

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

**“ESTUDO DO DESEMPENHO DE COBERTURAS VERDES
COMO ESTRATÉGIA PASSIVA DE CONDICIONAMENTO
TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS NA CIDADE DE CUIABÁ, MT”**

KARYNA DE ANDRADE CARVALHO ROSSETI

Orientadora: **Prof^a. Dr^a. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA**

Cuiabá, MT, Agosto de 2009

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

**“ESTUDO DO DESEMPENHO DE COBERTURAS VERDES
COMO ESTRATÉGIA PASSIVA DE CONDICIONAMENTO
TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS NA CIDADE DE CUIABÁ, MT”**

KARYNA DE ANDRADE CARVALHO ROSSETI

*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 Ambiental.*

Orientadora: **Prof^a. Dr^a. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA**

Cuiabá, MT, Agosto de 2009

DEDICATÓRIA

Algumas marcas são deixadas na nossa vida, seja por pessoas que nos ajudam a construí-la, ou ainda nos apresentam projetos de sonho e sobretudo aquelas que nos desafiam a concluí-los. Este trabalho é dedicado a Deus, responsável pela construção da minha vida, a minha família pela força e incentivo na realização dos meus sonhos, e aos amigos do Programa de Pós Graduação em Física Ambiental, por me desafiarem a concluí-lo.

AGRADECIMENTOS

- Aos meus Pais, Roque Rosseti Sobrinho e Ildete de Andrade Carvalho Rosseti, por todo o apoio concedido não só neste trabalho, mas em todas as atividades já desenvolvidas na minha vida;
- Ao meu irmão, Rafael de Andrade Carvalho Rosseti, pelo incentivo e pela ajuda fornecida sempre que era preciso;
- Ao meu namorado, Igor Antonio Kuhnien, pelo amor, apoio e compreensão;
- A Prof.^a Dr.^a Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, pela dedicação e confiança na minha capacidade de concluir este trabalho;
- Aos meus colegas do Programa de Pós Graduação em Física Ambiental, pela amizade construída neste ano de trabalho.
- A minha companheira e amiga Fernanda Miguel Franco, por estar sempre ao meu lado.
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pela dedicação e empenho no programa de pós-graduação.
- Aos alunos de iniciação científica, Carlos Eduardo Vilela Galvão, Laís Braga Caneppele e Vanessa de Souza Luz, pela ajuda fornecida durante a coleta dos dados.
- Aos Técnicos Benildo Pinto de Amorim e Manoel Batista Queiroz, pelo auxílio concedido nas fases iniciais do experimento.
- A prefeitura do Campus da UFMT, por ter fornecido toda a infra-estrutura necessária para a execução do experimento dentro do Campus.
- A Universidade de Cuiabá (UNIC), por disponibilizar infra-estrutura, material e mão de obra para a confecção dos módulos da cobertura estudada.
- Aos técnicos do laboratório de construção civil da Universidade de Cuiabá (UNIC), pela dedicação na execução das placas de concreto, utilizadas na cobertura vegetada.
- Ao Professor Carlo Ralph De Musis, pela ajuda fornecida na realização dos estudos estatísticos.
- A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE EQUAÇÕES.....	XIII
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. JUSTIFICATIVA.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	5
2.1.1. <i>Conceitos Gerais</i>	6
2.1.2. <i>Sustentabilidade na Construção Civil</i>	8
2.2. CONSTRUINDO ECOLOGIA.....	11
2.2.1. <i>Conceitos gerais</i>	11
2.2.2. <i>Os Impactos da Atual Indústria Construtiva</i>	12
2.2.4. <i>Ecologia - Novo Modo de Construir</i>	19
2.3. BIOCLIMATOLOGIA	20
2.3.1. <i>Evolução Histórica</i>	20
2.3.2. <i>Conceitos Gerais</i>	21
2.3.3. <i>Conforto Térmico</i>	22
2.3.4. <i>Variáveis ambientais que interferem na sensação de conforto</i>	24
2.3.5. <i>Índices de Conforto e Cartas Bioclimáticas</i>	28
2.3.6. <i>Coberturas – Massa Térmica para Resfriamento</i>	34
2.4. COBERTURA VERDE	36
2.4.1. <i>Conceitos Gerais</i>	37
2.4.2. <i>Sistema Construtivo</i>	40
2.4.3. <i>Desenvolvimento Histórico da Tecnologia do Telhado Verde</i>	44
2.4.4. <i>Efeitos da Cobertura Verde no Ecossistema Urbano</i>	46
3. ÁREA DE ESTUDO	55
3.1. CUIABÁ – CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E GEOGRÁFICAS ...	55
3.2. ÁREA URBANA – ILHA DE CALOR.....	57
3.3. CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO (UFMT).....	59
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	61

4.1.	MATERIAL	61
4.1.1.	<i>Equipamentos Utilizados na Coleta de Dados</i>	62
4.2.	MÉTODO.....	64
4.2.1.	<i>Escolha do local de experimento</i>	64
4.2.2.	<i>Confecção das placas de concreto</i>	67
4.2.3.	<i>Jardinagem</i>	70
4.2.4.	<i>Coleta de dados</i>	73
4.2.5.	<i>Metodologia de obtenção da temperatura radiante média</i>	74
4.2.6.	<i>Avaliação Estatística</i>	74
5.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	76
5.1.	TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERNA DAS COBERTURAS.....	76
5.2.	TEMPERATURA DO AR	79
5.3.	TEMPERATURA RADIANTE	84
5.4.	TEMPERATURA SUPERFICIAL DA PAREDE 1	88
5.4.1.	<i>Temperatura Superficial Interna</i>	88
5.4.2.	<i>Temperatura Superficial Externa</i>	90
5.5.	TEMPERATURA SUPERFICIAL DA PAREDE 2	93
5.5.1.	<i>Temperatura Superficial Interna</i>	93
5.5.2.	<i>Temperatura Superficial Externa</i>	95
5.6.	TEMPERATURA SUPERFICIAL DA PAREDE 3	97
5.6.1.	<i>Temperatura Superficial Interna</i>	97
5.6.2.	<i>Temperatura Superficial Externa</i>	100
5.7.	TEMPERATURA SUPERFICIAL DA PAREDE 4	103
5.7.1.	<i>Temperatura Superficial Interna</i>	103
5.7.2.	<i>Temperatura Superficial Externa</i>	106
5.8.	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO PELO MÉTODO DE FANGER (PPD/ PMV)	109
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
6.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	114
7.	BIBLIOGRAFIAS	115
7.1.	BIBLIOGRAFIAS CITADAS	115
7.2.	BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	127

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Trocas térmicas entre o corpo humano e seu entorno	23
FIGURA 2 – Carta Bioclimática de Baruch Givoni adotada para o Brasil.....	29
FIGURA 3 – Diagrama PMV/PPD – Fanger	30
FIGURA 4 – Carta Bioclimática com as Normais Climáticas de Cuiabá.....	33
FIGURA 5 – Transferência de energia térmica através dos fechamentos dos edifícios, amortecimento e atraso térmico	35
FIGURA 6 – Desconforto térmico pela assimetria da temperatura radiante	36
FIGURA 7 – Ilustração dos componentes de um telhado verde tradicional.....	38
FIGURA 8 – Cobertura verde intensiva - Millenium Park (Chicago - EUA)	39
FIGURA 9 – Coberturas verdes extensivas (Austrália)	40
FIGURA 10 – Local de realização do monitoramento da retenção de água de módulos de telhado verde	51
FIGURA 11 – Foto aérea da cidade de Cuiabá.....	58
FIGURA 12 – Representação esquemática, adaptada para Cuiabá, das variações da temperatura do ar e da localização da ilha de calor associada ao uso do solo urbano.....	58
FIGURA 13 – Localização do local de estudo dentro do campus da UFMT	60
FIGURA 14 – Termômetro de Globo	62
FIGURA 15 – Termômetro de Infravermelho	63
FIGURA 16 – Estação Meteorológica Automática	64
FIGURA 17 – Console de armazenamento dos dados da estação	64
FIGURA 18 – Levantamento realizado no Campus da UFMT	65
FIGURA 19 – Protótipos selecionados no campus da UFMT.....	66
FIGURA 20 – Planta Baixa dos protótipos selecionados no campus da UFMT, unidade: metros (m)	66
FIGURA 21 – Planta Baixa da Fôrma de molde das placas de concreto.....	67
FIGURA 22 – Corte AA' da Fôrma de molde das placas de concreto	67
FIGURA 23 – Fôrmas de molde para a execução das placas de concreto.....	68
FIGURA 24 – Placas resultantes do teste de densidade nominal	69
FIGURA 25 – Concretagem de 6 placas de concreto, processo de secagem e cura .	70

FIGURA 26 – Retirada dos cubos de isopor ao fim da cura do concreto	70
FIGURA 27 – Telha após processo de jardinagem.....	71
FIGURA 28 – Conjunto de telhas após processo de jardinagem.....	71
FIGURA 29 – Sistema de cobertura vegetada	72
FIGURA 30 – Protótipo com a cobertura verde já instituída.....	72
FIGURA 31 – Estação Meteorológica Automática instalada no local.....	73
FIGURA 32 – Comportamento da media horária da temperatura superficial da cobertura dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Verão ...	77
FIGURA 33 – Comportamento da media horária da temperatura superficial da cobertura dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Outono .	77
FIGURA 34 – Comportamento da media horária da temperatura superficial da cobertura dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Inverno.	77
FIGURA 35 – Gráfico do comportamento da temperatura superficial interna das coberturas no verão, identificando a redução na amplitude diária e o atraso na obtenção do valor máximo de temperatura no dia	79
FIGURA 36 – Comportamento da media horária da temperatura do ar interno dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Verão	81
FIGURA 37 – Comportamento da media horária da temperatura do ar interno dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Outono.....	81
FIGURA 38 – Comportamento da media horária da temperatura do ar interno dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Inverno	81
FIGURA 39 – Comportamento da media horária da Radiação. Estação Verão, Outono e Inverno.....	83
FIGURA 40 – Comportamento da diferença existente entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar no interior dos protótipos, estação Verão	86
FIGURA 41 – Comportamento da diferença existente entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar no interior dos protótipos, estação Outono	86
FIGURA 42 – Comportamento da diferença existente entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar no interior dos protótipos, estação Inverno	86
FIGURA 43 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 1 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Verão	89

FIGURA 44 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 1 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Outono	89
FIGURA 45 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 1 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Inverno	89
FIGURA 46 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 1 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Verão	92
FIGURA 47 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 1 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Outono	92
FIGURA 48 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 1 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Inverno	92
FIGURA 49 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 2 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Verão	94
FIGURA 50 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 2 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Outono	94
FIGURA 51 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 2 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Inverno	94
FIGURA 52 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 2 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Verão	96
FIGURA 53 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 2 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Outono	96
FIGURA 54 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 2 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Inverno	96
FIGURA 55 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 3 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Verão	98

FIGURA 56 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 3 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Outono	98
FIGURA 57 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 3 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Inverno	98
FIGURA 58 – Posicionamento aproximado do sol no período das 15hs às 17hs da estação do outono e do inverno em relação à fachada noroeste, com indicação da altura solar	99
FIGURA 59 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 3 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Verão	101
FIGURA 60 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 3 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Outono	101
FIGURA 61 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 3 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Inverno	101
FIGURA 62 – Carta Solar da cidade de Cuiabá com indicação da altura solar no período das 15hs às 17hs e 30min da estação do outono e do inverno em relação à fachada noroeste	103
FIGURA 63 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 4 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Verão	105
FIGURA 64 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 4 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Outono	105
FIGURA 65 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 4 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Inverno	105

FIGURA 66 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 4 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Verão	107
FIGURA 67 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 4 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Outono	107
FIGURA 68 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 4 dos dois protótipos (Intervalo de Confiança 95%). Estação Inverno	107
FIGURA 69 – Condições de conforto às 9hs nas três estações monitoradas.....	109
FIGURA 70 – Condições de conforto às 13hs nas três estações monitoradas.....	110

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Parâmetros meteorológicos de Cuiabá nas quatros estações do ano ..	56
TABELA 2 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial da cobertura como variável dependente.....	76
TABELA 3 – Análise de Variância, considerando a temperatura do ar interno como variável dependente.....	80
TABELA 4 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial interna da parede 1 como variável dependente	88
TABELA 5 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial externa da parede 1 como variável dependente	91
TABELA 6 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial interna da parede 2 como variável dependente	93
TABELA 7 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial externa da parede 2 como variável dependente	95
TABELA 8 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial interna da parede 3 como variável dependente	97
TABELA 9 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial externa da parede 3 como variável dependente	100
TABELA 10 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial interna da parede 4 como variável dependente	104
TABELA 11 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial externa da parede 4 como variável dependente	106

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 01 – Cálculo para a obtenção da Carga Térmica de Radiação.....	27
EQUAÇÃO 02 – Cálculo da Temperatura Radiante Média (convecção Simples)....	28
EQUAÇÃO 03 – Cálculo da Temperatura Radiante Média (convecção Forçada)....	28

RESUMO

ROSSETI, K.A.C. *Estudo do Desempenho de Coberturas Verdes como Estratégia Passiva de Condicionamento Térmico dos Edifícios na Cidade de Cuiabá, MT*. 2009. 145f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

Este trabalho tem por objetivo geral desenvolver e avaliar a interferência da cobertura vegetada no micro clima do ambiente construído, no qual ela esteja instalada. Para isso foram utilizados dois protótipos de 5m², desenvolvidos em alvenaria de tijolo de oito furos com reboco e cobertura de fibrocimento, nos quais em um deles foi instalada a cobertura vegetada. Os protótipos foram monitorados durante 15 dias consecutivos da estação do verão, do outono e do inverno, no período compreendido entre os dias 05 e 20 de fevereiro (verão), 21 de maio e 4 de junho (outono) e 06 e 20 de julho (inverno), no ano de 2009. As medições se iniciavam às 8hs e finalizavam às 18hs de cada dia. Foram coletados simultaneamente dados de temperatura de globo, temperatura do ar e umidade relativa do ar, interno e externo, dos dois protótipos, além das temperaturas superficiais internas e externas dos respectivos fechamentos. Foi instalada no local uma estação meteorológica automática móvel, de forma a registrar todas as variáveis que poderiam interferir no desempenho da cobertura, como radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar externo, precipitação e velocidade do vento. Com os resultados verificou-se que no interior do protótipo no qual implantou-se a cobertura vegetada os valores de temperatura do ar apresentaram-se mais reduzidos em todas as estações analisadas. Na temperatura superficial interna da cobertura, verificou-se que a colocação da cobertura verde extensiva sobre a telha de fibrocimento provoca, na estação do verão, uma redução de 15°C na amplitude diária desta variável e um atraso 45min para a ocorrência da temperatura máxima do dia. Essas características não ficaram tão evidentes no outono e no inverno, mas também nestas estações, as temperaturas da cobertura vegetada se apresentam bem inferiores as temperaturas da cobertura em fibrocimento. Chegou-se a verificar, nos dias mais quentes do outono, uma diferença de 14°C entre as temperaturas máximas atingidas pelas duas coberturas. Nos dias mais frescos esta diferença passa a ser de 3°C. No inverno verificam-se diferenças de até 18°C. A cobertura verde não apresentou interferência nas temperaturas superficiais externas das paredes, em nenhuma das estações do ano. Verificou-se, no entanto, uma redução na temperatura superficial interna dos fechamentos verticais com a instituição da coberturas verdes, fenômeno observado em todas as paredes, na estação do verão. No outono e no inverno não verificou-se diferenças significativas entre as temperaturas superficiais internas dos fechamentos verticais dos dois protótipos. Além disso, o protótipo no qual foi instalada a cobertura vegetada apresentou melhores condições de conforto no ambiente estudado. Confirma-se desta forma a adequação da cobertura vegetada como estratégia passiva de condicionamento térmico de edifícios na cidade de Cuiabá.

Palavras-chave: Cobertura vegetada; conforto térmico; microclima urbano.

ABSTRACT

ROSSETI, K.A.C. *Study of Green Roofs Performance as a Passive Strategy of Buildings Thermal Conditioning in the City of Cuiabá, MT* 2009. 145f. Dissertation (Master in Environmental Physics), Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

This work aims to develop and evaluate the general influence of the plant cover in the micro climate of the built environment in which it is installed. For this purpose were chosen two prototypes of 5m², built in masonry of ceramic brick with plaster and fiber-cement roofing, in which one was installed an extensive green roof. The prototypes were monitored for 15 consecutive days from the summer and autumn season, in the period between february 05th and 20th (summer), may 21th and june 4th (autumn) and july 6th and 20th, in 2009. Measurements began at 8:00 a.m. and finalize at 6:00 p.m. of each day. Were collected data from temperature and air humidity, internal and external, of the two prototypes, than the internal and external surface temperatures of the locks. It was installed on local an automatic weather station to register all the variables that could influence the performance of the coverage, as solar radiation, outside air temperature, precipitation and wind speed. The results showed that the green roof caused a reduction in the radiant temperature and air temperature inside the prototype in all the seasons analyzed. In surface temperature of the cover, we see that the placement of the extensive green roof on the fiber-cement roofing causes, in the summer, a reduction of 15°C in the daily varying amplitude and a delay of 45min to the occurrence of the maximum temperature of the day. These characteristics are not so obvious in autumn, but in this season, the temperature of the cover with a green roof is meaningly lower the temperature of the coverage in fibro-cement. Was found in the hottest days of the season a difference of 14°C between the maximum temperatures observed in the two roofs. On cooler days the difference was 3°C. In winter there are differences of up to 18°C. The green coverage showed no interference in the external surface temperatures of walls in any of the seasons. There was, however, a reduction in the internal surface temperatures of walls with the placement of green roofs, a phenomenon observed in all the walls, in the summer. In autumn and winter there are no significant differences between the internal surface temperatures of walls of the two prototypes. Moreover, the prototype which was installed the cover crop showed better conditions of comfort in the environment studied. Thus it is confirmed the suitability of green roofs as a passive strategy of thermal conditioning of buildings in Cuiabá.

Keywords: Thermal Comfort; green roofs; urban microclimate.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

O mundo está voltado para a mais nova problemática da globalização, o aquecimento global. Discussões a respeito da poluição atmosférica e dos recursos naturais de uma forma geral, resultantes de um processo de industrialização e desenvolvimento econômico sem nenhuma preocupação ambiental, têm tomado conta dos meios de comunicação e conseqüentemente encontra-se fortemente enraizado no senso comum.

A exploração cada vez maior das fontes de energia não renováveis, o aumento da produção e do consumo de bens materiais para atender a demanda do mundo capitalista, vem intensificando a destruição dos recursos naturais e alterando o ciclo de vida tanto da flora quanto da fauna.

Já é de conhecimento geral que, se não ocorrer uma mudança consciente no modo de vida das pessoas, nossas interferências no planeta serão irreversíveis e conduzirão a conseqüências desastrosas em alguns anos. Existe uma necessidade imperiosa pela mudança do tipo de atividade humana, de forma a obrigar-nos a identificar e implementar novos métodos de desenvolvimento (GRAHAN, 2003).

O alcance da ação antrópica pode ser facilmente percebido ao adentrar em uma região altamente urbanizada. A remoção das áreas verdes, a compactação do solo acompanhada da pavimentação, a poluição emitida pelas indústrias e veículos automotores, tudo isso provoca um aumento significativo na temperatura local, acompanhado da redução da umidade do ar.

Os estudos e pesquisas desenvolvidas no Brasil na tentativa de minimizar os impactos desta urbanização sobre o meio ambiente baseiam-se na busca por uma arquitetura inserida no ambiente natural, de tal forma que estabeleça uma interdependência com ele. Ao invés de construir para proteger-nos da natureza, a fim

de proteger os nossos corpos, ou construir para proteger a natureza de nós, a fim de salvar o planeta, está-se agora começando a construir com a natureza para o mútuo benefício de “Nosso Mundo” (YEANG, 1995).

Para que isso seja possível é necessário que o desenvolvimento de materiais e técnicas construtivas, ligados a um desenvolvimento sustentável da construção, oriente os estudos científicos na busca de tecnologias limpas, preserve os recursos naturais, permitindo a regeneração do planeta, e ao mesmo tempo aumente a qualidade de vida dos seus habitantes.

Nos últimos 20 anos Cuiabá/MT vem apresentando um acelerado crescimento demográfico, juntamente com um crescimento urbano desordenado. Em cinco anos, de 1970 a 1975, a população passou de 83 mil para 127 mil pessoas. Hoje, de acordo com o censo do IBGE, publicado em 2004, a Capital de Mato Grosso tem 524 mil habitantes. Este crescimento, baseado na redução de áreas verdes, aumento do número de veículos automotores, compactação do solo, provocou alterações microclimáticas em um local que já apresentava altas temperaturas anuais além de 4 a 5 meses com baixos índices de umidade relativa.

As estratégias de conforto passivas até então conhecidas e viáveis economicamente para zona climática na qual Cuiabá está inserida, somente mostram-se eficientes em um determinado período do ano. Nos demais dias apenas estratégias ativas são capazes de garantir um mínimo de conforto no interior do ambiente construído. Tais estratégias tornam o ciclo de vida da construção insustentável, pois é baseada no consumo de energia produzida através da destruição de recursos naturais. A menos que desenvolva-se um sistema fotovoltaico de geração de energia em cada construção na cidade, capaz de produzir a energia necessária para garantir a manutenção das estratégias ativas de conforto, tais estratégias devem ser evitadas.

1.2. JUSTIFICATIVA

São de extrema relevância, principalmente nesta região de características climáticas tão severas e adversas, estudos visando o desenvolvimento e avaliação de novas estratégias passivas capazes de garantir a sustentabilidade da construção aliada ao conforto do usuário.

Uma tecnologia já bem difundida na Alemanha desde a década de 70, e que vem apresentando resultados positivos como elemento de interação da construção com o ambiente natural, é a cobertura vegetada (WELLS & GRANT, 2004).

Observa-se atualmente um grande processo de difusão da tecnologia na América do Norte (Canadá e EUA) e na Ásia (Japão, China e Cingapura), onde encontram-se pesquisas científicas e projetos municipais incentivados por entidades governamentais e respaldados pelas grandes fontes divulgadoras de informações. Neste contexto destacam-se projetos como os das prefeituras de Chicago e de Seattle e o projeto da fábrica da Ford em Dearborn, nos Estados Unidos, com mais de quatro hectares de telhado vegetado (VILELA, 2005).

No Brasil a tecnologia é praticamente desconhecida, tendo vivido uma relativa experiência durante o período moderno com a difusão do conceito corbuseano de laje-jardim. No entanto, tal elemento foi explorado apenas sob viés estético, não havendo grandes preocupações com as melhorias microclimáticas que esta tecnologia pudesse gerar.

Atualmente no país existem poucos projetos contemporâneos executados e uma tímida difusão das pesquisas científicas até então desenvolvidas com esse tipo de cobertura. É necessária uma satisfatória divulgação desta prática, além do preenchimento de diversas lacunas, tais como, falta de conhecimento sobre o assunto tanto por parte da população, quanto pelos vetores industriais e órgãos administrativos do estado ou município (NASCIMENTO & SCHMIDT, 2008).

O condicionamento térmico dos edifícios da cidade de Cuiabá ainda possui lacunas que não podem ser preenchidas em todos os períodos do ano por estratégias passivas. O estudo do desempenho de telhados vegetados no clima local é de grande importância para o preenchimento de algumas dessas lacunas. Uma transformação tão significativa no coroamento das construções certamente levará a uma alteração na qualidade de vida dentro do espaço urbano.

