixa espectral do visível. Contudo, o olho humano não é igualmente sensível a todos os comprimentos de onda da radiação visível, de maneira que essa sensibilidade é levada em conta na curva de resposta de um medidor de iluminância. Desta forma, a iluminância, medida em Lux (lúmens por m²), representa a curva de resposta do olho humano à radiação solar incidente.

Segundo Nascimento e Costa (2001) luz é a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual. A aparência de um objeto é resultado da iluminação incidente sobre o mesmo. A luz é composta por três cores primárias, o vermelho, o verde e o azul, a combinação de duas cores primárias produz as cores secundárias. As cores primárias, dosadas em diferentes quantidades, permite a obtenção das outras cores.

Grandezas e conceitos:

- a) Fluxo Luminoso (ϕ): radiação total da fonte luminosa, entre os limites de comprimento de onda visíveis (unidade – lm);
- b) Intensidade Luminosa (I): fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto (unidade – cd);

- c) Curva de Distribuição Luminosa (CDL): representação da intensidade luminosa em todos os ângulos em que ela é direcionada num plano;
- d) Iluminamento (E): indica o fluxo luminoso de uma fonte de luz que incide sobre uma superfície situada à uma certa distância desta fonte (unidade – lux).

Segundo Coutinho Filho *et al.* (2006) a iluminação é o principal determinante para o conforto visual, levando em consideração que os ambientes são iluminados para permitir que as tarefas visuais sejam executadas. Uma inadequação dessa iluminação acarretará em danos a saúde visual das pessoas no ambiente e uma piora para os que apresentam problemas de visão. Sendo a leitura a atividade predominante nas salas de aulas, o ambiente deve proporcionar conforto lumínico para que possa ser realizada a contento.

O estudo da iluminância tem aplicações em diversas áreas da atividade humana como, por exemplo, o desenvolvimento de projetos arquitetônicos mais eficientes e a otimização do sistema de iluminação pública através do correto estabelecimento dos instantes de acionamento e desligamento do sistema.

Segundo Lamberts (1997), as principais variáveis estudadas no conforto lumínico são:

- a) Contraste: é definido como a diferença entre a luminância (brilho) de um objeto e a luminância do entorno imediato deste objeto. Os extremos são o preto de um lado e uma só tonalidade intermediária do outro. A sensibilidade ao contraste melhora com o aumento da luminância, que por sua vez é função da iluminação, até certos limites (possibilidade de ocorrer ofuscamento) (LAMBERTS, 1997).
- b) Ofuscamento: ocorre quando o processo de adaptação não transcorre normalmente devido a uma variação muito grande da iluminação e/ou a uma velocidade muito grande, experimenta-se uma perturbação, desconforto ou até perda da visibilidade, que é chamada de ofuscamento.

2.4.1. Fluxo radiante e fluxo luminoso

Segundo Pereira e Souza (2000), Fluxo radiante é a potência [W] da radiação eletromagnética emitida ou recebida por um corpo, ou seja, o fluxo radiante pode

conter frações visíveis e não visíveis. Por exemplo, quando uma lâmpada é ligada não é apenas a radiação visível que é vista, a radiação térmica (infravermelho) também é sentida.

Fluxo luminoso, para Corbella e Yannas (2003), é a quantidade de energia luminosa que sai da fonte por unidade de tempo. A unidade é o Lúmen que é definido como a quantidade de energia luminosa que sai de uma fonte pontual de uma Candela, na unidade de ângulo sólido (um estereoradiano), por segundo.

2.4.2. Eficiência luminosa

Pereira e Souza (2000) definem que uma fonte de luz ideal seria aquela que converteria toda sua potência de entrada (W) em luz (lm) (Figura 1). Mas, qualquer fonte de luz converte parte da potência em radiação infravermelho ou ultravioleta. Desse modo, eficiência luminosa é a habilidade da fonte de converter potência em luz.

É através da eficiência luminosa que se pode comparar entre duas fontes luminosas, qual delas proporcionará um maior rendimento.

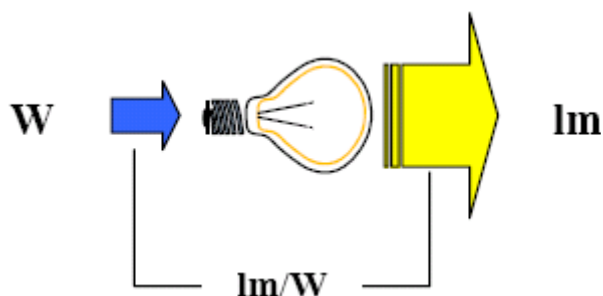


FIGURA 1- Conversão da potência (W) em fluxo luminoso (lm)

Fonte: PEREIRA e SOUZA (2000)

2.4.3. Iluminância

Pereira e Souza (2000) definem que quando a luz emitida por uma fonte atinge uma superfície, esta superfície será iluminada. Assim, iluminância (E), é a medida da quantidade de luz incidente numa superfície por unidade de área. Sua unidade no sistema internacional é lúmen/m² ou lux (lx).

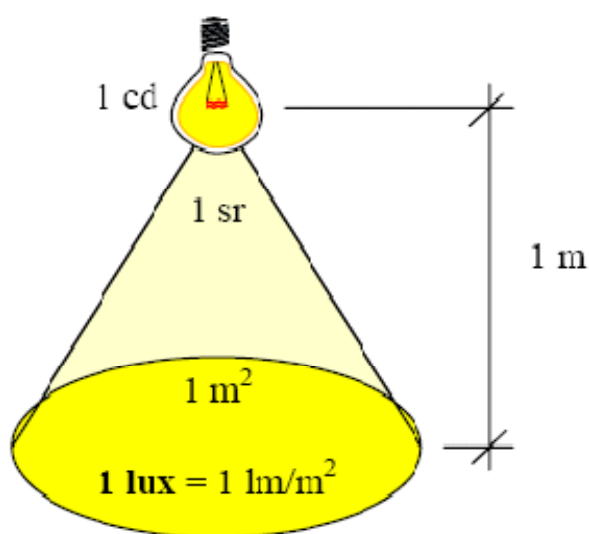


FIGURA 2- Iluminância
Fonte: PEREIRA e SOUZA (2000)

Na Figura 2 é observado que a fonte de luz possui uma intensidade luminosa “I” de 1 candela (cd), ou 1lm/ser. O fluxo luminoso se propaga sob um ângulo de 1 esterradiano (sr). Este fluxo luminoso produzirá em uma superfície de 1m² que está afastada da fonte de 1 m, a iluminância de 1 lux (lx).

Segundo os mesmos autores, dois fatores podem influenciar no valor da iluminância:

- a) A distância entre a fonte e a superfície: quanto mais distante da fonte luminosa, o fluxo luminoso se expande cada vez mais, tornando-se menos denso;
- b) O ângulo entre o feixe luminoso e o vetor normal a superfície: quando o fluxo luminoso é paralelo ao vetor normal à superfície, tem-se a iluminância máxima. Em situações em que o fluxo luminoso é perpendicular ao vetor normal à superfície a iluminância será nula (Figura 3). Para posições intermediárias, a iluminância varia de zero ao valor máximo.

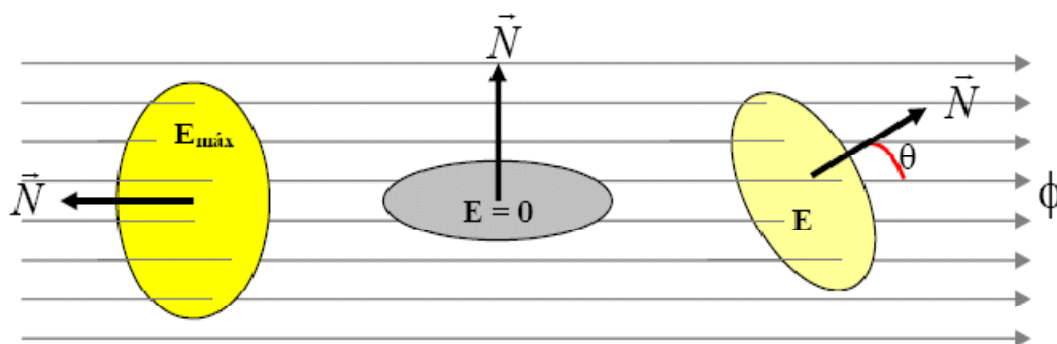


FIGURA 3- Variações da iluminância em função do ângulo de incidência

Fonte: PEREIRA e SOUZA (2000)

Na prática, iluminância é a quantidade de luz dentro de um ambiente, e pode ser medida com o auxílio de um luxímetro.

Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão. Considera-se, por isso, a iluminância média (E_m). Existem normas especificando o valor mínimo de E_m , para ambientes diferenciados pela atividade exercida, relacionados ao conforto visual. Alguns dos exemplos mais importantes é a norma ABNT - NBR 5413 (1992).

2.4.4. Luminância

De acordo com Pereira e Souza (2000) luminância pode ser considerada como uma medida física do brilho de uma superfície iluminada ou fonte de luz, sendo através dela que os seres humanos enxergam. A luminância é uma excitação visual e a sensação de brilho é a resposta visual desse estímulo.

É importante que se lembre do fato de que os raios luminosos não são visíveis, a sensação de luminosidade é decorrente da reflexão desses raios por uma superfície. Essa luminosidade, então vista, é chamada de **luminância**.

Logo:

- a) Iluminância – luz incidente, não visível;
- b) Luminância – Luz refletida, visível.

Uma vez que os objetos possuem diferentes capacidades de reflexão da luz, fica compreendido que uma certa iluminância pode gerar diferentes luminâncias. Vale lembrar que o coeficiente de reflexão é a relação entre o fluxo luminoso

incidente e o refletido pela superfície. Esse coeficiente varia de acordo com a cor e a textura.

2.4.4.1. Determinação dos níveis de iluminância (E)

O olho humano tem uma capacidade muito grande de adaptação às condições de iluminação existente. Isso pode ser notado verificando-se a nossa percepção frente a condições tão extremas de luz, como o sol direto e à noite.

“Em algumas tarefas, o modo como o olho nos indica se o nível de iluminação está ou não adequado é exatamente através da nossa reação fisiológica, ou seja, o maior ou menor esforço que fazemos para ver, e conseqüentemente, o maior ou menor cansaço que sentimos” (VIANA E GONÇALVES, 2001).

Os níveis de “E” são baseados empiricamente através de testes que relacionam o desempenho da tarefa visual com suas variações. Em 1932, estudos realizados mostram que a acuidade visual está diretamente relacionada ao nível de iluminação e que ela é determinada principalmente pela relação de luminância entre as tarefas e seu entorno.

Logicamente, há a necessidade de considerarmos o problema econômico que, envolve o aumento do nível de iluminância. Nossa decisão deve ser tomada levando-se em consideração o máximo de acuidade visual que será conseguida, sem, contudo, que os níveis de iluminância sejam demasiadamente elevados.

O desempenho na realização de uma tarefa obviamente se relaciona com a acuidade visual, mas também com a complexidade e a dificuldade da própria tarefa em si, da capacidade e experiência que o próprio indivíduo tem em realizá-la. Seguem alguns fatores que devem ser levados em consideração para determinação do nível de iluminação para tarefas visuais.

- a) O tamanho dos detalhes críticos dessas tarefas;
- b) A distância que esses detalhes são vistos;
- c) A luminância das tarefas (função do fator de reflexão);
- d) Os contrastes entre tarefas/entornos;
- e) A velocidade com que essas tarefas devem ser desenvolvidas;
- f) O grau de precisão exigida na sua realização;
- g) Idade de quem realiza.

A determinação das características de um ambiente não é feita somente através do nível de iluminância necessário, mas por uma série de outros fatores. Muitas vezes, o nível de iluminância pode não ser tão importante frente ao caráter que se deseja dar ao ambiente, o uso das cores, o jogo entre sombra e luz etc. É sempre a função do local que determinará quais os fatores mais importantes que merecem maior preocupação. Logicamente, as necessidades numa igreja, restaurante, cinema e habitações não são as mesmas, devendo-se responder diferentemente para cada caso.

O critério mais utilizado para se determinarem os níveis de iluminação convenientes para cada tarefa é o de maior eficiência. Num primeiro momento, eficiência foi sinônimo de produtividade. Ainda hoje ela é de certa forma entendida assim: maior rapidez no trabalho, menor cansaço e eliminação de erros cometidos.

2.4.4.2. Níveis mínimos de iluminância

No Brasil a norma NBR 5413 – “Iluminância de interiores” da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), em vigor a partir de abril de 1992, tem como objetivo estabelecer valores de iluminância média mínima para iluminação em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras.

Estabelece como condições gerais:

- a) A iluminância deve ser medida no campo de trabalho. Quando este não for definido, entende-se o nível do referente a um plano horizontal a 0,75m do piso;
- b) No caso em que seja necessária uma elevada iluminância em limitado campo de trabalho, pode-se usar iluminação suplementar;
- c) A iluminação no restante do ambiente não deve ser inferior a 1/10 do valor adotado para o campo de trabalho, mesmo que haja recomendação menor;
- d) Recomenda-se que a iluminância em qualquer ponto do campo de trabalho não seja inferior a 70% da iluminância média determinada segundo a NBR 5382 – “Verificação da iluminância de interiores – Métodos de ensaio”.

TABELA 1- Iluminância por classe de tarefas visuais

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas intermitentemente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 – 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 – 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 – 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 – 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 – 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: ABNT – NBR 5413/1992 – “Iluminância de interiores”

2.5. ARQUITETURA ESCOLAR BRASILEIRA

2.5.1. Cronologia Histórica

Segundo Graça e Kowaltowski (2004) as escolas construídas durante a Primeira República projetadas e executadas principalmente entre os anos de 1894 e 1910, acabaram obedecendo a um programa arquitetônico composto basicamente de salas de aula e de um reduzido número de ambientes administrativos.

Foi observado que uma das características destas plantas estava na simetria da forma, na qual se identificava a rígida separação entre as seções masculina e feminina. O código sanitário determinava que nos fundos ou na lateral dos prédios fossem construídos galpões para ginástica. Os edifícios da época eram considerados de ótima qualidade do ponto de vista construtivo.

Já nas escolas executadas entre os anos de 1934 e 1937, foram implementadas as definições de critérios de projetos, tais como o dimensionamento das salas de aula,

os materiais de acabamentos, as cores, o dimensionamento e posicionamento de janelas e a insolação. Com o advento do Estado Novo houve a interrupção desse trabalho, que foi retomado pelo convênio escolar.

Porém, os projetos de escolas produzidos pelo convênio escolar de 1949-1954 passaram a possuir uma conceituação moderna, mais funcional. Com relação à orientação das salas de aula, era recomendado o posicionamento de norte a nordeste (GRAÇA E KOWALTOWSKI, 2004).

Nesse período foram criadas 68 escolas, mas a necessidade de se edificar rápido e a pressão dos custos fizeram com que essas obras tivessem uma qualidade ruim.

Azevedo (1995) relata que as edificações do período entre 1870 e 1889, apresentavam partidos arquitetônicos com grande simetria na fachada.

As escolas executadas pelo Fece em 1960 segundo Sami Bussab (FDE, 1998) possibilitaram a concepção de obras escolares notáveis. Fazia-se a arquitetura pela arquitetura. Vãos generosos, pátios amplos, porém sem sistematização ou interpretação do que era o processo pedagógico no que diz respeito à arquitetura.

O partido que o arquiteto adotava não Metodologia de avaliação de conforto ambiental de projetos escolares usando o conceito de otimização.

Xavier (1999) em uma de suas publicações descreve que essa problemática começa a partir da década de 70 pela necessidade de expandir o número de salas de aula, para atender as novas concepções de crescimento populacional e econômico brasileiro.

Só que aliado a escassez de recursos para atender a tal demanda, acabaram por implementar em grande escala, projetos de edificações escolares padronizados, ou seja, o mesmo tipo de escola construída no Sul do Brasil era também construído no Norte, com as mesmas especificações, sem levar em consideração as diferenças regionais.

Cerqueria *et al.* (2003) analisa que um ambiente escolar além de ser constituído pela edificação, também apresenta o espaço que a circunda, nesse caso, o pátio escolar. A importância deste espaço não está apenas em ser uma outra opção de ambiente enquanto as crianças não estão em sala de aula; mas também pelo fato de que, nos últimos anos, como a urbanização tem diminuído as áreas onde as crianças

possam brincar livremente, o pátio se tornou um único espaço aberto para que as crianças possam desenvolver outras atividades na escola.

Para isso a mesma autora comenta o desafio que os planejadores de ambientes construídos de criar um espaço estimulante e confortável para os alunos. Além da necessidade de se obter estratégias para a adequação dos ambientes já existentes.

Vários estudos na área do conforto ambiental têm sido feitos em ambientes escolares no Brasil, como o de Xavier (1999) que determina os índices ambientais e pessoais de conforto térmico e parâmetros de influência sobre o conforto térmico em estudantes de 2º grau em atividade escolar, na região de Florianópolis em Santa Catarina.

Grzybowski (2004) fez uma avaliação pós-ocupação em uma escola pública em Cuiabá/MT, através da análise das condições ambientais dos locais utilizados por alunos, determinando índices ambientais e pessoais, através de entrevistas, e de análises de parâmetros de conforto térmico.

2.5.2. As condições de conforto em ambiente escolar

A preocupação crescente para a preservação ambiental nos últimos anos, também adentra o papel do arquiteto de forma a propor soluções de projetos relacionados ao desempenho das condições ambientais internas, bem como da eficiência energética, e é esse paralelo entre a busca de um menor consumo de energia e da importância e satisfação dos usuários, que o conforto ambiental (térmico, acústico e lumínico) vem ganhando destaque no desenvolvimento de projetos.

Tendo visto esta necessidade e analisando a características de muitas edificações escolares no Brasil e especialmente das escolas públicas de Cuiabá, nota-se que a instituição escolar ainda adota grandes características antigas, apesar do grande avanço tecnológico, bem como da utilização de novos produtos no mercado.

Segundo Cerqueria *et al.* (2003) são conceitos de espaços que infelizmente preservam características de ambientes criados ainda em décadas passadas: cadeiras dispostas em fila, alinhadas e paralelas uma fila com relação à outra; longos corredores e com salas de aula dispostas ao longo deste corredor, sem levar em consideração as características da área e do clima de cada região.

A pouca importância dada à disposição da edificação no terreno de forma a aproveitar a iluminação e a ventilação natural, bem como de forma a reduzir problemas acústicos (tendo em vista as características do entorno), acaba por tornar os ambientes quentes (considerando nosso clima), desagradáveis e de pouca produtividade escolar tanto por parte dos alunos, quanto dos educadores. Produtividade esta que, colabora para o comprometimento do ensino-aprendizado, a saúde física e psicológica dos envolvidos.

Fora os aspectos dentro da sala de aula, nem mesmo os pátios escolares obtiveram grande sucesso, pelo contrário; antigamente, o pátio adquiria o conceito de *cã*s escola. Era ali o ponto de encontro e lazer entre alunos, professores e funcionários, um lugar de socialização e interação com o espaço e com os demais usuários. Por isso era sempre bem localizado e muito bem arborizado (AZEVEDO, 1995).

Entretanto nas condições atuais, esse ambiente demonstra como este conceito caiu em desuso. A era de informação e conhecimentos tecnológicos, fez com que o pátio torna-se apenas um lugar de passagem, não o de encontro.

Quando estão nas escolas, os alunos passam o tempo livre em laboratório, de frente para os computadores. E mesmo quando isso não acontece, o pátio já não oferece mais um ambiente atrativo: são ambientes cimentados, sem arborização suficiente, sem cobertura, exposto a maior parte do dia ao sol forte de nossa cidade. Diante dessas condições fica difícil tornar este ambiente um espaço usual.

As recomendações referentes aos procedimentos de projeto e às especificações escolares tem em vista a adequação dos ambientes físicos e de seus processos construtivos.

Pátios escolares atrativos podem até mesmo criar oportunidades para o desenvolvimento cultural e tendem a fazer a comunidade escolar sentir-se orgulhosa. Um pátio escolar com vegetação e ambientes naturais pode relembrar as pessoas de que elas são parte de um ecossistema muito delicado (FEDRIZZI, 1991).

Para as salas de aula, é interessante atentar a localização das aberturas de forma a ganhar iluminação e ventilação naturais, mas adequadas, para não interferir na realização das atividades exercidas em sala de aula.

A Utilização de iluminação artificial é recomendada como forma de auxiliar a iluminação natural e melhorar as condições visuais: leitura de atividades, leitura das palavras no quadro, atividades de pintura, recorte de letras, exercícios em sala, etc.

A localização da edificação também é fundamental para que as perturbações externas (avenidas movimentadas, academias, comercio pesado, zonas industriais), não comprometam acusticamente nas atividades escolares.

Em sua tese, Azevedo (2002) expôs algumas informações com requisitos para a adequação de um ambiente escolar, dentre as quais vale a pena mencionar:

- a) Características do terreno - dimensões, forma e topografia – oferecendo condições adequadas à implantação do edifício escolar;
- b) Relação do entorno, devendo ser identificados os percursos disponíveis: facilidades de acesso, condições de trafego, atividades circunvizinhas;
- c) Análise dos aspectos programático-funcionais como a organização espacial, o dimensionamento dos conjuntos funcionais, a segurança, a adequação ergonômica do mobiliário, acessos e percursos;
- d) Estudo dos aspectos estético-compositivos que incluem elementos visuais do edifício, como forma de despertar a capacidade de descoberta do usuário;

Dessa forma, o conforto ambiental em todos os ambientes de uma escola é uma garantia de uma arquitetura esteticamente interessante, de bom aprendizado, economia de energia e mesmo de interação social.

2.6. ARQUITETURA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo Beraldo (2006) a questão da eficiência das edificações considera o fato de que projetos arquitetônicos que não consideram o clima como um aspecto importante na concepção do projeto, podem apresentar más condições de conforto térmico e luminoso. Nestas condições, o homem, então, consumirá energia para, por meios alternativos, atingir essa condição de conforto dentro da edificação. Assim, entendendo-se eficiência energética como a obtenção de um serviço com baixo gasto energético (LAMBERTS, 1997), a edificação mais eficiente será aquela que conseguir atingir ou chegar o mais próximo possível das condições de conforto térmico e luminoso utilizando-se apenas do desenho, das técnicas construtivas e dos

materiais. Ou seja, será aquela que apresenta as menores necessidades energéticas de aquecimento e resfriamento.

O mesmo autor destaca que a técnica que utiliza métodos para manter o ambiente interno do edifício em condições térmicas adequadas ao ser humano, sem a necessidade de uso de gastos energéticos próprios, foi denominada por Rivero (1986) como condicionamento térmico natural.

2.6.1. Regulamentos energéticos

De acordo com Beraldo (2006) a primeira crise do petróleo, causada pela redução do fornecimento, em 1973, despertou o mundo para a importância da política energética para a segurança e estabilidade econômica. A consciência de que as fontes energéticas tradicionais são finitas e possuem um patamar de capacidade levou ao incentivo às pesquisas de fontes renováveis de energia.

Naquele mesmo ano, foi criado nos Estados Unidos o “International Solar Program” e o “Committee on the Challenges of Modern Society” da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) iniciou o “Solar Energy Pilot Study”. No ano seguinte, 1974, foi fundada a “International Energy Agency” (IEA) com o intuito de aplicar e fiscalizar o “International Energy Program” (IEP). Nos Estados Unidos, o IEP é administrado, ainda hoje, diretamente pelo ‘Departamento de Energia’ (DOE). Este tem a responsabilidade de manter e executar três projetos na área energética, denominados “Task”, pertencentes ao IEA: o “Development of the Insolation Handbook and Instrument Package”, o “Passive and Hybrid Solar Low-Energy Buildings” e o “Building Energy Analysis Tools for Solar Applications” (BERALDO, 2006).

O mesmo autor destaca ainda que os esforços não se concentraram apenas em pesquisas e incentivos acadêmicos, mas incluíram também em transferência de tecnologia, subsídios fiscais, eventos promocionais, consultorias técnica e financeira, além de políticas administrativas e legislação sobre o tema. De maneira geral os países de clima frio, com inverno mais rigoroso, sentiram mais intensamente a necessidade de regulamentação, principalmente devido aos gastos com aquecimento. Porém, os cálculos de transferência de calor já faziam parte do processo de concepção dos edifícios nesses países devido aos problemas estruturais e de habitabilidade nas construções. Além da necessidade de calefação, a condensação

dentro do edifício e dos materiais leva a problemas de saúde (fungos e bactérias) e de estrutura.