Este trabalho tem por objetivo geral desenvolver e avaliar a interferência da cobertura vegetada no micro clima do local onde ela encontra-se, verificando a viabilidade de sua utilização como estratégia passiva de condicionamento térmico para a cidade de Cuiabá.

Os objetivos específicos a serem alcançados foram: escolher o local onde a cobertura vegetada será instalada, coletar informações através de fotos e levantamento das construções selecionadas, realizar a confecção da telha de forma a obter materiais de qualidade, instalar as telhas na construção escolhida, realizar o monitoramento das temperaturas das superfícies, temperaturas de globo e temperaturas do ar no interior dos abrigos, no período do verão, do outono e do inverno, de forma a avaliar a interferência provocada pela instituição da cobertura vegetada no ambiente construído, e análise estatística dos dados coletados.

Assim será possível verificar as interferências que a colocação de um telhado verde provoca no micro clima da área construída, possibilitando, desta forma, a avaliação da adequação desta estratégia ao clima local.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A fundamentação teórica designada para este estudo buscou esclarecer os conceitos envolvidos no desenvolvimento sustentável da indústria construtiva, apresentando discussões sobre os impactos da atual indústria e os fundamentos que direcionam este novo modo de construir. Também serão tratados assuntos acerca da bioclimatologia, ferramenta de projeto para a construção sustentável, com destaque para a cobertura vegetada.

Um conhecimento mais aprofundado sobre estes assuntos possibilitará um maior esclarecimento sobre a necessidade urgente de conhecimento, desenvolvimento e divulgação de tecnologias passivas de condicionamento térmico de edificações como norteadoras dos novos empreendimentos da construção civil.

A cobertura vegetada é uma estratégia largamente utilizada na Alemanha desde a década de 70. Recentemente, verifica-se seu desenvolvimento na América Latina, tendo no México um grande interesse e aceitação. No Brasil o interesse ainda é relativamente pequeno, com uma maior difusão no Rio Grande do Sul, onde encontram-se algumas empresas especializadas na aplicação e construção de coberturas verdes.

É visível a falta de conhecimento sobre o assunto tanto pelo público consumidor quanto pelos profissionais da construção civil. Uma pesquisa acerca do desempenho deste tipo de estratégia bioclimática no clima local é certamente o primeiro passo para a implantação das coberturas verdes nas construções Cuiabanas.

2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Um levantamento acerca dos conceitos envolvendo a sustentabilidade e o modo como ela se insere na indústria construtiva são imprescindíveis para a

compreensão da real necessidade por estudos em torno da eficiência das estratégias passivas de condicionamento térmico de edifícios.

A seguir serão apresentadas algumas discussões sobre o tema Desenvolvimento Sustentável e sua relação com a construção civil.

2.1.1. Conceitos Gerais

O termo Desenvolvimento Sustentável foi introduzido em 1980 para descrever o desenvolvimento que procura abordar as necessidades sociais tendo o cuidado de minimizar potenciais impactos ao meio ambiente (IUCN, 1980). Este conceito reconhece a necessidade de manter o ambiente natural em um estado que ainda permita atender as necessidades da humanidade. O conceito, porém, salienta que só alcançaremos os objetivos econômicos e sociais quando os objetivos ambientais forem alcançados (HILL & BOWEN, 1997).

As duas palavras que compõem o nome deste conceito precisam ser exploradas. Os debates sobre o que deve ser sustentado e o que constitui as formas adequadas de desenvolvimento são calorosamente contestados.

Alguns falam de sustentabilidade econômica, social ou política, outros de sustentabilidade ecológica. Todos estes conceitos foram englobados em diferentes graus pelo termo Desenvolvimento Sustentável (GRAHAM, 2003).

Hill & Bowen (1997), apresentam uma boa análise do debate sobre o significado da sustentabilidade e sua relação com a construção. Eles apontam para duas filosofias opostas, que o conceito de desenvolvimento sustentável engloba. Uma delas é a perspectiva dos "limites de crescimento", criada pelo Clube de Roma em 1972, que sublinha a necessidade de considerar a poluição, a degradação do ambiente natural e o esgotamento dos recursos como cruciais para o futuro da humanidade (STOCKDALE, 1989).

Isso opõe-se a outra, mais tradicional, a "filosofia pró-crescimento", que ainda predomina nos dias de hoje, na qual o desenvolvimento sustentável é visto como uma síntese do crescimento econômico dentro das capacidades do meio ambiente natural, levando à conclusão de que: **“Qualquer pessoa pode inscrever-se para o desenvolvimento sustentável enquanto ela não precise de nenhuma**

autorização específica para fazer qualquer coisa que ameace os seus interesses materiais” (CHEN et al., 1998).

O problema é que os estilos de desenvolvimento que já foram instituídos como bem sucedidos na melhoria da saúde humana e conforto, nem sempre estão nutridos dos valores, que prevê a sustentabilidade ecológica (KNUDTSON & SUZUKI, 1992).

Uma definição bem conhecida do desenvolvimento sustentável foi publicada em 1987 na Comissão Mundial sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente (WCED) através do Relatório Nosso Futuro Comum. Ele afirma que: **“O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”** (WCED, 1987).

Primeiramente nota-se que essa definição fala de “necessidades”. Considerando que o acesso aos recursos naturais têm sido essenciais para o progresso até o presente momento, coloca-se que ele seja mantido, a fim de garantir que as necessidades das gerações presentes e futuras sejam satisfeitas. No entanto, as necessidades variam de acordo com a evolução. O objetivo de adicionar o adjetivo "ecológico" para o desenvolvimento sustentável é de salientar que a nossa prosperidade é interdependente dos sistemas naturais.

Segundo IUCN (1980), desenvolvimento é definido como **“modificação da biosfera para satisfazer as necessidades humanas”**. Esta visão humano-centrista está implícita na definição anterior de desenvolvimento sustentável elaborada pela Comissão Mundial sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente (WCED, 1987).

Com referencia mais específica para a construção, Harvey (1981) descreve o desenvolvimento como uma "expansão sobre terras subdesenvolvidas". Esta segunda definição certamente implica no crescimento, mas não necessariamente equipara-se a evolução ou mesmo ao avanço.

Desenvolvimento como evolução sugere um desdobramento natural do processo de melhoria onde o desenvolvimento ocorre através da aprendizagem a partir dos padrões anteriores e adaptação às novas condições. Desenvolvimento como criação, por outro lado, implica conscientemente em fazer algum tipo de produto dos nossos resultados.

2.1.2. Sustentabilidade na Construção Civil

Um edifício ecologicamente sustentável desenvolve-se a partir de um processo construtivo que pode ser sustentado por sistemas naturais, e que, por sua vez, ajuda a sustentá-los.

O sucesso das iniciativas em torno da construção sustentável está diretamente relacionado com o contexto no qual o desenvolvimento de um edifício está vinculado ao fato de ele ser ou não sustentável. Ao abordar esta questão, o CIB, Conselho Internacional para a Investigação e Inovação na Construção, vê a construção sustentável como um elemento importante na criação de ambientes urbanos ecologicamente sustentáveis que respondam as condições ecológicas, sociais e econômicas locais (DUBOSE, 1994).

O processo de construção geralmente trabalha no limite dos condicionamentos impostos por leis naturais. Por exemplo, existe uma velocidade máxima de assentamento de tijolos que é uma função do peso do tijolo, da altura e complexidade do muro e da habilidade do pedreiro. As condições geológicas de um determinado terreno impõem um máximo de pressão que ele sustenta, determinando o tamanho e configuração das fundações. A amplitude térmica entre o dia e a noite em um local determina a eficácia da massa térmica como meio de manutenção de uma temperatura interna confortável. A disponibilidade de matéria-prima determina os tipos de materiais a partir dos quais o edifício pode ser construído

Estratégias para a construção de edifícios ecologicamente sustentáveis ajudam os profissionais a tomar decisões, e ajudam a operar os edifícios de forma a criar resultados ecologicamente sustentáveis. Eles descrevem abordagens específicas do edifício que aderem às leis e princípios da sustentabilidade ecológica. Estratégias estão constantemente evoluindo em resposta a pedidos de informação, precisão e resolução de problemas por profissionais da construção que trabalham com edifícios ecologicamente sustentáveis. Para que essas estratégias conduzam a um resultado ecologicamente sustentável é necessário um contingente de fatores sociais e econômicos, bem como profissionais competentes envolvidos no projeto.

Para a construção ecologicamente sustentável, considera-se que uma tecnologia é apropriada quando não provoca efeitos prejudiciais para a saúde

ecológica de uma região específica. Uma tecnologia adequada deve também estar "melhor ajustada" as condições sociais e econômicas.

O ambiente econômico que irá direcionar a proposta de desenvolvimento pode ser determinado com base em indicadores como a renda local, a taxa de emprego, o tamanho da população, ou o custo de financiamento. Estes indicadores tornaram-se a base para a tomada de decisões sobre qual o melhor investimento para uma determinada situação (HARVEY, 1981).

Estratégias também devem ser adequadas à dimensão do problema ambiental a ser considerado. Algumas estratégias podem lidar com questões globais como as alterações climáticas ou a camada de ozônio, outros podem ser específicos de uma cidade, um bairro, um terreno ou um imóvel. Algumas estratégias podem ser aplicáveis aos processos de concepção de um edifício, outras buscam promover uma inovação em toda a indústria da construção civil.

É importante identificar a dimensão das questões a que o edifício a ser concebido deve responder. Projetos ecologicamente sustentáveis devem determinar os requisitos de projeto para as diferentes escalas de problemas, nas próprias informações do projeto.

Diferentes estratégias são necessárias em diferentes fases do ciclo de vida do desenvolvimento do edifício. Isto acontece porque as decisões feitas em cada fase do desenvolvimento têm a capacidade de contribuir de diferentes maneiras no desempenho ambiental de um edifício. Muitos impactos potenciais podem ser evitados se os profissionais são conscientes da melhor solução para evitá-los.

Segundo Wilson et al. (1998) a experiência de muitos projetos, mostrou que quando, no processo de construção do edifício, questões ecologicamente sustentáveis são abordadas, melhores são os resultados, tanto para o ambiente quanto para o edifício. Os profissionais devem estar cientes da importância de integrar a sustentabilidade ecológica, em fase de planejamento e concepção, porque uma vez que o edifício começa a ser construído, ele começa a agir sobre os recursos ambientais e os efeitos ambientais começam a acumular-se. Uma vez que o edifício está a funcionar, outros efeitos, associados com o consumo de energia e de materiais, os resíduos e o comportamento dos ocupantes, ocorrem.

A sustentabilidade ecológica é um atributo de todo o sistema do qual o edifício é uma parte. Devido ao ciclo de vida do seu metabolismo, um edifício não pode ser ecologicamente sustentável por si só. Como tal, as condições da construção ecologicamente sustentável, derivadas de leis de termodinâmica, aplicam-se a qualquer dimensão do ambiente construído. Devido a isso, precisa-se saber quais aplicações destas leis e princípios afetam os tipos de mudanças necessárias para desenvolver a sustentabilidade ecológica do nosso ambiente construído (GRAHAM, 2003).

Podemos facilmente identificar aplicações desta lei ligadas às estratégias passivas de condicionamento térmico dos edifícios. Tais estratégias são geridas através de sistemas que consomem energia com um máximo de qualidade. Os edifícios que enfatizam a manutenção de um ambiente interno confortável através de estratégias passivas, como a massa térmica e o aproveitamento da luz natural, ventilação natural, utilizam energia de baixa qualidade do gradiente de calor e da luz do dia para garantir o conforto (ODUM, 2002).

Segundo White Arkitekter (1998), mesmo os "resíduos" do calor têm sido utilizados no interior do edifício. O calor irradiado pelas lâmpadas, equipamentos e pessoas é absorvido pela massa térmica dos pisos, que, por sua vez, aquece o ar por convecção. No verão o calor é arrastado para fora do edifício pela ventilação noturna e no inverno este calor é mantido para ajudar a manter o edifício quente.

O desperdício da energia fornecida é minimizado através de um bom isolamento, como a utilização de vidros duplos, em todas as novas janelas. O desperdício de energia dissipada é minimizado através da utilização de materiais com alta massa térmica e através do uso do gradiente de temperatura para conduzir a ventilação natural (WHITE ARKITEKTER, 1998).

Ser capaz de compreender a influência potencial das decisões tanto no sistema construído como no natural é uma maneira de pensar que direciona atitudes. Nossa capacidade de pensar e então agir de uma maneira ecologicamente sustentável é indicador da nossa alfabetização ecológica. Esta permite-nos não só ser capazes de identificar problemas de prática corrente, mas também encontrar soluções e conduzir a inovações na construção sustentável.

2.2. CONSTRUINDO ECOLOGIA

Devido à falta de estrutura ecológica da indústria da construção e da histórica falta de consciência ambiental de muitos profissionais da área, a forma dos edifícios, os ambientes construídos e o processo construtivo têm desempenhado um papel importante no declínio da saúde ecológica do planeta (GRAHAM, 2003).

A seguir serão levantadas discussões acerca dos conceitos envolvidos na construção ecológica, apresentando a necessidade de uma interação entre o ambiente construído e o natural. Além disso, serão apresentados os impactos da atual indústria construtiva, desconectada das preocupações em torno da sustentabilidade. Por fim, poderão ser identificadas as características que definem o novo modo de construir, de forma a criar edifícios que forneçam a infra-estrutura física para a nossa vida sem prejudicar a vida presente no ambiente no qual ele se insere.

Assim que forem esclarecidas as preocupações ambientais presentes no novo conceito de espaço construído poderão ser levantadas discussões acerca das estratégias capazes de garantir o comportamento ecológico do edifício.

2.2.1. Conceitos gerais

As pessoas e os edifícios estão relacionados com a natureza da mesma forma como as abelhas e suas colméias estão com o mel. Infelizmente, os efeitos da nossa indústria construtiva são muito menos doces. Ao contrário das abelhas, cuja produção é nutritiva, o processo de construção e funcionamento dos edifícios muitas vezes cria resultados ambientais desastrosos.

A indústria da construção civil, ao longo dos anos tem tido uma influência profundamente negativa sobre a saúde da terra, principalmente porque o sistema econômico no qual esta indústria opera tem ignorado as sua interdependência com a natureza (GEORGESCU-ROEGEN, 1976).

O edifício e o ambiente construído representam um complexo sistema de criação humana, interligado com outros seres humanos e não-humanos, muitas vezes de maior complexidade. Como a ecologia é o estudo das relações entre os organismos e o ambiente, construir ecologia é estudar as relações do ato da construção, dos edifícios construídos e das formas produzidas, com o ambiente

natural. Construir ecologia é estudar como a nossa casa construída afeta nossa casa natural. Trata-se de descobrir as interligações entre os edifícios e a natureza e os efeitos destas interações.

O prefixo Eco é derivado do grego antigo Oikos, significa “casa”. Nomos, do grego antigo, quer dizer “Gerir”, significa também “administrar”. A fim de saber como gerir uma casa tem-se a necessidade de compreender como ela funciona. A fim de proteger e valorizar os ecossistemas, a interação holística dos ambientes construídos e ambientes naturais deve ser entendida. Assim, profissionais da construção poderiam ser caracterizados como responsáveis pela gestão dos efeitos dessas interações de forma a cuidar de valores particulares e ambientais de outra pessoa (GRAHAM, 2003).

2.2.2. Os Impactos da Atual Indústria Construtiva

Nosso mundo está mudando. Mais pessoas têm nascido no planeta Terra nos últimos cinquenta anos do que nos últimos quatro milhões de anos de existência humana. A população do mundo mais do que duplicou desde 1950, assim como o rendimento médio pessoal. A combinação destes dois fatores tem visto um aumento no tamanho da economia do mundo industrializado que, por sua vez, viu um aumento proporcional nas taxas de consumo dos recursos e da produção de resíduos. O crescimento total da produção de bens e serviços entre 1984 e 1994, por exemplo, foi de quatro trilhões de dólares. Isto é mais do que o crescimento econômico desde o início da civilização até 1950 (BROWN, 1995).

O número de pessoas que deslocam-se para as cidades também é crescente. A média mundial do crescimento da população da cidade é de 3,1% ou aproximadamente 186 milhões de pessoas por ano. Este crescimento urbano está ocorrendo desproporcionalmente nos países em desenvolvimento que não podem dar ao luxo de fornecer a mesma ou mais infra-estruturas básicas para os novos habitantes (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1996).

O mundo está ficando mais quente. A temperatura superficial média global aumentou 0,6 graus Celsius durante o século 20. A década de 1990 foi a década mais quente registrada desde 1861. Pensa-se que isso irá conduzir à subida do nível do

mar de 2 cm por década - o suficiente para inundar muitos países como Tuvalu, um de uma série de pequenas ilhas do pacífico (UNEP, 2001).

Segundo o World Watch Institute (2000), no tempo em que está lendo este capítulo cerca de 140 hectares de floresta tropical da Indonésia terão desaparecido, cerca de 9.930 pessoas terão nascido e 44 milhões de litros de esgoto terão entrado no oceano na costa do estado australiano de Victoria (CSIRO, 1998).

Estas condições representam uma séria ameaça para o prosseguimento do desenvolvimento da sociedade humana sem precedentes, colocando pressão sobre a capacidade de assimilação e adaptação ao ambiente natural. Elas indicam a necessidade imperiosa para mudar o tipo de atividade humana, e obrigar-nos a identificar e implementar novos métodos de desenvolvimento.

A fabricação de muitos dos materiais utilizados na construção civil exigem um consumo de grandes quantidades de energia derivada de combustíveis fósseis, e o deslocamento de mega-toneladas de terra durante a mineração. Por exemplo, para cada tonelada de cimento, material utilizado na maior parte do mundo, cerca de duas toneladas de matérias-primas devem ser minadas, quase uma tonelada de CO₂ e até 6 kg do gás NO_x é produzido. A construção, portanto, contribui significativamente a nível mundial para a degradação ecológica e emissão de gases do efeito estufa (LAWSON, 1996; VAN OSS, 1999).

Apenas 18% da superfície da Terra estão disponíveis para o cultivo de alimentos, fornecendo serviços de suporte a vida tais como geração de oxigênio, proteção da biodiversidade, e de seqüestro de carbono, bem como atividades de exploração dos recursos naturais, como minas e florestas. O ambiente construído, incluindo estradas, ocupa um pouco mais de 2% desta terra disponível. A indústria da construção civil predominantemente utiliza esses terrenos para a locação de edifícios e despejo de restos de materiais de construção (REES et al., 1996).

As práticas tradicionais de construção utilizam matéria e energia para produzir edifícios que consomem mais recursos, e em cada fase do ciclo de vida da construção os resíduos são acumulados. No Reino Unido a indústria da construção, por exemplo, é responsável por cerca de 2,5% das emissões nacionais de NO_x e 8% de SO_x. Além disso, o transporte dos materiais de construção no Reino Unido contribui com cerca de 10% nas emissões nacionais de CO₂. Muito pouco do excesso

de material vindo de mineradoras ou mesmo fabricados por industrialização, utilizados na construção, são reciclados e muito menos utilizado como insumos para a criação de novos edifícios (HOWARD, 2000).

O Instituto de Observação da Terra (World Watch Institute) estimou recentemente que os edifícios consomem cerca de 40% da energia produzida mundialmente (ROODMAN & LENSSEN, 1995). No entanto, esta quantidade de energia consumida pode ser maior em países mais industrializados e urbanizados. No Reino Unido, por exemplo, 56% do consumo total da energia produzida é utilizado para operar edifícios; 10% de toda a energia produzida é utilizado para a fabricação dos materiais de construção. Portanto mais de dois terços de todo o consumo energético britânico provém ou está associado à construção civil (FRIENDS OF THE EARTH EUROPE, 1995).

Considerando a quantidade de energia consumida pelos edifícios estima-se que, mesmo que faça-se um esforço para usar fontes de energia com baixas emissões de CO₂, o volume de combustível consumido implica que as emissões de CO₂ continuarão a ser introduzidas na nossa atmosfera em taxas historicamente sem precedentes. Na Austrália, por exemplo, a contribuição de gases de efeito estufa através do comércio construtivo espera ser quase o dobro do nível verificado no ano de 1990, 32 milhões de toneladas de CO₂ por ano para 63 Mt/ano até 2010 (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, 1999a).

Espera-se que as emissões atribuídas ao aquecimento e resfriamento das residências australianas sofram um aumento entre aproximadamente 14% e 39% no mesmo período (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, 1999b).

"Se as pessoas de repente desaparecessem da Terra, o planeta poderia recuperar-se e daqui a 1000 anos, ele ficaria como há 100.000 anos. Se os insetos desaparecessem nada na Terra iria sobreviver" (UNEP & PEACE CHILD INTERNATIONAL, 1999).

O aumento da globalização do comércio tem permitido a abertura de novos mercados e oportunidades financeiras, o que acaba expondo mais o planeta ao esgotamento dos recursos e à poluição. Devido à globalização do comércio, as pessoas nos países desenvolvidos causam impactos sobre os ecossistemas de outros países.

Muitas vezes, os impactos imediatos causados pela construção não estão somente em torno do próprio ambiente construído. Ambientes naturais distantes da construção são afetados ao mesmo tempo, devido aos materiais que abastecem a obra, mas, muitas vezes, é difícil identificar os impactos diretos causados por um projeto específico.

Ramachandran (1990) identifica quatro categorias de impactos ambientais que o edifício pode causar:

- a) esgotamento dos recursos;
- b) perturbações físicas;
- c) poluição, e
- d) efeitos sociais e culturais.

2.2.2.1. Esgotamento dos Recursos

Diz respeito primeiramente aos impactos causados pela utilização dos recursos naturais na criação e operação dos edifícios. Os recursos são geralmente encarados como matérias-primas, tais como combustíveis fósseis, minerais e madeira. A nossa principal preocupação é a utilização de recursos não-renováveis porque não podemos voltar a encher as lojas com o material que usamos.

Nesta categoria não são considerados apenas os recursos materiais primários. Consideram-se também os sistemas e funções ecológicas que criam os recursos materiais primários. Os efeitos da atividade da construção nos sistemas e serviços ecológicos, tais como florestas nativas, rios e ar, também são considerados durante o desenvolvimento da tomada de decisões. (RAMACHANDRAN, 1990).

2.2.2.2. Perturbações Físicas

As perturbações físicas estão relacionadas às interferências causadas ao ambiente pelo próprio processo de construção, e novamente, quando o edifício está ocupado. A perturbação também pode ser causada pela manutenção, renovação ou demolição de obras, bem como pelas operações realizadas no interior da instalação durante a sua vida.

Yencken & Wilkinson (2000) identificam três grandes questões ambientais associadas às perturbações físicas causadas pelo processo de construção que estão descritas a seguir:

a) Perda de terras produtivas:

Ocorre no caso do edifício ser locado em uma área que não tenha sido previamente ocupada por uma construção. A capacidade do terreno de fornecer habitat ou condições favoráveis a produção agrícola deve ser considerada. A construção deve ser feita em locais que não sejam ecologicamente ou agronomicamente produtivos, e que de preferência já tenham sido previamente utilizados por outra construção.

b) Perturbação devido ao desenvolvimento da construção, como a erosão do solo, a dispersão de sedimentos e poluição dos recursos hídricos:

Quando há riscos de erosão do solo, a poluição da água devido ao escoamento dos sedimentos é agravada durante a escavação das obras.

c) Degradação e a perda de biodiversidade no entorno:

Devido à escolha de materiais os quais a extração causa danos nos ecossistemas. Isto pode ser causado pela compra de madeira de floresta nativa, materiais minados, ou a utilização de materiais poluentes produzidos em indústrias.