Os países europeus de clima mediterrâneo também já desenvolviam estudos relacionados à questão energética. Principalmente por causa do aumento do consumo e do valor da energia. A disseminação do ar condicionado, da arquitetura internacional e do aumento das temperaturas globais médias elevou o consumo com resfriamento, aumentando a relevância do tema.

Nos Estados Unidos, principal país produtor e consumidor de energia no mundo, programas de conservação foram introduzidos em muitos Estados com base em normas e legislações adequadas e que resultaram em expressivo decréscimo da demanda: o consumo das grandes edificações do setor terciário passou de 140 KWh/m²mês, em 1974, para 30 KWh/m²mês, em meados dos anos 80 (BERALDO, 2006).

Existe ainda uma interligação entre as recomendações técnicas da ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) como de outros organismos semelhantes, que através das legislações específicas de cada estado, ou municipalidade, regulamentam as características físicas da edificação e dos sistemas por elas utilizados de forma a garantir padrões mínimos de desempenho energético e consumo de energia.

O efeito da primeira norma energética de 1973 reduziu o gasto anual de energia em residência unifamiliar em 11,3%, multifamiliar em 42,7%, em edifícios de escritório, 59,7%, em lojas, 40,1%, edifícios escolares, 48,1% (BERALDO, 2006).

2.7. BIOCLIMATOLOGIA

2.7.1. As cartas bioclimáticas

Segundo Bogo *et al.* (1994), as escalas de conforto térmico podem ser semânticas ou numéricas, montadas em termos de sensações subjetivas graduadas por conforto e desconforto térmico, relacionando-se tais graduações com os parâmetros físicos de estímulo. Com base nos índices, estabelecem-se as zonas de conforto térmico delimitadas graficamente sobre diversos tipos de monogramas ou

através de cartas e diagramas que limitam os parâmetros físicos e definem o domínio no qual se estabelecem as ditas zonas de conforto térmico.

Segundo os mesmos autores com base nas zonas de conforto térmico e elementos de previsão de comportamento térmico das edificações, são definidas as *Cartas Bioclimáticas*, onde se associam três informações:

1. O comportamento climático do entorno;
2. A previsão de estratégias indicadas para a correção desse comportamento climático por meio do desempenho esperado na edificação;
3. A zona de conforto térmico.

Com exceção de Olgyay de 1963 as outras cartas bioclimáticas montam-se sobre uma carta psicrométrica.

Os métodos conhecidos como cartas bioclimáticas foram aplicados por:

1. Olgyay – 1963 e 1968;
2. Givoni – 1969;
3. Givoni e Milne – 1979;
4. Gonzalez – 1986;
5. Givoni – 1992;
6. Zonas de Conforto da ASHRAE – 1974, 1985, 1992 e 2004;
7. Szokolay – 1987
8. Watson e Labs – 1983.

Os limites das zonas de conforto de cada um dos métodos são confrontados na Tabela 2.

TABELA 2- Comparação das metodologias das zonas de conforto

Metodologia	TEMPERATURA		UMIDADE		OBS.
	Limite Mínimo	Limite Máximo	Limite Mínimo	Limite Máximo	
OLGYAY (EUA)			30%	65%	
	21,1°C	27,7°C			verão
	20,0°C	24,4°C			inverno
OLGYAY (trópicos)			20%	80%	
	23,9°C	29,5°C			verão
	18,3°C	23,9°C			inverno
ASHRAE 55-74	>22,2°C TE	<25,6°C TE	>5 mm Hg	<14 mm Hg	
ASHRAE 55-81			>4 g/kg	<12 g/kg	
	>23,0°C TE	<27,0°C TE			verão
	>20,0°C TE	<24,0°C TE			inverno
ASHRAE 55-92			>4,5 g/kg e 30%	<60%	
	>23,0°C TE	<26,0°C TE			verão
	>20,0°C TE	<23,5°C TE			inverno
GIVONI original			>5 mm Hg	<14 mm Hg e 80%	
	>21,0°C	<26,0°C			Baixas umid.
		<25,0°C			Altas umid.
GIVONI e MILNE			20%	80%	
	>22,7°C	<27,0°C			verão
	>20,0°C	<24,0°C			inverno
GONZALEZ			>4 g/kg	<14 g/kg ou 75%	
	>22,0°C	<29,0°C			Baixas umid.
		<26,5°C			Altas umid.
GIVONI 92 Países desenvolvidos			>4 g/kg	<15 g/kg ou 80%	
	>20,0°C	<27,0°C			Baixas umid.
		<25,0°C			Altas umid.
GIVONI 92 Países em desenvolvimento			>4 g/kg	<17 g/kg ou 80%	
	>25,0°C	<29,0°C			Baixas e altas umid. (verão)
		<26,0°C			
	>18,0°C	<25,0°C			inverno
SZOKOLAV			>4 g/kg	<12 g/kg	Limites variáveis c/ o clima local
	TMA=2K (SET)				
	TMM=1,75K (SET)				
WATSON & LABS			>5 mm Hg	<80%	
	>20,0°C TE	<25,6°C TE			
Experiência na TAILÂNDIA	>22,0°C	<28,0°C			Ar cond.
		<31,0°C			Vent. Nat.

Fonte: BOGO et al. (1994)

Serão adotados apenas os dois primeiros métodos – Olgyay e Givoni, sendo feito um comentário de cada um, posteriormente.

2.7.1.1. Método de OLGAY

De acordo com Bogo *et al.* (1994), a carta bioclimática de Olgyay (1963) propõe estratégias de adaptação da edificação ao clima, a partir de dados do clima externo. Para definição da zona de conforto, expõem-se diversos pontos de vista, onde mostra que trata-se de um processo complexo, e deve ser de acordo com as diferentes regiões geográficas, já que condições climáticas mais quentes elevam os requerimentos térmicos devido a aclimação.

Segundo o mesmo autor, os limites da zona de conforto se baseiam em suposições mais ou menos arbitrárias, já que varia de acordo com os indivíduos, os tipos de vestimenta e a natureza da atividade que se executa, além de depender do sexo e idade, e para definir os limites da zona de conforto da carta bioclimática de Olgyay, foi adotado um critério em que a pessoa, na média, não experimenta sensação de desconforto.

Como forma de adaptação para os trópicos, Olgyay em 1968 coloca que no momento de construir-se o gráfico bioclimático e a delimitação da zona de conforto, para habitantes das zonas temperadas, leva-se em conta o indivíduo, a razão metabólica, a dieta, a aclimação e a vestimenta. Porém, para zonas tropicais somente os três primeiros fatores podem ser tratados da mesma forma, estabelecendo-se restrições para protótipos “normais” humanos, sob determinadas condições de atividade, entretanto, os dois últimos fatores – aclimação e vestimenta devem ser trabalhados de forma menos simplificada, pois: “ para zonas tropicais de aclimação deve ter-se em conta que as altas temperaturas são constantes e influem no mecanismo biológico humano elevando os limites da zona de conforto e o tipo de vestuário usado na vida diária das regiões quentes é diferente das regiões temperadas e montanhosas.

2.7.1.2. Método de GIVONI

Segundo Xavier (1999), a carta bioclimática para edifício, “Building Bioclimatic Chart” (BBCC), foi desenvolvida por Givoni no ano de 1969, para corrigir as limitações do diagrama bioclimático idealizado por OLGAY conforme GIVONI (1992), sendo que a principal diferença entre os dois sistemas é que o diagrama de Olgyay de 1963 é desenhado entre dois eixos, em que o eixo vertical é o

das temperaturas (secas) e o eixo horizontal o das umidades relativas; enquanto que a carta de Givoni (BBCC) é traçada sobre uma carta psicrométrica convencional.

Segundo Beraldo (2006) a carta bioclimática, concebida por Givoni em 1969, que é construída sobre o diagrama psicrométrico apresenta nove diferentes zonas relacionadas com diferentes estratégias de atuação construtivas para a adequação da arquitetura ao clima: zona de conforto, zona de ventilação, de resfriamento evaporativo, de massa térmica para resfriamento, de ar condicionado, de umidificação, de massa térmica para aquecimento, de aquecimento solar passivo e aquecimento artificial.

Na carta de Givoni (1992) os limites originais de conforto foram determinados com base em pesquisas realizadas nos Estados Unidos, Europa e Israel. Entretanto, considerando estudos realizados em países quentes e o fato das pessoas que moram em países em desenvolvimento com clima quente e úmido aceitarem limites máximos superiores de temperatura e umidade, são sugeridos a expansão desses limites para a aplicação em tais regiões.

Desta forma, os limites para a zona de conforto térmico de países com clima quente e em desenvolvimento são: no verão em situação de umidade baixa, a variação de temperatura pode ser de 25°C a 29°C, e em umidade alta de 25°C a 26°C, podendo chegar a 32°C com ventilação de 2,0 m/s; no inverno, os limites são de 18°C a 25°C; com relação a umidade, os limites são de 4,0 g/kg a 17,0 g/kg e 80% de umidade relativa (OLIVEIRA, 2007).

2.7.2. Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Por Zona Bioclimática entende-se como a região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre o ambiente construído e conforto humano. (NBR- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 15220 – 3, 2005)

Como forma de melhor padronização do clima o território brasileiro foi dividido em oito zonas relativamente homogêneas classificadas quanto aos tipos de clima existentes (Figura 4) regulamentado pelo conjunto de normas de desempenho térmico de edificações, com 330 cidades no total em oito diferentes zonas, devendo ser atendida diretrizes para o melhor desempenho da edificação..

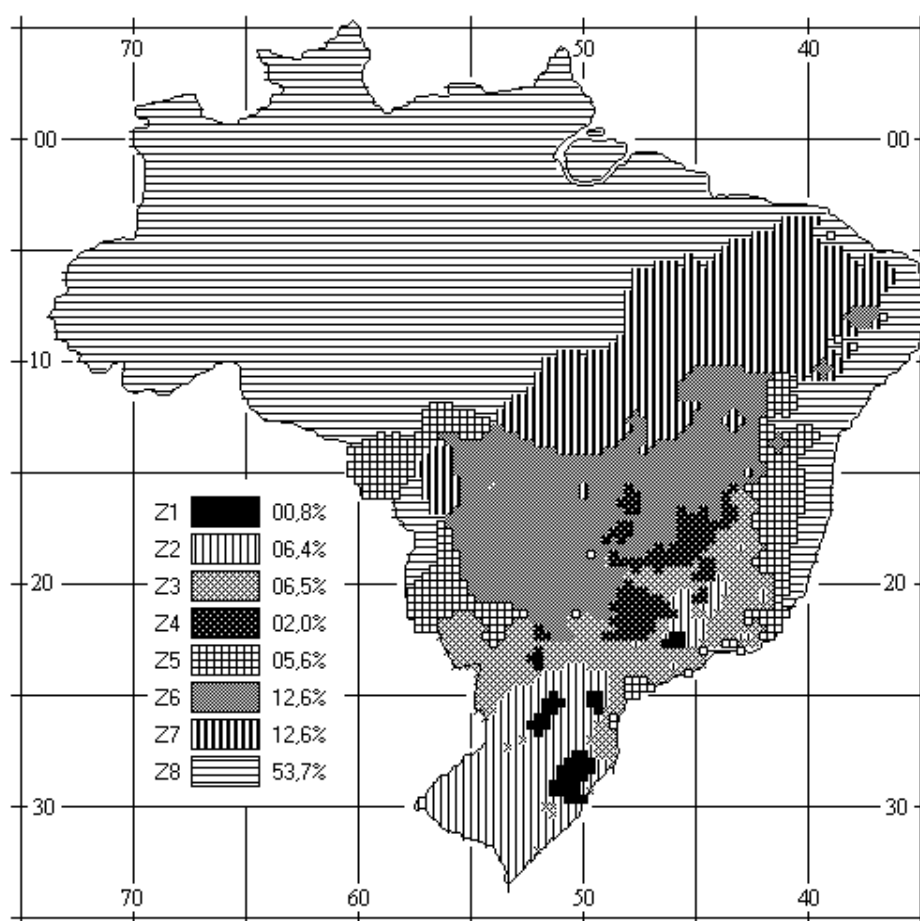


FIGURA 4- Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: LABEEE – Laboratório de eficiência energética em edificações

Para tanto, foram agrupados cidades com aspectos semelhantes ao clima e as estratégias bioclimáticas recomendadas. Além disso, formularam-se um conjunto de recomendações técnico construtivas, objetivando otimizar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

Seguindo este zoneamento, o município de Cuiabá é classificado como Zona Bioclimática 7, que tem relacionadas 39 cidades entre elas Diamantino e Teresina, por exemplo, e apresenta como diretrizes construtivas: aberturas para ventilação pequenas, compreendendo 10-15% da área de piso e sombreadas. A parede deve ser pesada com Transmitância Térmica ($U \leq 2,20 \text{ w/m}^2\text{k}$; Atraso Térmico ($\phi \geq 6,5\text{h}$ e Fator de Calor Solar (FCS) $\leq 3,5\%$ e com cobertura também pesada apresentando $U \leq 2,00 \text{ w/m}^2\text{k}$, $\phi \geq 6,5\text{h}$ e FCS $\leq 6,5\%$.

Enfim, esses foram alguns conceitos necessários ao conhecimento básico para aplicação nos projetos bioclimáticos junto ao conhecimento do clima local de atuação, como será apresentado nos itens a seguir.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. INFLUÊNCIAS DO CLIMA NO BRASIL

Segundo Ruas (2001) o Brasil possui uma grande extensão territorial e, por isso, apresenta diferentes regimes de chuvas e de temperaturas. De Norte a Sul encontra-se uma grande variedade de climas com distintas características regionais. No Norte do país verifica-se um clima equatorial chuvoso, praticamente sem estação seca. O Nordeste caracteriza-se por um clima semi-árido onde a estação chuvosa, com baixos índices pluviométricos, restringe-se a poucos meses. As regiões Sudeste e Centro-Oeste sofrem a influência tanto de sistemas de latitudes médias como dos tropicais, com estação seca bem definida no inverno e estação chuvosa no verão. O Sul do Brasil sofre mais influência dos sistemas de latitudes médias e as chuvas durante o ano são principalmente causadas pelos sistemas frontais.

Segundo o mesmo autor, com relação às temperaturas, observam-se nas regiões Norte e Nordeste um clima quente com temperaturas elevadas e com pouca variabilidade durante o ano. O Sudeste e o Centro-Oeste, devido às suas localizações latitudinais caracterizam-se por serem regiões de transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os mesotérmicos de tipo temperado das latitudes médias. O Sul do país é a região com maior variabilidade térmica anual embora a distribuição regional das temperaturas seja bastante uniforme. No inverno é freqüente a penetração de massa de ar frio de altas latitudes, o que contribui para a predominância de baixas temperaturas.

3.2. CLIMA DE CUIABÁ

Segundo Duarte (1995) devido à configuração geográfica, a extensão territorial, o relevo e a dinâmica das massas de ar, o território brasileiro tem uma grande variedade climática, na região Centro-Oeste o clima quente domina, tendo

como característica mais marcante a frequência quase que diária de temperaturas altas, principalmente em Mato Grosso e Goiás, onde nos meses mais quentes, setembro e outubro, podem ocorrer máximas superiores a 40°C.

Mato Grosso ocupa uma área de 881.001 Km², situado entre os paralelos 7°20'39" e 18°10'00" de latitude sul e os meridianos de 50°13'48" e 61°31'00" a oeste de Greenwich, está contido na Zona Intertropical, ficando relativamente próximo ao Equador, sendo a razão das pequenas diferenças entre as estações e as altas temperaturas durante boa parte do ano.

Com clima Tropical Continental, sem influência marítima, onde já foi detectada a interferência do uso do solo urbano na ocorrência de ilhas de calor (MAITELLI, 1994), Cuiabá apresenta baixa frequência e velocidade média dos ventos, que torna a influência do espaço construído sobre a temperatura do ar mais perceptível, já que as trocas térmicas por convecção são minimizadas.

De acordo com Duarte (2000) a intensidade da ilha de calor urbana é definida como a maior diferença entre os valores de temperatura do ar de uma área urbana e seus arredores. A intensidade da ilha de calor está relacionada ao tamanho da cidade – tendo como parâmetro a população – à geometria das ruas e dos prédios das áreas centrais – variáveis mais recentemente representadas pelo fator de visão de céu.

Além disso, é importante considerar as características do clima local, que podem favorecer a formação de ilhas de calor e influenciar sua intensidade, e Cuiabá apresenta características marcantes de continentalidade, de depressão geográfica e ventilação fraca. A máxima intensidade da ilha de calor ocorre, geralmente, em condições de céu claro e com vento calmo. A intensidade diminui e torna-se mínima sob condições de instabilidade do ar. (DUARTE, 2000).

Segundo Sampaio (2006) o clima de Cuiabá é do tipo AW de Koppen (temperaturas elevadas, chuva no verão e seca no inverno), isto é, Tropical semi-úmido, com quatro a cinco meses secos e duas estações bem definidas, uma seca (outono-inverno) e uma chuvosa (primavera-verão). Em média ao longo dos anos as mínimas são de 5°C e as máximas chegam a 41°C. O índice pluviométrico é caracterizado por diferenças, pois em sua maioria o inverno é bastante seco e o verão muito chuvoso. A média na região é de 1500 mm/ano.

As características regionais das chuvas são tipicamente tropicais, ou seja, máximas no verão e mínimas no inverno, sendo que mais de 70% do total de chuvas

acumuladas durante o ano se precipitam de novembro a março, e se devem, quase que exclusivamente, aos sistemas de circulação atmosférica, que ocorrem, principalmente, em número de três: Sistemas de Correntes Perturbadas de Oeste, de Norte e de Sul.

Segundo Duarte (1995) em Cuiabá a direção do vento predominante é N (norte) e NO (noroeste) durante grande parte do ano, e S (sul) no período do inverno. Os Sistemas de Correntes Perturbadas de Oeste se caracterizam pela invasão de ventos de oeste e noroeste, no final da primavera e verão; os Sistemas de Correntes Perturbadas de Norte acarretam chuvas no verão e os Sistemas de Correntes Perturbadas de Sul são representados pela invasão do anticiclone polar.

Dessa forma, durante a primavera-verão, a temperatura se mantém constantemente elevada, principalmente na primavera, ocasião em que o sol passa pelos paralelos da região, dirigindo-se para o Trópico de Capricórnio e a estação chuvosa ainda não teve início. No inverno, são registrados tempos estáveis, grande seca do ar, altas amplitudes térmicas diárias e elevadas temperaturas. Entretanto, freqüentemente ocorrem baixas de temperatura resultantes da invasão do Anticiclone Polar, que transpõe a Cordilheira dos Andes, após caminhar sobre o oceano Pacífico e chega a região, provocando um forte declínio na temperatura do ar, com céu limpo e pouca umidade específica. A essa ação direta do Anticiclone Polar dá-se o nome de “Friagem” e sua duração é, em média, de três a quatro dias. (NOGUEIRA *et al.*, 2005)

3.3. A ESCOLA

Segundo a Secretaria de Educação do Estado de Mato Grosso – SEDUC MT 2008 através do censo escolar 2006, o Governo do Estado de Mato Grosso mantém cerca de 25% das escolas de ensino fundamental e mais de 72% das escolas de ensino médio do estado. A Rede Estadual oferece diversas modalidades de ensino, entre elas educação de jovens e adultos, profissional, indígena e especial.

A Rede Pública Estadual de Educação abrange 141 municípios com 643 escolas e 473.360 alunos (Quadro 1).

QUADRO 1- Número de unidades escolares e alunos por escolaridade

ESCOLARIDADE	Unidades Escolares *	Nº de Alunos
Ensino Fundamental	584	299.037
Ensino Médio	379	130.010
Educação de Jovens e Adultos	286	36.508
Educação Especial	66	1.537
Educação Infantil	22	1.651
Educação Profissional	01	688

*Uma unidade escolar poderá ministrar mais de um nível/modalidade de ensino

Foi escolhida uma edificação escolar – Escola Estadual João Brienne de Camargo, por apresentar o mesmo partido arquitetônico utilizado em grande maioria das instituições de ensino da rede pública do estado e ter o agravante da localização em área central densamente urbanizada do município de Cuiabá na região leste da capital, no bairro Areão com o entorno urbanizado (Figura 5). A escola atende alunos do próprio bairro além dos bairros adjacentes como: Lixeira, Jardim Leblon e Pedregal. A escola tem aproximadamente 1360 alunos, sendo que no período matutino estão concentradas as séries mais avançadas, do ensino médio com aproximadamente 578 alunos, enquanto que no período vespertino é destinado ao ensino de alfabetização e do ensino fundamental, com 495 alunos aproximadamente e no período noturno para alunos do ensino médio no total de 291, aproximadamente.



FIGURA 5- Localização da escola analisada

Foram analisados dois ambientes de salas de aula denominados Sala 01 e Sala 02, com diferentes revestimentos internos, já que na Sala 01 as paredes internas são revestidas de azulejos cerâmicos brancos com alt

ura de 2,10m e tinta esmalte na cor amarela, enquanto que na Sala 02, as paredes são revestidas com tinta látex na cor creme (Quadro 2).

QUADRO 2- Características físicas das Salas 01 e 02a

ESPECIFICAÇÃO	SALA 01	SALA 02
Paredes externas	Alvenaria em bloco de concreto e revestimento com tinta esmalte na cor laranja e tinta acrílica na cor amarela.	Alvenaria em bloco de concreto e revestimento com tinta esmalte na cor laranja e tinta acrílica na cor amarela.
Paredes internas	Revestimento com azulejos brancos e tinta esmalte na cor amarela	Revestimento com tinta látex creme
Cobertura	Telhas de fibrocimento	Telhas de fibrocimento
Forro	Laje na cor branca	Laje na cor branca
Janelas	02 unidades de 2,00x1,00m. Tipo metálica basculante – material ferro/vidro. Possuindo cada uma 02 folhas. Peitoril de 2m. 02 unidades de 2,00x1,90m. Tipo metálica de correr. Possuindo cada uma 02 folhas. Peitoril 0,80m.	02 unidades de 2,00x1,00m. Tipo metálica basculante – material ferro/vidro. Possuindo cada uma 02 folhas. Peitoril de 2m. 02 unidades de 2,00x1,90m. Tipo metálica de correr. Possuindo cada uma 02 folhas. Peitoril 0,80m.
Porta	Lisa metálica	Lisa metálica
Piso	Granilite	Granilite

3.3.1. Caracterização da Sala 01

A Sala 01 possui área de 50,53m², a fachada principal possui orientação nordeste, ficando a fachada noroeste desprotegida já que não possui nenhuma barreira para a insolação direta (Figura 6). A superfície do entorno é de brita na cor cinza, e com apenas uma árvore ainda de pequeno porte.

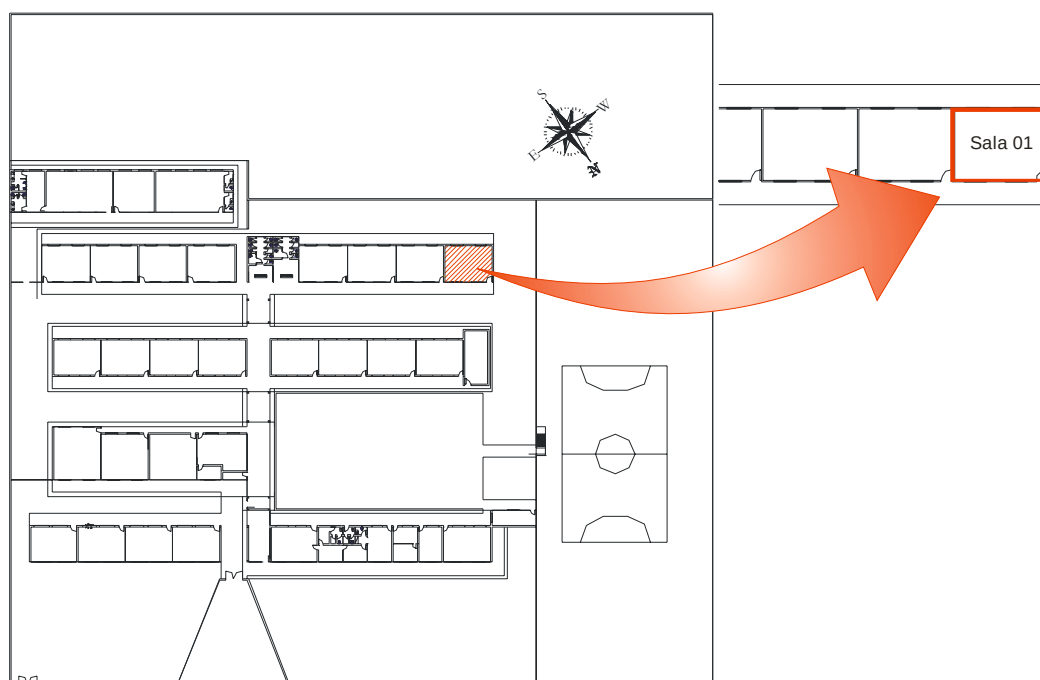


FIGURA 6- Localização da Sala 01



FIGURA 7- Fachada frontal da Sala 01

Os usuários da sala possuem faixas etárias bem diferentes, já que no período matutino, possui 23 alunos matriculados em idade média de 17 anos, enquanto que no período vespertino 27 alunos com idade média de 06 anos (Tabela 3).