2.2.2.3. Poluição

A poluição, causada pela produção de materiais e pela construção e operação dos edifícios, gera impactos sobre o ambiente natural e construído. Os efeitos da construção relacionados à poluição também poderiam contribuir ao esgotamento dos recursos, se, por exemplo, a poluição da água ocorre em uma nascente, ou contamina o solo.

Além disso, a saúde humana e o conforto são requisitos fundamentais de sustentabilidade para os edifícios. A poluição do ambiente interno apresenta risco direto para a saúde das pessoas.

2.2.2.4. Efeitos Sociais e Culturais

A questão final identificada por Ramachandran (1990) lida com efeitos no ambiente social e cultural que não podem ser tão facilmente detectado como o esgotamento dos recursos físicos, as perturbações ou ainda a poluição. O ambiente social em uma área pode sofrer com o desenvolvimento. A construção de um autódromo da Grand Prix sobre uma reserva de recreio iria causar um grande impacto social para um ambiente residencial, mesmo que apenas utilizado esporadicamente.

O impacto do desenvolvimento da construção na história das cidades e países ou ainda nas questões de custódia de terras indígenas, por exemplo, pode exigir ampla consulta pública e planejamento cuidadoso de modo que os valores culturais sejam devidamente identificados e caracterizados.

Edifícios também causam um impacto visual sobre o ambiente. Se o impacto visual é positivo ou negativo pode ser uma questão de cada gosto, no entanto, a estética de um impacto sobre o desenvolvimento do meio ambiente é, provavelmente, um dos mais notórios de todos os impactos ambientais da construção.

2.2.3. Construção Ecológica: O que já vem sendo feito

Organizações mundiais de investigação como a Fundação de Pesquisas de Engenharia Civil, o Conselho Internacional para a Investigação e Inovação em Construção Civil (CIB) e a Agência Internacional da Energia têm patrocinado muitos programas de investigação e conferências destinadas à criação de conhecimento que pode ser aplicado como atenuante dos danos ambientais dos edifícios-relacionados.

O desenvolvimento da ferramenta de avaliação do ciclo de vida para a avaliação ambiental dos edifícios em termos de projeto, e da disponibilidade de sistemas de avaliação do desempenho ambiental dos edifícios, tais como o programa do Estabelecimento de Investigação de Edifícios do Reino Unido (UK Building Research Establishment's) BREEAM, agora são comuns (BALDWIN, 1996).

Em um nível comunitário têm sido desenvolvidas cooperativas para a execução de projetos de habitação, utilizando materiais orgânicos, e trabalhando na educação da comunidade em programas de edifícios sustentáveis. Esta atividade tem

sido descrita como um movimento de Construção Sustentável. Não há dúvidas de que este estilo de edifício represente a direção pretendida da inovação para a indústria da construção em geral (CIB, 1999).

No entanto, apesar do volume de atividades no campo da construção sustentável e da disponibilidade de ferramentas, técnicas e informações, edifícios ecologicamente sustentáveis continuam longe das principais práticas.

Nos dez anos desde o relatório do Instituto de Recursos do Planeta em 1992, apesar do início da Agenda 21, o Protocolo de Quioto para redução dos gases do efeito estufa e outras medidas globais de desenvolvimento sustentável e proteção ambiental, incluindo o movimento para uma construção sustentável, a ameaça à vida, como sabemos, tem aumentado. Em seu último relatório, o Instituto de Recursos do Planeta adverte que os ecossistemas, os principais produtores e provedores do suporte da vida, bens e serviços, estão em declínio:

“A atual taxa de declínio, a longo prazo, da capacidade produtiva dos ecossistemas pode ter implicações devastadoras para o desenvolvimento humano e o bem-estar de todas as espécies” (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2000).

O Instituto de Recursos do Planeta (World Resources Institute) tem documentado a acumulação dos efeitos dos padrões de desenvolvimento da humanidade, em grande parte após a revolução industrial do décimo oitavo e décimo nono séculos. Em 1992, ele informou que a base de recursos do planeta atingiu uma fase crítica de degradação em três áreas:

- a. Erosão da base global do solo, reduzindo a capacidade do mundo de produzir comida em caso de aumento da população;
- b. Perda de florestas e terras selvagens levando à perda de biodiversidade, a ameaça das culturas indígenas, e da degradação de encostas e bacias hidrográficas;
- c. Acúmulo de poluentes e de gases do efeito de estufa na atmosfera, levando a perigos para o solo, para a vegetação e para a saúde dos humanos, além da ameaça das mudanças climáticas mundiais (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1992).

2.2.4. Ecologia - Novo Modo de Construir

No início construíamos abrigos para proteger nossos corpos da natureza, armados com uma nova idéia, nós estamos começando a construir a fim de proteger a natureza de nós. Infelizmente esta nova idéia é fundamentalmente falha porque não é o planeta que está em risco, mas nossa existência e de muitas outras espécies e habitantes dos quais a vida como a conhecemos depende.

É necessária uma nova idéia para a mente humana de como construir. Busca-se uma mudança na concepção da nossa atividade construtiva de forma que os edifícios favoreçam o funcionamento do ecossistema. Ao invés de construir para proteger-nos da natureza, a fim de proteger os nossos corpos, ou construir para proteger a natureza de nós, a fim de salvar o planeta, está-se agora começando a construir com a natureza para o mútuo benefício de “Nosso Mundo” (YEANG, 1995).

A verdadeira diferença entre estes tipos de construção está em como nossas mentes percebem as nossas atividades. Temos ao longo de milênios protegido o corpo e criando um mundo para a mente, a mente tem percebido seu mundo de forma distinta da natureza, e temos construído nossos ambientes humanos desta maneira. Busca-se agora a promoção de uma unidade entre o espírito e a natureza, uma "ecologia da mente", como coloca a antropóloga Gregory Bateson, isto é, uma compreensão de como a mente e a natureza podem ser combinadas para criar ambientes, construídos e naturais, que sustentem a vida (BATESON, 1973).

Na indústria da construção esta unidade é conseguida através da combinação das mentes dos profissionais que estão construindo de forma ambientalmente consciente e ecologicamente alfabetizada (abelhas) com o entendimento da natureza adquirido através da construção ecológica (GRAHAM, 2003).

O edifício fornece a infra-estrutura física para a nossa vida, e é capaz de direcioná-la de diversas formas. Como Richard Register, fundador do movimento global EcoCity, coloca:

"Nós ensinamos a construir, mas o que nós construímos nos ensina como viver" (REGISTER & PEEKS, 1997).

2.3. BIOCLIMATOLOGIA

A definição primária de qualquer edificação comporta o conceito de abrigo, ou seja, a proteção contra as intempéries do meio circundante. A tecnologia moderna permite controlar em grande parte as condições interiores de um edifício. No entanto, a aplicação de elementos com certo grau de sofisticação tecnológica, em especial nos países subdesenvolvidos, implica em custos mais elevados, dependência de conhecimentos externos e, quase sempre, num maior consumo energético (BRASIL, 1995).

De acordo com as discussões que vêm sendo desenvolvidas até então, para garantir a sustentabilidade do ambiente construído, a construção deve ser concebida de forma a estabelecer uma relação benéfica com o ambiente natural no qual ela está inserida.

Desta forma o controle das condições interiores do edifício deve ser fundamentado em estratégias passivas, que não onerem gastos energéticos e ainda estabeleçam relações de interdependência entre o homem e o ambiente natural que o circunda. Para tal, é necessário um conhecimento mais aprofundado sobre os conceitos envolvidos na Arquitetura Bioclimática e as estratégias passivas de condicionamento térmico de edifícios.

Ao final serão apresentadas as recomendações bioclimáticas direcionadas para a cidade de Cuiabá. Neste momento tornar-se-á clara a importância da cobertura vegetada como estratégia passiva de condicionamento térmico das construções locais.

2.3.1. Evolução Histórica

Há milhares de anos o homem observa a natureza e compreende que a vida e a energia procedem do Sol, que atua diretamente na constituição dos climas. Acredita-se que Sócrates (470-399 a.C.) tenha sido o primeiro filósofo a tratar sobre alguns princípios fundamentais relacionando o clima às edificações, como descrito em um dos diálogos de Platão:

Nas casas com orientação Sul, os raios de sol penetram nos pórticos durante o inverno, mas no verão o movimento do sol está diretamente sobre nossas cabeças e nossos telhados, produzindo sombra. Se for assim,

a melhor maneira seria fazer construções mais altas no Sul, para captar o sol no inverno, e mais baixas no lado Norte, para excluir os ventos frios.

Vitrúvio (1999), na primeira parte de seu tratado “De Architectura Libri Decem” defende que a boa arquitetura está sempre apoiada em três atributos: *firmitas, utilitas et venustas*¹, e defende que o lugar escolhido para edificar uma construção ou uma cidade deve ser salubre e voltado para regiões do céu nem muito quentes nem muito frias. Alberti (1986), já no início de sua obra “De re aedificatoria”², demonstra preocupações semelhantes evidenciadas no próprio título do segundo capítulo: “Da Região, do Clima do Ar, do Sol e dos Ventos”, onde trata das regiões satisfatórias para construir-se edifícios em relação às influências do clima sobre as pessoas e os edifícios.

Nevins (1966) ainda cita a obra, "History and Art of Warming and Ventilation Rooms and Buildings" escrita por Walter Bernan e publicada em 1845. Nela o autor prevê que a criação e controle de ambientes climáticos artificiais assumirão a dimensão de uma ciência que contribuirá para o desenvolvimento da humanidade, para a preservação da saúde e longevidade do ser humano.

Estes exemplos distanciados entre si e de nossos dias por centenas ou milhares de anos confirmam que a análise do clima e suas relações com a arquitetura não são preocupações recentes. A arquitetura tem procurado ao longo da história desenvolver meios de controle ambiental que possam oferecer abrigo e conforto aos homens, e o clima de cada lugar tem sido fator determinante na definição das concepções arquitetônicas, dos materiais, das técnicas construtivas e das instalações prediais. Conhecer o clima de um lugar e saber relacioná-lo à prática projetual constitui cada vez mais um diferencial da boa arquitetura (MARAGNO, 2002).

2.3.2. Conceitos Gerais

Depois que cessou por fim nossa caça doentia aos "estilos", nossos hábitos e princípios começam a tomar feições uniformes, que refletem a verdadeira essência do século XX. Começamos a conceber que o design de nosso mundo-ambiente não depende da aplicação de uma série de fórmulas estéticas, preestabelecidas, e sim de um processo contínuo de crescimento interior, que recia constantemente a verdade a serviço da humanidade. (GROPIUS, 1952)

¹ Solidez, utilidade e beleza.

² Leon Batista Alberti: Manuscrito de 1452, publicado pela primeira vez em 1485

A arquitetura é considerada bioclimática quando está baseada na correta aplicação de elementos arquitetônicos e tecnologias construtivas em relação às características climáticas, visando otimizar o conforto dos ocupantes e o consumo de menos energia. O termo “bioclimático” foi cunhado por Victor Olgyay em suas pesquisas desenvolvidas com seu irmão Aladar no MIT e publicadas no início da Década de 50 (OLGYAY & OLGAY, 1957; OLGAY, 1998).

Izard e Guyot (1980) estabelecem como boa arquitetura bioclimática “[...] **aquela que permite que um edifício beneficie-se de ambientes interiores próximos ao conforto para uma margem de variação das condições exteriores bastante amplas, sem o recurso do condicionamento de ar artificial**”. Para Watson e Labs (1983 apud ANDRADE, 1996)³ o projeto bioclimático é aquele cuja fonte ou recurso encontra-se no microclima de seu sítio, onde deverá ser implantado e apresenta um fluxo natural de energia ao redor da edificação criado por meio de uma total integração com o sol, vento, precipitação e o resultado das temperaturas do ar e da terra.

Bogo et al. (1994) descrevem o bioclimatismo como o princípio de concepção em arquitetura que pretende utilizar, por meio da própria arquitetura, os elementos favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de bem-estar higrotérmico.

2.3.3. Conforto Térmico

O conforto térmico está estritamente relacionado ao equilíbrio térmico do corpo humano. O homem é um ser homeotérmico, isto é, mantém, dentro de certos limites, a temperatura corporal interna relativamente constante independente da temperatura ambiente (SILVA et al., 2003).

Ocorre que o homem produz, através do processo metabólico, energia interna que é obtida a partir da transformação dos alimentos. Essa energia é consumida na manutenção das funções fisiológicas vitais, na realização de trabalhos mecânicos externos (atividade muscular), e o restante é liberado na forma de energia térmica. A

³ WATSON, D., LABS, K. Climatic Building Design: Energy-Efficient Buildings/Principles and Practice, ed. McGraw-Hill, Inc. New York, 1983 apud ANDRADE, S. F. Estudos de Estratégias Bioclimáticas no Clima de Florianópolis. 1996. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

produção desta energia é contínua e aumenta com o esforço físico executado, portanto deverá haver uma permanente e imediata eliminação do excesso de energia térmica produzida para que a temperatura do corpo possa ser mantida constante (RUAS, 2001).

Segundo Hertz (1998), o conforto e o equilíbrio térmico do corpo humano estão relacionados, na medida em que a sensação de bem estar térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador para a manutenção do equilíbrio térmico. Isso significa que, quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto (Figura 1).



FIGURA 1 – Trocas térmicas entre o corpo humano e seu entorno
Fonte: HERTZ, 1998, p.10

Xavier (1999) especifica que o conforto térmico pode ser estudado sob dois pontos de vistas fundamentais: o pessoal e o ambiental sendo que, em relação ao pessoal, Fanger (1972) o define como “[...] **sendo uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico**”. Esta sua definição pode ser encontrada tanto em textos sobre o assunto, quanto como referência em muitas normas técnicas em todo o mundo, inclusive as da ASHRAE.

Alguns autores, como Rohles et al. (1966), advertem que é necessário analisar conjuntamente a temperatura do corpo e as sensações relatadas pelas pessoas, ou seja, a condição do corpo e a condição da mente. Sob o ponto de vista ambiental, o conforto é definido como “[...] **o estado térmico para determinado ambiente, com relação às suas variáveis físicas, quando um menor número de pessoas considerem-se insatisfeitas com o mesmo**” (FANGER, 1972).

As condições do ambiente, como a temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar, atuam sobre os fatores de conforto de um indivíduo e influenciam sua apreciação sobre o mesmo, sendo que, o mesmo espaço pode apresentar respostas muito diferentes conforme as condições especiais dos usuários. Serra e Coch (1995), classificam estas condições em três grupos descritos a seguir:

- a) Condições biológico-fisiológicas: hereditariedade, sexo, idade etc.;
- b) Condições sociológicas: tipo de atividade, educação ambiente familiar, moda, tipo de alimentação etc.;
- c) Condições psicológicas: variáveis para cada usuário.

As variáveis ambientais numa edificação dependem das suas características construtivas, assim o clima deve ser decisivo na definição dessas características para que o desconforto imposto por condições climáticas adversas seja amenizado e dessa forma o consumo de energia para ventilação, refrigeração e/ou aquecimento seja o mínimo possível.

Contudo as condições satisfatórias de conforto térmico de uma edificação não dependem somente da sua adequação ao clima mas também da sua adaptação às atividades lá desenvolvidas e aos equipamentos envolvidos.

É fato que, em muitos casos, as edificações são projetadas principalmente em função de tendências estéticas ou exigências técnicas de produção, sem a preocupação com o conforto térmico das pessoas nem com a conservação de energia.

2.3.4. Variáveis ambientais que interferem na sensação de conforto

2.3.4.1. Temperatura do ar

Da radiação líquida disponível na superfície do solo, uma parcela sofre o processo de transferência de energia em direção à atmosfera, utilizando-se das moléculas que constituem o ar atmosférico, aquecendo-o de baixo para cima, isto é, da superfície do solo para as grandes altitudes (OMETTO, 1981).

Assim, desde o nascer do sol a superfície do solo recebe continuamente energia. Essa quantidade de energia vai aumentando à medida que o sol aproxima-se da perpendicular do lugar, sendo que ao meio dia observa-se a maior intensidade de

energia incidente. No entanto, os processos de transferência de energia térmica entre o solo e o ar não processam-se instantaneamente, eles ocorrem por uma pseudo-condução, fazendo com que os valores máximos de temperatura do ar ocorram em torno das 14:00. À medida que o sol caminha no horizonte a energia incidente vai diminuindo até chegar a zero, quando o sol se põe. O solo no entanto continua perdendo energia fazendo com que as menores temperaturas do ar só sejam observadas pouco antes do nascer do sol (OMETTO, 1981).

As diferenças existentes entre a temperatura do ar no interior dos ambientes e no exterior, juntamente com dados de velocidade do vento e umidade relativa do ar, determinam as estratégias de conforto que devem ser aplicadas no edifício. Existem limites dentro dos quais o sistema termorregulador opera facilmente, acima ou abaixo desses limites o ocupante encontra-se em uma região de desconforto térmico (FROTA, 2001).

A fadiga é um dos resultados de um trabalho excessivo do aparelho termorregulador, pela existência de condições ambientais desfavoráveis, no tocante à temperatura do ar, tanto com relação ao frio quanto ao calor, e à umidade do ar (FROTA, 2001).

2.3.4.2. Umidade Relativa do ar

Umidade relativa é definida como a relação entre o teor em vapor d'água que o ar contém e o teor máximo que poderia conter, à temperatura ambiente. É a porcentagem de vapor d'água existente no ar em relação ao máximo que poderia existir aquela temperatura (OMETTO, 1981).

Os dados de umidade relativa do ar devem ser observados paralelamente aos de temperatura do ar, pois cada relação particular entre estas duas variáveis repercute de maneira distinta tanto no conforto humano como nas propostas arquitetônicas que sejam adequadas ao clima (FROTA, 2001).

Quando o ar, contendo certa quantidade de água, é esfriado sua capacidade de reter água é reduzida, aumentando a umidade relativa até tornar-se saturado, ou com umidade 100%. A temperatura na qual esse ar satura-se é denominada temperatura do ponto de orvalho, qualquer esfriamento abaixo dessa temperatura causa condensação de vapor.

A grande diferenciação que o grau de umidade relativa do ar acarreta nas condições climáticas de um local é quanto à amplitude da temperatura diária. Isto equivale a dizer que quanto mais seco for o clima, mais acentuadas serão suas temperaturas extremas (mínimas e máximas) (FROTA, 2001). Este fenômeno dá-se em função de as partículas de água em suspensão no ar, possuírem uma estrutura capaz de interagir fortemente com as radiações eletromagnéticas emitidas pelo sol ou ainda pelos corpos que encontram-se a temperatura do meio ambiente (OMETTO, 1981).

As perdas de energia térmica do organismo humano, representadas pelo calor latente, correspondem à dissipação através das perdas de vapor d'água pela respiração ou pela perspiração, ou através da evaporação do suor, e equivalem ao calor que libertar-se-ia proporcionando a condensação dessa quantidade de vapor d'água que mantém-se no ar. Desta forma, a umidade relativa é um fator determinante da quantidade de suor que a pele pode evaporar na unidade de tempo, pois quanto mais próximo o ar encontra-se da sua quantidade máxima de vapor d'água, representando uma alta umidade relativa, menor a sua capacidade de reter a água presente na superfície da pele, dificultando a eliminação da energia térmica pelo organismo, causando desconforto (FROTA, 2001).

2.3.4.2. Velocidade do ar

Para a bioclimatologia não dá-se tanta ênfase aos efeitos de movimento do ar causados pelo gradiente de pressão e pela rotação da terra, basicamente consideram-se os efeitos de fricção e a diferença de densidade, esta ultima provocada pelo gradiente de temperatura. Como a bioclimatologia trata da camada de ar mais próxima do homem, considera-se para seus estudos somente a camada superficial, que estende-se até aproximadamente 100 metros acima da superfície do solo (OMETTO, 1981).

Os mais difíceis problemas são encontrados junto à camada superficial. Primeiramente os efeitos provocados pela fricção com a superfície caracterizam um comportamento turbulento do ar. Além disso, a grande variedade da natureza das

superfícies provoca grandes variações no gradiente de densidade, caracterizando uma maior complexidade do fluxo (OMETTO, 1981).

As trocas de calor por convecção são ativadas pela velocidade do ar, quando trata-se de superfícies verticais. Nesse caso, mesmo que o movimento do ar advinha de causas naturais, como o vento, o mecanismo de troca entre a superfície e o ar passa a ser considerado de convecção forçada (FROTA, 2001).

2.3.4.4. Temperatura Radiante Média

Um dos indicadores de conforto térmico é a Carga Térmica de Radiação (CTR), analisada com base no fato de que a radiação constitui um dos mais importantes fatores térmicos na definição do bem-estar do ocupante (ESMAY, 1978). A CTR é determinada a partir da Temperatura Radiante Média, que expressa a temperatura média dos corpos que trocam calor no ambiente e pode ser expressa a partir da Equação 1 proposta por Silva (2000). De uma forma geral, o valor da temperatura radiante média é um pouco maior ou um pouco menor do que o da temperatura do ar, pois expressa a presença de corpos em diferentes temperaturas, trocando calor através da radiação (GONZALEZ et al., 1986).

$$CTR = \sigma \cdot TRM^4 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

“CTR” é a Carga Térmica de Radiação ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$);

“ σ ” é a constante de Stefan-Boltzman ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$);

“TRM” é a Temperatura Radiante Média ($^\circ\text{C}$).

A ISO 7726 (1996) apresenta duas equações para a obtenção da temperatura radiante média, uma de convecção natural e outra de convecção forçada, tendo como principais variáveis: temperatura de bulbo seco e temperatura do globo. As Equações 2 e 3 expressam, respectivamente, o cálculo para a obtenção da temperatura radiante média considerando a convecção natural e considerando a convecção forçada fornecidas pela ISO 7726.

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273) + 0,4 \cdot 10^{-8} \cdot \sqrt[4]{t_g - t_a} \cdot (t_g - t_a) - 273} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

“ t_g ” é a temperatura do globo (°C);

“ t_a ” é a temperatura do ar (°C) (temperatura de bulbo seco).

$$t_r = 100 \cdot \sqrt[4]{2,51 \cdot \sqrt{v} (t_g - t_a) + \left(\frac{t_g + 273}{100}\right)^4 - 273} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

“ t_g ” é a temperatura do globo (°C);

“ t_a ” é a temperatura do ar (°C) (temperatura de bulbo seco);

“ v ” é a velocidade do ar (m. s⁻¹).

A temperatura radiante obtida através do termômetro de globo representa, num único valor, os efeitos combinados da radiação que possa estar incidindo ou sendo emitida pela esfera, e do ar, parado ou não, ao redor dela, a partir do qual pode-se concluir sobre o nível de conforto de um dado ambiente (SOUZA et al., 2002; RAMÓN, 1980) O termômetro de globo constitui um meio prático e barato de separar e determinar quantitativamente a componente energia radiante do ambiente, de uso já consolidado nas pesquisas atuais (BOND & KELLY, 1955).