TABELA 3- Características dos usuários da Sala 01

Período	Número de alunos (aproximadamente)	Escolaridade	Idade média
Matutino	23 alunos	3º ano ensino médio	17 anos
Vespertino	27 alunos	Alfabetização	06 anos

Quanto ao layout do ambiente é de forma diferenciada em cada período, já que, com os usuários adolescentes toda a área da sala é utilizada de forma homogênea, enquanto que com as crianças há uma tendência de utilização da área frontal, próxima ao quadro negro (Figura 8).

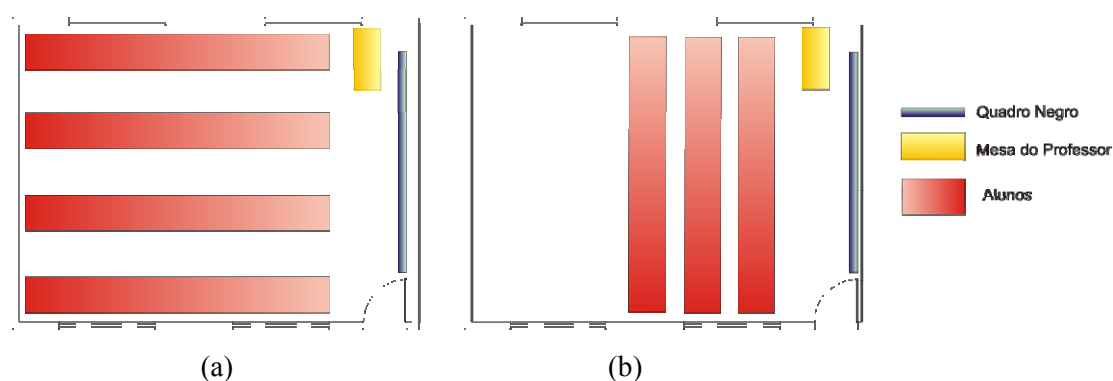


FIGURA 8- Layout da Sala 01 - (a) Período matutino (b) Período vespertino

3.3.2. Caracterização da Sala 02

A Sala 02 possui área de 50,53m², a fachada principal também possui orientação nordeste (Figura 9). A fachada noroeste tem como barreira a Sala 01, ou seja, as duas salas possuem uma parede em comum. Quanto a vegetação, há apenas uma árvore próxima de pequeno porte.

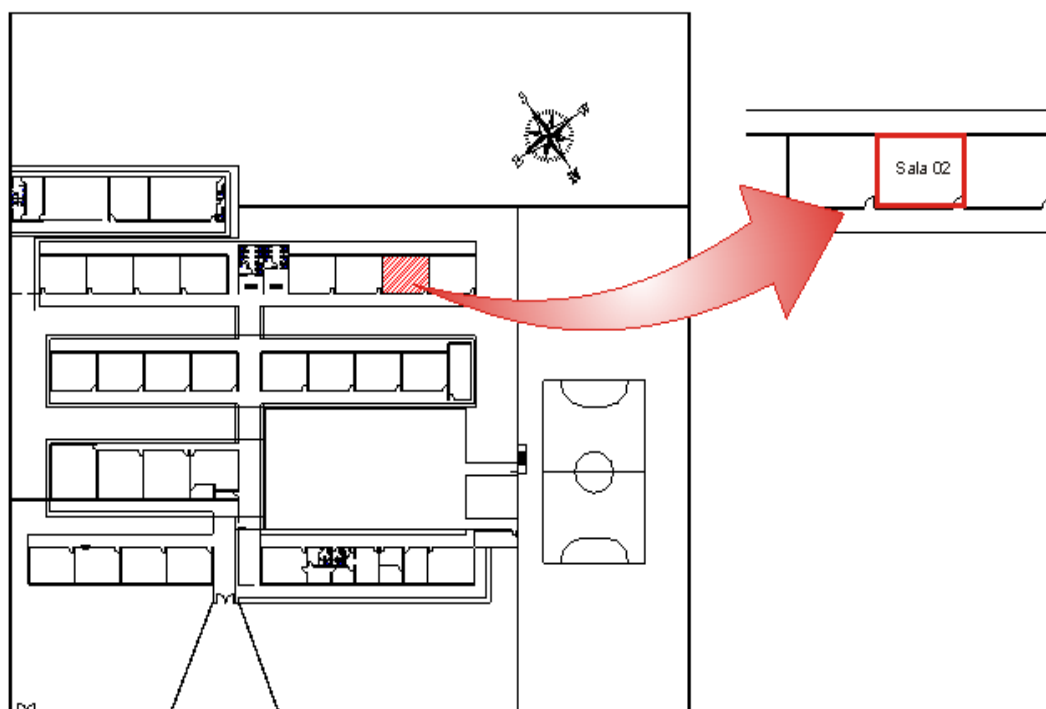


FIGURA 9- Localização da Sala 02



FIGURA 10- Fachada frontal da Sala 02

Os usuários da sala possuem faixas etárias também bem diferentes, já que no período matutino, há 22 alunos matriculados com idade média de 17 anos, enquanto que no período vespertino 15 alunos com idade média de 07 anos (Tabela 4).

TABELA 4- Características dos usuários da Sala 02

Período	Número de alunos (aproximadamente)	Escolaridade	Idade média
Matutino	22 alunos	3º ano ensino médio	17 anos
Vespertino	15 alunos	1º série ensino básico	07 anos

Quanto ao layout do ambiente, a Sala 02 possui o mesmo comportamento da Sala 01 apresentando no período matutino a utilização do ambiente de forma homogênea, enquanto que no período vespertino há uma tendência de utilização da área frontal, próxima ao quadro negro (Figura 04).

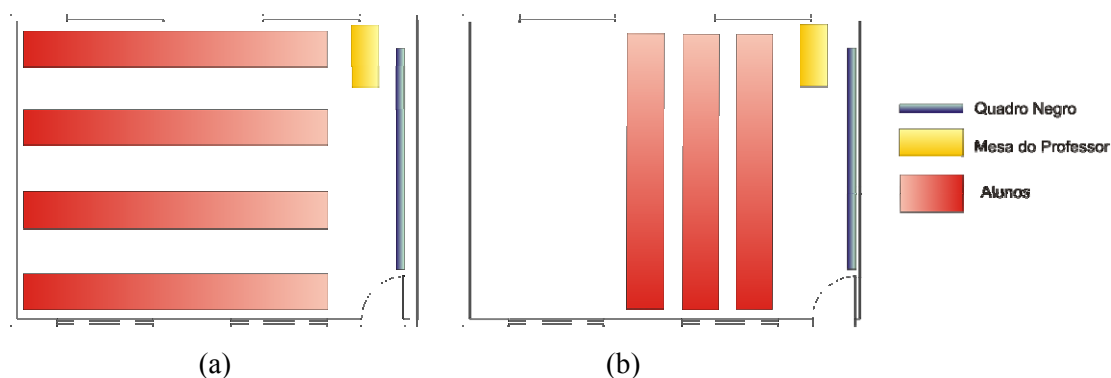


FIGURA 11- Layout da Sala 02 - (a) Período matutino (b) Período vespertino

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. MATERIAL

4.1.1. Procedimentos utilizados para coleta de dados

O objetivo das medições era o levantamento de dados para posterior análise do desempenho térmico da edificação escolar inserida no clima da cidade de Cuiabá.

Os dados foram coletados de forma direta e simultânea em dois ambientes (Sala 01 e Sala 02), quando ocupados e registrados manualmente pelos pesquisadores a cada hora do dia, em horário de aula – 8h às 11h no período matutino e 13h às 17h no período vespertino, durante 10 dias não consecutivos, em cada estação do ano (Quadro 3). Na estação da primavera, não foram registrados dados nos últimos horários de cada período – 11h e 17h, pois devido a baixa umidade as aulas eram interrompidas e os alunos dispensados.

QUADRO 3- Períodos de coleta de dados

Ordem	Estação do ano	Período de coleta
1º medição	Verão	05/03/07 à 16/03/07
2º medição	Outono	23/04/07 à 11/05/07
3º medição	Inverno	20/08/07 à 31/08/07
4º medição	Primavera	01/10/07 à 17/10/07

Foram totalizados 23560 resultados, de todas as estações analisadas e equipamentos também utilizados em outras pesquisas. A cada hora eram feitas 30 medições em cada sala de aula e 2 dados em comum do psicrômetro das temperaturas de bulbo seco e úmido externa, totalizando por dia 620 dados nos dois ambientes, exceção da estação primavera com 496 dados.

Para esta pesquisa foram utilizados os dados do termômetro de globo,

anemômetro, psicrômetro e luxímetro, totalizando 9120 dados nas quatro estações do ano e nos dois ambientes analisados.

4.1.2. Equipamentos utilizados na coleta dos dados

4.1.2.1. Termômetro de globo digital

Para a avaliação das temperaturas internas foram utilizados termômetros de globo de leitura digital modelo TGD-100, COD. 02043, da marca INSTRUTHERM (Figura 12), colocados a altura de 1,10m do nível do solo sobre bancos considerando-se as especificações da norma ISO-7726 (1998).



FIGURA 12- Termômetro de Globo Digital

O globo é constituído de uma esfera de cobre com diâmetro de 6" (152,4mm), com haste central, o bulbo úmido é composto de uma haste com copo de 100ml e cordão de pano, o bulbo seco possui uma haste para temperatura ambiente. As hastes tem diâmetro de 4mm x 150mm de comprimento e são construídas em Pt-100 classe A, o aparelho possui temperatura de operação de 0 a 100 °C. Através deste equipamento foram obtidos dados de temperatura de bulbo seco (TBS), temperatura de bulbo úmido (TBU) e temperatura radiante (TR).

4.1.2.2. Anemômetro Digital

Utilizado para a avaliação da velocidade da ventilação interna e externa dos ambientes analisados, o anemômetro digital do modelo THAR 185 e marca INSTRUTERM (Figura 13) possui um display de cristal líquido (LCD) de 3 ½

dígitos, escala de velocidade de 0,4 a 25,0 m/s com precisão de $\pm 2\% + 1$ dígito e resolução de 0,1 m/s.



FIGURA 13- Anemômetro Digital

4.1.2.3. *Psicrômetro / abrigo termométrico*

Para as coletas das temperaturas externas de bulbo seco (TBS) e de bulbo úmido (TBU) e posterior caracterização do microclima próximo aos ambientes analisados, foi instalado um psicrômetro, este protegido por um abrigo termométrico (Figura 14) da influência da radiação solar direta e circulação demasiada de ventos.



FIGURA 14- Abrigo termométrico com detalhe do psicrômetro

4.1.2.4. *Luxímetro Digital*

Para a realização das medições tanto externas quanto internas de iluminação utilizou-se o Luxímetro Digital Portátil, modelo LD-220, marca INSTRUTHERM (Figura 15), a unidade de medição é em lux (lúmen/m) e possui

display duplo de cristal líquido (LCD) de 4 dígitos, escala automática de 0,01 a 999900 Lux em 5 faixas e 0,001 a 99990 FC em 5 faixas e precisão de $\pm 3\%$ da leitura ± 5 dígitos.



FIGURA 15- Luxímetro Digital Portátil

4.1.3. Pontos de coleta de dados

Para os posicionamentos dos pontos para as coletas dos dados tomou-se o cuidado de se escolher pontos com menor interferência possível (Figura 16), buscando-se assim, não alterar o comportamento dos usuários nos ambientes. Desta forma, o termômetro de globo foi colocado a 60 cm da janela e próximo a mesa do professor, deixando-se a passagem livre pelo centro da sala de aula e maior garantia que não houvesse interferência dos alunos.

Para a coleta de dados com o anemômetro foi escolhido um ponto interno próximo a porta - A1int (Sala 01) e A2int (Sala 02) e pontos externos adjacentes – A1ext e A1ext' (Sala 01) e A2ext e A2ext' (Sala 02), analisando-se a ventilação disponível nos ambientes.

O abrigo termométrico com o psicrômetro foi instalado próximo as salas de aula avaliadas, em um espaço que pudesse caracterizar o microclima, sem radiação solar direta e sem a interferência das edificações.

Para coleta de dados com o luxímetro foram escolhidos pontos internos com maior exigência de iluminação como no quadro negro - L1, próximo a janela de correr com peitoril de 0,80m – L2 e próximo a janela do tipo basculante com peitoril de 2,00m – L3. Os pontos externos são adjacentes aos pontos próximos das janelas – L2ext e L3ext, para verificar a iluminação natural disponível.

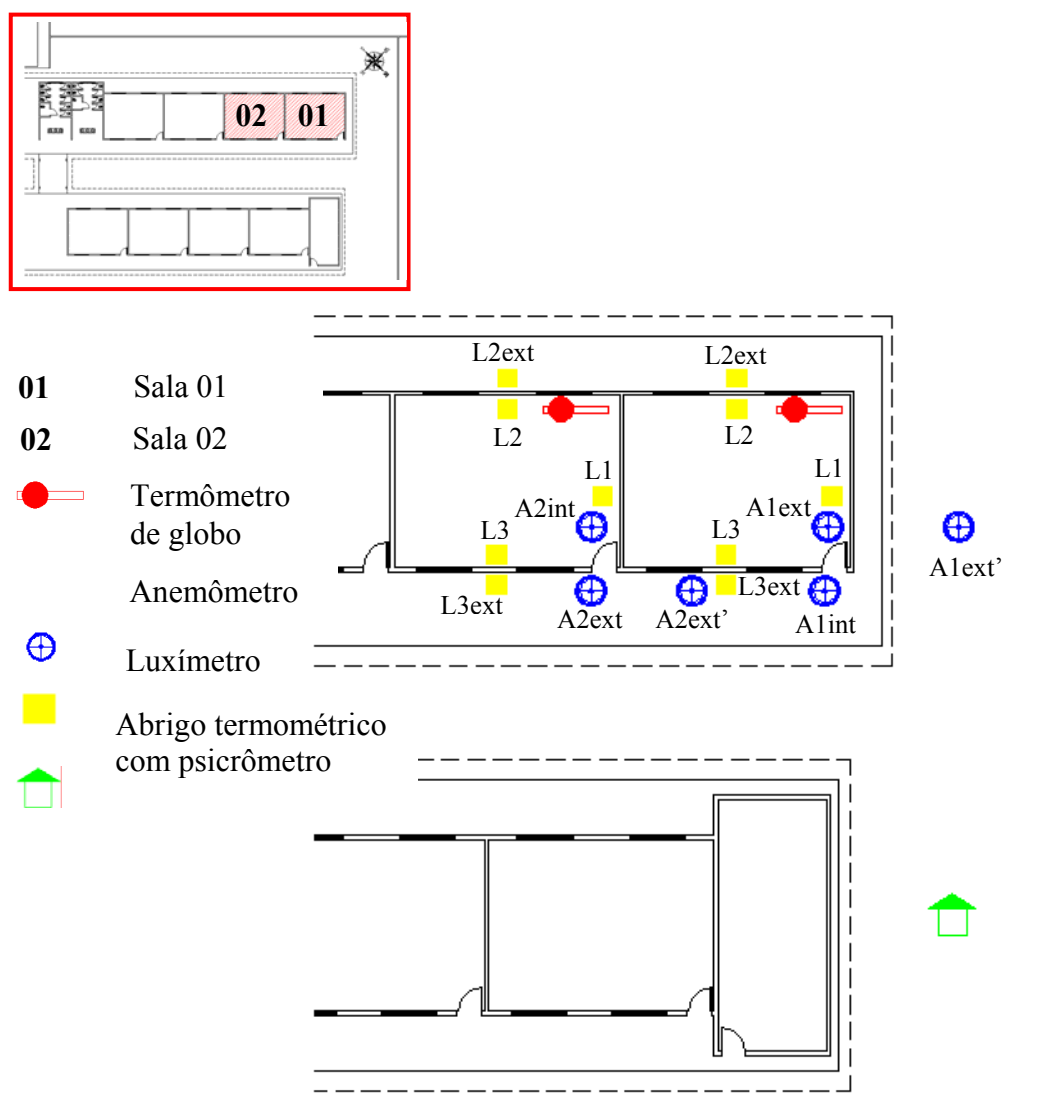


FIGURA 16- Pontos de medição nos ambientes analisados (Sala 01 e Sala 02)

4.2. MÉTODOS

4.2.1. Caracterização do microclima

Fatores morfológicos locais como a topografia, a vegetação e a superfície do solo natural ou construído têm grande influência na caracterização do clima local no qual estão inseridos. Portanto, a consideração das condições climáticas locais é importante para o processo de avaliação do desempenho térmico da edificação estudada, já que, há a interação do meio interno com o externo.

Desta forma, foi analisada a temperatura externa com o psicrômetro e a

interna com o termômetro de globo, obtendo-se dados diretos de temperatura de bulbo seco externo e interno e temperatura radiante, e dados indiretos de umidade relativa a partir das temperaturas de bulbo seco e úmido dos ambientes.

Os dados foram apresentados através das médias, máxima, mínima e o desvio padrão por estação do ano, utilizando-se valores de TBU externo e interno para caracterização do comportamento dos ambientes nas duas situações. Posteriormente foi feita a análise através de gráficos das condições térmicas que estão submetidos os usuários em cada período de avaliação.

Foram coletados também dados de ventilação utilizando o anemômetro em pontos interno e externos aos ambientes buscando-se avaliar as condições de ventilação natural disponível dentro das salas de aula. Desta forma, foi feita a análise do comportamento do vento disponível no local em cada uma das estações do ano através de gráficos da ventilação interna e externa verificando-se o aproveitamento da ventilação natural nos ambientes.

4.2.2. Avaliação do conforto térmico

A avaliação do desempenho térmico teve como objetivo quantificar as horas de conforto e desconforto que o ambiente esteve exposto, assim como identificar as estratégias necessárias para atingir a condição de conforto no período analisado.

Foram analisados os dados de TBS e TBU do ambiente interno das duas salas de aula para a verificação dos limites estabelecidos das características térmicas do ambiente interno em relação ao externo definindo-se as horas de conforto e desconforto dos ambientes em análise.

A zona de conforto de Givoni (1992) para países em desenvolvimento com clima quente foi utilizado para a definição dos limites dos parâmetros térmicos dos ambientes analisados, que estabelece a variação de temperatura no verão de 25°C a 29°C, e em umidade alta de 25°C a 26°C, podendo chegar a 32°C com ventilação de 2,0 m/s e no inverno, os limites são de 18°C a 25°C; com relação a umidade, os limites são de 4,0 g/kg a 17,0 g/kg e 80% de umidade relativa.

Os dados foram plotados em cartas psicrométricas através do programa ANALYSIS 1.5 desenvolvido pela LABEEE – Laboratório de Eficiência

Energética em Edificações da UFSC, tornando possível a verificação dos pontos na área de conforto. Através do programa *Analysis Bio* foi utilizado os relatórios de saída das cartas psicrométricas para a qualificação dos dados de forma a identificar as horas em conforto e desconforto, assim como as estratégias bioclimáticas necessárias para alcançar a zona de conforto térmico.

Após a plotagem dos dados de cada sala de aula, os mesmos foram comparados com o Test Reference Year (TRY) de Cuiabá feito por Leão (2007) utilizando uma série de dados de médias mensais de temperatura do ar da cidade para um período de 15 anos (1990-1994).

Finalmente, os dados de temperatura do ar nos ambientes foram trabalhados no software estatístico SPSS 16.0 for windows (Statistical Package for the Social Sciences), para análise de conforto térmico dos ambientes.

4.2.3. Índice de insalubridade e sensações e preferências térmicas

4.2.3.1. Índice de insalubridade

Foi calculado o índice de insalubridade utilizando-se a NR 15- Atividades e Operações Insalubres para limites de tolerância para exposição ao calor. Considerando-se os ambientes analisados sem carga solar, utilizou-se dados de temperatura radiante e temperatura de bulbo úmido para o cálculo do IBUTG que é um índice que representa o efeito combinado da radiação térmica, da temperatura de bulbo seco, da umidade e da velocidade do ar (COUTINHO,1998), chegando-se as médias do período da manhã e da tarde em cada estação do ano.

De posse do IBUTG, foi feita a classificação da atividade avaliada, admitindo-se como do tipo leve, com regime de trabalho no próprio local por hora, um tempo de 45 minutos em trabalho e 15 minutos em descanso sendo considerado portanto limite máximo de temperatura em 30,1°C a 30,6°C.

4.2.3.2. Sensações e preferências térmicas

Foram aplicados questionários (Anexo A) elaborados a partir da ISO 10551(1995) junto aos usuários das salas de aula com objetivo de adquirir informações das preferências e sensações quanto ao ambiente que estão inseridos,

de forma a identificar se os mesmos se sentem confortáveis levando-se em consideração a preferência individual.

A aplicação dos questionários foi feita nas 3 últimas estações do ano – outono, inverno e primavera, e aconteceu de forma diferente em cada período do dia, já que pela manhã foram escolhidos 5 alunos de forma aleatória de ambos os sexos que respondiam as perguntas a cada uma hora de forma individual. No período da tarde por serem ministradas aulas para alunos ainda em fase de alfabetização, os questionários foram respondidos pelas professoras em um único horário – 14h.

As opiniões quanto aos ambientes foram tabulados e comparados com as médias de cada período do dia nas estações avaliadas, com o objetivo de identificar a relação das temperaturas com as sensações e preferências dos usuários, verificando a satisfação ou não dos mesmos quanto ao ambiente.

4.2.4. Iluminância

Foram coletados dados horários de iluminância nas quatro estações do ano, em pontos interno e externo aos ambientes buscando-se verificar se a iluminação disponível em sala de aula encontra-se dentro dos limites da NBR 5413 que estabelece valores de 300 Lux para sala de aula e 500 Lux para quadro negro.

Os dados foram apresentados através de médias horárias por estação em cada uma das salas de aula analisadas, sendo feito posteriormente a análise através de gráficos demonstrativos da disponibilidade de luz nos ambientes.

4.2.5. Consumo de energia elétrica

Através do histórico de consumo de energia elétrica da escola do ano das coletas de dados-2007, foi feita uma análise através de gráfico demonstrativo do consumo mensal de energia e do consumo por estação do ano.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. CARACTERIZAÇÃO DO MICROCLIMA EXTERNO E INTERNO

A caracterização do clima no qual está inserido a edificação em estudo foi feito através da análise de temperatura e umidade, e posteriormente de ventilação, de cada ambiente – Sala 01 e Sala 02, para a avaliação do comportamento térmico.

Os resultados serão apresentados em forma de tabela, com dados gerais de cada período de medição e em formato de gráfico com o desempenho de cada estação do ano, posteriormente será feita a análise estatística pelo programa SPSS 16.0 com dados de temperaturas de bulbo seco das duas salas de aula em todas as estações do ano.

5.1.1. Sala 01

5.1.1.1. Desempenho da temperatura e umidade relativa

Na Tabela 5 observa-se que a média global do TBS interno é de $30,3 \pm 4,8$, enquanto que do TBS externo é de $29,4 \pm 5,8$, demonstrando que em relação a temperatura do ar, o ambiente externo registra temperaturas mais amenas que o interno, sendo portanto mais confortável.

Para dados do TBS interno a temperatura máxima registrada foi de $38,5^{\circ}\text{C}$ e a mínima de $17,8^{\circ}\text{C}$. Para a temperatura radiante (TR) a máxima foi de $38,8^{\circ}\text{C}$ e a mínima foi de $18,1^{\circ}\text{C}$, dados próximos ao do TBS interno. O TBS externo registrou a temperatura máxima de $39,0^{\circ}\text{C}$ e mínima de $14,0^{\circ}\text{C}$.

A umidade relativa registrou média global de $61 \pm 14\%$, apresentando a estação da primavera a menor média com $54 \pm 11,0\%$ que é a mais seca na região junto com a estação do inverno que teve média bem próxima com $55 \pm 14,9\%$. A

umidade máxima registrada foi de 97% e a mínima de 27%.

TABELA 5- Média ($\pm$ DP*) das temperaturas e umidade relativa na Sala 01

Variável	TBS (interno) (°C)	UR (%)	TR (°C)	TBS (externo) (°C)
Verão Período de coleta (05/03/07 à 16/03/07)	32,5 $\pm$ 2,4	64 $\pm$ 8,6	32,8 $\pm$ 2,6	31,6 $\pm$ 3,1
Outono Período de coleta (23/04/07 à 11/05/07)	28,4 $\pm$ 4,9	69 $\pm$ 15,4	28,7 $\pm$ 4,9	27,0 $\pm$ 5,9
Inverno Período de coleta (20/08/07 à 31/08/07)	27,5 $\pm$ 5,1	55 $\pm$ 14,9	27,8 $\pm$ 5,0	26,6 $\pm$ 6,7
Primavera Período de coleta (01/10/07 à 17/10/07)	33,4 $\pm$ 3,0	54 $\pm$ 11,0	33,6 $\pm$ 3,1	32,9 $\pm$ 3,7
Média Global	30,3 $\pm$ 4,8	61 $\pm$ 14,0	30,6 $\pm$ 4,8	29,4 $\pm$ 5,8

* DP – Desvio Padrão

Observa-se que em todas as estações as temperaturas internas apresentam-se maiores que as externas, demonstrando uma ineficiência climática dentro da Sala 01, tornando o ambiente externo mais agradável para o desempenho das atividades.

a) Estação Verão

Na figura 17 são apresentadas graficamente as médias horárias de TBS interno e TBS externo, Umidade relativa (UR) e temperatura radiante (TR) para a estação do verão.

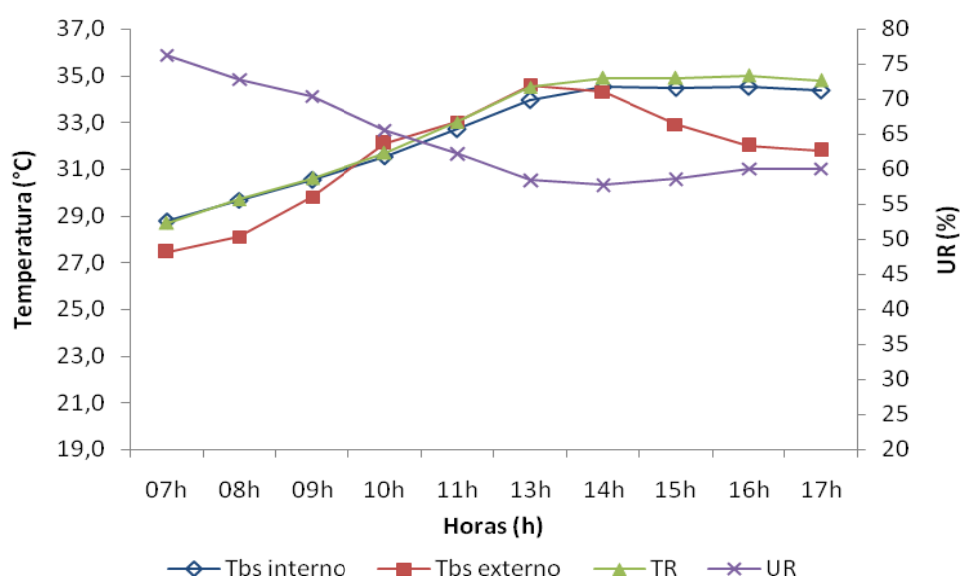


FIGURA 17- Desempenho térmico na estação do verão na Sala 01

No verão, as médias por estação, registradas do TBS interno, TBS externo, TR e UR, foram de 32,5°C, 31,6°C, 32,8°C e 64%, respectivamente.

Observa-se que TBS interno e TR nos primeiros horários de coleta apresentaram comportamentos semelhantes, e a partir de 11h a temperatura radiante registra dados mais altos, sendo assim até o último horário.

Para dados do TBS interno a temperatura máxima registrada foi de 36,3°C e a mínima de 27,2°C. Para a temperatura radiante a máxima foi de 37,1°C registrado a interferência da ocupação do ambiente enquanto que mínima foi de 27,3°C.

O TBS externo nos horários das 7 às 9h registrou temperaturas menores ao do TBS interno, invertendo o comportamento às 10h devido provavelmente a evasão de alunos nos últimos horários e ainda às 13h quando ocorria o início das aulas no período da tarde com uma menor quantidade de pessoas no ambiente, acontecendo a partir das 14h novamente a inversão, com os usuários já acomodados. A temperatura máxima registrada pelo TBS externo foi de 37,5°C e a mínima de 25,0°C.

Quanto à umidade, a máxima registrada foi de 82% e a mínima de 49%, que no primeiro horário registrou média de 76% apresentou-se em queda até o horário das 14h com média de 58%, ocorrendo uma elevação dos níveis a partir das 15h até o último horário com média de 60%.

b) Estação Outono

Na figura 18 são apresentadas graficamente as médias horárias de TBS interno e TBS externo, Umidade relativa (UR) e temperatura radiante (TR) para a estação do outono.

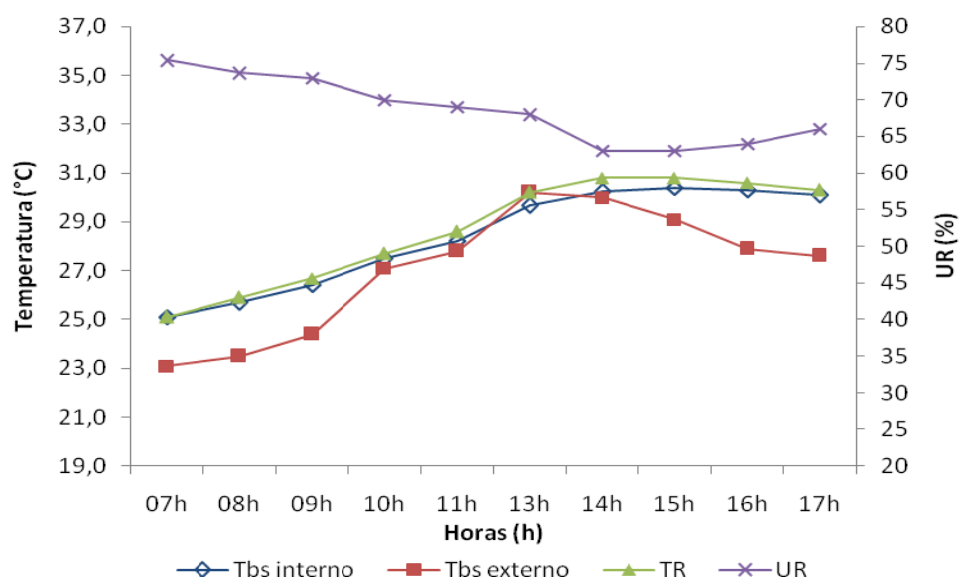


FIGURA 18- Desempenho térmico na estação do outono na Sala 01

No outono, as médias por estação, registradas do TBS interno, TBS externo, TR e UR, foram de 28,4°C, 27,1°C, 28,7°C e 69%, respectivamente.

Observa-se que o valor de TR no horário das 7h é igual ao do TBS interno ambos com 25,1°C, verificando-se durante todo o restante do dia valores superiores da temperatura radiante, com a máxima registrada no período de 35,9°C e a mínima de 19,4°C, enquanto que o TBS interno obteve-se a máxima de 35,6°C e 19,1°C.

Na maioria dos horários os valores de TBS externo foram inferiores aos dados do TBS interno com exceção das 13h em que a temperatura externa registrou média de 30,2°C enquanto que a interna foi de apenas 29,7°C, comportamento semelhante ao da estação do verão, devido ao horário de entrada dos alunos. Para TBS externo a máxima foi de 36,0°C e a mínima de 14,0°C.

Em relação à umidade relativa, até o horário das 15h apresentou-se com tendência de queda registrando média de 63% neste horário, voltando a subir nos últimos dois horários de medição atingindo 66% às 17h. Foi registrado valor máximo para UR de 97% e mínimo de 37%.

c) Estação Inverno

Na figura 19 são apresentadas graficamente as médias horárias de TBS interno e TBS externo, Umidade relativa (UR) e temperatura radiante (TR) para a estação do inverno.

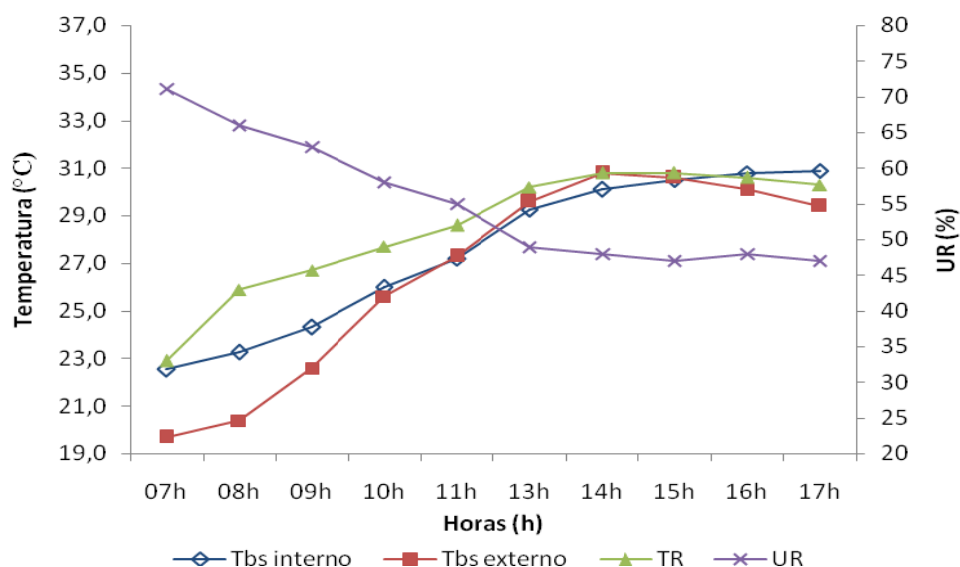


FIGURA 19- Desempenho térmico na estação do inverno na Sala 01

A estação do inverno foi que apresentou as menores médias por estação em relação às temperaturas avaliadas - TBS interno e externo e temperatura radiante, registrando 27,5°C, 26,6°C e 28,5°C, respectivamente. A média da umidade ficou em 55%.

Observa-se que no início do dia os valores de TBS externo apresentam considerável diferença de até 2,8°C às 7h, diminuindo durante as horas da manhã e chegando a inverter nas horas com maior insolação, voltando a cair nos últimos horários. O valor máximo registrado de TBS externo foi de 39,0°C e mínimo de 16°C.

Com valor máximo registrado de 36,8°C e o mínimo de 17,8°C, o TBS interno apresentou o comportamento dos valores sempre de forma crescente durante todos os horários, ficando em grande parte das horas inferiores aos de TR, superando-os a partir das 16h quando se registrou 30,8°C enquanto a temperatura radiante ficava em 30,6°C.

A temperatura radiante se comportou de forma semelhante aos dados de TBU externo, registrando às 14h valores iguais em 30,8°C, sendo que durante

todo o período manteve-se superior as temperaturas externas e com a máxima de 36,9°C e mínima de 18,1°C.

Quanto à umidade, que registrou valor máximo de 85% e mínimo de 27%, apresentou tendência de queda até as 15h com valor de 47%, registrando às 16h 48%, influenciada pela queda nos valores da temperatura externa no mesmo horário, voltando a atingir 47% às 17h.

d) Estação Primavera

Na figura 20 são apresentadas graficamente as médias horárias de TBS interno e TBS externo, Umidade relativa (UR) e temperatura radiante (TR) para a estação da primavera.

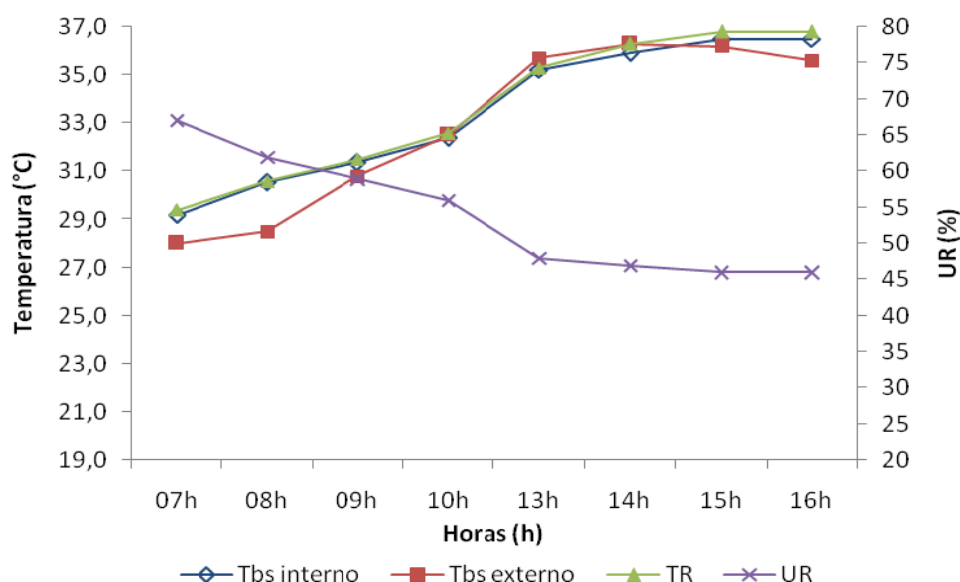


FIGURA 20- Desempenho térmico na estação da primavera na Sala 01

Na primavera, as médias por estação, registradas do TBS interno, TBS externo e TR, foram de 33,4°C, 32,9°C e 33,6°C, respectivamente, apresentando a menor média de umidade em 54%, justificando a dispensa dos alunos nos últimos horários de cada turno escolar, e que juntamente com o inverno, são os períodos mais secos na região.

Os valores de TBS interno e de TR apresentam-se bem semelhantes até as 13h registrando-se 35,2°C de temperatura do ar interna e 35,3°C de temperatura radiante, chegando às 16h com maior amplitude, já que o TBS interno registra 36,5°C e o TR, 36,8°C.

Foi encontrado valor máximo de TBS interno de 38,5°C e mínimo de

25,5°C e para TR máximo de 38,8°C e mínimo de 26,3°C.

Em relação ao TBS externo, até as 9h apresentava valores inferiores ao interno – 30,8°C do TBU externo e 31,4°C, sendo que a partir das 10h ocorre uma inversão, registrando-se 32,5°C do TBS externo e 32,4°C do interno, mantendo-se até 15h quando TBU externo volta a registrar valores inferiores - 36,2°C do TBS externo e 36,5°C do interno. Chegou-se a valores máximo e mínimo de TBS externo de 39,0°C e 25,0°C, respectivamente.

Quanto à umidade, o comportamento é decrescente durante todos os horários, com menor média as 15 e 16h de 46%. Registrou-se valor máximo de UR em 86% e mínimo em 36%.

5.1.1.2. Comportamento da ventilação

Foram feitas medições da velocidade do vento para o levantamento da ventilação na Sala 01 em um ponto interno (int) próximo a porta e 2 pontos externos (ext1 e ext2), um em frente a porta e um outro adjacente.

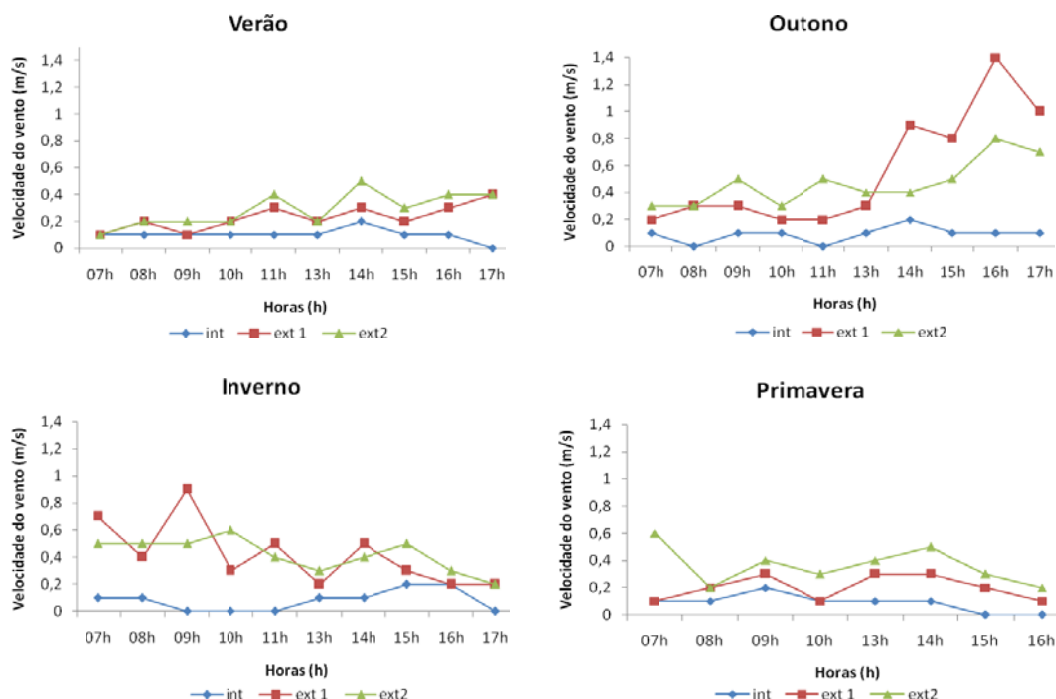


FIGURA 21- Média horária de velocidade do vento interna e externa na Sala 01, referente às quatro estações analisadas

Observa-se na Figura 21 que a maior velocidade de vento interno foi encontrada na estação do verão com velocidade média de $0,1 \pm 0,05 \text{ m/s}$ e a menor no inverno com $0,08 \pm 0,08 \text{ m/s}$, já para os ventos externos a maior velocidade

registrada foi na estação do outono nos dois pontos, sendo que no ext1 foi de $0,6\pm0,43\text{m/s}$ e ext2 de $0,5\pm0,17\text{m/s}$, as menores velocidades foram na primavera para ext1 com $0,2\pm0,09\text{m/s}$ e para ext2, no verão com $0,3\pm0,12\text{m/s}$.

As médias da velocidade do vento são muito inferiores as recomendadas pelas cartas bioclimáticas de Givoni, que estabelece para países de climas quentes limite de temperatura de até 32°C para velocidade de vento de 2m/s , comprovando a ineficiência da ventilação natural nos ambientes em estudo.

5.1.2. Sala 02

5.1.2.1. Desempenho da temperatura e umidade relativa

Na Tabela 6 observa-se que a média global do TBS interno é de $30,2\pm4,7$ enquanto que do TBS externo é de $29,4\pm5,8$, demonstrando que, assim como a Sala 01, em relação a temperatura do ar, o ambiente externo registra temperaturas mais amenas que o interno, sendo portanto mais confortável.

Para dados do TBS interno a temperatura máxima registrada foi de $38,1^{\circ}\text{C}$ e a mínima de $18,4^{\circ}\text{C}$. Para a temperatura radiante (TR) a máxima foi de $38,0^{\circ}\text{C}$ e a mínima foi de $18,8^{\circ}\text{C}$, dados próximos ao do TBS interno. O TBS externo registrou a temperatura máxima de $39,0^{\circ}\text{C}$ e mínima de $14,0^{\circ}\text{C}$.

A umidade relativa registrou média global de $60\pm13\%$, apresentando a estação da primavera a menor média com $53\pm11,0\%$ que é a mais seca na região junto com a estação do inverno que teve média bem próxima com $54\pm14,8\%$. A umidade máxima registrada foi de 98% e a mínima de 27% .

TABELA 6- Média ($\pm$ DP*) das temperaturas e umidade relativa na Sala 02

Variável	Tbs (interno) (°C)	UR (%)	TR (°C)	Tbs (externo) (°C)
Verão Período de coleta (05/03/07 à 16/03/07)	32,3 $\pm$ 2,3	64 $\pm$ 10,0	32,5 $\pm$ 2,5	31,6 $\pm$ 3,1
Outono Período de coleta (23/04/07 à 11/05/07)	28,3 $\pm$ 4,8	66 $\pm$ 12,1	28,5 $\pm$ 4,8	27,0 $\pm$ 5,9
Inverno Período de coleta (20/08/07 à 31/08/07)	27,5 $\pm$ 5,0	54 $\pm$ 14,8	27,7 $\pm$ 4,9	26,6 $\pm$ 6,7
Primavera Período de coleta (01/10/07 à 17/10/07)	33,5 $\pm$ 2,7	53 $\pm$ 11,0	33,6 $\pm$ 2,8	32,9 $\pm$ 3,7
Média Global	30,2 $\pm$ 4,7	60 $\pm$ 13,0	30,4 $\pm$ 4,6	29,4 $\pm$ 5,8

* DP – Desvio Padrão

Observa-se que em todas as estações as temperaturas internas apresentam-se maiores que as externas, demonstrando uma ineficiência climática interna também na Sala 02, tornando o ambiente externo mais agradável para o desempenho das atividades.

a) Estação Verão

Na figura 22 são apresentadas graficamente as médias horárias de TBS interno e TBS externo, Umidade relativa (UR) e temperatura radiante (TR) para a estação do verão.

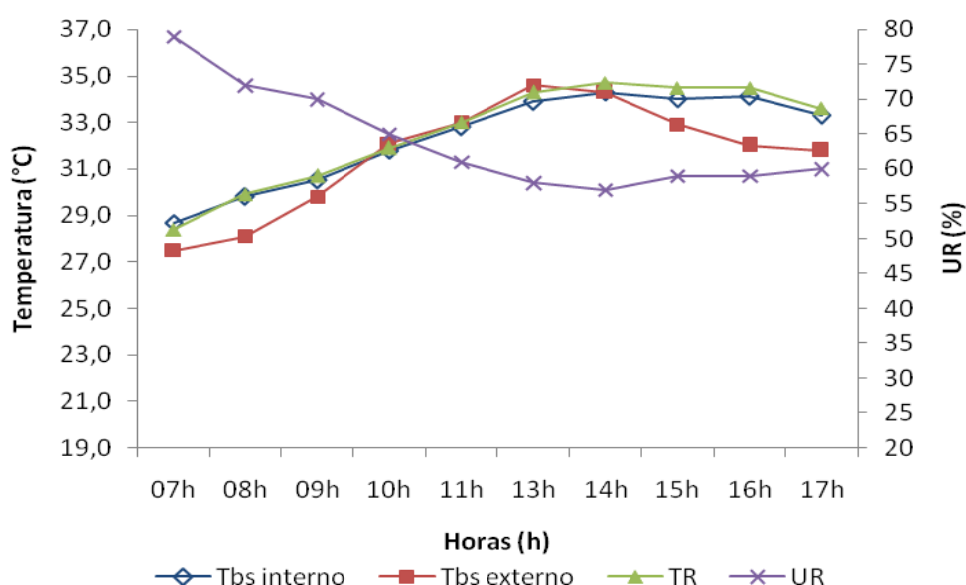


FIGURA 22- Desempenho térmico na estação do verão na Sala 02

No verão, as médias por estação, registradas do TBS interno, TBS externo, TR e UR, foram de 32,3°C, 31,6°C, 32,5°C e 64%, respectivamente.

O TBS interno e TR apresentam comportamentos bem semelhantes, sendo que no primeiro horário a temperatura radiante é inferior ao TBS interno, e a partir das 11h ocorre uma inversão, mantida até o último horário.