2.3.5. Índices de Conforto e Cartas Bioclimáticas

Como as condições de conforto térmico são predominantes para a sensação de satisfação com o ambiente construído, torna-se necessário o estabelecimento de critérios e valores de referência para a correta avaliação do ambiente térmico que a edificação propicia. Com o intuito de quantificar as reações do organismo humano frente às variações térmicas do ambiente, buscou-se a estruturação de índices e/ou sistemas de avaliação que expressassem esta relação de causa e efeito.

O Índice de conforto é um parâmetro que representa o efeito combinado das principais variáveis intervenientes. Através dele é possível avaliar a situação de conforto térmico de um ambiente, bem como obter subsídios para melhor adequá-lo às necessidades humanas.

A aplicação destes índices permite que estabeleçam-se zonas de conforto térmico delimitadas graficamente sobre nomogramas ou cartas e diagramas que limitam os parâmetros físicos e as definem. As cartas bioclimáticas, por sua vez, são elaboradas a partir das zonas de conforto térmico e proporcionam de maneira integrada informações sobre comportamento climático do entorno e previsão de estratégias para a correção desse comportamento quando fora da zona correspondente ao conforto térmico.

Bogo et al. (1994) analisaram as aplicações de diversas cartas bioclimáticas e concluíram que a de Givoni, revista em 1992, era a mais adequada para países em desenvolvimento, como o Brasil (Figura 2). Baseados nesta conclusão, Lamberts, Dutra e Pereira (1997) empregaram-na nos estudos sobre eficiência energética e, especialmente, no programa computacional ANALISYSBIO 3.0, que permite, a partir de dados climáticos locais, a construção de cartas bioclimáticas com as estratégias passivas e ativas recomendadas aos projetos de arquitetura.

Na carta de Givoni (1992), as condições climáticas são representadas, mês a mês, por dois pontos, cujas coordenadas são as médias mensais dos valores extremos de temperatura e umidade diária do ar externo, o que não impede que sejam plotadas condições climáticas com a periodicidade que desejar-se. A carta serve para averiguar a exigência humana e o rigor do clima local, bem como a contribuição das soluções arquitetônicas (IZARD & GUYOT, 1983).

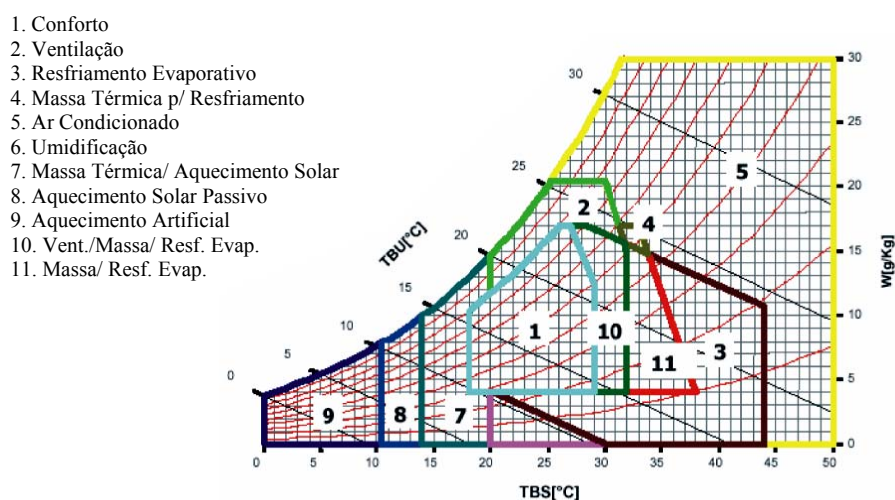


FIGURA 2 – Carta Bioclimática de Baruch Givoni adotada para o Brasil

Fonte: Disponível em:

http://www.usp.br/faudisciplinaspaginasarquivosaut_0264_aula3_arquitetura_clima.pdf

As cartas bioclimáticas facilitam as análises das características climáticas de um clima local conhecido sob o ponto de vista do conforto humano especificando diretrizes de projeto para maximizar o conforto no interior de edifícios não condicionados mecanicamente. As opções gerais apresentadas para as estratégias são: ventilação durante o dia, inércia térmica com ou sem ventilação, resfriamento evaporativo direto e resfriamento evaporativo indireto.

O aperfeiçoamento nesse campo do conhecimento evoluiu sensivelmente a partir dos estudos realizados por Fanger em 1970, que propôs uma equação geral de conforto térmico, com a finalidade de estimar o efeito da combinação das diversas variáveis ambientais, como: temperatura do ar, umidade relativa, temperatura radiante média, velocidade do ar, nível de atividade física e características da vestimenta (FANGER, 1970).

Sua formulação resultou na definição de um índice conhecido e amplamente aceito, denominado Voto Médio Estimado (PMV – Predicted Mean Vote), que analisa a sensação térmica subjetiva dos indivíduos (Figura 3).

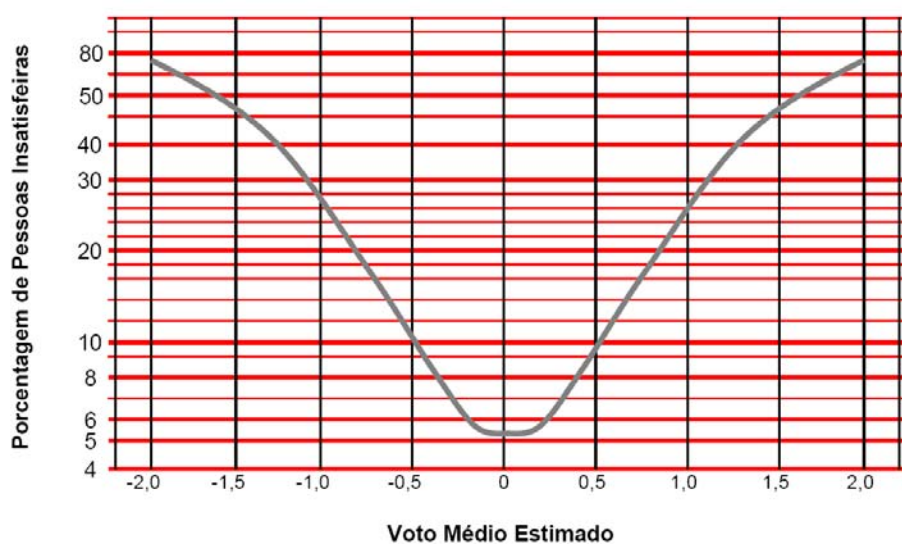


FIGURA 3 – Diagrama PMV/PPD – Fanger
Fonte: FANGER, 1970

Fanger usou dados obtidos em experiências de laboratório, com mais de 1300 pessoas, para estabelecer uma equação que permite, a partir do conhecimento das variáveis ambientais e pessoais, estimar a sensação térmica média de um grupo de

peças quando exposto a uma determinada combinação dessas variáveis. O PMV é dado na seguinte escala de sensações térmicas:

- + 3 – muito calor
- + 2 – calor
- + 1 – leve calor
- 0 – conforto
- 1 – leve frio
- 2 - frio
- 3 - muito frio

A fim de conhecer a quantidade de pessoas termicamente descontentes com um ambiente, Fanger relacionou o valor do PMV com a porcentagem estimada de insatisfeitos (PPD - Predicted percentage dissatisfied).

Em 1981, as conclusões de FANGER foram incorporadas à carta de conforto da norma ASHRAE 55-1981, revisada em 1992 (ASHRAE, 1992). Em continuidade, as normas ISO-7730 em 1984, também incorporaram as conclusões de suas pesquisas e recomendam que, para conforto nos espaços de ocupação humana, o PPD deve ser menor que 10%, o que corresponde a uma faixa de variação do PMV de -0,5 a +0,5 (ISO, 1994).

2.3.5.1. Estratégias Bioclimáticas – Normativas

Com o concurso de diversos profissionais foi desenvolvida no âmbito da ABNT e do Comitê Brasileiro da Construção Civil a proposta de Norma para Desempenho Térmico das Edificações.

Essa proposta foi desenvolvida como uma atividade da Comissão de Estudos de Desempenho Térmico de Edificações e contou especialmente com o apoio profissional e de pesquisas realizadas por diversas instituições, destacando-se as contribuições da Universidade Federal de Santa Catarina, dentre diversas outras.

A estrutura da norma proposta é bastante abrangente e busca não encerrar os procedimentos para a criação de uma regulamentação de caráter nacional ou mesmo de regulamentações específicas para estados e/ou regiões. Os tópicos desenvolvidos

abrangem os seguintes aspectos que por si só, explicitam o caráter da propositura em seu conteúdo referencial:

- a. Definição de símbolos e unidades;
- b. Cálculo da transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar de elementos e componentes da edificação;
- c. Procedimento para o tratamento de dados climáticos;
- d. Zoneamento bioclimático brasileiro;
- e. Metodologia para avaliação de desempenho térmico em edificações residenciais.

A norma NBR 15220-3/2005 possui um conjunto de tópicos apresentados como indispensáveis para o início de um processo de elaboração da regulamentação nacional (ABNT, 2005).

2.3.5.2. Estratégias Bioclimáticas para Cuiabá

O zoneamento bioclimático brasileiro compreende oito diferentes zonas. Para a formulação das diretrizes construtivas - para cada Zona Bioclimática Brasileira - e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo, foram considerados os parâmetros e condições de contorno apresentados a seguir:

- a) Tamanho das aberturas para ventilação;
- b) Proteção das aberturas;
- c) Vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura); e
- d) Estratégias de condicionamento térmico passivo.

De acordo com as resoluções deste zoneamento, Cuiabá encontra-se na Zona Bioclimática Brasileira número 7. A norma NBR 15220-3/2005, estabelece as seguintes estratégias de condicionamento térmico passivo para esta zona:

- a) Ventilação Higiênica:

As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.

- b) Massa térmica para resfriamento:

Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que a energia térmica armazenado em seu interior durante o dia seja devolvida ao exterior durante a noite quando as temperaturas externas diminuam.

c) Ventilação Cruzada:

A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois este pode alterar significativamente a direção dos ventos.

d) Roupas leves e resfriamento artificial:

Para melhorar as sensações térmicas com relação às condições de desempenho térmico da edificação durante o período mais quente do ano será necessário o uso de roupas leves. O uso de resfriamento artificial também poderá amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.

A necessidade de tais estratégias também pode ser verificada quando analisa-se a carta bioclimática com os dados das normais climáticas de Cuiabá, gerado pelo programa Analysis BIO 2, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (Figura 4).

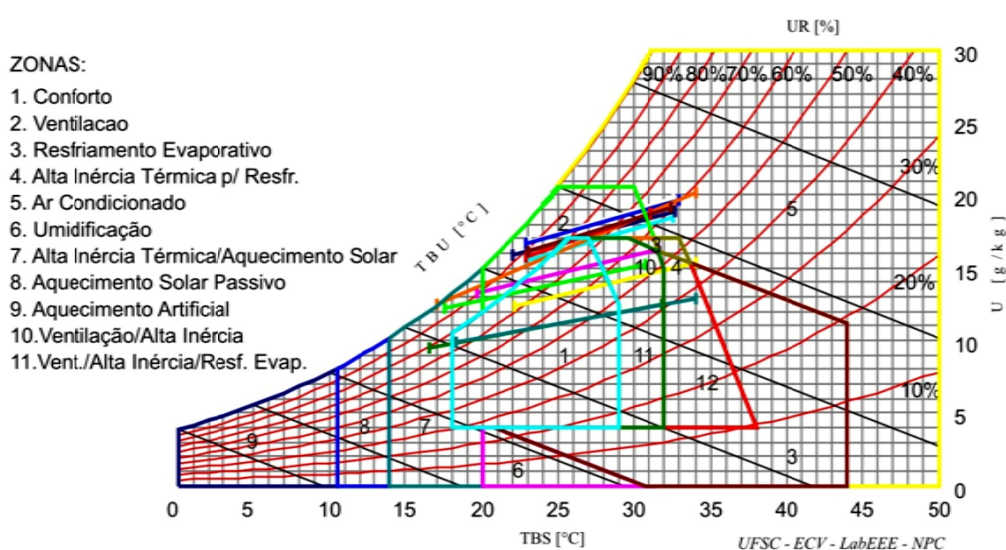


FIGURA 4 – Carta Bioclimática com as Normais Climáticas de Cuiabá
Fonte – Software Analysis BIO 2

Os aspectos da cobertura (no nível dos elementos construtivos) merecem, por sua importância no controle bioclimático em regiões tropicais, considerações preliminares à listagem dos princípios de desenho para os diferentes tipos de clima brasileiros.

Em regiões tropicais, onde a latitude é baixa a incidência de radiação sobre as coberturas é considerável. Dos elementos envoltórios, o telhado é, com certeza, o mais importante elemento para efeito do “controle térmico” (BARBOSA, 1997).

2.3.6. Coberturas – Massa Térmica para Resfriamento

Quase todos os estudiosos das técnicas de adequação climática e conforto ambiental das edificações indicam esta estratégia como um dos principais mecanismos responsáveis pelo controle dos intercâmbios térmicos pela envoltória. Normalmente associada à estratégia de ventilação, em todas as estações do ano, pode ser quantificada em função da capacidade térmica (C) do material utilizado.

A Inércia Térmica é responsável pelo retardamento da transferência de energia térmica externa para dentro da edificação (e vice-versa), pois utiliza grande parte desta energia para aquecimento da própria massa de sua envoltória, mantendo o ambiente interno com a temperatura menores durante o dia. À noite, a energia térmica armazenada na massa transfere-se por reirradiação, tanto para o ambiente externo quanto para o interno. Internamente a temperatura eleva-se à noite, mas nunca atinge o valor máximo externo, diminuindo, desta forma, a amplitude térmica interna.

O atraso térmico é o tempo que leva uma diferença térmica ocorrida em um dos meios a manifestar-se na superfície oposta (RIVERO, 1986). O atraso depende de parâmetros que fazem parte do processo de transmissão de energia térmica em regime variável, como a condutividade térmica (λ), o calor específico, a densidade absoluta, e espessura.

A capacidade de amortecimento, outra característica vinculada à inércia térmica da edificação, é a propriedade da envolvente de diminuir a amplitude das variações térmicas diárias.

Tanto o atraso térmico como o amortecimento térmico são importantes para a caracterização do comportamento da edificação, ambos dependentes da capacidade de o material armazenar energia térmica. A diferença de capacidade de armazenar energia, por sua vez, é mais diretamente revelada pelo que denomina-se capacidade calorífica volumétrica, que é o produto da densidade pelo calor específico do material (RIVERO, 1986).

O uso da inércia térmica aumenta o atraso e diminui os picos de temperatura (Figura 5). O fato de armazenar energia faz com que a estrutura de uma edificação, principalmente paredes e coberturas, funcione como um dissipador de calor, neste sentido a inércia térmica é identificada como a capacidade que uma edificação tem de armazenar energia térmica. Uma edificação com pouca inércia térmica normalmente, segue muito proximamente a variação de temperatura externa. Com uma inércia infinita manteria uma temperatura interna constante. A necessidade de grande inércia aumenta quanto maior for a variação da temperatura externa, radiação solar ou ganhos térmicos.

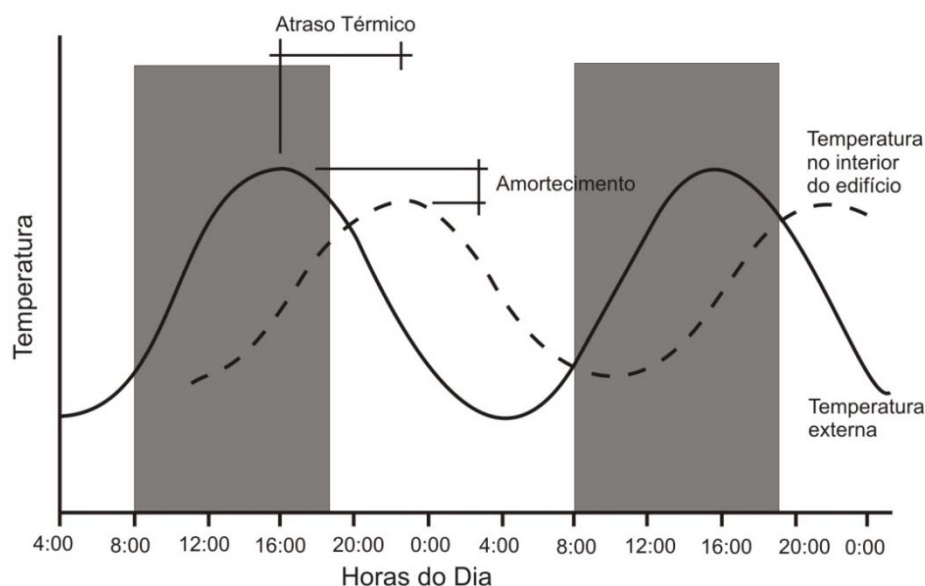


FIGURA 5 – Transferência de energia térmica através dos fechamentos dos edifícios, amortecimento e atraso térmico

Fonte: US DOE Energy Efficiency and Renewable Energy

A condição mais indicada para a utilização desta estratégia decorre da adequada escolha do material a ser utilizado na envoltória da edificação, e mais diretamente de sua massa, de maneira que responda as exigências de resfriamento e

aquecimento, próprias ao clima da região em questão. Em locais onde ganhos ou perdas de energia térmica podem ser desejáveis, durante todo o ano, porém em períodos diferentes, a inércia térmica terá papéis distintos nos períodos frios e quentes do ano.

O uso da inércia tem efeitos positivos tanto no verão como no inverno. No inverno, o ganho solar durante o dia é armazenado e transferido para o interior no período noturno, quando é necessário o aquecimento. No verão, a energia armazenada reduz o pico das cargas de resfriamento, como o calor é liberado com um tempo de atraso, há uma modificação no ciclo diário de temperaturas, que passam a apresentar valores máximos e mínimos menores que os externos, com períodos também não mais coincidentes com as máximas e mínimas externas.

2.4. COBERTURA VERDE

Segundo Ashrae (1992) a ocorrência de uma não uniformidade térmica no ar em contato com o corpo humano causa desconforto local e reduzir a aceitabilidade térmica do espaço. Em geral, as pessoas são mais sensíveis à assimetria causada por um teto quente do que a causada por superfícies verticais frias ou quentes (Figura 6).

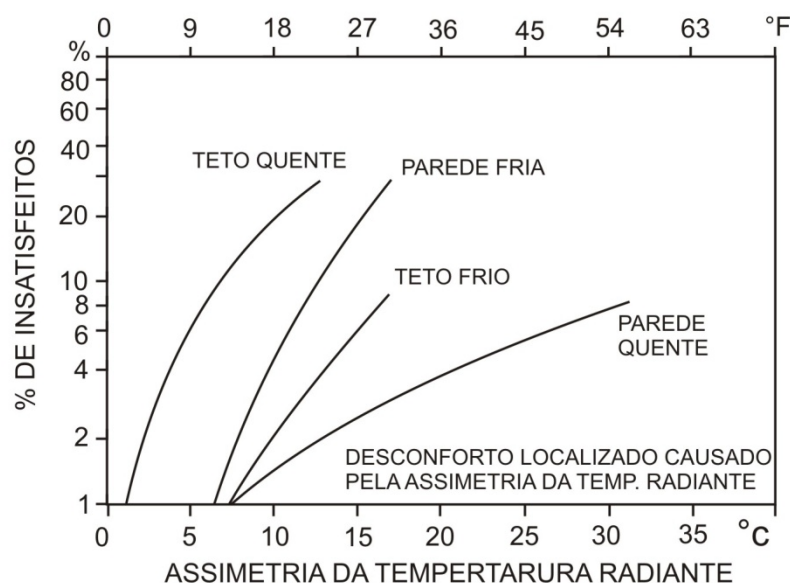


FIGURA 6 – Desconforto térmico pela assimetria da temperatura radiante
Fonte: ASHRAE, 1992

As discussões até agora desenvolvidas levantaram a necessidade de instituir-se uma maior inércia térmica nas coberturas das construções desenvolvidas na cidade de Cuiabá, de forma a garantir um melhor desempenho térmico do ambiente construído.

Historicamente as coberturas verdes são conhecidas em várias regiões no mundo, assim como a eficiência do isolamento térmico da atuação conjunta de solo e vegetação, ajudando a reter energia térmica no interior do edifício em climas frios e, em climas quentes, impedindo a sua penetração (PECK et al., 1999).

Nas discussões desenvolvidas a seguir serão apresentados os conceitos relacionados à cobertura vegetada, além da evolução histórica de sua utilização no mundo. Também poderão ser identificados os benefícios produzidos pela instituição da cobertura vegetada na envoltória do edifício, através da apresentação de estudos desenvolvidos sobre este tema em diversas localidades do mundo.

2.4.1. Conceitos Gerais

Brownlie (1990) descreve um telhado jardim como **“uma área de plantações ornamentais geralmente com um substrato natural, isolado do solo por uma estrutura feita pelo homem, de pelo menos uma andar”**. Grant et al. (2003) sugere que o conceito de “edifício integrado a vegetação” deve ser utilizada quando a vegetação é deliberadamente plantada, semeada ou incentivada a estabelecer-se em edifícios, quer nas paredes ou no telhado.

O termo "telhado verde" é geralmente usado para representar uma abordagem ainda inovadora estabelecida à concepção urbana, que usa estratégias para tornar o ambiente urbano mais habitável, eficiente e sustentável. Outros termos comuns usados para descrever esta abordagem são eco telhados e coberturas vegetadas. A Tecnologia do Telhado Verde (GRT - Green Roof Technology) é o sistema que é utilizado para implementar telhados verdes em um edifício.

Os telhados verdes são construídos utilizando componentes que:

- a. Têm a força para suportar o peso adicional;
- b. Selo do telhado contra penetração de água, vapor de água, e raízes;

- c. Umidade suficiente para manter as plantas vivas durante períodos de baixa precipitação, ainda são capazes de drenar, quando necessário, o excesso de umidade;
- d. Fornecer solo como substrato material para apoiar as plantas;
- e. Manter uma cobertura vegetal sustentável, adequado para a região climática;
- f. Oferecer uma série de benefícios hidrológicos, atmosféricos, térmicos e sociais para a construção, as pessoas e o meio ambiente;
- g. Proteger os componentes subjacentes contra os raios ultravioleta e a degradação térmica.

O sistema de coberturas verdes consiste na sobreposição de diversas camadas sobre uma superfície estrutural, que de modo geral incluem: membrana a prova de água (impermeabilização), sistema de drenagem, substrato (meio de crescimento das vegetações) e plantas (Figura 7).

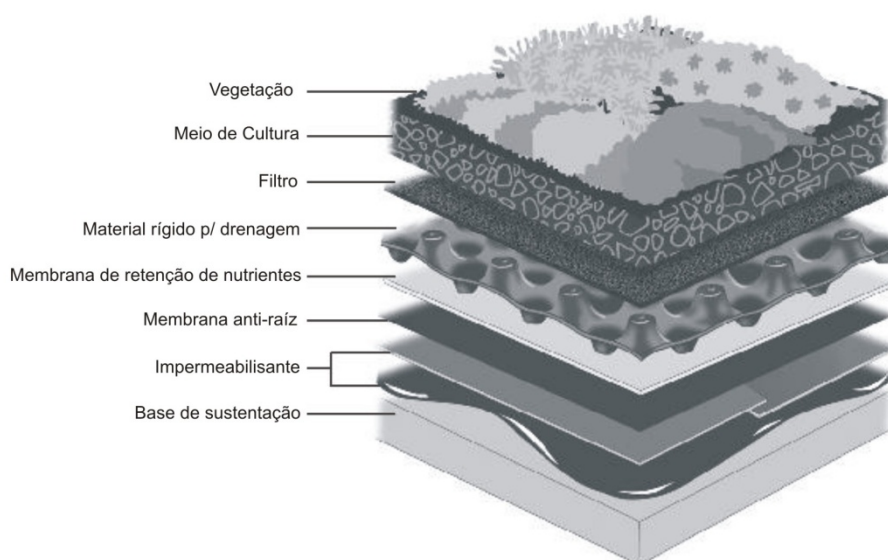


FIGURA 7 – Ilustração dos componentes de um telhado verde tradicional

Fonte: PROWELL, 2006

As coberturas verdes com baixa espessura de substrato, ou seja, leves, são denominadas pela literatura como “coberturas verdes extensivas”. Já as coberturas com grande espessura de substrato são denominadas “coberturas verdes intensivas” (ROSENZWEIG et al., 2006).

As coberturas intensivas (Figura 8) possuem substrato com no mínimo 0,30m de profundidade, necessitam de manutenções periódicas como irrigação, podas e fertilização. Proporcionam suporte a diversas espécies de vegetações, que vão desde gramíneas e arbustos, até plantas arbóreas (CONNELLY & LIU, 2005). Como resultado da diversidade vegetal e das diferentes profundidades dos solos que as coberturas verdes intensivas suportam, faz-se necessário um cálculo específico para sua estrutura (DUNNEST & KINGSBURY, 2003).



FIGURA 8 – Cobertura verde intensiva - Millenium Park (Chicago - EUA)
Fonte: PHOTO GALLERY, 2007

Os sistemas extensivos (Figura 9) de coberturas requerem menor manutenção, pois geralmente, utilizam espécies vegetais tolerantes às condições ambientais adversas e dependendo da construção podem ser instalados em edificações sem alterações estruturais (CONNELLY, 2005). Em relação ao solo, costuma-se fazer uma mistura diversificada no substrato, com material orgânico, terra, areia, pedras e, também, é realizada uma fertilização até as plantas estabilizarem-se. O peso do solo saturado de água varia entre 73kg/m² a 170kg/m², com sua profundidade alterando entre 0,5m e 0,15m (PECK & KUHN, 2006).



FIGURA 9 – Coberturas verdes extensivas (Austrália)

Fonte: WILSON, 2007

Para Johnston e Newton (2004), as coberturas verdes intensivas tradicionais possuem em sua estrutura básica algumas características como solos profundos, sistema de irrigação e condições bem favoráveis para o crescimento das plantas. As coberturas verdes extensivas possuem em geral solos rasos, pouca ou nenhuma manutenção e condições satisfatórias para o desenvolvimento das plantas.

2.4.2. Sistema Construtivo

Existe uma extensa disposição de tecnologias e soluções projetuais em relação às construções das coberturas verdes. Algumas dessas informações foram desenvolvidas por instituições privadas, no entanto atualmente, instituições públicas e universidades também estão conduzindo pesquisas na área, que apresentam importantes informações sobre este sistema construtivo. Os estudos são em relação às plantas e substratos utilizados, bem como sobre o comportamento das coberturas verdes nas várias escalas de abordagem (KANE, 2004).

A maioria das coberturas verdes possui um ordenamento dos componentes construtivos de forma similar. O design destes componentes depende do propósito da cobertura, bem como da capacidade estrutural da edificação (GETTER & ROWE, 2006). Partindo da vegetação, tem-se na sequência o substrato, o filtro, o sistema de drenagem e, por fim, a impermeabilização em cima da laje ou qualquer outra superfície de apoio (OBERLANDER et al., 2002).

Wong (2006), especifica a relação e a função de cada componente do sistema construtivo das coberturas verdes. De acordo com Velazquez (2005), outras camadas e elementos opcionais também podem ser intercalados entre estes componentes.

2.4.2.1. Vegetação

A escolha de coberturas verdes com baixo peso próprio caracteriza-se por raras manutenções periódicas, tais como irrigações e podas, o que restringe a uma escala muito pequena de vegetações que possam ser utilizadas. As plantas devem ser escolhidas para que cresçam e prosperem em condições particulares, em relação aos lugares que estão inseridas e, também, para atrair a fauna da região local. Espécies nativas requerem menor manutenção e são mais aptas a fornecer o habitat necessário para animais locais (JOHNSTON & NEWTON, 2004).

As condições da cobertura são desafiadoras para a sobrevivência e o crescimento das plantas. Menor umidade, temperaturas extremas, altas intensidades de luz, ventos de alta velocidade aumentam o risco de desidratação e danos físicos para a vegetação e substrato (DUNNETT & KINGSBURY, 2004).

Plantas adequadas para instalação em telhados verdes extensivos devem possuir adaptações que lhes permitam sobreviver em condições adversas. Segundo Grime (2001) estas plantas, tolerantes ao estresse, têm características, incluindo o baixo crescimento, folhagem sempre verdes, crescimento em ramos, e ainda estratégias de tolerância a seca como folhas suculentas, capazes de armazenar água, ou ainda o metabolismo CAM (metabolismo ácido das crassuláceas) (MEDINA, 1987).

As condições climáticas, principalmente precipitação e temperaturas extremas, podem restringir a utilização de determinadas espécies ou ditar o uso da irrigação. Plantas nativas são geralmente consideradas escolhas ideais para paisagens devido à sua adaptação ao clima local. Além disso, as políticas para a biodiversidade e a conservação da natureza podem favorecer o estabelecimento de elementos locais e representativos das comunidades vegetais. Infelizmente, muitas plantas nativas parecem ser inadequadas para os telhados verdes extensivos por causa dos sistemas de coberturas, sujeitas a duras condições ambientais e profundidades rasas do substrato. Num estudo realizado em Michigan State University, apenas 4 dos 18

espécies perenes nativas originais da pradaria que crescem em 10 cm de substrato persistiram após três anos. Em comparação, todas as 9 espécies de Sedum utilizadas no estudo prosperaram (MONTERUSSO et al., 2005).

Em relação às pesquisas sobre vegetações em coberturas, os autores do livro *Green Roofs Plants - A Resource and Planting Guide*, declaram que mesmo atualmente, não tem-se estabelecido uma lista padrão de plantas recomendadas para utilização em coberturas verdes. Mesmo com muitas décadas de estudos desenvolvidos, em diversos países da Europa, é fundamental que cada localidade construa sua própria experiência baseando-se nas condições peculiares em que encontram-se (DUNNETT, 2007).

De acordo com estudos realizados para avaliar as variáveis que influenciam no comportamento térmico das coberturas verdes, analisou-se que um dos principais parâmetros em relação às vegetações está relacionado à densidade das folhagens. Quanto mais densa, maior a evapotranspiração e o sombreamento (devido a uma menor incidência da radiação solar na superfície do substrato). Já a altura das folhagens, somente, não é relevante, seu comportamento é significativo em conjunto com folhas mais densas (THEODOSIOU, 2003).

2.4.2.2. Substrato

Conforme Liu e Baskaran (2003), o substrato serve de suporte para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Sua composição e espessura dependem da vegetação selecionada e podem variar de 0,05m, até um pouco mais do que 1,00m de altura (THEODOSIOU, 2003).

A estrutura da edificação tem que suportar o peso do solo saturado de água, no entanto, para atenuar a carga estrutural nas edificações, existem os substratos com formações mais leves (LIU & BASKARAN, 2003).

A composição dos solos caracteriza-se, também, pela porosidade e com a distinção de três fases: sólida (minerais e matérias orgânicas), líquida (água) e gasosa (ar e vapor de água). Qualitativamente, pode-se dizer que, no solo insaturado, a energia térmica é transportada por essas três fases. Os respectivos mecanismos são: condução nas fases sólidas e líquidas, convecção em fases líquidas e gasosas e transferência de calor latente por difusão de vapor nos poros. A energia térmica

transferida, sempre depende da quantidade de água e da temperatura do ar, o que leva a uma dependência mútua e contínua na redistribuição de energia e umidade. A espessura da camada, sua densidade e seu índice de umidade determinam as difusões térmicas do solo, que aumentam com a densidade e diminuem com o índice de umidade (DEL BARRIO, 1998).

2.4.2.3. Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem tem como princípio dirigir e armazenar parte do fluxo de água pluvial excedente (MINKE, 2003). O que não foi absorvido pelo substrato, usado pelas plantas ou armazenado em cisternas, deve ser efetivamente drenado do sistema de cobertura verde. Falhas no sistema de drenagem proporcionam o apodrecimento das raízes, além de conferir mais peso à cobertura. Um típico sistema de drenagem apresenta: filtro (para prevenir erosões do substrato e não obstruir o sistema de drenagem), drenos, uma calha e por fim, um canal para escoamento da água (DALEY, 2006).

A camada drenante cobre toda a superfície da cobertura e pode constituir-se de sistemas pré-fabricados, como mantas de baixo peso, que direcionam bem o fluxo da água das chuvas, além de já possuírem filtros, feitos de não-tecidos, em sua estrutura (OBERLANDER et al., 2002).

2.4.2.4. Impermeabilização e Membrana Anti-Raiz

A camada mais importante e dispendiosa de uma cobertura verde é a impermeabilização, pois previne as coberturas da infiltração das águas pluviais e da perfuração por raízes de plantas. Há uma grande diversidade de membranas a prova de água comercialmente disponíveis, variando entre as pesadas mantas de desenrolar e os produtos líquidos de fácil aplicação (MARTIN, 2005).

Segundo Minke (2003), pesquisas sobre impermeabilização em coberturas verdes realizadas com betume comprovam que é indispensável uma camada adicional, para proteção contra perfuração por raízes. Ressalta-se que a membrana de impermeabilização foi atravessada por raízes de distintas plantas, devido a alguns

microrganismos que vivem em suas extremidades terem propriedades para dissolver materiais betuminosos.

2.4.2.5. Suporte Estrutural

Antes de projetar e construir um jardim na cobertura de edificações existentes, um profissional da área deve ser solicitado para realizar a análise estrutural. Assim, determina-se o tipo de cobertura verde que poderá ser construída. No entanto, novos edifícios podem ser projetados com capacidade estrutural adequada para implementação de qualquer forma de ajardinamento nas superfícies das coberturas (DALEY, 2006).

Para o dimensionamento estrutural da cobertura verde devem-se levar em conta alguns fatores como: cargas permanentes, peso total da cobertura, substrato em estado de saturação de água e, também, o peso da vegetação. Outro fator importante é não ultrapassar o valor admissível das cargas concentradas, seja por transportes de pesos ou por armazenagem de materiais sobre a cobertura, no período de construção (MINKE, 2003).

2.4.3. Desenvolvimento Histórico da Tecnologia do Telhado Verde

De acordo com Osmundson (1999), embora não haja registros precisos do seu aparecimento, evidências de jardins sobre terraços são encontradas desde as antigas civilizações que floresceram nos vales dos rios Tigre e Eufrates.

A origem das coberturas verdes contemporâneas, entretanto, está na Islândia, de onde gradativamente disseminou-se por toda a Escandinávia, alcançando posteriormente o restante da Europa e, de lá, as pradarias da América do Norte colonial, no século XIX. Na Alemanha, neste período, as coberturas dos prédios de apartamentos de baixo custo recebiam uma camada de areia, cascalho e torrões de grama como proteção contra incêndios, resguardando as áreas próximas às saídas das chaminés. Tais coberturas foram naturalmente ocupadas por outros tipos de plantas e tornaram-se precursoras da redescoberta das Coberturas Verdes (WELLS & GRANT, 2004). Já no século XX, o Movimento Modernista na arquitetura foi

decisivo para a disseminação da idéia, quando em 1923, Le Corbusier incluiu o toit-jardin nos cinco pontos da Nova Arquitetura.

Na década de 1970, a crescente preocupação ambiental, especialmente nas zonas urbanas, criou oportunidades para a introdução progressiva do pensamento ambiental na política e tecnologia da Alemanha. A tecnologia do telhado verde foi rapidamente abraçada por causa de sua ampla gama de benefícios ambientais e investigações interdisciplinares levaram a orientações técnicas, o primeiro volume foi publicado em 1982 pela Landscape, Research, Development and Construction Society (FLL, 2002). Muitas cidades alemãs já introduziram programas de incentivo para promover a tecnologia do telhado verde e melhorar as normas ambientais.

As leis construtivas exigem agora a construção de telhados verdes em muitos centros urbano. Tais subjacentes jurídicos da construção do telhado verde tiveram um efeito importante sobre a aplicação generalizada e sucesso da tecnologia do telhado verde em toda a Alemanha. Considera-se que a cobertura verde aumenta na Alemanha cerca de 13,5 milhões de metros quadrados (m²) por ano (KÖHLER & KEELEY, 2005).

Os remanescentes das antigas coberturas verdes dos apartamentos do séc. XIX perduram até hoje, e novamente atuaram como protótipos, desta vez para o início do movimento alemão de coberturas verdes. As questões ambientais prementes levaram as administrações públicas, especialmente na Alemanha, Canadá e EUA, a enfrentar os problemas urbanos atuando em várias frentes, não somente na macro escala, mas também na edificação. O edifício verde tornou-se um assunto ambientalmente importante no final do século XX e a técnica de coberturas verdes associada ao planejamento urbano difundiu-se na Europa, notadamente na Alemanha, Suíça e Áustria, principalmente devido ao seu impacto ambiental positivo (ROHRBACH, 2004).

De acordo com Vilela (2005), a cobertura verde vem, recentemente, conquistando adeptos na América Latina, tendo no México um grande interesse e aceitação. No Brasil o interesse ainda é relativamente pequeno, com uma maior difusão no Rio Grande do Sul, onde encontram-se algumas empresas especializadas na aplicação e construção de coberturas verdes. Esta maior difusão pode ser

decorrente da influência da imigração alemã ou pelos aspectos positivos na regulação da temperatura interna das residências.

Um levantamento preliminar, junto a um número indeterminado de profissionais de Arquitetura e Engenharia atuantes na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), revelou significativo desconhecimento em relação às Coberturas Verdes (NASCIMENTO & SCHMIDT, 2008). O estudo identificou que, dentre as barreiras para a difusão desta tecnologia, 27% estava relacionado a dificuldade em instituir mudanças nos hábitos culturais da população em geral, 28% relacionou-se com a falta de formação técnica dos projetistas e construtores, 15% identificou a falta de pesquisas na área e 10% apontou a necessidade de incentivos governamentais. Este último item foi elemento chave para o desenvolvimento da moderna tecnologia das coberturas verdes na Alemanha desde a década de 1970 e no século XXI no Canadá e EUA (PECK & CALAGHAN, 1999; KÖEHLER, 2003; INGLEBY, 2002).

2.4.4. Efeitos da Cobertura Verde no Ecossistema Urbano

2.4.4.1. Orçamento Energético dos Edifícios

Em algumas das primeiras pesquisas relatadas na área, as medições realizadas em Berlim, em 1984, revelaram não apenas uma redução na temperatura superficial da cobertura, mas também uma redução pela metade da amplitude térmica devido à instalação do telhado verde (KÖHLER et al., 2002).

Akbari et al. (1999, 2001) investigaram formas de redução da energia do edifício, em cidades de latitudes médias, como um dos vários meios para a redução da ilha de calor urbano (UHI) e documentaram o incremento, provocado pela UHI, nas exigências de ar condicionado (até 10%). Esta elevada carga ocorre geralmente no final da tarde, correspondente ao pico de utilização de carga elétrica no Verão. Akbari também demonstrou que durante a tarde, a carga elétrica utilizada para o sul da Califórnia aumentava mais de 2% por grau Celsius de elevação na temperatura do ar. Também digno de nota, foi a determinação que a concentração de ozônio na bacia de Los Angeles foi positivamente correlacionada com a temperatura do ar, aumentando a uma taxa de 5% por grau Celsius (AKBARI et al., 1990; SAILOR, 1995). Ao desenvolver coberturas mais frescas, os projetistas podem reduzir a

quantidade de energia solar absorvida e, conseqüentemente, reduzir a quantidade de condução de energia térmica em edifícios. Isto reduz o consumo líquido diurno de energia e a procura por ar condicionado (AKBARI & KONOPACKI, 2004; AKBARI et al., 2001).

Del Barrio (1998) explorou o comportamento térmico dos telhados verdes através da análise matemática. A principal conclusão deste estudo é que os telhados verdes atuam efetivamente como isolantes térmicos. Também realizou cálculos para examinar o comportamento térmico de um telhado vegetado e concluiu que telhados verdes podem contribuir para o comportamento térmico dos edifícios. Este estudo revelou ainda que, do total da radiação solar absorvida pelo telhado vegetado, 27% é refletido, enquanto as plantas e os solos absorvem 60%, e 13% é transmitido para o solo.

Em um experimento realizado por Vecchia et al. (2006), comparando a temperatura interna de módulos construtivos cobertos com diferentes telhados, temos que em um dia de temperatura externa de 34,0°C, a temperatura máxima no interior do módulo de cobertura verde foi de 28,8°C, bem menor do que as encontradas para as demais coberturas: telha cerâmica 30,4°C, aço galvanizado 45°C, telha de fibro cimento 31,0°C e laje de concreto 34,7°C, evidenciando a eficiência de isolamento térmico deste tipo de cobertura.

Evidentemente, com um telhado verde o isolamento ocorre tanto na planta quanto nas camadas dos substratos (EUMORFOPOULU, 1998). Patterson (1998) também mostrou que os telhados verdes impedem o surgimento de temperaturas extremas na superfície da cobertura e o isolamento do solo sobre a estrutura reduziu os custos energéticos com refrigeração.

Niachou et al. (2001) realizou uma medição da temperatura superficial e da temperatura do ar em um espaço coberto por telhado verde. O trabalho foi ainda complementado por uma abordagem matemática através da qual as propriedades térmicas dos telhados verdes e a redução no consumo energético foram determinadas. Estudos desenvolvidos por Wong et al. (2003) e Kohler et al. (2002), têm demonstrado que, sob um telhado verde, foram encontradas temperaturas internas de 3 a 4°C inferiores as temperaturas externas.

Alcazar e Bass (2005) verificaram que a instalação de um telhado verde em Madrid resultou na redução de 1% a 0,5% do consumo total de energia em períodos no qual o aquecimento mostrava-se necessário. Quando consideraram os períodos com necessidade de resfriamento a redução do consumo energético foi de 6%.

2.4.4.2. Ilhas de Calor Urbanas

O ar nas zonas de alto adensamento urbano é normalmente mais quente do que nas zonas menos desenvolvidas. Este conceito tem sido reconhecido em publicações desde o início da Revolução Industrial (MITCHEL, 1969, apud LANDSBERG, 1981)⁴.

Ao longo dos anos, a preocupação com os efeitos catastróficos sobre a saúde humana levou ao desenvolvimento de estratégias para reduzir o efeito ilha de calor urbana. Estas estratégias têm incluído a redução das emissões térmicas das superfícies, expandindo os espaços com vegetação, mais recentemente, a implementação de telhados frescos (AKBARI et al., 1999; 2001; 2003) e telhados verdes (KOHLENER et al., 2002, WONG et al., 2003a, 2003b; BASS et al., 2002).

Os efeitos climáticos da urbanização mais frequentemente observados e documentados são o aumento da temperatura das superfícies e das temperaturas do ar sobre a área urbana, em comparação com a envolvente rural. Oke (1995) define simplesmente uma ilha de calor urbana (UHI), como a "característica térmica", de uma vila ou cidade. Esse calor humano é uma consequência da alteração das propriedades da superfície e da atmosfera que acompanham o desenvolvimento urbano. Este fenómeno recebe a denominação de "ilha" devido aos padrões isotérmicos da temperatura do ar próximo da superfície que assemelham-se aos contornos de uma ilha, destacando-se diante das condições mais frescas do entorno circundante.

Através de uma melhor compreensão das causas gerais e problemas associados à ilha de calor urbano, estratégias específicas, para reverter o efeito, foram ganhando aceitação pelos municípios. Elas incluem modelos de exploração

⁴ MITCHEL, J. M. The temperature of cities. *Weatherwise*, v.14, n.6, 1969, p. 224-229, apud LANDSBERG, H.E. *The Urban Climate*. International Geophysics Series n.28, Academic Press, New York, 1981.

das fontes naturais de resfriamento do ar a partir da paisagem campestre e corpos d'água, a implantação de parques dentro da cidade, criação de estruturas para a implementação da circulação do ar no espaço urbano, e resfriamento evaporativo da vegetação ou outras fontes de água da cidade (LANDSBERG, 1981; CHANDLER, 1976).

Grimmond et al. (1986) observou que a evaporação da água na superfície das folhas mitiga as temperaturas do ar adjacente, devido à perda de calor latente. Esse fenômeno é denominado evapotranspiração, processo indireto que engloba dois processos biofísicos: a evaporação da água da superfície do solo e a transpiração, perda da água de uma vegetação viva em particular, pelas folhas, principalmente através dos numerosos estômatos, excluindo-se o fenômeno fisiológico como a duração e formação de orvalhos (JENSEN et al., 1991).

Projetos para reduzir o aquecimento das superfícies também são vistos como particularmente úteis para superar o efeito da ilha de calor urbana. Os benefícios dos programas de plantação de árvores em áreas metropolitanas foram significativos no resfriamento do ar, bem como na melhoria estética, e redução da contribuição dos gases do efeito de estufa (CO_2) (PARKER, 1982; LANDSBERG, 1981; OKE, 1987). No entanto, a reduzida quantidade de espaços disponíveis nas cidades, inibe a expansão de áreas florestais.

Os telhados verdes representam uma oportunidade de expandir o domínio das superfícies vegetadas substituindo as superfícies impermeáveis típicas das áreas urbanas, o que prevê uma redução no pico das temperaturas de verão da ilha de calor urbana.

Quantificar as atenuações ocorridas na UHI provou ser uma tarefa difícil (KOHLE, 2003). Bass et al. (2003) tentou modelar matematicamente o efeito de telhados verdes na UHI em Toronto.

Utilizando um modelo de escala média e os parâmetros das superfícies naturais e urbanas, baixos níveis das temperaturas do ar foram simulados para um período de 48 horas no mês de junho de 2001. A simulação considerou 50% das coberturas com telhado verde e mostrou uma redução de 1°C no nível de temperatura da cidade.

A simulação foi repetida com a adição de telhados verdes irrigados. A irrigação dos telhados verdes produziu um resfriamento de 2°C e seus efeitos estenderam-se sobre uma maior área geográfica.

2.4.4.3. Implicações no Manejo das Águas das Chuvas

O gerenciamento da água das chuvas em áreas densamente urbanizadas tem provado ser um desafio ao longo das últimas décadas. Proporcionar tratamento suficiente da quantidade e da qualidade da água, de forma a minimizar os impactos sobre os atributos físicos e biológicos dos recursos hídricos coletores, é um problema difícil de solucionar. Designar grandes áreas de terrenos valiosos para o tratamento e descarte da água das chuvas não é uma opção adequada, e tratar a quantidade de água de chuva gerada por essas áreas não pode ser realizado em pequenas parcelas.

Nestas áreas altamente urbanizadas, os telhados compreendem uma grande percentagem do total das superfícies impermeáveis e proporcionam oportunidades únicas para a gestão da água das chuvas. Os telhados vegetados, ou coberturas verdes, têm sido utilizados há décadas na Europa, para reduzir as enxurradas, os custos de energia e as ilhas de calor. Novas tecnologias de telhado verde estão constantemente sendo desenvolvidas e é necessário avaliar as reais capacidades desses novos produtos.