Para dados do TBS interno a temperatura máxima registrada foi de 36,1°C e a mínima de 27,4°C. Para a temperatura radiante a máxima foi de 36,6°C registrado a interferência da ocupação do ambiente enquanto que a mínima foi de 24,5°C.

Quanto ao TBS externo, das 7 às 9h apresenta-se inferior ao TBS interno, sendo que a partir das 10h até as 13h ocorre a inversão, podendo ser justificado pelo fato dos usuários nestes horários apresentarem baixa frequência de uso do ambiente, seja na parte da manhã pela liberação das aulas, e a tarde pelo tempo de acomodação dos alunos. A temperatura máxima registrada pelo TBS externo foi de 37,5°C e a mínima de 25,0°C.

Para a umidade, observa-se que desde o primeiro horário do dia até as 14h há uma tendência de queda registrando-se neste último horário o menor valor de 57%, sendo que a partir das 15h volta a subir, registrando às 17h, 60% de UR. A máxima registrada foi de 98% e a mínima de 44%.

b) Estação Outono

Na figura 23 são apresentadas graficamente as médias horárias de TBS interno e TBS externo, Umidade relativa (UR) e temperatura radiante (TR) para a estação do outono.

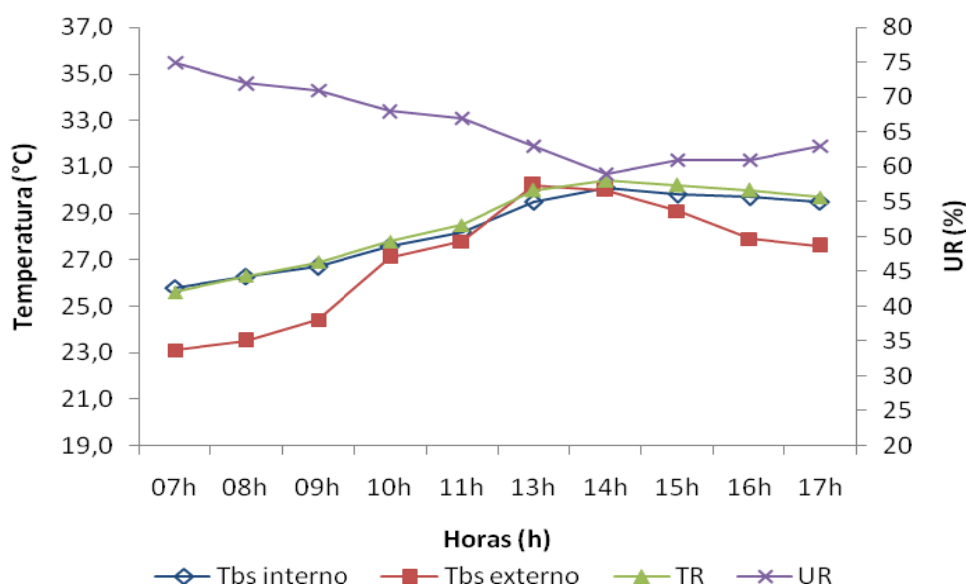


FIGURA 23- Desempenho térmico na estação do outono na Sala 02

No outono, as médias por estação, registradas do TBS interno, TBS externo, TR e UR, foram de 28,3°C, 27,1°C, 28,5°C e 66%, respectivamente.

Como na estação do verão, às 7h a temperatura radiante é inferior ao TBS interno que registrou 25,8°C enquanto TR registrou 25,6°C, mas a partir das 9h ocorre uma inversão com TBS interno registrando 26,7°C e TR 26,9°C, mantida até o último horário, com TBS interno a 29,5°C e TR a 29,7°C.

A máxima registrada no período para TR foi de 35,4°C e a mínima de 18,8°C, enquanto que o TBS interno obteve-se a máxima de 35,2°C e 18,6°C.

Para o TBS externo, o comportamento na maioria dos horários é inferior aos dados do TBS interno, sendo que pela manhã é de forma ascendente, registrando o TBS externo as 11h, 27,8°C e o interno 28,2°C, e à tarde de forma descendente, com TBS externo registrando 27,6°C e o interno 29,5°C as 17h, apenas no horário das 13h o TBS externo atinge valores maiores que o interno, 30,2°C e 29,5°C, justificando-se da mesma forma que a Sala 01, por ser o horário da entrada dos alunos, não havendo a acomodação dos usuários no ambiente. Para TBS externo a máxima foi de 36,0°C e a mínima de 14,0°C.

Quanto à umidade, o comportamento acontece de forma descendente até o horário das 14h, atingindo o valor médio mínimo de 59%, subindo nos próximos horários até o final do dia, registrando às 17h 63%. A máxima registrada da UR foi de 88% e a mínima de 34%.

c) Estação Inverno

Na figura 24 são apresentadas graficamente as médias horárias de TBS interno e TBS externo, Umidade relativa (UR) e temperatura radiante (TR) para a estação do inverno.

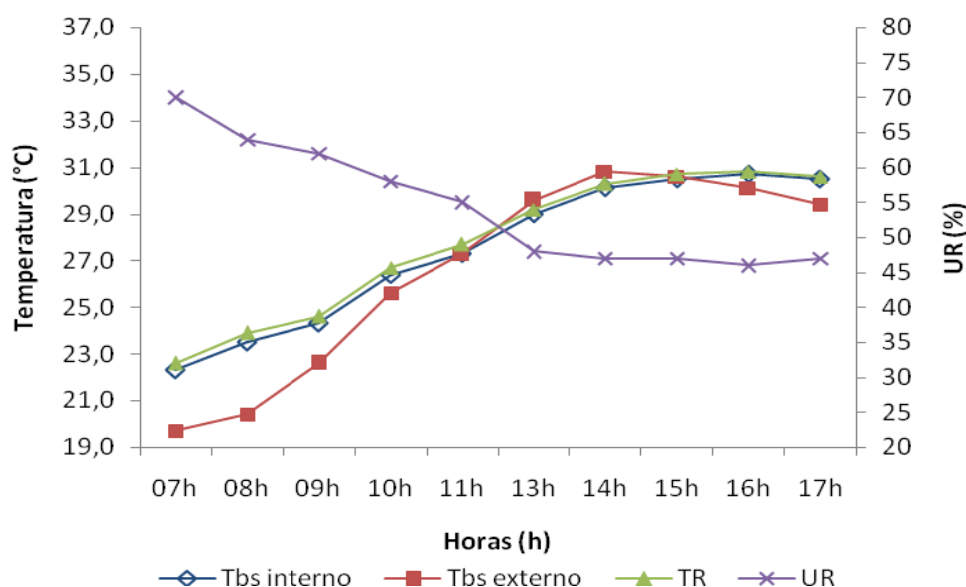


FIGURA 24- Desempenho térmico na estação do inverno na Sala 02

A estação do inverno foi que apresentou as menores médias por estação em relação às temperaturas avaliadas - TBS interno e externo e temperatura radiante, registrando 27,5°C, 26,6°C e 27,7°C, respectivamente. A média da umidade ficou em 54%.

O TBS interno apresentou-se em todos os horários sempre inferior a TR, com maior amplitude às 8h com temperaturas registradas de 23,5°C para o TBS interno e 23,9°C para TR. O comportamento acontece de forma ascendente até as 16h quando atinge o maior valor médio de 30,7°C para TBS interno e de 30,8°C para TR, às 17h as duas temperaturas sofrem queda registrando 30,5°C para TBS interno e de 30,6°C para TR. A máxima registrada no período para TR foi de 36,7°C e a mínima de 18,9°C, enquanto que o TBS interno obteve-se a máxima de 36,4°C e 18,4°C.

Quanto ao TBS externo, até as 14h os valores de temperatura são de forma crescente, atingindo neste horário o maior valor médio de todo o período, registrando-se 30,8°C. A partir das 15h os valores diminuem atingindo às 17h 29,4°C. O valor máximo registrado de TBS externo foi de 39,0°C e mínimo de 16°C.

Para a umidade, o comportamento acontece de forma descendente até as 16h quando atinge 46% que é a menor média dos horários, e a partir das 17h os valores começam a subir registrando 47% neste horário, o que durante a noite e na madrugada tende a manter esta tendência, principalmente pela ausência da radiação solar. A máxima registrada da UR foi de 83% e a mínima de 27%.

d) Estação Primavera

Na figura 25 são apresentadas graficamente as médias horárias de TBS interno e TBS externo, Umidade relativa (UR) e temperatura radiante (TR) para a estação da primavera.

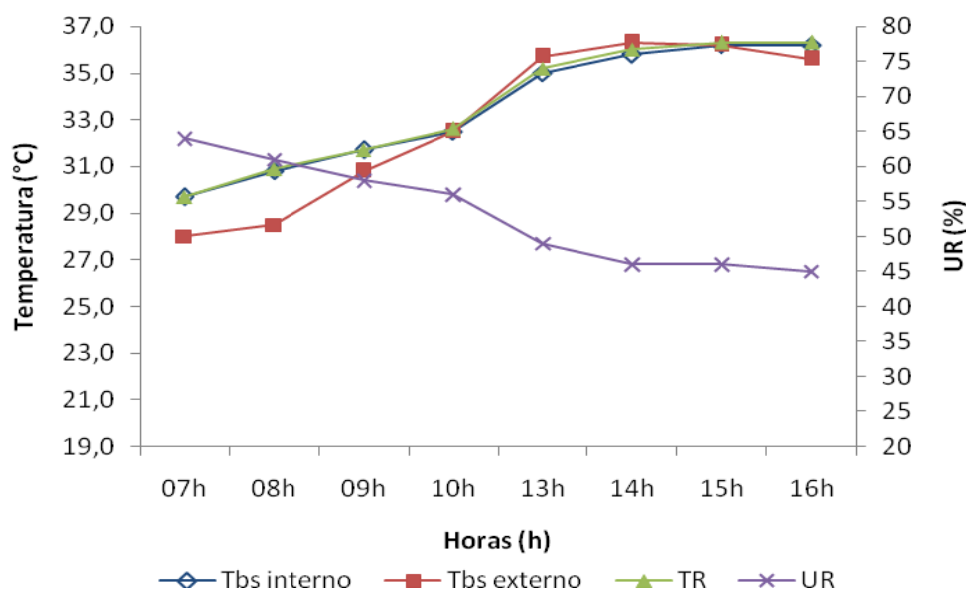


FIGURA 25- Desempenho térmico na estação da primavera na Sala 02

Na primavera, as médias por estação, registradas do TBS interno, TBS externo e TR, foram de 33,5°C, 32,9°C e 33,6°C, respectivamente, apresentando como na Sala 01, a menor média de umidade em 53%, justificando a dispensa dos alunos nos últimos horários de cada turno escolar, e que juntamente com o inverno, são os períodos mais secos na região.

Para TBS interno e TR o comportamento é muito semelhante, sendo que a

temperatura radiante registra valores sempre superiores aos do TBS interno, apresentando os últimos horários as maiores temperaturas, 36,2°C para TBS interno e 36,3°C para TR, as 15 e 16h. Registrou-se o valor máximo de TBS interno de 38,1°C e mínimo de 26,3°C e para TR, máximo de 38,0°C e mínimo de 26,7°C.

Para o TBS externo até o horário das 14h a temperatura se mantém de forma ascendente, atingindo neste horário 36,3°C e a partir das 15h os valores diminuem registrando 35,6°C às 16h. Os valores máximo e mínimo de TBS externo são 39,0°C e 25,0°C, respectivamente.

Quanto à umidade, os valores têm o comportamento descendente durante todo o período analisado, atingindo às 16h o menor valor médio horário de 45%. A máxima registrada da UR foi de 83% e a mínima de 32%.

5.1.2.2. Comportamento da ventilação

Foram feitas medições da velocidade do vento para o levantamento da ventilação na Sala 02 em um ponto interno (int) próximo à porta e 2 pontos externos (ext1 e ext2), um em frente a porta e um outro adjacente.

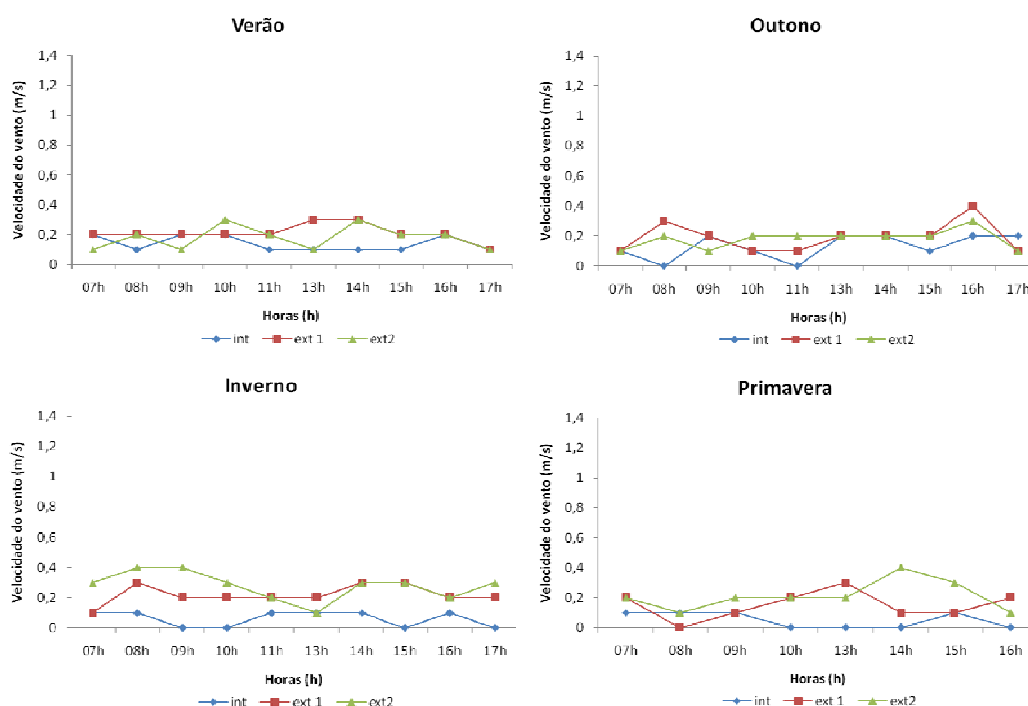


FIGURA 26- Média horária de velocidade do vento interna e externa na Sala 02, referente às quatro estações analisadas

É observado na Figura 26, para a velocidade de vento interno foi encontrada nas quatro estações média de $0,1 \pm 0,05 \text{ m/s}$, sendo que na estação do outono o desvio padrão ficou em $\pm 0,08$, já para o vento externo – ext1 registrou-se velocidade média de $0,2 \text{ m/s}$, com desvios padrões diferentes, $\pm 0,06$ para verão e inverno, $\pm 0,10$ para outono e $\pm 0,09$ para primavera. Para ext2 a maior velocidade média registrada para foi na estação do inverno com $0,3 \pm 0,09 \text{ m/s}$, atingindo nas demais estações $0,2 \text{ m/s}$, com desvio padrão de $\pm 0,08$, $\pm 0,06$ e $\pm 0,10$, no verão, outono, e primavera, respectivamente.

As médias da velocidade do vento, assim como da Sala 01 são inferiores aos 2 m/s de velocidade de vento recomendado pelas cartas bioclimáticas de Givoni, comprovando também a ineficiência da ventilação natural nos ambientes em estudo.

5.2. AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

Foi utilizada a Carta Bioclimática de Givoni (1992) para a avaliação do conforto térmico das salas de aula analisadas, usando dados de TBS e TBU interno das quatro estações do ano, para cada ambiente em análise. Após plotagem dos dados, foram gerados relatórios de porcentagem de horas de conforto e desconforto, assim como as estratégias necessárias para alcançar a condição de conforto. Os resultados foram comparados ao TRY de Cuiabá, feito por Leão (2007) e apresentados através de tabelas e figuras resultantes dos softwares utilizados - Analysis 1.5 e Analysis Bio.

5.2.1. Sala 01

A figura 27 é da Carta Bioclimática para Sala 01 das quatro estações analisadas, com 382 horas de dados.

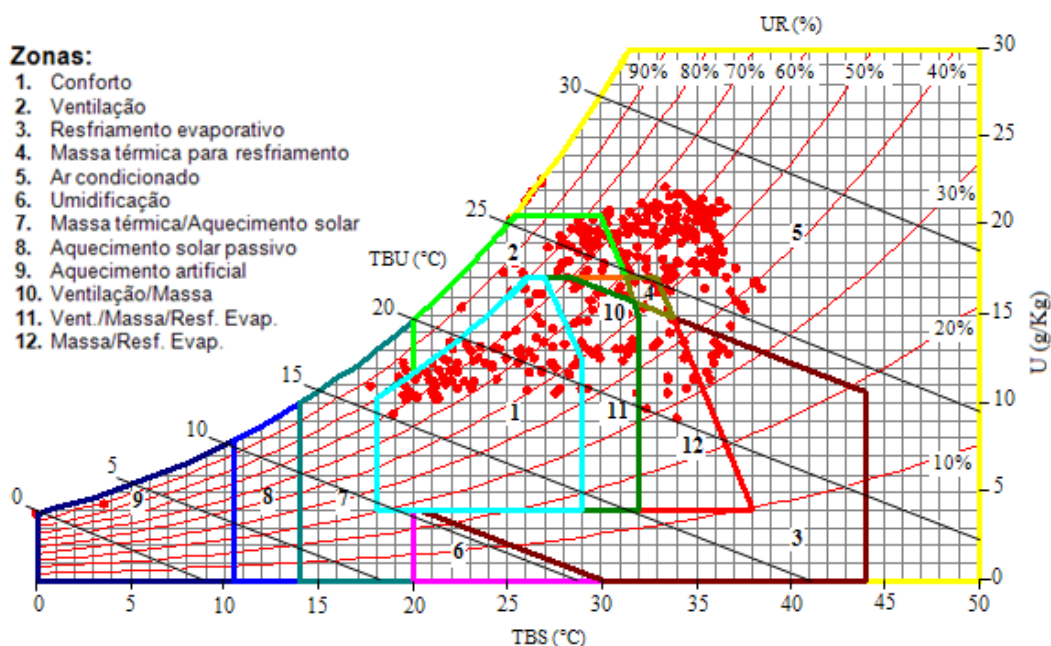


FIGURA 27- Carta Bioclimática para Sala 01, correspondente as quatro estações

Como resultado da plotagem dos dados da Sala 01, obteve-se o relatório de saída (Tabela 7) através do programa Analysis Bio.

TABELA 7- Relatório de saída para a Sala 01

Ano: 2007				
Total de horas: 382		Pressão: 101,39 kPa		
Conforto				23,0%
Desconforto	CALOR	Ventilação: 23,0%		75,1%
		Massa térmica para resfriamento: 15,4%		
		Resfriamento evaporativo: 15,7%		
		Ar condicionado: 43,2%		
	FRIO	Massa térmica/Aquecimento solar: 1,3%		1,8%
		Aquecimento artificial: 0,5%		
Sombreamento				96,3%

De acordo com o relatório final, o ambiente está em 23,0% na condição de conforto e 77,0% de desconforto, sendo que 75,1% por calor e apenas 1,8% por frio, que pode ser justificado com o período de aclimação do ambiente após e durante a “friagem”.

Para que seja possível amenizar o desconforto por calor é necessária a ventilação em 23,0% e o uso do ar condicionado em 43,2% das horas, ainda é

sugerido o uso de massa térmica para resfriamento em 15,4% e resfriamento evaporativo em 15,7% das horas. Quanto ao desconforto por frio, é sugerido o uso de massa térmica/aquecimento solar em 1,31% e aquecimento artificial em 0,54% das horas. O sombreamento também é necessário em 96,3% das horas para conseguir a condição de conforto.

As condições para conseguir o conforto também são indicadas de forma mais específica pelas estratégias bioclimáticas por zonas (Tabela 8) que mostrou entre as necessidades mais relevantes estão o uso do ar condicionado em 43,2% e da ventilação em 13,6%, que são condicionamentos ativos, ou seja, utiliza o uso da energia elétrica.

TABELA 8- Estratégias Bioclimáticas por zonas do TRY para Sala 01

Estratégias Bioclimáticas	%
1. Conforto	23,0
2. Ventilação	13,6
3. Resfriamento Evaporativo	2,88
4. Massa Térmica p/ Resfriamento	1,57
5. Ar Condicionado	43,2
6. Umidificação	0
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar	1,31
8. Aquecimento Solar Passivo	0
9. Aquecimento Artificial	0,524
10. Ventilação/Massa térmica	1,05
11. Ventilação/ Massa térmica /Resfriamento Evaporativo	8,38
12. Massa térmica/Resfriamento Evaporativo	4,45

5.2.2. Sala 02

A figura 28 é da Carta Bioclimática para Sala 02 das quatro estações analisadas, com 382 horas de dados.

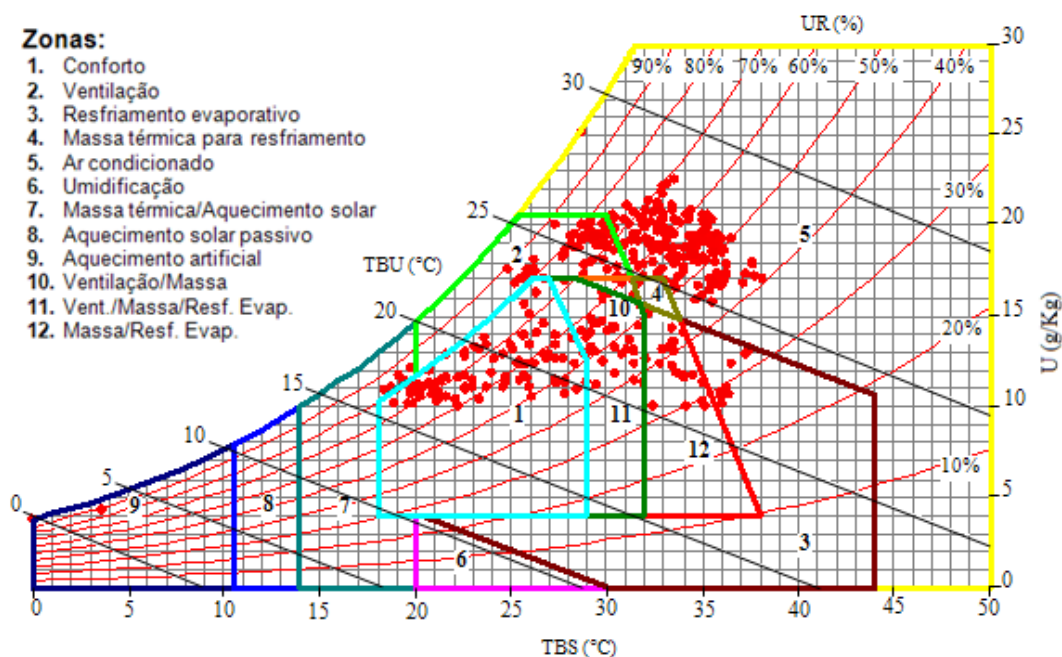


FIGURA 28- Carta Bioclimática para Sala 02, correspondente as quatro estações

Como resultado da plotagem dos dados da Sala 02, obteve-se o relatório de saída (Tabela 9) através do programa Analysis Bio.

TABELA 9- Relatório de saída para a Sala 01

Ano: 2007				
Total de horas: 382		Pressão: 101,39 kPa		
Conforto				22,3%
Desconforto	CALOR	Ventilação: 25,4%	75,7%	77,7%
		Massa térmica para resfriamento: 15,7%		
		Resfriamento evaporativo: 17,5%		
		Ar condicionado: 40,3%		
	FRIO	Massa térmica/Aquecimento solar: 1,6%	2,1%	
		Aquecimento artificial: 0,5%		
Sombreamento				96,3%

De acordo com o relatório final, o ambiente está em 22,3% na condição de conforto e 77,7% de desconforto, sendo que 75,7% por calor e apenas 2,1% por frio, que também é justificado pelo período de aclimação do ambiente após e durante a “friagem”.

Para que seja possível amenizar o desconforto por calor é necessário a ventilação em 25,4% e o uso do ar condicionado em 40,3% das horas, ainda é sugerido o uso de massa térmica para resfriamento em 15,7% e resfriamento

evaporativo em 17,5% das horas. Quanto ao desconforto por frio, é sugerido o uso de massa térmica/aquecimento solar em 1,6% e aquecimento artificial em 0,524% das horas. O sombreamento assim como a Sala 01, também é necessário em 96,3% das horas para conseguir a condição de conforto.