Estudos têm mostrado que telhados verdes diminuem significativamente a quantidade de enxurrada, armazenando grande parte do volume de precipitação, eliminando posteriormente a água absorvida através da evaporação e transpiração das plantas (BENGTSSON et al., 2005). Em casos de chuvas mais intensas os telhados verdes apresentaram um atraso no pico das enxurradas quando comparados a outras superfícies impermeáveis, diminuindo o efeito combinado do encontro dessas correntes d'água (BENGTSSON, 2005).

Um estudo, na Universidade da Geórgia, utilizou um telhado verde extensivo tradicional com 7,5 cm de espessura. Este estudo, realizado durante 13 meses, mostrou uma redução de 80% no volume total da enxurrada e um atraso médio de 18 minutos do instante de pico, quando comparado a uma cobertura convencional (CARTER & RASMUSSEN, 2005).

A redução do volume de enxurradas já é aceita como um benefício dos tradicionais telhados verdes extensivos, no entanto estes telhados apresentam limitações de projeto. Novos desenvolvimentos tecnológicos têm conduzido a projetos modulares que são muito mais versáteis. Estes módulos de telhado verde, embora mais propícios a uma utilização mais generalizada, não foram ainda avaliados quanto à sua capacidade absorver a água das chuvas.

Em um trabalho realizado em Atenas, Prowell (2006) monitorou o escoamento de água de alguns módulos de telhado verde extensivo para determinar sua eficácia na gestão da água das chuvas, como os telhados verdes tradicionais (Figura 10).



FIGURA 10 – Local de realização do monitoramento da retenção de água de módulos de telhado verde

Fonte: PROWELL, 2006

Os resultados mostraram que blocos de telhado verde modular são capazes de conservar com êxito a água das chuvas ocorridas durante o ano de estudo. Para a maioria dos pequenos eventos frequentes, não foi observado nenhum escoamento a partir do tratamento não-vegetado e do vegetado. Os resultados deste estudo foram comparados com um telhado verde extensivo tradicional localizado próximo ao experimento. Embora sejam necessários mais dados para avaliar corretamente as

diferenças de retenção, o telhado verde extensivo tradicional apresenta-se cerca de 20% mais eficiente na manutenção das águas da enxurrada (PROWELL, 2006).

Mesmo que os blocos telhado verde modular não tenham retido tanta água quanto o telhado verde extensivo tradicional, ele ainda serve como instrumento eficaz para reter e deter a água das enxurradas. Versatilidade é freqüentemente uma das mais importantes considerações quando investe-se em tecnologia, tais como telhados verdes. Blocos de telhado verde modular fornecem essa versatilidade e não requerem nenhuma complexidade na instalação (PROWELL, 2006).

2.4.4.4. Impactos na Qualidade do Ar

O declínio da qualidade do ar é um problema em curso nas cidades a nível mundial, e as soluções estão sendo propostas. Algumas têm sido postas em prática, desde iniciativas locais até acordos globais.

Nas cidades, há grande interesse em instrumentos de medição e de controle dos níveis de poluição do ar, desde contaminantes do ar, sendo eles maiores à medida que aumenta a densidade da atividade humana, incluindo a utilização de combustíveis fósseis, a presença da ilha de calor urbana e a ausência de controle biológico natural. Preocupações inter-regionais com respeito aos transportes e ao aquecimento global apenas servem para aumentar o problema, como a magnitude e a freqüência dos alertas de poluição e do aumento das ondas de calor no verão (MACIVER & URQUIZO, 1999). Evidências sugerem que os telhados verdes fornecem uma oportunidade para reduzir os níveis de poluição atmosférica local, diminuindo a ocorrência de temperaturas extremas no Verão, capturando partículas e gases atmosféricos.

Akbari et al. (2001) e Kats (2003) discutem o uso do resfriamento de telhados e das coberturas verdes, em termos de seu potencial efeito indireto de redução das emissões de CO₂ das centrais elétricas, devido a uma redução de demanda energética nos picos de verão.

Yok e Sia (2005), no seu relatório sobre um projeto-piloto de telhado verde em Singapura, registraram uma melhoria da qualidade do ar devido à redução do dióxido de enxofre em 37% e ácido nitroso em 21%.

Johnson e Newton (1996) estimam, em estudos de silvicultura urbana, que 2.000 m² de relva sobre um telhado poderiam remover até 4 kg de partículas do ar circundante por capturá-las em sua folhagem.

2.4.4.5. Melhorias do Espaço Verde

Alguns pesquisadores acreditam que a necessidade de um contato com a natureza pode ser tão importante para as pessoas quanto à necessidade de relações interpessoais (KAPLAN, 1993). Além disso, a ausência de um contacto com a natureza pode ser visto **"como um fator contribuinte para o aumento dos níveis de estresse e insatisfação geral dentro de nossa sociedade moderna"** (ZUBEVICH, 2004).

Muitos edifícios urbanos estão posicionados ao longo das ruas e rotas de transporte onde o acesso a espaços verdes é negligenciado. Telhados verdes fornecem um benefício psicológico mensurável para os urbanistas, acrescentando o acesso a espaços naturais para a interação social, recreação e relaxamento. Um edifício com telhado verde oferece aos seus ocupantes proximidade com espaços comuns onde pode-se descansar, jantar, meditar, fazer ioga, interagir com os amigos ou colegas de negócios, e aproveitar a proximidade com as plantas. Um estudo com inquilinos de um edifício, em Toronto, revelou que a construção valorizou o acesso ao telhado verde e seus ocupantes referem-se a ele como "um oásis na cidade" (COHNSTAEDT et al., 2003).

Do mesmo modo, uma investigação com estudantes de graduação, em Toronto, diz que uma visão do telhado verde **"proporciona equilíbrio mental e alívio"**, contra as pressões associadas com a densa vida urbana (BASS et al., 2004).

2.4.4.6. Preservação do Habitat

Muitos autores relatam que a adição de espaços verdes sob a forma de telhados verdes em ambientes urbanos densamente povoados oferece um habitat eco-reparador para a fauna urbana, até então deslocada. Telhados verdes fornecem alimentação, habitat, abrigo, oportunidades e um lugar seguro para o descanso de

aranhas, besouros, borboletas, pássaros e outros invertebrados (BRENNEISEN, 2003; GEDGE, 2003).

Na Europa e Chicago, telhados verdes estão sendo estudados de forma a verificar sua capacidade para proporcionar santuários viáveis para espécies raras e quase extintas. Estudos relatam que esta elevação em relação ao ecossistema urbano oferece proteção contra os predadores, contra o ruído do tráfego e a intervenção humana (FEDERAL TECHNOLOGY ALERT, 2004). Estudos revelam que borboletas podem acessar os espaços verdes localizados no vigésimo andar de um edifício (JOHNSTON & NEWTON, 1994).

2.4.4.7. Valorização do Imóvel

Entrevistas com os coordenadores sociais e ambientais do Mountain Equipment Co-op (MEC) de Toronto e do Grupo Imobiliário Urbanspace, revelaram que telhados verdes têm vindo para melhorar a estética e o valor de mercado do edifício (ROBINSON, 2005). Visitas ao evento anual Open Doors em Toronto - uma celebração pública da forma construtiva e da história dos edifícios da cidade – levaram os dois grupos, MEC e 401 Richmond Ltd a experimentar um telhado verde. O número de participantes deste evento do MEC passou de 500 em 2003 para 880 em 2004, e os primeiros pedidos foram para ver o telhado verde. Os inquilinos do grupo Imobiliário Urbanspace, relataram que o interior e exterior verde acrescentam elementos a uma percepção global de saúde e bem-estar no trabalho dentro do espaço urbano.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. CUIABÁ – CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E GEOGRÁFICAS

O município de Cuiabá possui uma área de 3.224,68 Km², sendo a área urbana compreendida em 251,94 Km² e a área rural em 2.972,74 Km². A cidade limita-se ao norte, pelos municípios de Acorizal, Rosário Oeste e Chapada dos Guimarães, ao leste com Chapada dos Guimarães, ao sul com Santo Antônio de Leverger e a oeste com Várzea Grande e Acorizal (MAITELLI, 1994). Situado entre os paralelos 15°10', 15°50' de latitude sul e os meridianos de 50°50', 50°10' a oeste de Greenwich, o município está contido na Zona Intertropical, próximo ao Equador, sendo esta a justificativa para as pequenas diferenças existentes entre as estações e a ocorrência de altas temperaturas durante boa parte do ano.

Segundo a classificação do clima brasileiro utilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Cuiabá caracteriza-se pelo clima quente e semi-úmido do cerrado, com altos índices de umidade no verão, acompanhado por uma pequena diferença de temperatura entre o dia e a noite, enquanto no inverno, seco, a amplitude das temperaturas diárias é bastante significativa (IBGE, 1978).

Segundo a classificação de Koppen, o clima de Cuiabá é do tipo AW, também denominado Tropical semi-úmido, possui 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 diferencia-se de forma significativa durante as estações, pois em sua maioria o inverno é bastante seco e o verão muito chuvoso. A média na região é de 1500 mm/ano (SAMPAIO, 2006). A Rede Meteorológica do Comando da Aeronáutica (REDEMET), localizada no aeroporto Marechal Rondon

em Várzea Grande, MT, apresenta alguns parâmetros meteorológicos característicos da cidade de Cuiabá, considerando os dados climáticos obtidos no período de 1981 à 1990 (Tabela 1).

Por localizar-se na porção centro-sul do estado de Mato Grosso a atuação predominante durante a estação seca é do sistema de circulação estável do Anticiclone do Atlântico Sul e também pelo sistema de correntes perturbadas de Sul e Sudoeste do Anticiclone Polar, responsável pelo fenômeno de “friagem” na região (MAITELLI, 1994). Enquanto que na estação chuvosa atuam o sistema de correntes perturbadas de Oeste e Noroeste (linhas de instabilidades das Frentes Intertropicais) causando chuvas e temperaturas elevadas. Outro fator importante é a influência da continentalidade em Cuiabá, que causa elevadas amplitudes térmicas mensais (diferença entre a temperatura máxima e mínima registrada), sobretudo nos meses de seca, sendo registradas amplitudes de até 15°C nos meses de julho e agosto entre os anos de 1970 a 1992 (MAITELLI, 1994).

TABELA 1– Parâmetros meteorológicos de Cuiabá nas quatro estações do ano

Estação	Vento (m/s)	Direção (Azimute)	Temp. média	Média máximas	Média mínimas	Temp. máxima	Temp. mínima	UR %	Chuvas (mm)
Verão	13,61	330,00	27,27	32,60	23,50	38,00	14,70	78,00	192,83
Outono	13,61	230,00	25,70	31,53	20,97	37,50	6,40	74,00	71,60
Inverno	13,61	280,00	25,57	32,33	19,53	39,80	4,30	60,00	33,37
Primavera	14,25	340,00	27,97	33,50	23,57	40,00	14,00	71,00	125,83
ANO	13,61	330,00	26,60	32,50	21,90	40,00	4,30	71,00	1270,90

Fonte: REDEMET, 2009

Quanto ao relevo, Cuiabá está localizada na depressão Cuiabana, sendo esta depressão circundada pela Província Serrana das Serras residuais do Alto Paraguai, pelo Planalto dos Guimarães e Planalto dos Alcantilados. Segundo Maitelli (1994), a depressão cuiabana, parte integrante da depressão do Rio Paraguai, compreende uma área rebaixada, localizada à margem esquerda do Rio Cuiabá, limitando-se ao sul com Pantanal Mato-grossense. A oeste, noroeste e norte, o município limita-se com a Província Serrana, e a leste com a Chapada dos Guimarães. Localiza-se na confluência de três importantes biomas brasileiros: o Pantanal, o Cerrado e a Floresta Amazônica.

Cuiabá de acordo com a sua localização geográfica está assentada sobre uma topografia suave, com a ocorrência de extensos chapadões à sua borda, caracterizando-a como uma depressão relativa. Estes fatores contribuem para que haja na cidade uma fraca ventilação, dificultando a dispersão dos poluentes, o que pode causar uma maior concentração dos mesmos sobre a cidade (MAITELLI, 1994). Tal fenômeno é mais intenso durante a estação seca, na qual Maitelli (1994) verificou uma maior periodicidade das situações de estabilidade atmosférica, céu limpo e baixa velocidade do vento.

3.2. ÁREA URBANA – ILHA DE CALOR

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 e à geometria das ruas e dos prédios das áreas centrais.

Quando analisa-se a história da urbanização da cidade de Cuiabá, identifica-se uma correlação entre uma urbanização mais intensa e um aumento na temperatura mínima média anual, principalmente a partir da década de 70. Maitelli (1994) demonstra que o crescimento urbano influenciou o aumento da temperatura mínima média, com uma elevação de $0,073^{\circ}\text{C}$ por ano no período de 1970 a 1992, época que coincide com um crescimento populacional mais intenso.

Entretanto, não observa-se nenhuma alteração nos valores da temperatura média das médias e média das máximas nesse mesmo período. Isso revela que a urbanização só causou influencia sobre as temperaturas médias mínimas, o que pode estar relacionado com o armazenamento de energia térmica nas superfícies durante o dia e a sua liberação no período noturno.

Em Cuiabá, percebeu-se nos últimos anos uma acentuada concentração de edifícios altos, na região do centro da cidade (Figura 11). Essas construções absorvem e armazenam parte da energia térmica que, à noite, é emitida para o ar atmosférico, além de alterar o fluxo natural do vento, ocasionado pelo gradiente de temperatura do ar. A superfície do solo urbano é quase completamente formada por materiais impermeáveis e nas áreas centrais já ocorre à redução das áreas verdes presentes nas vias públicas e nos quintais (DUARTE, 2000).



FIGURA 11 – Foto aérea da cidade de Cuiabá

Fonte: <http://img465.imageshack.us>

Nos novos loteamentos, principalmente nos bairros de habitações populares, verificam-se as menores densidades de vegetação, e as áreas periféricas são dominadas pela paisagem do cerrado. A modificação dos parâmetros da superfície e da atmosfera pela urbanização dá origem à formação das chamadas ilhas de calor, já caracterizadas para Cuiabá (Figura 12) na tese de doutoramento de Maitelli (1994).

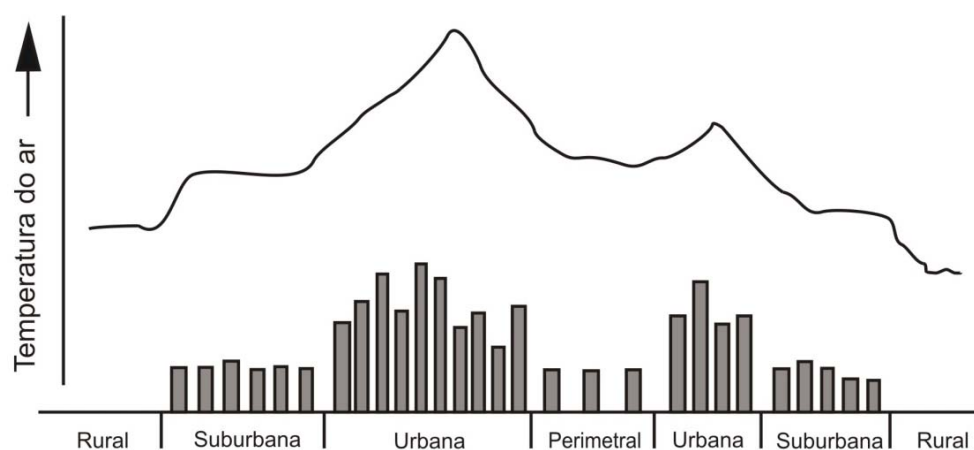


FIGURA 12 – Representação esquemática, adaptada para Cuiabá, das variações da temperatura do ar e da localização da ilha de calor associada ao uso do solo urbano

Fonte: MAITELLI, 1994

3.3. CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO (UFMT)

O estudo foi realizado no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso (Figura 13), localizada na latitude 15°36'40'' sul e na longitude 56°01'33'' oeste, na região leste do município de Cuiabá. Sua área delimita-se pelas avenidas Fernando Correa da Costa e Arquimedes Pereira Lima (conhecida como estrada do moinho), avenidas com grande tráfego de automóveis, pois ligam o centro da cidade à região do Coxipó.

Segundo o primeiro manual de Informações Estatísticas da UFMT realizado em 1980, o campus da UFMT contava com apenas 2.890,00 m² de área construída no ano de 1969, passando para 25.396,00 m² em 1977. Atualmente o campus de Cuiabá abriga uma área construída de 83.111,60 m² incluindo pista/campo de futebol e parque aquático, distribuída nos 74 ha do campus (CAMPOS NETO, 2007).

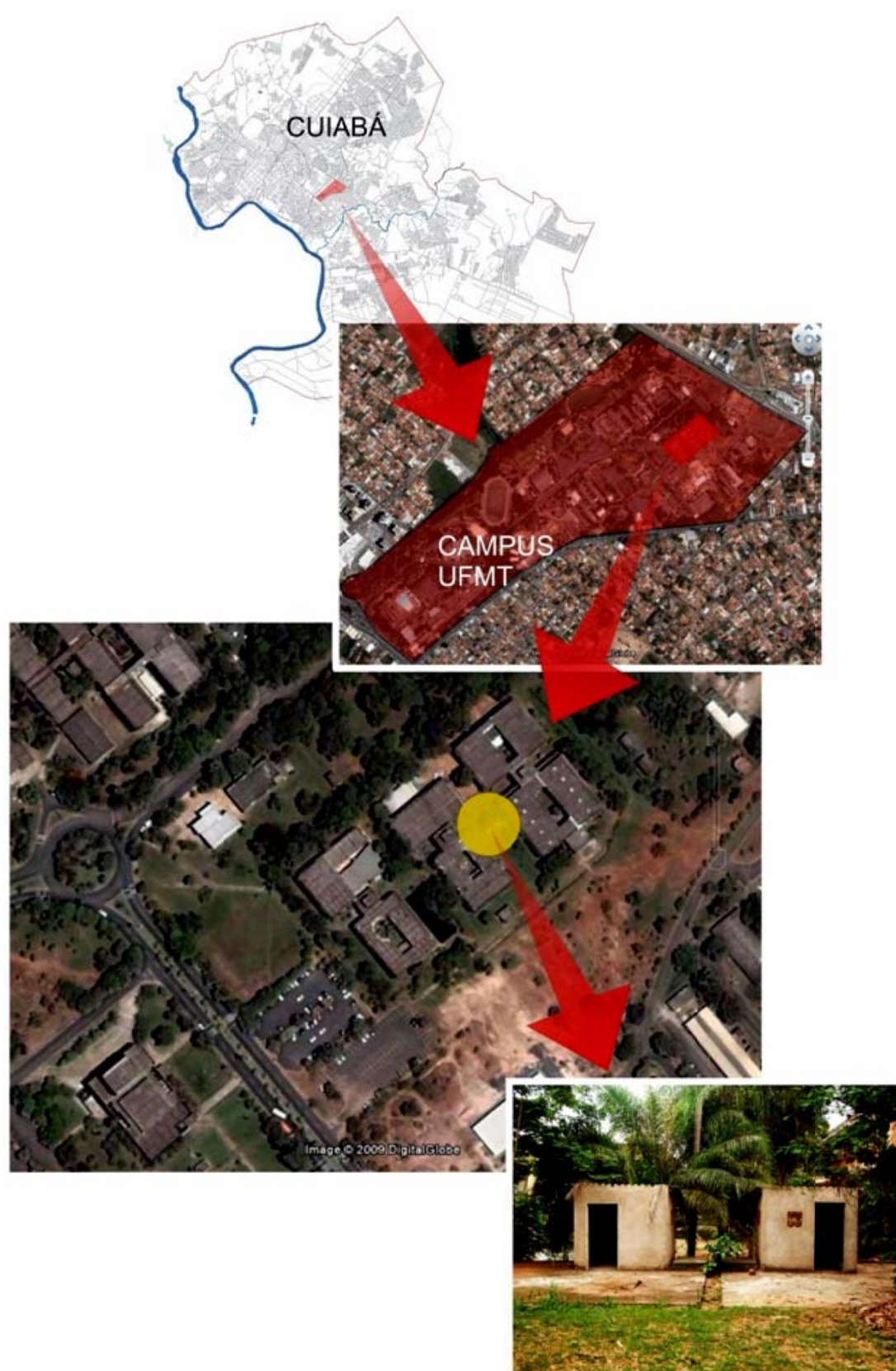


FIGURA 13 – Localização do local de estudo dentro do campus da UFMT
Fonte: GOOGLE EARTH, 2009; IPDU CUIABÁ, 2007

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. MATERIAL

O objeto deste estudo caracteriza-se por uma telha vegetada, composta por um módulo em estrutura de concreto leve, que inclui na sua composição uma camada de vegetação. É um conjunto formado pelo substrato rígido mais um substrato leve. A telha vegetada agrega nutrientes essenciais que proporcionam a retenção de água e drenagem do excedente, evitando assim o carregamento de terra. Pode ser transportada com grande facilidade, já vem plantada e enraizada, pronta para o uso.

A telha possui uma largura de 32cm, um comprimento de 67cm e uma espessura de 6cm, totalizando aproximadamente quatro telhas por metro quadrado. As plantas são perenes, não necessitam de regas constantes ou poda. Uma vez por ano, se necessário, deve-se retirar algumas ervas trazidas pelos pássaros.

Uma criteriosa seleção de plantas permite que a cobertura vegetada tenha sucesso em condições adversas. Utilizam-se principalmente plantas que desenvolveram um metabolismo chamado “Metabolismo Ácido das Crassuláceas” CAM, que permite que essas plantas prendam a respiração durante o dia, quando a temperatura é alta, realizando as trocas com o meio durante a noite, quando não perdem água por evaporação. Tal procedimento só é possível pelo fato de a planta absorver dióxido de carbono à noite transformando ele em ácido málico. Durante o dia, ela reverte o ácido málico em dióxido de carbono, que com a água armazenada na folha realiza a fotossíntese.

4.1.1. Equipamentos Utilizados na Coleta de Dados

4.1.1.1. *Termômetro de Globo*

A aferição dos valores de temperatura interna procedeu-se através da utilização do Termômetro de globo de leitura digital modelo TGD-100, COD. 02043, da marca INSTRUTHERM (Figura 14), colocados a altura de 1,10m do nível do solo sobre bancos considerando-se as especificações da norma ISO-7726 (1998).



FIGURA 14 – Termômetro de Globo
Fonte: Acervo Próprio

O Termômetro caracteriza-se pela presença de uma esfera de cobre com diâmetro de 6" (152,4mm), possuindo uma haste no centro desta esfera, que afere os valores referentes a temperatura de globo. O bulbo úmido é composto por uma haste na qual está fixado um copo contendo 100ml de água destilada, a haste é revestida por um cordão de pano que a mantém umedecida durante todo o período de coleta de dados. Por fim, o bulbo seco possui uma haste que realizará a aferição da temperatura ambiente. Todas 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 de Globo(TR).

4.1.1.2. *Termômetro infravermelho*

Para medidas das temperaturas superficiais dos elementos da envoltória, foi utilizado um termômetro infravermelho digital, modelo TI-810, código 04062, da marca INSTRUTHERM (Figura 15). O aparelho mede a temperatura superficial e instantânea dos elementos construtivos.



FIGURA 15 – Termômetro de Infravermelho
Fonte: Acervo Próprio

4.1.1.3. *Estação meteorológica Automatizada*

A estação Meteorológica é composta pelo Conjunto de Sensores Integrados (ISS) modelo Vantage Pro 2 Plus, da marca Davis Instruments (Figura 16). O equipamento coleta os dados do tempo e envia-os para o console da Vantage Pro2. O wireless ISS é alimentado por energia solar e envia os dados para o console via ondas de rádio de baixa intensidade (Figura 17).



FIGURA 16 – Estação Meteorológica Automática

Fonte: Acervo Próprio



FIGURA 17 – Console de armazenamento dos dados da estação

Fonte: Acervo Próprio

Os dados registrados no console são transferidos para o computador através de um cabo USB.

4.2. MÉTODO

4.2.1. Escolha do local de experimento

A metodologia adotada para a realização desta pesquisa caracterizou-se primeiramente pela escolha do local para a instalação das telhas vegetadas. Eram necessários dois protótipos, nos quais em um seriam colocadas as telhas vegetadas e o outro caracterizaria um elemento de controle, no qual seria mantida a cobertura original. Os protótipos precisavam ter dimensões próximas de 5m² para poder viabilizar a instalação da cobertura, visto que a execução da telha processar-se-ia de forma artesanal.

Levantamentos realizados dentro do campus da UFMT identificaram quatro possíveis locais de instalação da cobertura. As edificações eram utilizadas pela instituição como abrigos para as bombas de sucção das cisternas, responsáveis pelo abastecimento de água da Universidade (Figura 18).

Um estudo das condicionantes gerais do entorno e das interferências naturais quanto à disponibilidade de vento e de insolação nos diversos horários do dia levaram a escolha de dois protótipos, dos quatro selecionados previamente (Figura 19). A escolha fundamentou-se no fato de esses dois abrigos estarem construídos próximos um do outro, o que caracteriza uma mesma realidade de entorno. Além disso, eles têm as mesmas dimensões, com uma área de cobertura de aproximadamente 5m² (Figura 20).



FIGURA 18 – Levantamento realizado no Campus da UFMT
Fonte: GOOGLE EARTH, 2009; Acervo próprio



FIGURA 19 – Protótipos selecionados no campus da UFMT

Fonte: Acervo Próprio

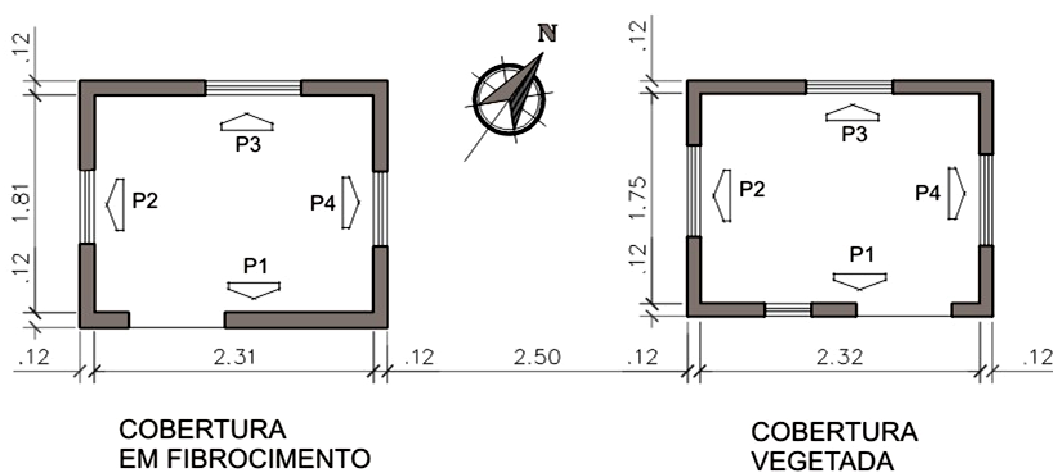


FIGURA 20 – Planta Baixa dos protótipos selecionados no campus da UFMT, unidade: metros (m)

Fonte: Acervo Próprio

Definido o local de instalação da cobertura e suas dimensões foi possível determinar a quantidade de telhas a serem confeccionadas para a realização do experimento. A quantificação fundamentou-se no fato de que a cobertura original, do local que fosse receber o tratamento, devia ser totalmente revestida pela cobertura verde.

4.2.2. Confeção das placas de concreto

Para a execução das placas de concreto, utilizadas como suporte físico da vegetação, foi necessário inicialmente um projeto detalhado das fôrmas de molde para a concretagem, visto que a confecção realizou-se de forma artesanal (Figura 21 e 22).

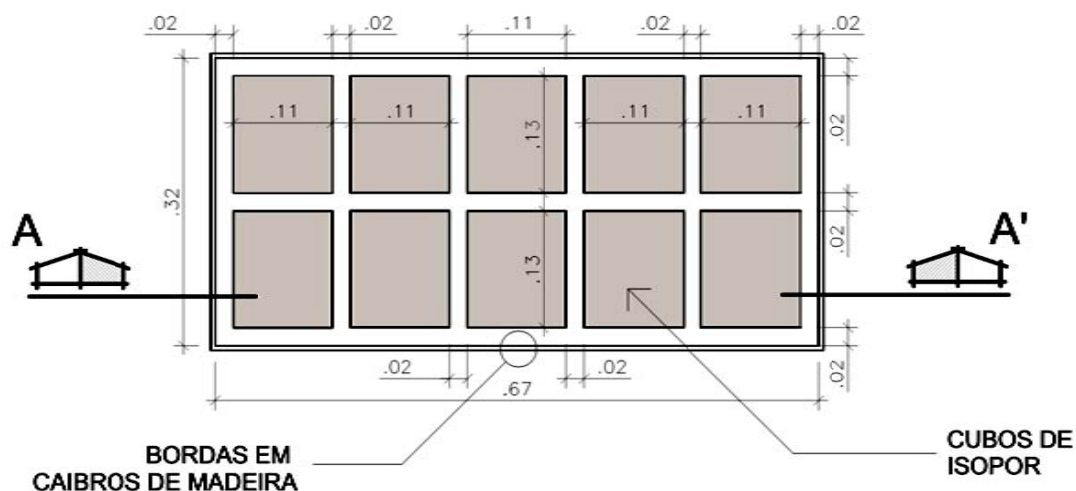


FIGURA 21 – Planta Baixa da Fôrma de molde das placas de concreto

Fonte: Acervo Próprio

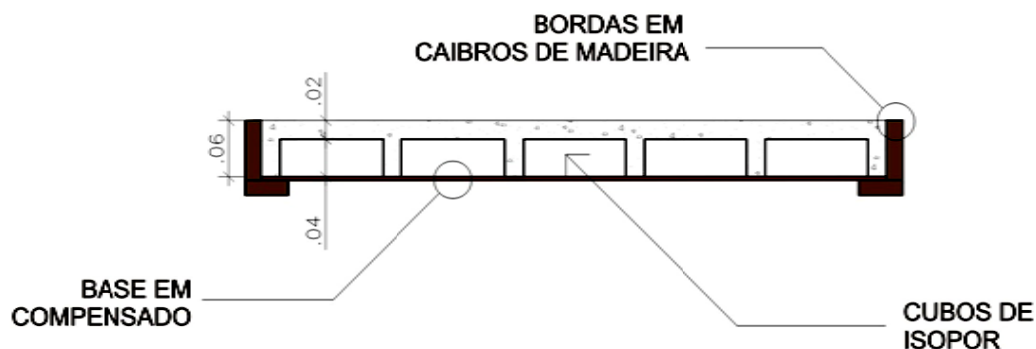


FIGURA 22 – Corte AA' da Fôrma de molde das placas de concreto

Fonte: Acervo Próprio

Foram utilizados caibros e ripas de madeira para a estrutura da fôrma e placas de compensado foram responsáveis pelos fechamentos. Para a delimitação das cavidades que seriam utilizadas no plantio da vegetação foram fixados cubos de isopor que eram destruídos após a cura do concreto. Os elementos de madeira eram todos reutilizados nas concretagens subsequentes (Figura 23).



FIGURA 23 – Fôrmas de molde para a execução das placas de concreto

Fonte: Acervo Próprio

O concreto fabricado possuía flocos de isopor (EPS), em substituição as britas, convencionalmente utilizadas. A escolha do traço mais adequado fez-se através de testes utilizando diferentes sugestões disponíveis no site <http://www.megatherm.com.br/portgs/isopor.htm>. Os testes utilizaram o traço de três diferentes densidades nominais.

Como não sabia-se qual a resistência exata necessária para as placas, o teste buscou levantar as vantagens e desvantagens de cada traço, nas condições reais do experimento, ou seja, foram confeccionadas três placas com dimensões iguais as que seriam utilizadas para suporte da vegetação. Analisaram-se as densidades de 600kg/m^3 , 800kg/m^3 e 1000kg/m^3 (Figura 24).

Com relação à resistência, os três traços apresentaram resultados satisfatórios, não cedendo nem trincando quando submetidos aos movimentos que caracterizariam sua instalação sobre a cobertura. No entanto o peso foi o fator determinante para a escolha, o concreto com densidade nominal de 600kg/m^3 apresentou aproximadamente metade do peso encontrado no concreto com densidade de 1000kg/m^3 . O traço utilizado buscou uma densidade nominal de 700kg/m^3 , com um peso de 7kg aproximadamente.



FIGURA 24 – Placas resultantes do teste de densidade nominal

Fonte: Acervo Próprio

O concreto foi preparado no laboratório de construção civil da Universidade de Cuiabá, utilizando uma betoneira. Na mistura para 1,0m³ de concreto foram utilizados 390kg de cimento, 165kg de areia, 1.096 litros de EPS, 155 litros de água e 1,1kg de adesivo. Em cada concretagem era preparado o volume de concreto necessário para fabricar seis placas. Tomou-se muito cuidado para garantir que todas as cavidades da forma fossem totalmente preenchidas pela massa de forma a não gerar falhas no formato da placa (Figura 25). O concreto era retirado da fôrma depois de 48 horas do início da cura (Figura 26). Foram confeccionadas um total de 22 placas de concreto.



FIGURA 25 – Concretagem de 6 placas de concreto, processo de secagem e cura
Fonte: Acervo Próprio



FIGURA 26 – Retirada dos cubos de isopor ao fim da cura do concreto
Fonte: Acervo Próprio

4.2.3. Jardinagem

Depois de concluída a confecção das placas, estas foram encaminhadas ao plantio. Nesta etapa foram feitos testes de escoamento da água e resistência a altos graus de umidade. Mostrou-se necessário a execução de um furo no fundo de cada cavidade da telha, para permitir um melhor escoamento da água que ficasse retida na terra.

Foi realizado um método de plantio simples, o meio de cultura foi preparado utilizando-se terra e adubos naturais, com pedaços de madeira, palha de arroz e vegetal seco, para garantir maior leveza. As espécies escolhidas para o povoamento das telhas foram a *Alternanthera* sp (Periquito vermelho e Periquito prata) e a *Cuphea* sp (Erica) (Figura 27).

As mudas foram previamente plantadas nas telhas e observadas durante alguns dias (Figura 28). Depois de verificada adaptação das mudas ao novo meio, as telhas foram levadas ao protótipo e instaladas.



FIGURA 27 – Telha após processo de jardinagem
Fonte: Acervo Próprio



FIGURA 28 – Conjunto de telhas após processo de jardinagem
Fonte: Acervo Próprio

Antes de receber as telhas a cobertura foi revestida com uma lona impermeabilizante. Não foi necessário um sistema de drenagem pelo fato de a cobertura possuir um beiral para onde toda a água era escoada (Figura 29 e 30).

Juntamente com as telhas, foi instalado um sistema de irrigação a base de mangueiras perfuradas conectadas a uma torneira localizada a alguns metros do protótipo. A irrigação possibilitava condições ideais de umidade mesmo quando não ocorriam precipitações.



FIGURA 29 – Sistema de cobertura vegetada
Fonte: Acervo Próprio



FIGURA 30 – Protótipo com a cobertura verde já instituída
Fonte: Acervo Próprio

4.2.4. Coleta de dados

Os protótipos foram monitorados durante 15 dias consecutivos da estação do verão, do outono e do inverno, no período compreendido entre os dias 05 e 20 de fevereiro (verão), 21 de maio e 4 de junho (outono) e 6 e 20 de julho (inverno), do ano de 2009. As medições iniciavam-se às 8hs e finalizavam às 18hs de cada dia. Foram coletados simultaneamente dados de temperatura e umidade do ar, interno e externo, dos dois protótipos, além das temperaturas superficiais internas e externas dos respectivos fechamentos. Em vista da dificuldade de acesso ao telhado e considerando a inexistência de forro sob a cobertura dos protótipos, somente foram coletadas as temperaturas superficiais internas das coberturas.

Foi instalada no local uma Estação Meteorológica modelo Vantage Pro 2 Plus, da marca Davis Instruments, de forma a registrar todas as variáveis que poderiam interferir no desempenho da cobertura, como radiação solar, temperatura do ar externo, precipitação e velocidade do vento (Figura 31). Os dados da estação eram armazenados em um receptor e descarregados ao final de cada dia de medição.



FIGURA 31 – Estação Meteorológica Automática instalada no local
Fonte: Acervo Próprio

A temperatura do ar interno, obtida pelo termômetro de globo, era registrada manualmente em uma planilha com intervalos constantes de 15 minutos.

As temperaturas superficiais dos fechamentos, coletadas através do termômetro de infravermelho, eram também registradas manualmente na planilha com os mesmos intervalos de tempo utilizados na temperatura do ar. No final foram coletados 480 dados diariamente em cada protótipo, totalizando 14.400 dados em cada estação e 43.200 dados em todo o período de medições.

4.2.5. Metodologia de obtenção da temperatura radiante média

A temperatura radiante média foi obtida através de cálculo utilizando a equação fornecida pela ISO 7726 (1996). A ISO 7726 fornece duas equações, uma de convecção natural e outra de convecção forçada, tendo como principais variáveis: temperatura de bulbo seco e temperatura do globo. Foi utilizada a equação para convecção natural, levando em consideração que a velocidade do ar no interior dos protótipos era muito pequena.

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^{-8} \cdot \sqrt[4]{|t_g - t_a|} \cdot (t_g - t_a) - 273} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

t_g é a temperatura do globo (°C)

t_a é a temperatura do ar (°C) (temperatura de bulbo seco)

4.2.6. Avaliação Estatística

A variância é usada para testar as diferenças entre as médias das amostras e entre combinações lineares de médias. O nome do método fundamenta-se no fato de a variância ser usada para quantificar a diferença entre as médias. Uma aplicação simples da análise de variância é testar se duas ou mais médias amostrais podem ter sido obtidas de populações com mesma média paramétrica. Quando somente duas amostras estão envolvidas no teste, recomenda-se a utilização do teste-T, para testar as significâncias das diferenças entre as médias. No entanto a análise de variância é um teste mais generalista, que nos permite testar tanto duas amostras quanto mais amostras forem necessárias (SOKAL & ROHLF, 1997).

Um conhecimento sobre a análise de variância é indispensável para qualquer estudo científico, e depois de ter assimilado seus conceitos, certamente o utilizará de forma freqüente para testar as hipóteses científicas. Uma vez entendida, ela torna-se uma ferramenta que pode fornecer uma visão da natureza das variações nos eventos naturais, que possibilita o desenvolvimento de valores mais importantes que o simples conhecimento do método.

Assim como outros modelos na ciência, contudo, a análise de variância pode gerar construções da natureza na mente do cientista dando origem a conclusões errôneas ou improdutivas, diz Lewontin (1974), para uma discussão profunda da questão.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERNA DAS COBERTURAS

A temperatura superficial interna da cobertura apresenta diferença altamente significativa quando relacionada a todas as fontes de variação tratadas no teste, ou seja, a variável sofre interferência tanto da estação do ano, quanto do tipo de cobertura e ainda da relação entre cobertura e estação do ano (Tabela 2).

TABELA 2 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial da cobertura como variável dependente

Variável Dependente	Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F Calculado	Nível de Significância
Temperatura Superficial Cobertura (°C)	Estação	28570,596	2	14285,298	391,508	,000
	TipoCob	18198,751	1	18198,751	498,761	,000
	Estação *	4502,631	2	2251,315	61,700	,000
	TipoCob					

Os valores de temperatura superficial interna da cobertura são maiores no verão quando comparados com as temperaturas observadas na estação do outono e do inverno, sendo as temperaturas destas duas últimas estações muito semelhantes. Este fato está associado às características diferenciadas de cada estação, sendo que a estação do outono e do inverno apresentam, de uma forma geral, menores valores de radiação e de temperatura do ar que a estação do verão (Figura 32, 33 e 34).

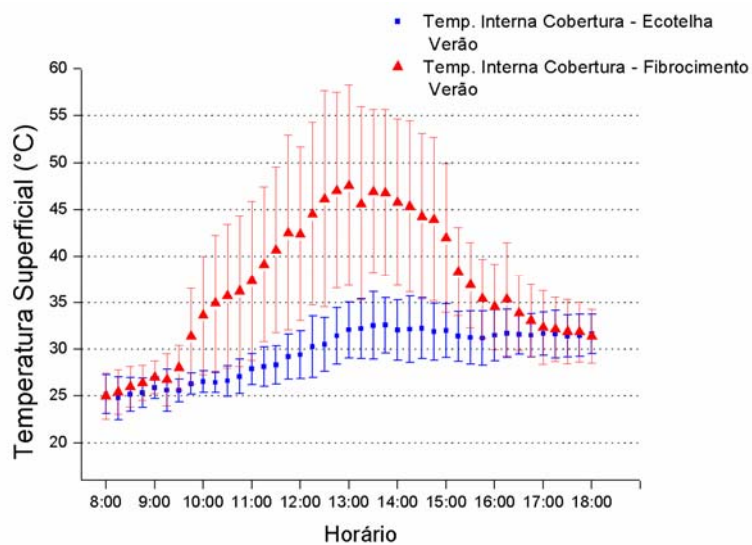


FIGURA 32 – Comportamento da media horária da temperatura superficial da cobertura dos dois protótipos. Estação Verão

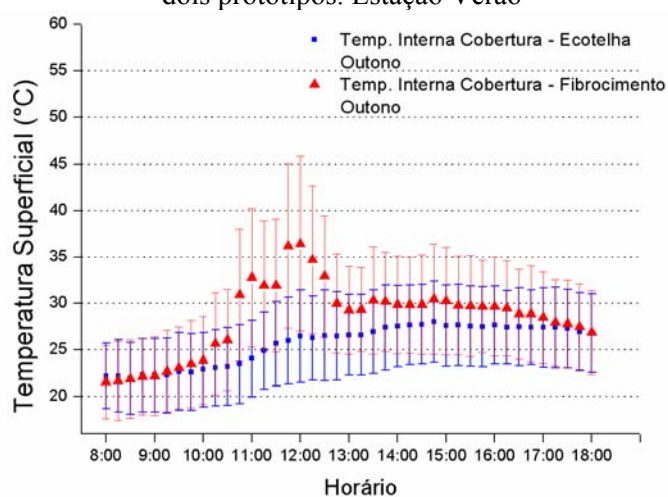


FIGURA 33 – Comportamento da media horária da temperatura superficial da cobertura dos dois protótipos. Estação Outono

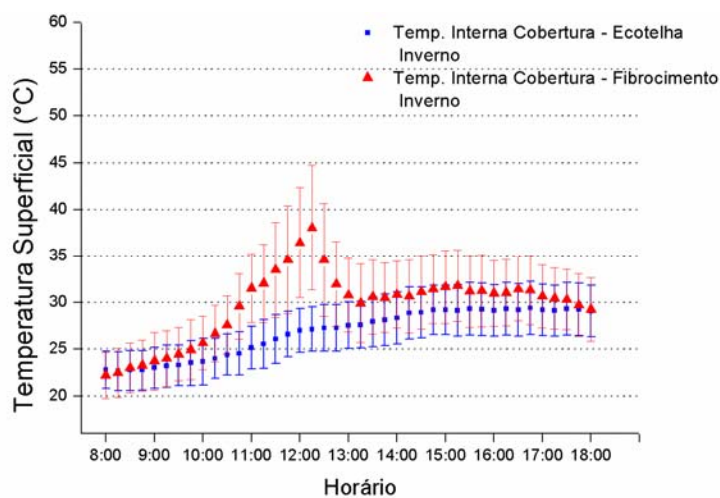


FIGURA 34 – Comportamento da media horária da temperatura superficial da cobertura dos dois protótipos. Estação Inverno

Quando analisa-se qualitativamente os valores de temperatura superficiais internas das coberturas para a estação do verão, verifica-se um comportamento extremamente diferenciado entre os dois tipos de cobertura. A cobertura em fibrocimento apresenta uma grande variação de temperatura durante o dia, enquanto a cobertura vegetada apresenta um comportamento mais homogêneo (Figura 32).

Tal comportamento pode ser explicado pela inércia térmica dos dois tipos de cobertura. A inércia está relacionada com a capacidade térmica de cada material, ou seja, representa a dificuldade de se elevar ou diminuir a temperatura deste material. A maior inércia térmica da cobertura vegetada faz com que a sua temperatura não altere-se muito diante da quantidade de energia térmica fornecida pelo meio. Já a baixa inércia térmica da cobertura de fibrocimento faz com que a mesma quantidade de energia térmica cause grandes variações na sua temperatura.

A inércia térmica das duas coberturas também interfere na variabilidade dos dados em torno das médias horárias. A maior facilidade em se provocar alterações na temperatura superficial da cobertura em fibrocimento faz com que seja verificada maior variabilidade das temperaturas encontradas em um mesmo horário nos 15 dias monitorados. Este fenômeno é mais evidente na estação do verão.

Podemos identificar, nos valores de temperatura superficial da cobertura vegetada, dois comportamentos característicos provocados pelo incremento na inércia térmica da cobertura, a diminuição da amplitude diária da temperatura superficial e um atraso na obtenção do valor máximo de temperatura superficial do dia. Considerando que a cobertura vegetada foi aplicada sobre uma cobertura de fibrocimento, podemos dizer que, de acordo com os resultados encontrados, para estação de verão, a implementação de uma cobertura vegetada sobre uma cobertura de fibrocimento provoca uma redução de 15°C na amplitude diária da temperatura superficial e um atraso de aproximadamente 45min para a ocorrência da temperatura superficial máxima do dia (Figura 35).

Quando analisaram-se as temperaturas superficiais das coberturas na estação do outono e do inverno, verificou-se um comportamento semelhante, com grande variação na temperatura superficial da cobertura de fibrocimento e comportamento homogêneo da temperatura superficial da cobertura vegetada (Figura 33 e 34). No entanto, nestas estações, não podemos identificar claramente os valores referentes à

redução na amplitude diária da temperatura superficial da cobertura e o atraso na obtenção do valor máximo de temperatura no dia, provocados pela implementação da cobertura vegetada sobre a cobertura de fibrocimento. Isso acontece devido à irregularidade de incidência da radiação direta sobre as coberturas. Nestas estações, no período da tarde, as duas coberturas estavam parcialmente sombreadas.