As condições para conseguir o conforto também são indicadas de forma mais específica pelas estratégias bioclimáticas por zonas (Tabela 10) que mostrou entre as mesmas necessidades da Sala 01, sendo as mais relevantes o uso do ar condicionado em 40,3% e da ventilação em 16,5%, que são condicionamentos ativos, ou seja, utiliza o uso da energia elétrica.

TABELA 10- Estratégias Bioclimáticas por zonas do TRY para Sala 02

Estratégias Bioclimáticas	%
1. Conforto	22,3
2. Ventilação	16,5
3. Resfriamento Evaporativo	3,14
4. Massa Térmica p/ Resfriamento	0,785
5. Ar Condicionado	40,3
6. Umidificação	0
7. Massa Térmica /Aquecimento Solar	1,57
8. Aquecimento Solar Passivo	0
9. Aquecimento Artificial	0,524
10. Ventilação/ Massa Térmica	0,524
11. Ventilação/ Massa Térmica /Resfriamento Evaporativo	8,38
12. Massa Térmica/Resfriamento Evaporativo	6,02

5.2.3. Comparação das Salas 01 e 02 com o TRY de Cuiabá

Comparativamente, as salas de aula avaliadas apresentaram um melhor comportamento quanto à condição de conforto em relação ao TRY de Cuiabá (Tabela 11), com percentagens de horas muito maiores ao encontrado por Leão (2007), sendo registrados 23,0% para Sala 01 e 22,3% para Sala 02, enquanto o TRY de Cuiabá registrou 2,89%.

As quantidades das horas necessárias de uso do ar condicionado e da ventilação nas salas de aula para atingir a condição de conforto apresentaram comportamentos diferentes aos do TRY de Cuiabá, pois neste, a percentagem de horas de ar condicionado são inferiores a de ventilação (13,1% e 74,7%, respectivamente) enquanto que para a Sala 01 a necessidade das horas de ventilação é de 13,6% e de ar condicionado de 43,2%, e na Sala 02 de 16,5% e

40,3%, respectivamente.

O partido arquitetônico dos ambientes escolares, assim como a ausência de barreiras para a radiação direta contribuem para que apenas o uso de condicionadores de ar seja eficiente para conseguir a condição de conforto nos ambientes, em contrapartida aumenta o consumo de energia elétrica otimizando os seus custos.

TABELA 11- Comparativo das Estratégias Bioclimáticas por zonas do TRY para Sala 01 e 02 com TRY de Cuiabá

ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS	%		
	Sala 01	Sala 02	TRY Cuiabá
1. Conforto	23,0	22,3	2,89
2. Ventilação	13,6	16,5	74,7
3. Resfriamento Evaporativo	2,88	3,14	0,367
4. Massa Térmica p/ Resfriamento	1,57	0,785	2,57
5. Ar Condicionado	43,2	40,3	13,1
6. Umidificação	0	0	0
7. Massa Térmica /Aquecimento Solar	1,31	1,57	0
8. Aquecimento Solar Passivo	0	0	0
9. Aquecimento Artificial	0,524	0,524	0
10. Ventilação/ Massa Térmica	1,05	0,524	0,55
11. Ventilação/ Massa Térmica /Resfriamento Evaporativo	8,38	8,38	4,35
12. Massa Térmica/Resfriamento Evaporativo	4,45	6,02	1,37

Analisando os dados dos ambientes de sala de aula percebe-se uma tendência semelhante ao do TRY de Cuiabá, exceto nos itens discutidos anteriormente, havendo a necessidade de uma maior série de dados para melhor representatividade do comportamento do ambiente.

5.2.4. Análise estatística da temperatura do ar da Sala 01 e Sala 02

Através de uma análise estatística multivariada encontrou-se o grau de significância do comportamento das estações do ano, das salas de aula analisadas e do cruzamento da estação do ano e sala de aula como variável dependente a temperatura dos ambientes.

De acordo com a Tabela 12, da relação estações e salas, encontrou-se grau de significância de 0,999, ou seja, não existe diferenças significativas no comportamento das salas de aula em relação as estações do ano podendo-se

afirmar que os ambientes apresentam o mesmo comportamento térmico em todas as estações do ano.

TABELA 12- Grau de significância

	Grau de Significância (α)*
Estação x Sala	0,999
Sala	0,945
Estação	0,000

* $\alpha < 0,05 \rightarrow$ Há diferença significativa; $\alpha > 0,05 \rightarrow$ Não há diferença significativa.

Verificou-se também, que as duas salas de aula não apresentam diferenças com grau de significância de 0,945 , demonstrando que os dois ambientes funcionam de forma semelhante quanto ao conforto térmico (Figura 29), podendo-se afirmar que estatisticamente os ambiente são iguais.

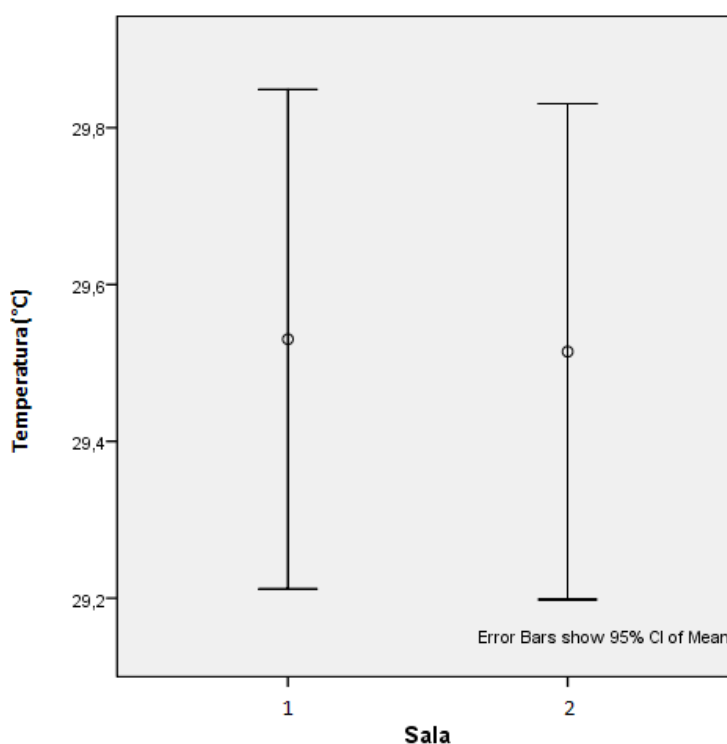


FIGURA 29- Comportamento estatístico das salas de aula

Quanto as estações do ano, apresentaram 0,000 de grau de significância, portanto há diferenças significativas entre os comportamentos das mesmas nos ambientes analisados, podendo-se afirmar que o comportamento da temperatura vai variar de acordo com a estação do ano.

De acordo com a Tabela 13 as estações do outono e inverno não apresentaram diferenças significativas entre si com grau de significância de

0,592. Portanto, podem-se considerar três estações predominantes: verão, outono/inverno e primavera.

TABELA 13- Grau de significância entre as estações

Estação	Estação	Grau de Significância (α)
Verão	Inverno	0,000
	Outono	0,000
	Primavera	0,000
Primavera	Inverno	0,000
	Outono	0,000
	Verão	0,000
Outono	Inverno	0,592
	Primavera	0,000
	Verão	0,000
Inverno	Outono	0,592
	Primavera	0,000
	Verão	0,000

A figura 30 demonstra graficamente o comportamento da temperatura em cada uma das estações do ano, verificando-se que o outono e o inverno apresentam comportamentos bem semelhantes com as menores médias de temperatura, mas com as maiores amplitudes térmicas.

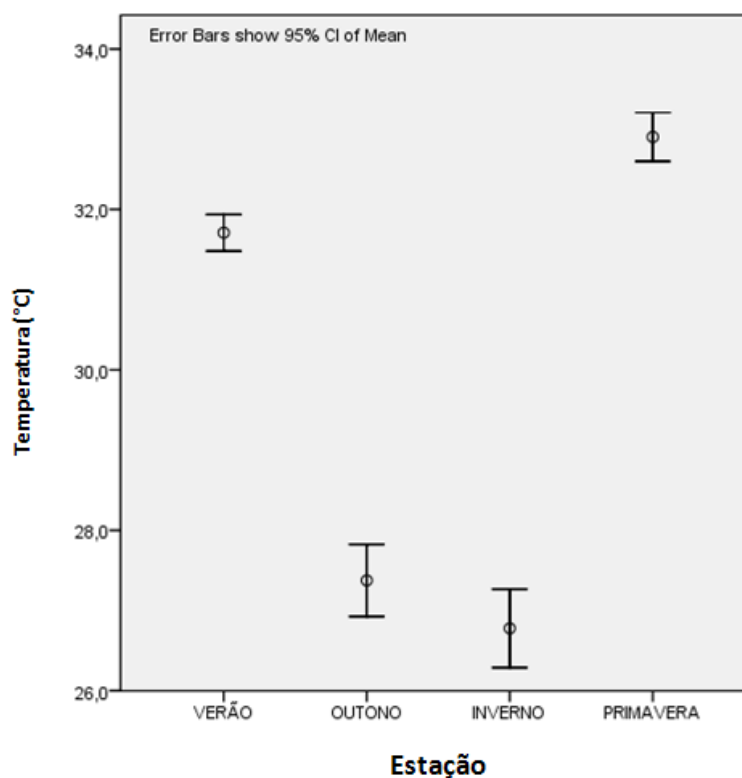


FIGURA 30- Comportamento estatístico das estações do ano

5.3. ÍNDICE DE INSALUBRIDADE E SENSações E PREFERÊNCIAS TÉRMICAS

5.3.1. Índice de insalubridade

5.3.1.1. Sala 01

Os maiores valores de temperatura de IBUTG encontrados na Sala 01 (Figura 29) ocorreram sempre no período da tarde, com o maior índice na estação do verão com 29,6°C seguido da primavera com 29,27°C. Todos os valores ficaram dentro do limite máximo de temperatura estabelecido pela NR-15 de 30,1°C a 30,6°C, portanto o regime de trabalho é compatível com os dados levantados, sendo o ambiente considerado salubre.

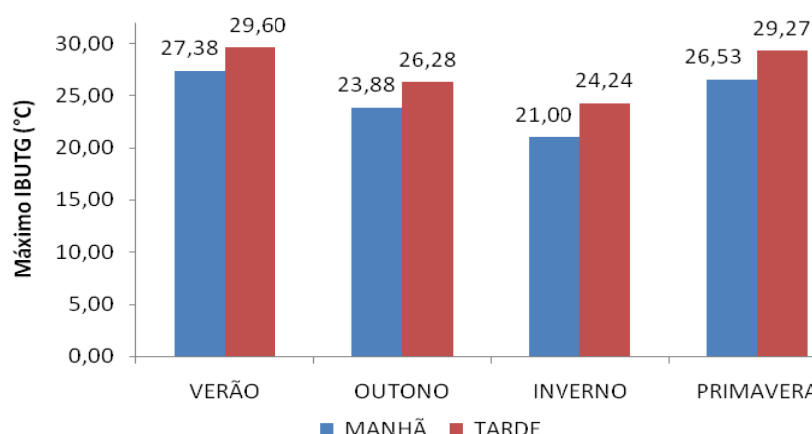


FIGURA 31- Índice de insalubridade por período do dia - Sala 01

5.3.1.2. Sala 02

Os maiores valores de temperatura de IBUTG encontrados na Sala 02 (Figura 30) também ocorreram sempre no período da tarde, mas estatisticamente os dois períodos apresentaram comportamento iguais, com o maior índice na estação do verão com 28,32°C sendo que, no período da manhã o índice ficou bem próximo ao da tarde em 28,22°C. A primavera ficou com índice próximo ao do verão com 27,68°C de manhã e 27,95°C à tarde. Todos os valores também ficaram dentro do limite máximo de temperatura estabelecido pela norma regulamentadora de 30,1°C a 30,6°C, portanto o regime de trabalho é compatível com os dados levantados, sendo o ambiente considerado salubre.

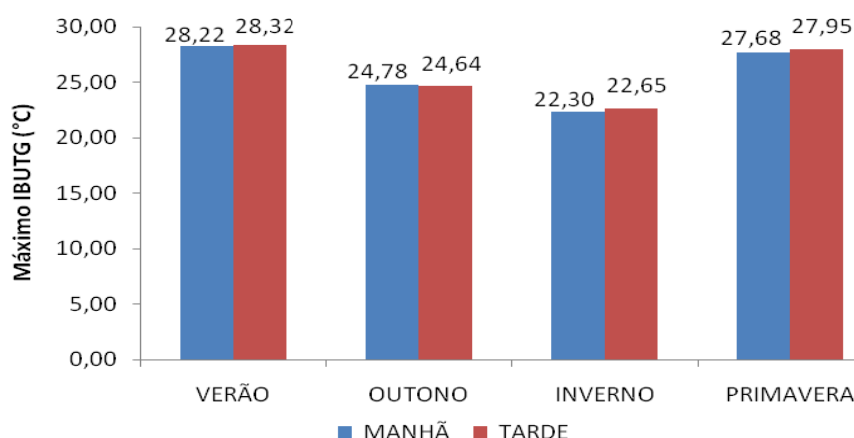


FIGURA 32- Índice de insalubridade por período do dia - Sala 02

5.3.2. Sensações e preferências térmicas

Observa-se que na estação do outono (Tabela 12) a sensação das pessoas quanto ao ambiente, tem relação direta com o período do dia analisado e com a temperatura do ar, já que a Sala 01 com média de TBS menor ao da Sala 02 no período da manhã apresentou uma percentagem maior de pessoas que consideravam o ambiente confortável, 24,00% na Sala 01 e 21,05% na Sala 02, observa-se também que na Sala 02 há uma distribuição mais homogênea das respostas no período matutino, sendo considerada pelos seus usuários mais desconfortável que a Sala 01 neste período, enquanto que à tarde com o TBS da Sala 01 maior que da Sala 02 acontece de forma contrária, pois a Sala 01 fica com a maior percentagem das respostas, 41,18% no item “com muito calor” e a Sala 02 com 31,25% no item “com leve sensação de calor”.

De forma generalizada a Sala 01 no período da manhã é considerada pouco confortável em 61,33% das respostas, enquanto no período da tarde 70,59% das respostas a consideravam desconfortável. Já na Sala 02, no período matutino 48,68% dos usuários a consideravam pouco confortável e 39,47% desconfortável, no período vespertino 43,75% das respostas a consideravam desconfortável.

Quanto às preferências para o ambiente na Sala 01, 43,24% prefeririam que a mesma estivesse mais fresca no período da manhã e 47,06% prefeririam que ela estivesse muito fresca no período da tarde. Na Sala 02, no período matutino 60,82% das respostas prefeririam que a mesma estivesse mais fresca, assim como no período vespertino com 75,00% das preferências no mesmo item.

TABELA 14- Sensações e preferências térmicas – estação outono

OUTONO					
Questões		SALA 01		SALA 02	
		Manhã Média TBS: 26,6°C	Tarde Média TBS: 30,1°C	Manhã Média TBS: 26,9°C	Tarde Média TBS: 29,7°C
SENSAÇÕES (Neste momento como você se sente?)	com muito calor	-	41,18%	18,42%	25,00%
	com calor	22,67%	35,30%	25,00%	18,75%
	com leve sensação de calor	44,00%	5,88%	26,32%	31,25%
	confortável, nem calor nem frio	24,00%	11,76%	21,05%	25,00%
	com frio	8,00%	5,88%	7,89%	-
	com muito frio	1,33%	-	1,32%	-
CONFORTO (Você acha o clima desta sala?)	confortável	28,00%	11,76%	3,95%	25,00%
	pouco confortável	61,33%	11,76%	48,68%	31,25%
	desconfortável	10,67%	70,59%	39,47%	43,75%
	muito desconfortável	-	5,88%	6,58%	-
	extremamente desconfortável	-	-	1,32%	-
PREFERÊNCIAS (Você preferiria que a sala estivesse?)	muito fresca	12,16%	47,06%	21,62%	-
	mais fresca	43,24%	35,29%	60,82%	75,00%
	um pouco mais fresca	21,62%	-	10,81%	-
	do mesmo jeito, estou me sentindo bem	17,57%	17,65%	1,35%	25,00%
	um pouco mais quente	5,41%	-	2,70%	-
	mais quente	-	-	2,70%	-
	muito mais quente	-	-	-	-

Na estação do inverno (Tabela 13), no período da manhã a média do TBS da Sala 01 é menor ao da Sala 02, entretanto a sensação de desconforto por parte dos usuários fica mais evidente na primeira sala com 25,83% das respostas para o item “com leve sensação de calor” e 21,67% para “com calor”, enquanto que na segunda sala, 45,36% dos usuários sentiam-se confortáveis, com uma percentagem considerável de 20,37% nos itens “com frio” e “com calor”, e na Sala 01, 34,17% das pessoas se sentiam confortáveis e 15,83% com frio, devido aos dias de “friagem” na região.

Quanto ao conforto a Sala 01 no período da manhã é considerada pouco confortável em 60,8% das respostas, enquanto no período da tarde 75,00% das respostas também a consideravam pouco confortável. Já na Sala 02, no período matutino 56,08% dos usuários a consideravam pouco confortável, no período vespertino 66,67% das respostas também a consideravam pouco confortável.

Quanto às preferências para o ambiente na Sala 01, 38,34% estavam satisfeitos, se sentindo bem no período da manhã e 50,00% prefeririam que a sala

estivesse muito fresca no período da tarde. Na Sala 02, no período matutino 42,45% das respostas prefeririam que a mesma estivesse mais fresca, assim como no período vespertino com 66,67% das preferências no mesmo item.

TABELA 15- Sensações e preferências térmicas – estação inverno

INVERNO					
Questões		SALA 01		SALA 02	
		Manhã Média TBS: 24,7°C	Tarde Média TBS: 30,3°C	Manhã Média TBS: 24,8°C	Tarde Média TBS: 30,2°C
SENSAÇÕES (Neste momento como você se sente?)	com muito calor	2,50%	-	0,93%	33,33%
	com calor	21,67%	25,00%	20,37%	33,33%
	com leve sensação de calor	25,83%	-	12,04%	33,33%
	confortável, nem calor nem frio	34,17%	50,00%	45,36%	-
	com frio	15,83%	25,00%	20,37%	-
	com muito frio	-	-	0,93%	-
CONFORTO (Você acha o clima desta sala?)	confortável	26,67%	25,00%	15,89%	-
	pouco confortável	60,83%	75,00%	56,08%	66,67%
	desconfortável	12,50%	-	14,02%	33,33%
	muito desconfortável	-	-	13,08%	-
	extremamente desconfortável	-	-	0,93%	-
PREFERÊNCIAS (Você preferiria que a sala estivesse?)	muito fresca	3,33%	50,00%	3,77%	-
	mais fresca	28,33%	-	42,45%	66,67%
	um pouco mais fresca	17,50%	25,00%	15,09%	33,33%
	do mesmo jeito, estou me sentindo bem	38,34%	25,00%	27,37%	-
	um pouco mais quente	7,50%	-	7,55%	-
	mais quente	5,00%	-	3,77%	-
	muito mais quente	-	-	-	-

Na estação da primavera (Tabela 14) a Sala 01 com média de TBS menor ao da Sala 02 no período da manhã apresentou uma percentagem maior de pessoas que consideravam o ambiente confortável, 15,79% na Sala 01 e 21,96% na Sala 02, que obteve 39,02% das respostas nos itens “com calor” e “com leve sensação de calor” no período matutino, alcançando 66,67% das respostas no item “com calor” no período da tarde. Na Sala 01 pela manhã 42,11% das respostas consideravam o ambiente com calor e à tarde com o TBS da Sala 01 maior que da Sala 02, 72,73% também a consideravam com calor.

Em relação ao conforto do ambiente a Sala 01 é considerada pouco confortável no período da manhã em 63,16% das respostas e no período da tarde 63,63%. Já na Sala 02, os usuários a consideravam pouco confortável em 53,66% no período matutino e 88,89% no período vespertino.

Quanto às preferências para o ambiente na Sala 01, 52,63% prefeririam que a mesma estivesse mais fresca no período da manhã e 63,64% prefeririam que ela estivesse muito fresca no período da tarde. Na Sala 02, no período matutino 41,46% das respostas prefeririam que a mesma estivesse mais fresca e no período vespertino com 44,45% prefeririam que a sala estivesse muito fresca.

TABELA 16- Sensações e preferências térmicas – estação primavera

PRIMAVERA					
Questões		SALA 01		SALA 02	
		Manhã Média TBS: 30,9°C	Tarde Média TBS: 36,0°C	Manhã Média TBS: 31,2°C	Tarde Média TBS: 35,8°C
SENSAÇÕES (Neste momento como você se sente?)	com muito calor	5,26%	-	-	11,11%
	com calor	42,11%	72,73%	39,02%	66,67%
	com leve sensação de calor	36,84%	27,27%	39,02%	11,11%
	confortável, nem calor nem frio	15,79%	-	21,96%	11,11%
	com frio	-	-	-	-
	com muito frio	-	-	-	-
CONFORTO (Você acha o clima desta sala?)	confortável	36,84%	-	46,34%	-
	pouco confortável	63,16%	63,64%	53,66%	88,89%
	desconfortável	-	27,27%	-	-
	muito desconfortável	-	-	-	11,11%
	extremamente desconfortável	-	9,09%	-	-
PREFERÊNCIAS (Você preferiria que a sala estivesse?)	muito fresca	-	63,64%	4,88%	44,45%
	mais fresca	52,63%	18,18%	41,46%	33,33%
	um pouco mais fresca	26,32%	18,18%	29,27%	22,22%
	do mesmo jeito, estou me sentindo bem	21,05%	-	24,39%	-
	um pouco mais quente	-	-	-	-
	mais quente	-	-	-	-
	muito mais quente	-	-	-	-

5.4. ILUMINÂNCIA

Serão apresentados os resultados de iluminância das salas de aula utilizando-se gráficos com comportamento dos dados por estação do ano, em cada ponto de medição, analisando se a disponibilidade de luz no ambiente está no limite recomendado por norma, sendo o suficiente para a boa saúde visual dos usuários.

É importante descrever o entorno do ambiente, fazendo uma análise se há elementos que possam funcionar como barreira para a incidência solar. No caso das salas de aula estudadas, os muros de limite da escola e a outra ala de salas de aula podem funcionar em alguns horários do dia como obstáculos para a radiação solar, assim como os beirais, vegetação e a construção vizinha (Figura 31).

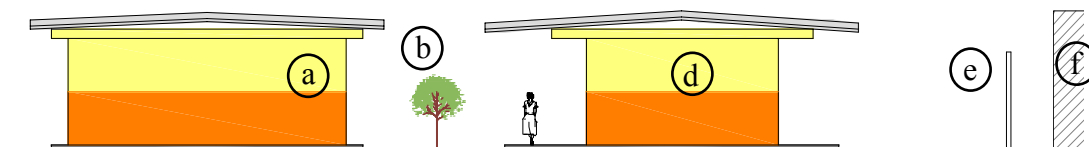


FIGURA 33- Barreiras construtivas para insolação direta; a- Ala de salas de aula, b-Vegetação, c- Beiral, d- Salas de aula analisadas, e- Muro, f- Construção vizinha

As aberturas do ambiente como posições das janelas e porta (Figura 32), assim como a área de utilização dos mesmos, também são de grande importância para o aproveitamento da luz natural, pois vão contribuir para a entrada da radiação solar nas salas de aulas, diminuindo assim o uso de luz artificial.

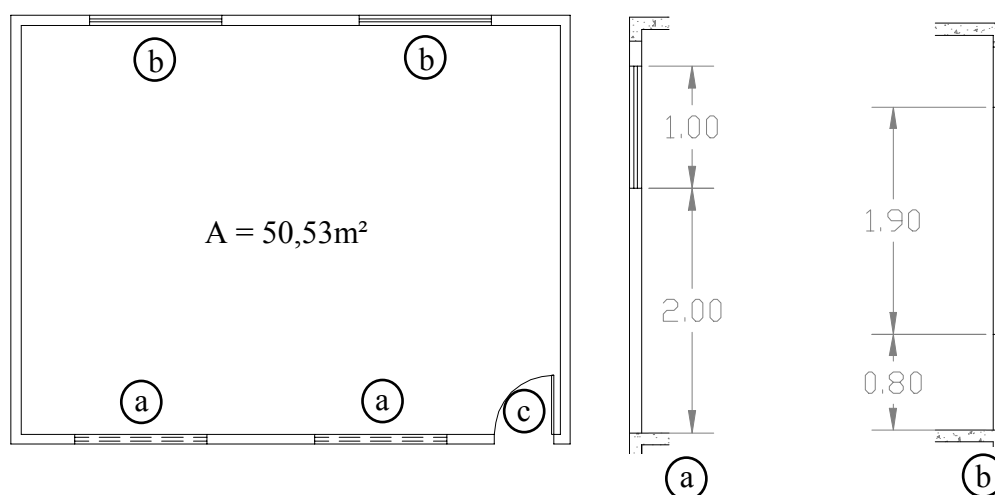


FIGURA 34- Peitoris das janelas das salas de aula analisadas; a) janela alta - P = 2,00m, b) janela baixa – P = 0,80m, c) porta – 0,90 x 2,10m

5.4.1. Sala 01

a) *Estação Verão*

É observado na figura 33 o comportamento da iluminância na estação do verão, verificando-se que no ponto L1 - quadro negro as maiores disponibilidades de luz foram no período matutino com maior índice às 11h de 979,35 Lux, ficando apenas o primeiro horário com índice inferior ao recomendado pela NBR 5413 de 500 Lux, atingindo 485,78 Lux, que baseando-se na orientação solar, a ala de salas de aula pode ter funcionado como barreira para a incidência de luz natural direta. No período da tarde, as 16 e 17h os índices foram inferiores ao mínimo recomendado, registrando 408,82 e 348,20 Lux, respectivamente.

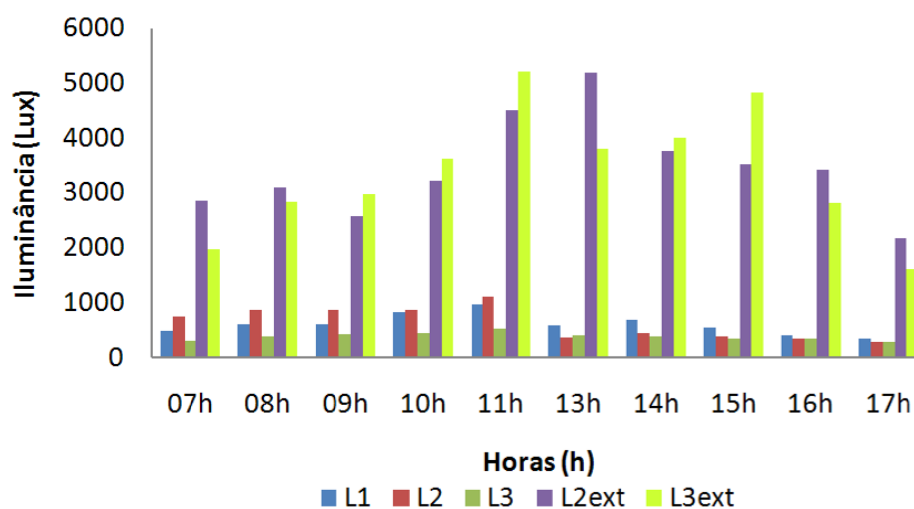


FIGURA 35- Desempenho Lumínico na estação do verão na Sala 01

O ponto L2 - próximo a janela com peitoril de 0,80m, apresentou índices superiores aos estabelecidos por norma para sala de aula de 300 Lux na maioria dos horários, ficando apenas o horário das 17h com 289,46 Lux, sendo registrado o maior valor também às 11h com 1103,91 Lux provavelmente pela radiação solar advinda da porta que neste horário atingiu 5221,93 Lux na L3ext e da janela com 4511,24 Lux na L2ext. As 13h mesmo com alto índice de incidência solar no ponto L2ext de 5187,20 Lux, o L2 apresentou baixo nível de iluminância em 367,56 Lux, valor próximo ao mínimo recomendado pela norma.

Quanto ao ponto L3, apresentou valores sempre inferiores ao L2 com exceção do horário das 13h, explicado pelo fato da entrada dos alunos trazidos pelos pais, que obstruíam a passagem de luz pela porta diminuindo a incidência no ponto L2, apresentado média de 402,63 Lux. A maior média encontrada desse ponto foi as 11h com 537,11 Lux e a menor foi as 17h com 282,46 Lux, índice inferior aos 300 Lux da norma, exigindo portanto o uso da luz artificial.

Os pontos externos – L2ext e L3ext apresentaram índices altos com médias superiores a 1607,12 Lux, sendo esta registrada as 17 h no ponto L3ext e com média máxima de 5221,93 no mesmo ponto às 11h. O ponto L2ext apresentou média máxima de 5187,20 Lux às 13h e mínima de 2185,85 Lux às 17h.

b) Estação Outono

Na figura 34 é mostrado o comportamento da iluminância na estação do outono, verificando-se que diferentemente da estação anterior, o ponto L1 - quadro

negro apresentou as maiores disponibilidades de luz no período vespertino com maior índice às 14h de 1054,31 Lux, ficando apenas cinco horários do dia – das 10 às 15h com índice dentro do recomendado pela NBR 5413 de 500 Lux, atingindo o valor médio mínimo às 7h com 277,61 Lux. A diminuição de horas de iluminância dentro do limite de norma em relação à estação anterior é explicada pela mudança angular do eixo da Terra, que no hemisfério sul define o período de dias mais curtos que as noites, diminuindo dessa forma as horas de incidência solar.

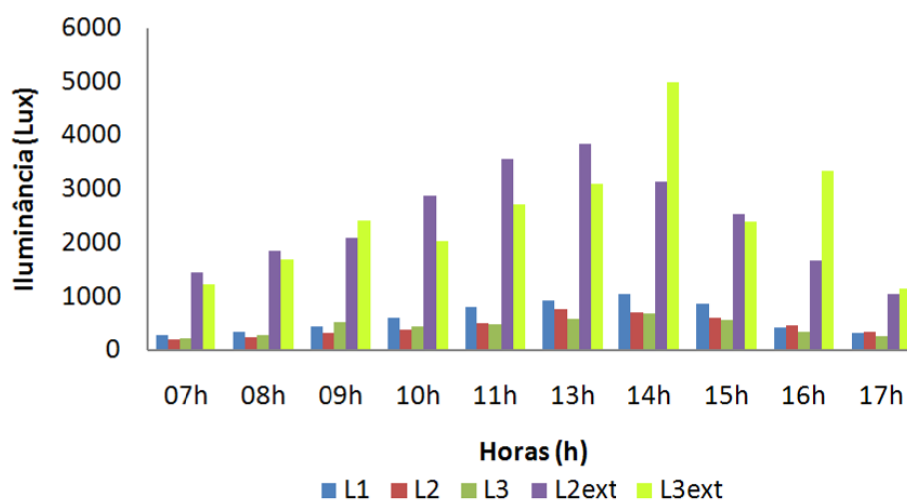


FIGURA 36- Desempenho Lumínico na estação do outono na Sala 01

O ponto L2 - próximo a janela baixa, apresentou índices inferiores aos estabelecidos por norma para sala de aula de 300 Lux nos horários das 7 e 8h com valores de 209,96 e 245,38 Lux, respectivamente. O maior valor encontrado foi às 13h de 772,69 Lux, sendo a radiação solar também advinda da porta com índice de 3093,60 Lux na L3ext, no mesmo horário.

Quanto ao ponto L3 – próximo a janela alta, apresentou-se valores superiores ao L2 nos horários das 7 às 10h, com índices abaixo dos recomendados por norma nos dois primeiros horários do dia. A maior média encontrada desse ponto foi às 14h com 683,63 Lux e a menor foi às 7h com 215,80 Lux.

Os pontos externos – L2ext e L3ext apresentaram, assim como na estação do verão, índices altos com médias superiores a mínima de 1052,96 Lux registrada às 17h no ponto L2ext, com máxima neste ponto de 3844,65 Lux às 13h, enquanto que L3ext apresentou máxima de 4997,30 Lux às 14h e mínima de 1147,31 Lux às 17h.

c) *Estação Inverno*

Na figura 35 é mostrado o comportamento da iluminância na estação do inverno, observando que neste período o ponto L1 - quadro negro apresentou um comportamento mais homogêneo com índices baixos no começo e no final do dia, com maiores disponibilidades de luz no meio do dia. Em seis horários do dia, das 7 às 9h e das 15 às 17h, registraram índices inferiores a 500 Lux, com valor médio mínimo registrado neste ponto de 255,85 Lux às 17h, e com a máxima iluminância de 1039,57 Lux às 13h.

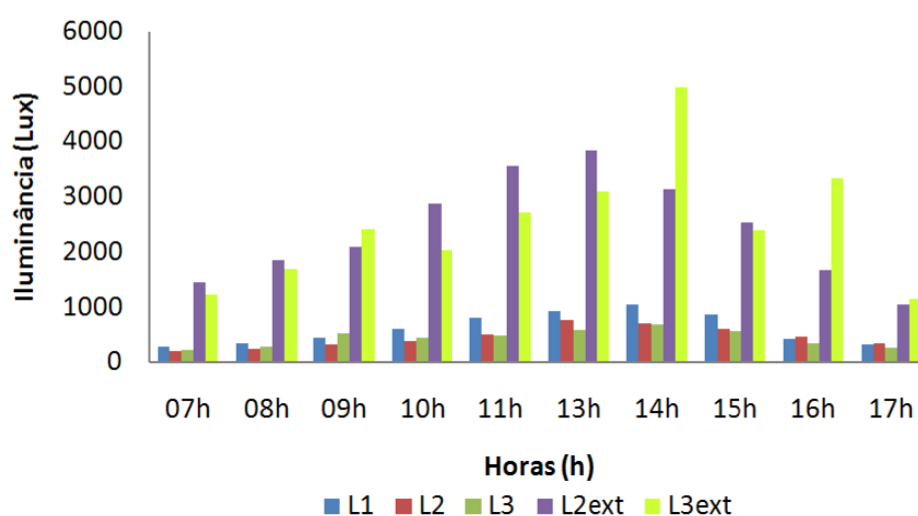


FIGURA 37- Desempenho Lumínico na estação do inverno na Sala 01

O ponto L2 apresentou índices inferiores aos estabelecidos por norma para sala de aula de 300 Lux nos horários das 7 e 17h com valores de 271,35 e 286,30 Lux, respectivamente. O maior valor encontrado foi às 10h de 473,05 Lux, observando nesta estação médias inferiores as de outros períodos justificada pela diminuição de horas de insolação no hemisfério sul na estação do inverno.

Quanto ao ponto L3, os valores apresentaram-se inferiores ao L2 apenas as 7 e 8h, e com índices abaixo dos recomendados por norma nos horários das 7h, sendo a menor média desse ponto e 17h com médias de 269,73 e 289,18 Lux, respectivamente. A maior média encontrada desse ponto foi às 13h com 529,40 Lux.

Os pontos externos – L2ext e L3ext apresentaram médias inferiores às demais estações justificado pelo fato já comentado anteriormente, da diminuição de disponibilidade de radiação solar no período, e registraram índices com médias superiores a mínima de 790,30 Lux às 17h no ponto L2ext, com máxima neste ponto

de 3535,00 Lux às 11h, enquanto que L3ext apresentou máxima de 3789,32 Lux às 16h e mínima de 1115,37 Lux às 17h.

d) *Estação Primavera*

Na figura 36 é mostrado as médias horárias de iluminância na estação da primavera, observando que o ponto L1 apresenta comportamento de forma crescente até as 13h, quando atinge a maior média de 679,06 Lux, registrando a partir de então comportamento decrescente até as 16h com índice de 371,66 Lux. Três horários – 7, 8 e 16h registraram índices inferiores ao normatizado como ideal – 500 Lux, apresentando média mínima neste ponto de 294,43 Lux as 7h e a máxima iluminância de 679,06 Lux às 13h. Uma grande barreira para a insolação direta neste período na região é a presença de fumaça (Apêndice 1) proveniente de queimadas comum nesta época do ano, que encobrem o céu impedindo desta forma a chegada de radiação solar direta nos ambientes, diminuindo assim o nível de iluminância natural.

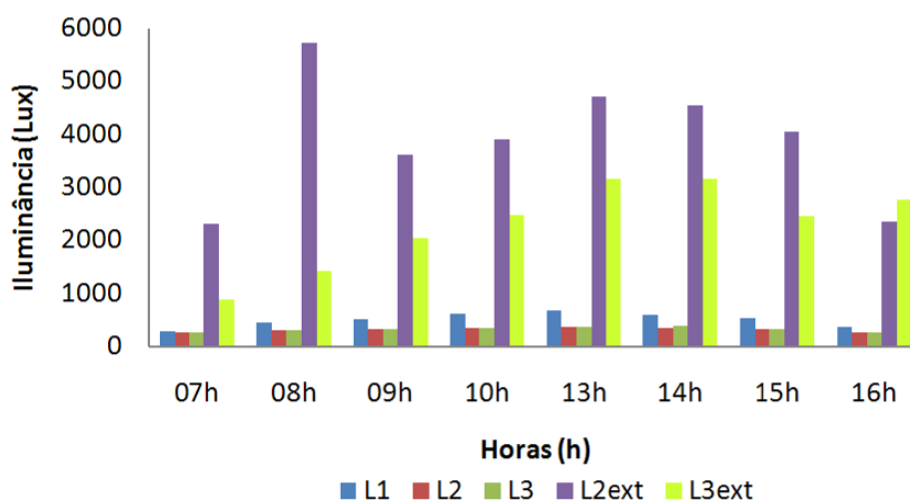


FIGURA 38- Desempenho Lumínico na estação da primavera na Sala 01

O ponto L2 apresentou índices inferiores aos estabelecidos por norma para sala de aula de 300 Lux nos horário das 7 e 17h com valores de 258,06 e 256,84 Lux, respectivamente. O maior valor encontrado foi às 13h de 364,64 Lux, valor próximo ao mínimo desejável, ficando clara a ineficiência da incidência de luz natural neste período, havendo a necessidade de luz artificial para o conforto visual dos usuários.

Quanto ao ponto L3, os valores apresentaram-se inferiores ao L2 apenas as 10 e 13h, e com índices abaixo dos recomendados por norma nos horários das 7h, sendo

este o menor índice desse ponto, e 17h com médias de 268,61 e 272,68 Lux, respectivamente. A maior média encontrada desse ponto foi às 14h com 381,37 Lux.

Os pontos externos – L2ext e L3ext apresentaram médias próximas a estação de inverno, justificado pelo fato já comentado anteriormente, da presença de fumaça de queimadas que interferem na disponibilidade de radiação solar no período, registrando médias superiores a mínima de 2305,10 Lux às 7h no ponto L2ext, com máxima neste ponto de 5724,27 Lux às 9h, enquanto que L3ext apresentou máxima de 3160,60 Lux às 14h e mínima de 885,39 Lux às 7h.

5.4.2. Sala 02

a) *Estação Verão*

Na figura 37 é apresentado o comportamento da iluminância na estação do verão na Sala 02, verificando-se que no ponto L1 - quadro negro assim como na Sala 01 as maiores disponibilidades de luz foram no período matutino com maior índice do dia às 11h de 872,72 Lux, ficando cinco horários – 7 e 8h, além das 15, 16 e 17h com índice inferior ao recomendado pela NBR 5413 de 500 Lux, atingindo o menor valor 231,24 Lux no último horário, neste caso a vegetação existente funcionou como barreira da insolação direta, já que está na direção da porta deste ambiente de sala de aula.

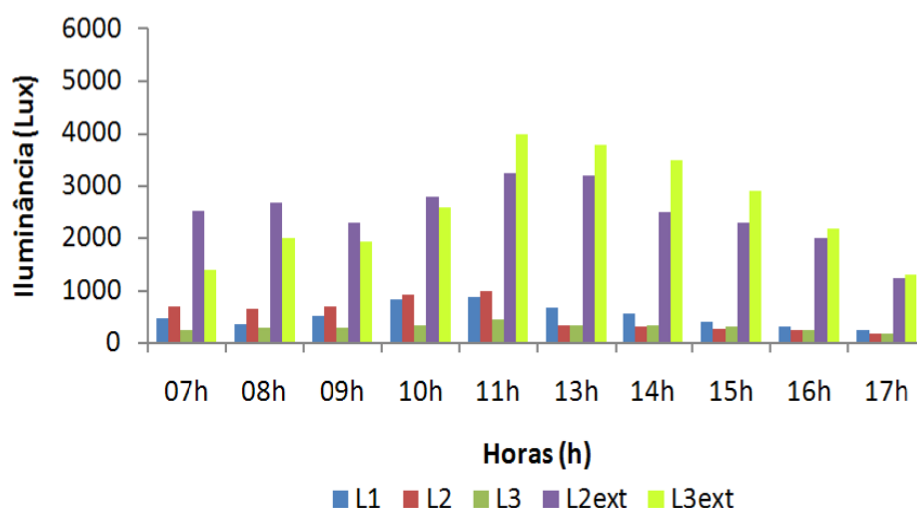


FIGURA 39- Desempenho Lumínico na estação do verão na Sala 02

O ponto L2 - próximo a janela com peitoril de 0,80m, apresentou índices inferiores aos estabelecidos por norma para sala de aula de 300 Lux nos três últimos horários de medição com valores de 268,64, 241,22 e 178,48 Lux, as 15, 16 e 17h,

respectivamente, atingindo o maior valor às 11h com 982,14 Lux. Percebe-se que a localização da sala dentro do terreno acabou interferindo na chegada de luz no ambiente, pois a Sala 01 que tem uma exposição maior a radiação solar apresentou apenas o último horário com índice inferior ao exigido por norma, e com o sol no poente – oeste, a construção vizinha, o muro e o beiral da edificação escolar acabaram funcionando como barreiras de incidência solar direta.

Quanto ao ponto L3, apresentou valores inferiores ao L2 durante todo o período da manhã, sendo este comportamento invertido durante a tarde com exceção das 17h que registrou valor inferior ao L2 e o menor índice no período de 177,39 Lux.

Os pontos externos – L2ext e L3ext apresentaram índices altos com médias superiores a 1221,03 Lux, sendo esta registrada as 17 h no ponto L2ext e com média máxima de 2484,87 às 14h. O ponto L3ext apresentou média máxima de 3988,70 Lux às 11h e a mínima de 1289,80 Lux às 17h.

b) Estação Outono

Na figura 38 é observado o comportamento da iluminância na estação do outono, verificando-se que no ponto L1 - quadro negro, cinco horários – 7, 8 e 9h e 16 e 17h apresentaram índices inferiores ao estipulado em NBR 5413 de 500 Lux, apresentando a maior disponibilidade de luz no horário das 13h de 999,39 Lux e atingindo o valor médio mínimo às 7h com 256,26 Lux.

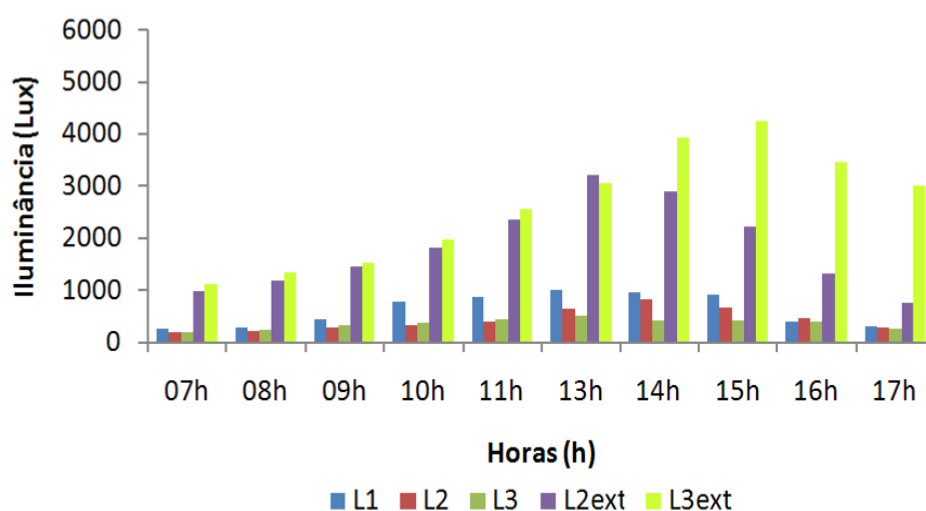


FIGURA 40- Desempenho Lumínico na estação do outono na Sala 02

O ponto L2 - próximo a janela baixa, apresentou índices inferiores aos estabelecidos por norma para sala de aula de 300 Lux nos horários das 7, 8, 9 e 17h com valor mínimo de 190,59 Lux no primeiro horário. O maior valor encontrado foi 828,42 Lux às 14h, sendo a radiação solar também advinda da porta com índice de 3934,1 Lux na L3ext, no mesmo horário.

Quanto ao ponto L3 – próximo a janela alta, apresentou-se valores superiores ao L2 nos horários das 7 às 13h, com índices abaixo dos recomendados por norma nos dois primeiros horários do dia e no último. A maior média encontrada desse ponto foi às 13h com 506,72 Lux e a menor foi às 7h com 192,59 Lux.

Os pontos externos – L2ext e L3ext apresentaram com médias superiores a mínima de 749,20 Lux registrada às 17h no ponto L2ext, com máxima neste ponto de 3218,99 Lux às 13h, enquanto que L3ext apresentou máxima de 4259,60 Lux às 15h e mínima de 1116,43 Lux às 7h.

c) *Estação Inverno*

É observado na figura 39 o comportamento da iluminância na estação do inverno, observando que neste período o ponto L1 - quadro negro não houve uma tendência dos dados, já que os mesmos registraram oscilações nas médias horárias, apresentando até as 10h um comportamento crescente, sendo que a partir deste horário os dados oscilaram de forma não-linear, registrando média máxima de 1140,50 Lux às 13h e mínima de 371,12 Lux às 7h. Em três horários do dia, as 7, 15 e 17h, registraram índices inferiores a 500 Lux. O comportamento dos dados neste período pode ser explicado pela instabilidade climática da época, apresentando em certos horários, quantidades de nuvens que podem ter contribuído com a oscilação dos dados.

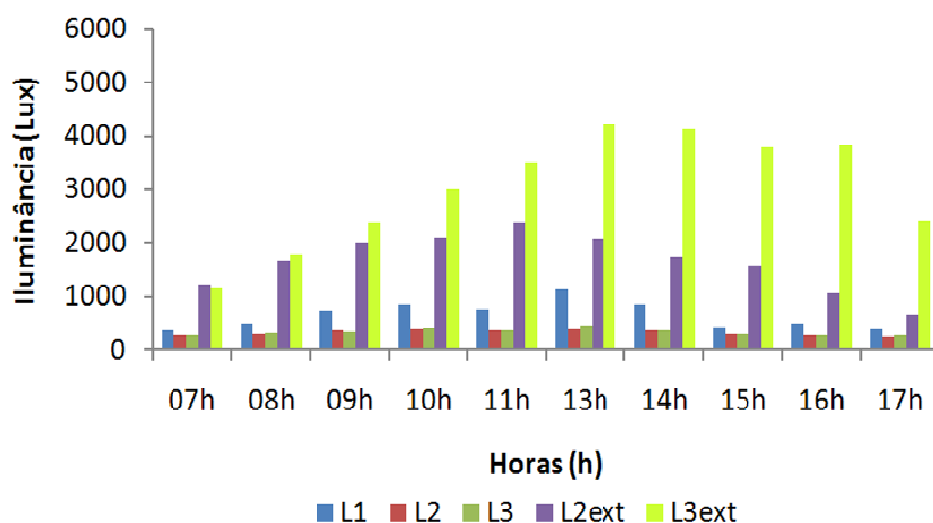


FIGURA 41- Desempenho Lumínico na estação do inverno na Sala 02

O ponto L2 apresentou índices inferiores aos estabelecidos por norma para sala de aula de 300 Lux às 7h e nos três últimos horários do dia com valor mínimo de 255,50 Lux às 17h. O maior valor encontrado foi às 10h de 389,72 Lux, observando nesta estação médias inferiores as de outros períodos, assim como na Sala 01 justificada pela diminuição de horas de insolação no hemisfério sul na estação do inverno.

Quanto ao ponto L3, os valores apresentaram-se inferiores ao L2 apenas as 7 e 9h, e com índices abaixo dos recomendados por norma nos horários das 7h, sendo este a menor média desse ponto com 267,34 Lux e as 16 e 17h com médias de 287,27 e 271,41 Lux, respectivamente. A maior média encontrada desse ponto foi às 13h com 461,89 Lux.

Os pontos externos – L2ext e L3ext registraram índices superiores a mínima de 659,91 Lux às 17h no ponto L2ext, com máxima neste ponto de 2401,39 Lux às 11h, enquanto que L3ext apresentou máxima de 4224,08 Lux às 13h e mínima de 1154,21 Lux às 7h.

d) Estação Primavera

Na figura 40 é mostrado o comportamento da iluminância na estação da primavera, observando que o ponto L1 apresenta tendência de crescimento até as 10h, diminuindo a média as 13h e atingindo maior valor médio do período as 14h com 812,24 Lux. Apenas dois horários – 7 e 17h registraram índices inferiores ao estabelecido por norma de 500 Lux, apresentando média mínima neste ponto de

362,69 Lux às 7h. Uma grande barreira para a insolação direta neste período na região, como explicado para Sala 01, é a presença de fumaça das queimadas que interferem diretamente na quantidade de radiação solar nos ambientes.

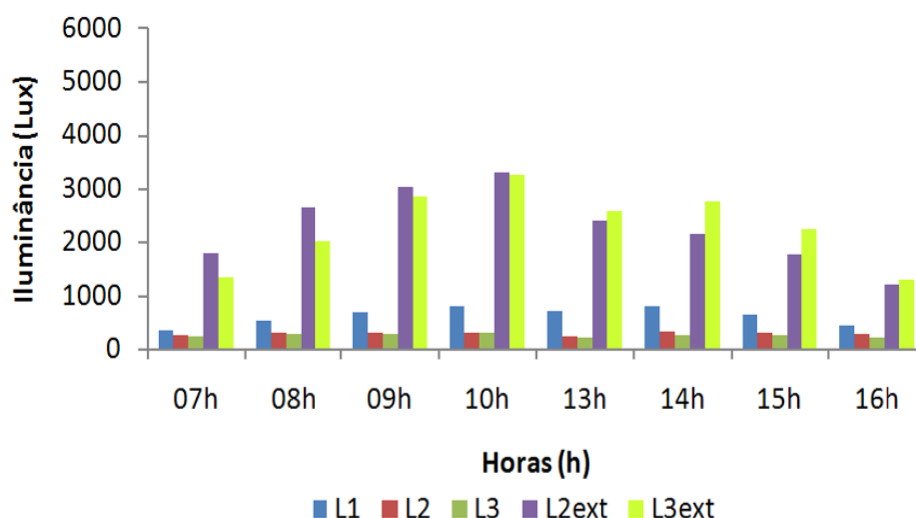


FIGURA 42- Desempenho Lumínico na estação da primavera na Sala 02

O ponto L2 apresentou índices inferiores aos estabelecidos por norma para sala de aula de 300 Lux nos horários das 7 e 17h com valores de 254,57 e 286,99 Lux, respectivamente. O maior valor encontrado foi às 14h de 327,30 Lux, valor próximo ao mínimo desejável, ficando clara a ineficiência da incidência de luz natural também neste ambiente, havendo a necessidade de luz artificial para o conforto visual dos usuários.

Quanto ao ponto L3, os valores apresentaram-se inferiores ao L2 em todo o período da manhã, mas com índice superior ao recomendado por norma apenas às 10h com valor de 311,83 Lux, apresentando o menor índice desse ponto às 16h com 218,07 Lux.

Os pontos externos – L2ext e L3ext justificados pelo fato já comentado anteriormente, da presença de fumaça de queimadas que interferem na disponibilidade de radiação solar no período, registrou médias superiores a mínima de 1209,64 Lux às 16h no ponto L2ext, com máxima neste ponto de 3299,73 Lux às 10h, enquanto que L3ext apresentou máxima de 3268,79 Lux às 10h e mínima de 1296,39 Lux às 17h.

5.5. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A figura 43 demonstra o consumo mensal de energia elétrica do ano de 2007 na escola, observa-se que os meses das estações do outono e primavera apresentaram maiores consumos de energia, 282,50W/dia e 303,88W/dia respectivamente, justificado pelo número maior de dias letivos, além das altas temperaturas, principalmente na primavera.

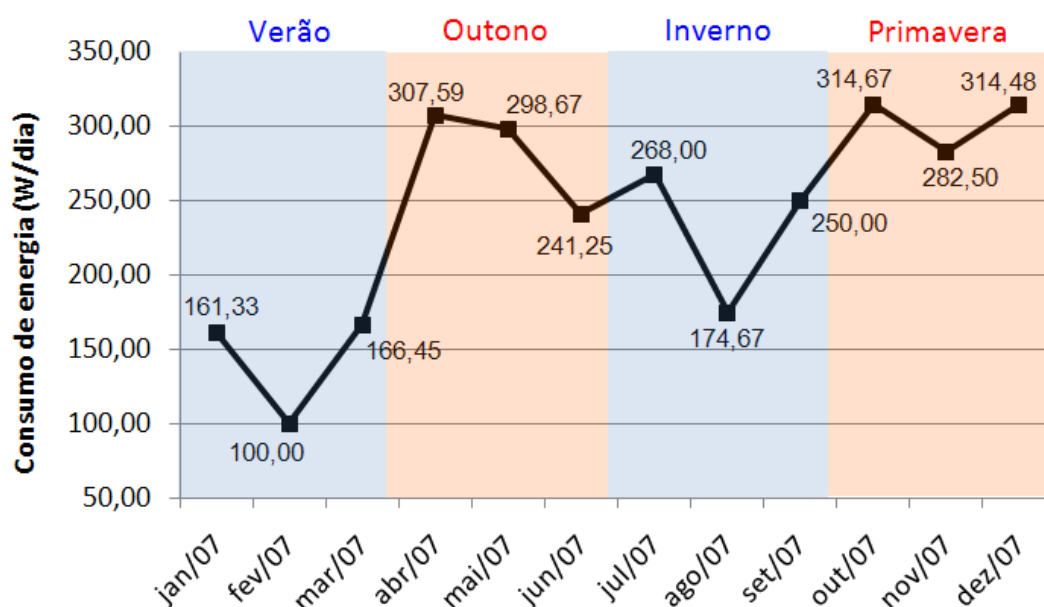


FIGURA 43- Histórico do consumo de energia elétrica

O verão mesmo com altas temperaturas, apresentou um baixo consumo de energia com média de 142,59W/dia devido ao período de férias escolares, diminuindo significativamente o uso de aparelhos elétricos. O inverno foi a estação com a menor média de consumo de energia, 230,89W/dia, justificado também por recesso escolar além de períodos de temperaturas amenas diminuindo a utilização de aparelhos de ventilação.

Fazendo-se uma análise mensal do consumo de energia elétrica na escola, o mês de outubro apresentou a maior média diária de 314,67W acompanhada pelo mês de dezembro com 314,48W. Fevereiro foi o mês com o menor consumo de energia na escola com média diária de 100 W, devido ao período de recesso escolar, explicando também o baixo consumo nos meses de janeiro com média de 161,33W/dia e do mês de agosto com 174,67W/dia.

Nos meses de maio e junho observa-se uma tendência de queda das médias após registrar em abril um consumo médio de 307,59W/dia, voltando a subir em julho com média de 268W/dia.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quanto à caracterização do microclima, os dois ambientes escolares apresentaram temperaturas externas mais agradáveis que a interna nas quatro estações avaliadas, demonstrando o desconforto a que estão submetidos os usuários, agravado pela baixa umidade relativa do ar na região, principalmente na época de seca.

A velocidade média do vento interno e externo encontrado para as duas salas de aula de aproximadamente 0,1 m/s é bem inferior a recomendada por Givoni (1992) que estabelece a necessidade de ventos com velocidade mínima de 2,0m/s para estender o limite máximo da faixa de conforto de 29°C para 32°C, comprovando a ineficiência da ventilação natural nos ambientes estudados, havendo a necessidade de indução da ventilação interna por meio de aparelhos elétricos de ventilação.

Na avaliação do conforto térmico utilizando a carta bioclimática de Givoni, além dos relatórios de saída gerados pelo programa AnalysisBio, as salas apresentaram grande percentagem das horas em desconforto, exigindo-se sombreamento em quase 100% das horas e uso de aparelhos elétricos para amenizar a sensação de calor. Analisando o TRY da escola chegou-se a um comportamento dos dados diferentemente ao TRY de Cuiabá feito por Leão (2007), com horas de conforto muito superior ao do município, havendo a necessidade de um período maior de monitoramento das edificações. Estatisticamente, as salas são consideradas iguais, pois apresentaram o mesmo comportamento quanto a temperatura nos ambientes, quanto as estações do ano verificou-se a predominância de três estações conforme já identificado para a região por Duarte (2000): estação seca e mais fresca no inverno/outono; estação seca e mais quente na primavera; e estação úmida e quente no verão.

Na análise da insalubridade dos ambientes, concluiu-se que as salas de aulas são salubres para o uso a que são destinadas, mesmo expostas a condições de desconforto por calor em todas as estações do ano, sendo a primavera o período mais crítico com altas temperaturas e baixa umidade, agravadas pela fumaça das queimadas na região, justificando a dispensa dos alunos dos últimos horários, além da suspensão das aulas de educação física. Quanto às sensações e preferências térmicas os dois ambientes foram considerados pelos usuários desconfortáveis por calor em grande parte das horas, principalmente no período da tarde, sendo importante se fazer uma ressalva quanto à subjetividade do conceito de conforto térmico para os entrevistados, assim como a dificuldade de interpretação dos questionários e a veracidade das respostas por partes dos usuários.

Em relação à iluminância dos ambientes, observa-se que a região possui uma grande quantidade de radiação solar, possuindo a Sala 01 maior disponibilidade de luz natural, devido principalmente a disposição da mesma no terreno com menos obstáculos para a incidência solar direta, além de possuir as paredes internas de cores claras, beneficiando a reflexão da luz no ambiente. A Sala 02, com características construtivas diferentes - posição no terreno e paredes com cor mais escura registrou maior número de horas com nível de luminância inferior ao recomendado pela NBR 5413 que a Sala 01, havendo a necessidade de um tempo maior de uso de luz artificial no ambiente onerando os gastos com energia elétrica.

Quanto ao consumo de energia elétrica, durante a estação mais quente – primavera, verificou-se o maior consumo de energia na escola devido ao uso de aparelhos de ventilação na intenção de amenizar a sensação de desconforto por calor nos ambientes, verificando-se a necessidade de aparelhos mais eficientes para diminuir os custos com energia elétrica.

6.1. SUGESTÕES DE MELHORIAS CONSTRUTIVAS NAS SALAS DE AULA

Após todas as análises feitas nesta pesquisa, é sugerido para toda a escola, principalmente próximo as salas de aula, a arborização do ambiente externo com o objetivo de amenizar o desconforto interno causado pelo calor, além do uso de cores claras tanto internamente, assim como na Sala 01, quanto externamente. A

arborização deve ser feita de forma que não funcione como barreira para a iluminação natural dos ambientes.

Outra sugestão é a substituição das telhas de fibrocimento por telhas de barro, além da instalação de manta térmica entre a cobertura e o madeiramento, que melhoraria o clima das salas reduzindo o tempo de uso de aparelhos elétricos.

Por apresentar baixos índices de ventilação, estratégias construtivas que otimizem a circulação de ventos não são suficientes para a melhora do clima interno das salas de aula, já que seriam necessários ventos de 2m/s, exigindo deste modo o uso de aparelhos elétricos, principalmente de condicionadores de ar, como previsto pela carta bioclimática dos ambientes.

Quanto a iluminação, os ambientes apresentam grandes áreas para a entrada de luz natural, mas que funcionam de forma ineficiente em alguns horários, havendo necessidade de uso de lâmpadas fluorescente, que são mais econômicas, de forma a facilitar o conforto visual dos usuários.

É esperada com esta pesquisa, uma contribuição com informações que sirvam como referência para melhoria dos ambientes escolares e também para adequação de novos projetos.

6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

a) Estudos mais aprofundados com monitoramento por um período maior de tempo, além de um número maior de pessoas e controle das diversas variáveis envolvidas, como idade, peso, altura, atividades diárias, condições de saúde, entre outras, será de grande importância na determinação de uma zona de conforto para o caso de Cuiabá.

b) Análise do comportamento das tipologias construtivas para coletas diárias de 24 horas dentro dos períodos estabelecidos, buscando-se uma avaliação mais precisa com o monitoramento através de datalogger, tornando maior a quantidade de dados e diminuindo a probabilidade de erros.

c) Análise de conforto térmico no uso de outros tipos de telhas, buscando-se avaliar o comportamento no ambiente de cada material, para identificação do mais eficiente.

d) Comparação de dados medidos “in loco” com simulações computacionais para análise de desempenho ambiental, com o objetivo de validar os programas existentes para o caso de Cuiabá e regiões com climas semelhantes.

7. BIBLIOGRAFIA

7.1. BIBLIOGRAFIA CITADA

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI). **ANSI/ASHRAE** Thermal environmental conditions for human occupancy. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5382/1985 – **Verificação de Iluminância de Interiores** Rio de Janeiro.

_____. NBR 5413/1992 – **Iluminância de Interiores** Rio de Janeiro.

_____. NBR 15220-3/2005 - **Desempenho Térmico de Edificações** (Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social).

_____. NR 15/1918 – **Atividades e operações insalubres** Rio de Janeiro.

AZEVEDO, G.A.N. **As escolas públicas do Rio de Janeiro: considerações sobre conforto térmico das edificações**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

_____. **Arquitetura escolar e educação: um modelo conceitual de abordagem interacionista**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

BERALDO, J.C. **Eficiência energética em edifícios: avaliação de uma proposta de regulamento de desempenho térmico para a arquitetura do estado de São Paulo**. 2006. 285p. Dissertação (Mestrado em arquitetura) – Departamento de arquitetura e urbanismo, USP, São Paulo, 2006.

BOGO, A.; PIETROBON, C.E.; BARBOSA, M.J.; GOULART, S.; PITTA, T.; LAMBERTS, R. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Seminário. Pós-graduação em engenharia civil. UFSC, Florianópolis. 80p. 1994. Disponível em: www.labee.ufsc.br. Acesso em : 12 Fev 2008.

CAMPELO, JR.; J.H.; CASEIRO, F.T.; FILHO, N.P.; BELLO, G.A.C.; MAITELLI, G.T.; ZANPARONI, C.A.G.P. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In.

ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 7,1991, Londrina, **Anais**. Londrina, v. 1, Comunicações,1995, p. 542-552.

CERQUEIRA, F.A.; SATTLER, M.A.; BONIN, L.C. **Análise do conforto ambiental em edificação escolar**. Feira de Santana, BA. n.28, p. 77-90. 2003.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos- conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. Revan, 2003. 288p.

COUTINHO, A.S. **Conforto e insalubridade térmica em ambientes de trabalho**. João Pessoa: Ed. Universitária/PPEG, 1998.

COUTINHO FILHO, E.F.; SILVA, E.C.S.; SILVA, L.B.; COUTINHO, A.S. Avaliação do conforto ambiental em uma escola municipal de João Pessoa. **Anais**. João Pessoa: UFPB, 6p., 2006.

DUARTE, D.H.S. **O Clima como Parâmetro de Projeto para a Região de Cuiabá**. 1995. 214f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

_____. **Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental**. 2000. 296f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)- Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FANGER, P.O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. New York : McGraw-Hill, 1970.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FEDRIZZI, B. **The schoolyard and the children needs. Master Theses. Department of landscape planning**. SLU. Anarp. 1991.

FIORIN, D.V.; PES, M.P.; GUEDES, M.; BERTAGNOLLI, R.F.; GUARNIERI, R.A.; MARTINS, F.R.; PEREIRA, E.B.; SCHUCH, N.J. **Estudo da iluminância natural em dias de céu claro em estações da rede sonda**. Santa Maria/RS. INPE. Disponível em: www.inpe.br. Acesso em: 10 abr 2008.

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO (FDE). **Arquitetura escolar e política educacional: os programas na atual administração do estado**. São Paulo, 1998.

GIVONI, B. **Comfort climate analysis and building design guidelines**. Rev. energy and buildings: v.18, n.1, p. 11-23, 1992.

GRAÇA, V.A.C.; KOWALTOWSKI, D.C.C.K. **Metodologia de avaliação de conforto ambiental de projetos escolares usando o conceito de otimização multicritério**. Rev. Ambiente construído, Porto Alegre, v.4, n.3, p. 19-35, 2004.

GRZYBOWSKI, G.T. **Conforto térmico nas escolas públicas em Cuiabá-MT: estudo de caso.** Cuiabá, 2004. 101p. Dissertação (Mestrado em física e meio ambiente) Universidade Federal de Mato Grosso. 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 7726: Ergonomics of Thermal Enviroments – Instruments for measuring physical the thermal environment, 1996.

_____. ISO 7730: Moderate Thermal Enviroments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal confort. [S.l], 1994.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES (LABEEE) (2003) **Analysys Bio v2.1.** Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, Florianópolis/SC.

LAMBERTS, R. **Eficiência Energética na Arquitetura**, PW, São Paulo, 1997.

LAMBERTS, R; GHISI, E; ABREU, A. L. P.; CARLO, J. C.; BATISTA, J. O. **Desempenho Térmico de Edificações.** Florianópolis : Apostila – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

LEÃO, E. B. **Carta Bioclimática de Cuiabá.** 2007. 147 f. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

LEÃO, M. **Desempenho Térmico em Habitações Populares para Regiões de Clima Tropical: Estudo de Caso em Cuiabá-MT.** 2006, 102 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2006.

LIBOS, P.R.R. **Estudo das condições térmicas e lumínicas em três habitações unifamiliares no conjunto habitacional grande morada da serra – Cuiabá-MT.** 2007. 139 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

MAITELLI, G.T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT.** 1994. 220f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

NASCIMENTO, J.L.; COSTA, E.G.; Apostila. Campina Grande, PB. 15p. 2001. Disponível em: www.ufcg.edu.br. Acesso em: 22 mai 2008.

NOGUEIRA, M.C.J.A.; DURANTE, L.C.; NOGUEIRA, J.S. **Conforto térmico em escola pública em Cuiabá-MT: estudo de caso.** Revista eletrônica em educação ambiental. Rio Grande/RS, V.14, 2005. Disponível em: www.remea.furg.br. Acesso em: 13 set 2007.

OLIVEIRA, A.S. **Análise do desempenho térmico e consumo de energia em residências na cidade de Cuiabá/MT: estudo de caso.** 2007. 109 f. Dissertação

(Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

PEREIRA, F.O.R.; SOUZA, M.B. **Iluminação**. Apostila. Florianópolis, SC. 51P. 2001. Disponível em: www.labee.ufsc.br. Acesso em: 09 abr 2008.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima – acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre: Luzzato Editores, 240p. 1986.

ROMERO, M.A.B. - **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Projeto, 2000, 2ª edição, 128 p.

SAMPAIO, M.M.A., **Análise do desempenho térmico e lumínico de habitações populares em Cuiabá-MT**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2006.

SECRETÁRIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO DE MATO GROSSO (SEDUC-MT). Unidades escolares. Disponível em: www.seduc.mt.gov.br. Acesso em: 23abr 2008.

SILVA, P.C.P. **Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em visualdoe**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil), Universidade do Porto, Portugal. 2002.

VIANNA, N.S.; GONÇALVES, J.C.S. **Iluminação e Arquitetura**. 2. ed. São Paulo: Geros s/c Ltda, 2001.

XAVIER, A.A.P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. 1999. 209p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Departamento de engenharia civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

7.2. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ARAÚJO, V.M.D., **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino - O caso de Natal/RN**. 1.ed, Natal/RN: Editora Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2001. 135 p.

AKUTSU, M.; SATO, N.M. N.; PEDROSO, N.G. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares: manual de procedimentos para avaliação**. São Paulo: IPT, 1987, 74p.

COSTA, A.C.B.; CLEMENTE, M.R.; COUTINHO, A.S.; SILVA, L.B. As variáveis climáticas e o conforto dos trabalhadores: o caso do CTI de um hospital de João Pessoa. In. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 2002, Anais. Curitiba, PR, 7p.

ESTULANO, A.E. **O comportamento Térmico de diferentes materiais utilizados nos painéis de fechamento vertical nas edificações da cidade de Cuiabá/MT-Avaliação pós-ocupação.** 2004. 104 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2004.

LOUREIRO, K.C.G. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia de residências na cidade de Manaus.** 2003. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MASCARÓ, L.R. **Energia na edificação, estratégia para minimizar seu consumo.** Nº 81, São Paulo, Projeto de Editores Associados, 1991, p. 69.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (2003). *Balanço Energético Nacional*. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>> Acesso em: 13 de maio de 2004.

OLIVEIRA, R.F.A.; PESSOA, V.M.N. Índice de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG), vestimenta condutiva e perda de peso de eletricitistas do grupo de manutenção de linhas energizadas da companhia energética de Alagoas (CEAL): uma correlação arriscada não amparada pelo Anexo nº 3 da R-15. In. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 2006, **Anais**. Fortaleza, CE, 9p.

PIETROBON, C.E.; PEREIRA, F.O.R. Estratégias bioclimáticas para o projeto de edificações: conceituação e aplicação para Maringá, Paraná. In. ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC, 2001, **Anais**. São Pedro, SP.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL) - **Edificações**, Eletrobrás, www.eletrobras.gov.br, 2000.

_____. **PROCEL - Meio ambiente**, Eletrobrás, www.eletrobras.gov.br, 2000.

NOGUEIRA, M.C.J.A. & NOGUEIRA, J.S. Educação, meio ambiente e conforto térmico: caminhos que se cruzam. **Revista Eletrônica em Educação Ambiental**. Rio Grande /RS, v. 10, 2003. Disponível em <http://www.remea.furg.br>. Acesso em : 10 out. 2007.

RUAS, A. C. **Avaliação de conforto térmico – Contribuição à aplicação prática das normas internacionais.** 1999b. 71 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, 1999.

_____. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software.** 2002. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2002.

SELLERS, W. D. **Physical climatology**. Chicago: The University of Chicago, 1965.

ANEXOS

ANEXO A- MODELO DE QUESTIONÁRIO

Questionário de Pesquisa de Campo

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente

DATA: _____
HORA: _____

O objetivo deste trabalho é investigar a influência do projeto arquitetônico da escola, dos materiais e soluções empregadas, sobre as condições de conforto térmico dentro de seus ambientes internos.

O questionário foi preparado para conhecer sua opinião, sensações e preferências em relação ao conforto térmico de sua sala de aula.

Todas as informações obtidas no questionário serão tratadas com extremo sigilo.

1. Neste momento, como você se sente?

- () com muito calor
() com calor
() com leve sensação de calor
() confortável, nem calor nem frio
() com frio
() com muito frio

2. Você acha o clima desta sala:

- () confortável
() pouco confortável
() desconfortável
() muito desconfortável
() extremamente desconfortável

3. Você preferiria que a sala estivesse:

- () muito fresca
() mais fresca
() um pouco mais fresca
() do mesmo jeito, estou me sentindo bem
() um pouco mais quente
() mais quente
() muito mais quente

4. Marque cada peça de roupa que você estiver usando nesse momento:

sapato/tênis	
sandália/chinelo	
meia soquete	
meia $\frac{3}{4}$ até o joelho	

meia calça	
cueca	
calcinha	
soutien	
ceroulas	
camiseta regata	
camiseta manga curta	
camiseta manga longa	
camisão manga curta	
camisão manga longa	
camisa manga curta	
camisa manga longa	
mini blusa	
blusa gola redonda	
moleton manga longa	
shorts	
bermuda	
calça de tecido fino	
calça jeans	
calça de moleton	
macacão	
macacão por cima da roupa	
vestido curto sem manga	
vestido curto manga curta	
vestido até joelho manga curta	
vestido compr. manga curta	
vestido compr. manga longa	
vestido tipo jardineira	
saia curta de tecido fino	
saia curta de tecido grosso	
colete sem mangas fino	
colete sem mangas grosso	

OBRIGADO!!!