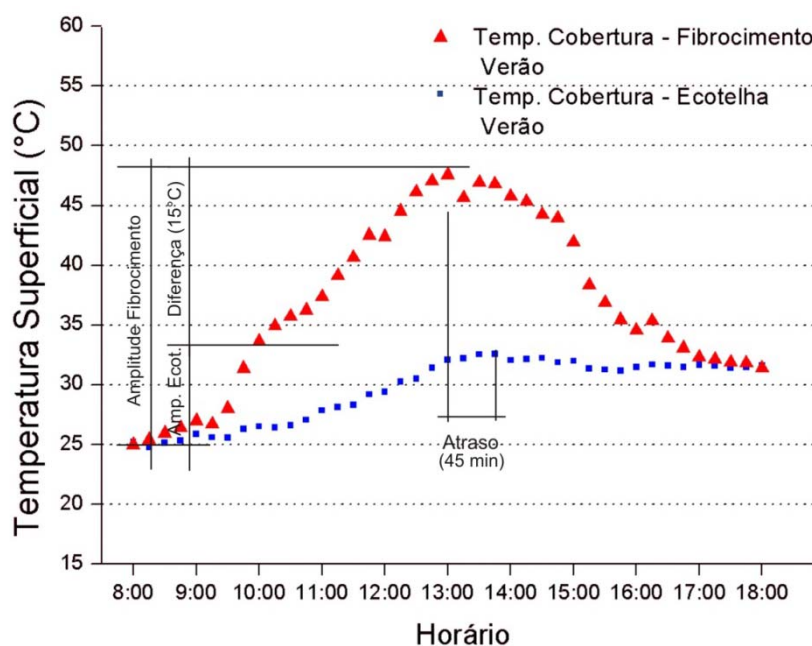


FIGURA 35 – Gráfico do comportamento da temperatura superficial interna das coberturas no verão, identificando a redução na amplitude diária e o atraso na obtenção do valor máximo de temperatura no dia

Podemos observar, no entanto, mesmo nestas estações, temperaturas superficiais menores na cobertura vegetada quando comparada com os valores de temperaturas obtidas na cobertura em fibrocimento. Chegou-se a verificar, nos dias mais quentes da estação do outono, uma diferença de 14°C entre as temperaturas máximas atingidas pelas duas coberturas. Nos dias mais frescos esta diferença passa a ser de 3°C. No inverno a temperatura superficial da cobertura vegetada chegou a apresentar 18°C a menos que a cobertura de fibrocimento.

5.2. TEMPERATURA DO AR

A temperatura do ar no interior dos protótipos apresentou diferença altamente significativa quando relacionada com a estação do ano e com o tipo de cobertura, no

entanto, ela não apresenta um comportamento diferenciado quando tomou-se como fonte de variação a relação entre estação e cobertura (Tabela 3).

Este resultado nos permite concluir que o comportamento da temperatura do ar no interior dos protótipos varia tanto em relação à estação do ano quanto em relação ao tipo de cobertura.

TABELA 3 – Análise de Variância, considerando a temperatura do ar interno como variável dependente

Variável Dependente	Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F Calculado	Nível de Significância
Temperatura do ar interno (°C)	Estação	7587,577	2	3793,789	140,283	,000
	TipoCob	314,430	1	314,430	11,627	,001
	Estação *	6,398	2	3,199	,118	,888
	TipoCob					

Primeiramente pode-se verificar, de uma forma geral, que os valores de temperatura do ar são mais elevados na estação do verão que na estação do outono e do inverno (Figura 36, 37 e 38). Os valores máximos e mínimos encontrados para temperatura do ar externo nesses períodos, segundo dados monitorados pela REDEMET, foram 35,2 e 22,1°C respectivamente, para a estação do verão, 33,8 e 12°C para o outono e 34,8 e 15,3°C para o inverno.

Vale ressaltar que os dados indicam a ocorrência de uma frente fria em 7 dos 15 dias monitorados na estação do outono e em 2 dos 15 dias na estação do inverno, o que justifica a existência de menores temperaturas no outono. Tais resultados mostram que todos os períodos de monitoramento apresentaram temperaturas dentro do intervalo apresentado nos parâmetros meteorológicos de Cuiabá, MT, fornecidos pela REDEMET.

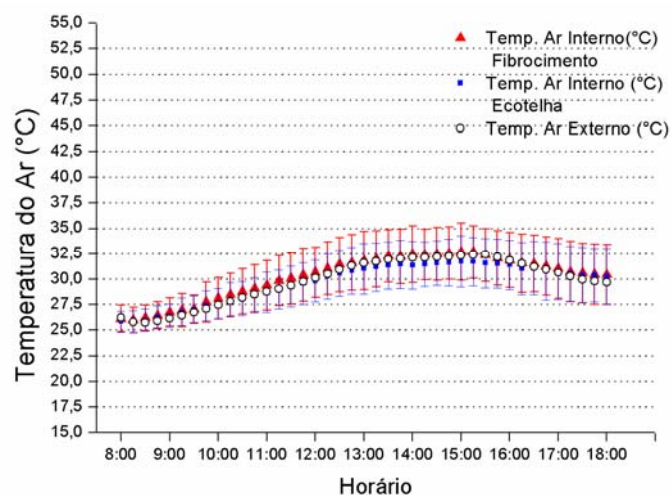


FIGURA 36 – Comportamento da media horária da temperatura do ar interno dos dois protótipos. Estação Verão

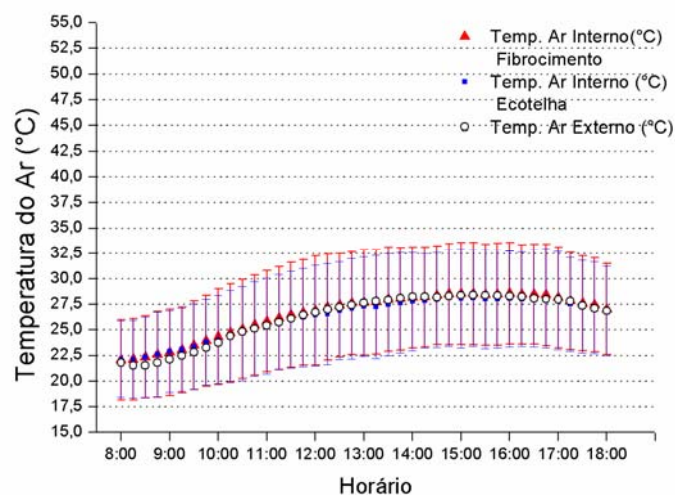


FIGURA 37 – Comportamento da media horária da temperatura do ar interno dos dois protótipos. Estação Outono

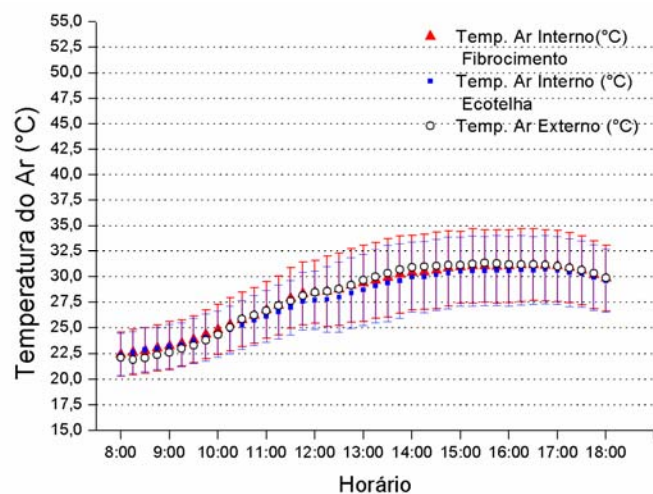


FIGURA 38 – Comportamento da media horária da temperatura do ar interno dos dois protótipos. Estação Inverno

A variabilidade mais acentuada na estação de outono dá-se ao fato de que, no clima da cidade de Cuiabá, esta estação não possui delineamentos bem definidos, assim verificam-se valores muito diferenciados de temperatura do ar de um dia para o outro (Figura 37).

Quando avalia-se qualitativamente os valores de temperatura do ar no interior dos protótipos para cada estação do ano, pode verificar-se um desempenho diferenciado de cada tipo de cobertura, como já observado na análise de variância. No verão o protótipo com cobertura vegetada apresenta valores de temperatura do ar interno menores que os observados no protótipo com cobertura em fibrocimento, em todos os horários do dia (Figura 36). Chegou-se a observar às 13hs, uma diferença de $4,7^{\circ}\text{C}$ entre as temperaturas do ar interno dos dois protótipos.

Quando relacionou-se esses valores com a temperatura do ar externo, verifica-se que o protótipo com cobertura vegetada mantém a temperatura interna igual ou inferior a temperatura do ar externo durante praticamente todo o dia. O ar externo, no mesmo horário mencionado anteriormente, chega a apresentar-se cerca de $0,7^{\circ}\text{C}$ mais quente que o ar encontrado dentro do protótipo com cobertura vegetada. Somente no final da tarde essa temperatura interna do protótipo com cobertura vegetada apresenta valores maiores que os observados externamente (Figura 36).

Tal comportamento explica-se pela alta inércia térmica da cobertura vegetada, já citada no item anterior. Assim, cessada a incidência de radiação direta, o ar externo começa a resfriar-se, da mesma forma como o ar interno e as superfícies do protótipo. No entanto, a inércia térmica característica da cobertura vegetada dificulta esse resfriamento, mantendo-a aquecida por mais tempo. As transferências de energia térmica entre a cobertura e o ar no interior dos protótipos fazem com que o ar interno também leve mais tempo para resfriar-se.

Já o protótipo com cobertura em fibrocimento apresenta temperaturas internas mais elevadas que a temperatura do ar externo em todos os horários do dia, principalmente durante os horários de maior incidência de radiação solar, a partir das 10hs da manhã. Às 13hs o ar externo chega a apresentar-se cerca de $4,0^{\circ}\text{C}$ mais fresco que o ar encontrado dentro do protótipo com cobertura em fibrocimento.

A cobertura em fibrocimento possui uma baixa inércia térmica e por isso se aquece e resfria rapidamente quando realiza suas trocas térmicas. Durante o período em que a cobertura recebe radiação direta do sol, ela apresenta uma elevação da temperatura praticamente simultânea aos incrementos na intensidade dessa radiação recebida. As altas temperaturas alcançadas nestes horários pela superfície da cobertura, através das trocas térmicas de condução e convecção, aquecem o ar no interior do protótipo fazendo com que a temperatura do ar interno chegue a valores mais elevados que o externo. Da mesma forma, quando cessada a incidência da radiação direta, o resfriamento da cobertura ocorre rapidamente permitindo que a temperatura do ar interno resfrie-se na mesma velocidade que o ar externo.

No outono, o comportamento de temperatura do ar interno não apresenta grandes variações em relação à estação do verão. Neste período também verificou-se que as temperaturas do ar interno do protótipo com cobertura vegetada são, de uma forma geral, inferiores as observadas no protótipo com cobertura em fibrocimento (Figura 37). Chegou-se a observar às 13hs, uma diferença de $0,6^{\circ}\text{C}$ entre as temperaturas do ar interno dos dois protótipos.

No entanto, a menor incidência de radiação nesse período (Figura 39), permite que a temperatura da cobertura de fibrocimento não atinja valores tão elevados, causando pouca interferência na temperatura do ar interno deste protótipo. Sem interferência das trocas térmicas realizadas com a cobertura, o ar interno apresenta valores de temperaturas semelhantes aos observados externamente para este período.

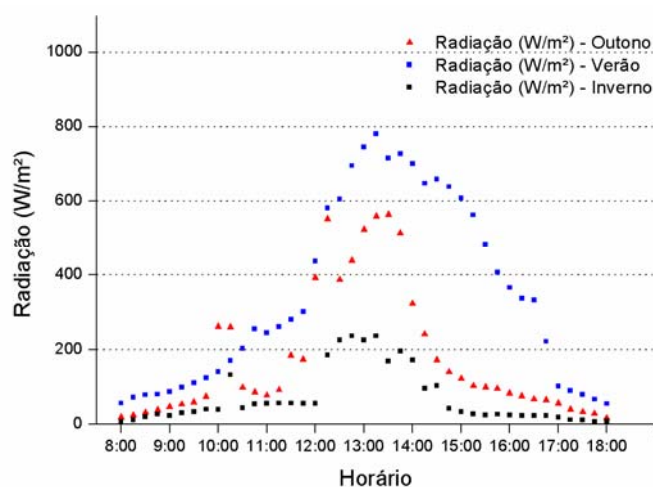


FIGURA 39 – Comportamento da média horária da Radiação. Estação Verão, Outono e Inverno

No protótipo com cobertura vegetada observa-se no outono o mesmo comportamento observado no verão. Na maior parte do tempo as temperaturas do ar interno apresentam-se inferiores ao externo (Figura 37).

Verifica-se uma variação em relação ao outro período no início do dia. A menor incidência de radiação, aliada a inércia térmica elevada da cobertura faz com que seu aquecimento seja mais lento e conseqüentemente, pelos baixos valores de temperatura da cobertura, o ar interno do protótipo demora mais a aquecer (Figura 37).

No inverno o comportamento da temperatura do ar no interior dos protótipos é muito semelhante ao outono e ao verão. Neste período também verificou-se que as temperaturas do ar interno do protótipo com cobertura vegetada são, de uma forma geral, inferiores as observadas no protótipo com cobertura em fibrocimento (Figura 38). Chegou-se a observar às 13hs, uma diferença de $0,8^{\circ}\text{C}$ entre as temperaturas do ar interno dos dois protótipos.

Quando relacionou-se esses valores com a temperatura do ar externo, verifica-se que os dois protótipos mantêm a temperatura interna igual ou inferior a temperatura do ar externo durante praticamente todo o dia. O ar externo, no mesmo horário mencionado anteriormente, chega a apresentar-se cerca de $1,3^{\circ}\text{C}$ mais quente que o ar encontrado dentro do protótipo com cobertura vegetada e $0,5^{\circ}\text{C}$ mais quente que o ar no protótipo com cobertura em fibrocimento. Somente no início do dia a temperatura interna dos protótipos apresenta valores maiores que os observados externamente (Figura 38).

Tal comportamento deve-se a menor incidência de radiação deste período (Figura 39), que faz com que o aquecimento das coberturas seja mais lento e conseqüentemente, pelos baixos valores de temperatura das superfícies, o ar interno do protótipo demora mais a aquecer

5.3. TEMPERATURA RADIANTE

Quando compara-se o comportamento da diferença entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar em cada um dos protótipos, é possível identificar as interferências provocadas pela carga térmica de radiação emitida pelas coberturas. Nos testes anteriores identificou-se uma maior temperatura superficial

interna na cobertura de fibrocimento e este resultado pôde também ser verificado neste teste, no qual observam-se temperaturas radiantes mais elevadas para o protótipo que utiliza este tipo de cobertura (Figura 40, 41 e 42).

Observam-se comportamentos diferenciados da relação entre a temperatura radiante a temperatura do ar nas três estações do ano estudadas. No verão as diferenças são mais acentuadas no protótipo com cobertura em fibrocimento, enquanto que no protótipo com cobertura vegetada verificam-se diferenças mais acentuadas na estação do inverno.

No início do dia, da estação do verão, apenas no protótipo com cobertura vegetada, verificam-se valores de temperatura radiantes menores que a temperatura do ar (Figura 40). No outono as diferenças são mais sutis, e na maior parte do dia ocorrem temperaturas radiantes menores que a temperatura do ar no protótipo com cobertura vegetada, este fenômeno é observado também em alguns horários do protótipo com cobertura em fibrocimento, principalmente durante a manhã (Figura 41). Já no inverno durante praticamente todo o dia as temperaturas radiantes dos dois protótipos são inferiores a temperatura do ar, exceto às 8hs e no final da tarde (Figura 42).

As diferenças mais evidentes, características da estação do verão, entre a temperatura radiante e a temperatura do ar no protótipo com cobertura em fibrocimento, ocorrem devido à maior intensidade da radiação incidente neste período. A cobertura absorve parte desta radiação elevando sua temperatura a um valor maior que os valores encontrados na temperatura do ar. A cobertura passa a irradiar calor para os demais corpos da edificação. Nessa situação a temperatura média radiante é maior do que a temperatura do ar. A cobertura em fibrocimento apresenta valores mais elevados pela sua baixa inércia térmica que caracteriza um aquecimento mais acelerado quando submetido à radiação solar. No entanto à medida que reduz-se a incidência solar reduz-se a temperatura superficial da cobertura e conseqüentemente a diferença encontrada entre a temperatura radiante e a temperatura do ar para esse protótipo diminui (Figura 40).

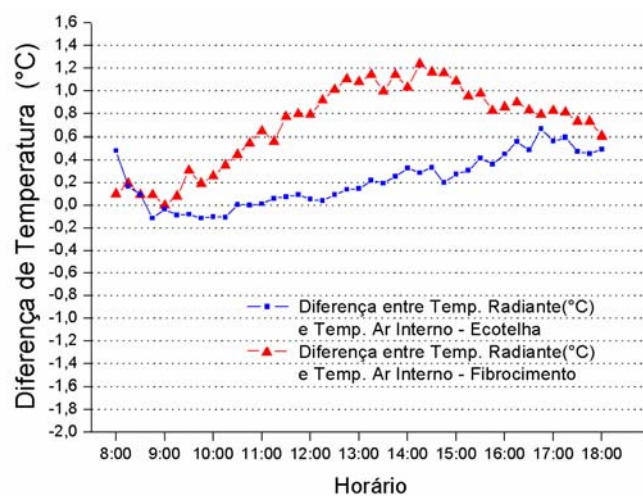


FIGURA 40 – Comportamento da diferença existente entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar no interior dos protótipos, estação Verão

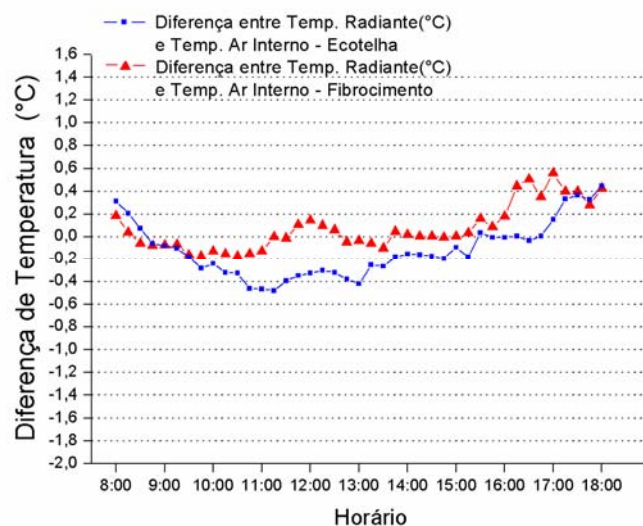


FIGURA 41 – Comportamento da diferença existente entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar no interior dos protótipos, estação Outono

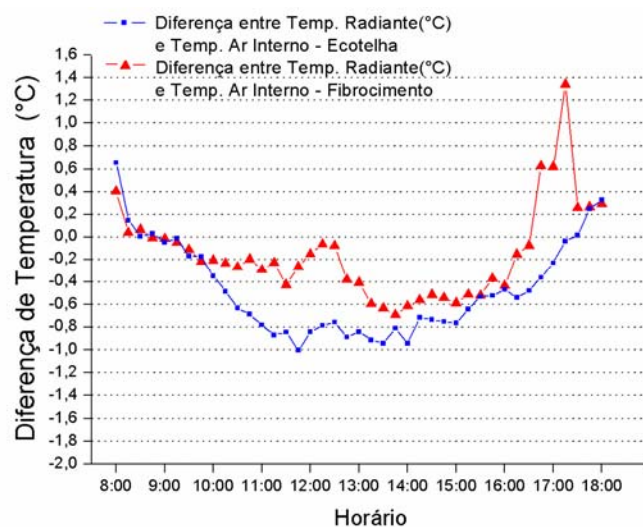


FIGURA 42 – Comportamento da diferença existente entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar no interior dos protótipos, estação Inverno

A cobertura vegetada apresenta uma elevada inércia térmica, o que dificulta seu aquecimento quando submetida à radiação solar. No verão esta cobertura atinge sua temperatura superficial interna máxima às 14hs e mantém esta intensidade até o final do dia, mesmo com a redução da radiação incidente. Com isso a diferença entre a temperatura radiante e a temperatura do ar do protótipo com cobertura vegetada começa a elevar-se a partir das 10hs atingindo seu valor máximo às 17hs, quando a temperatura da cobertura passa a aproximar-se dos valores encontrados na temperatura do ar (Figura 40).

No início do dia, na estação do verão, verificou-se menores valores de temperatura radiante quando comparada com as temperaturas do ar no protótipo com cobertura vegetada. Isso acontece pelo fato de as temperaturas das superfícies de fechamento apresentarem valores inferiores a temperatura do ar, fazendo com que o ar perca energia radiante para essas superfícies.

Tal fenômeno é mais freqüentemente observado na estação do outono e do inverno, principalmente no protótipo com cobertura vegetada, no qual na maior parte do dia verificam-se temperaturas radiantes inferiores a temperatura do ar. No outono somente a partir das 15hs a cobertura atinge valores de temperatura mais elevados que a temperatura do ar e passa a irradiar energia térmica para o ambiente (Figura 41). No inverno verificam-se temperaturas radiantes maiores que a temperatura do ar às 8hs nos dois protótipos, a partir das 16hs no protótipo com cobertura em fibrocimento e a partir das 17hs e 30min no protótipo com cobertura vegetada (Figura 42).

Nestas estações, mesmo no protótipo com cobertura em fibrocimento, caracterizado por uma baixa inércia térmica, verificou-se temperaturas radiantes menores que a temperatura do ar. Isto ocorre pelo fato de nestas estações a intensidade da radiação incidente ser menor que as verificadas na estação do verão, caracterizando um menor aquecimento dos fechamentos e conseqüentemente menor energia radiante no interior dos protótipos.

Vale destacar que na estação do inverno verificou-se um crescimento acelerado da temperatura radiante do protótipo com cobertura em fibrocimento no período compreendido entre as 16hs e 17hs (Figura 42). Também verifica-se este comportamento no protótipo com cobertura vegetada, no entanto apresenta-se de

forma mais sutil que no protótipo com cobertura em fibrocimento. Este fenômeno decorre do fato de neste horário, pela menor altura do sol, a radiação incidir perpendicularmente às paredes destes protótipos, ocasionando um aquecimento rápido das superfícies destas paredes até atingirem temperaturas maiores as encontradas no interior do ambiente.

As maiores diferenças encontradas no protótipo com cobertura em fibrocimento se dão ao posicionamento deste protótipo em relação ao entorno, que permitiu a incidência direta de radiação sobre suas paredes, enquanto no protótipo com cobertura vegetada a incidência era minimizada pela interceptação provocada pela vegetação presente no entorno.

5.4. TEMPERATURA SUPERFICIAL DA PAREDE 1

5.4.1. Temperatura Superficial Interna

A temperatura superficial interna da parede 1 dos protótipos apresenta diferença altamente significativa quando relacionada a todas as fontes de variação, ou seja, seus valores estão sendo influenciados tanto pela estação do ano, quanto pelo tipo de cobertura e ainda pela relação entre estação e cobertura (Tabela 4).

TABELA 4 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial interna da parede 1 como variável dependente

Variável Dependente	Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F Calculado	Nível de Significância
Temperatura Sup. Interna – Parede 01 (°C)	Estação	9543,930	2	4771,965	282,639	,000
	TipoCob	231,354	1	231,354	13,703	,000
	Estação *	493,158	2	246,579	14,605	,000
	TipoCob					

As temperaturas superficiais internas da parede 1 têm um comportamento mais homogêneo nas estações do outono e do inverno quando comparadas a estação do verão (Figura 43, 44 e 45). Nesta ultima ainda foram observados valores mais elevados de temperatura.

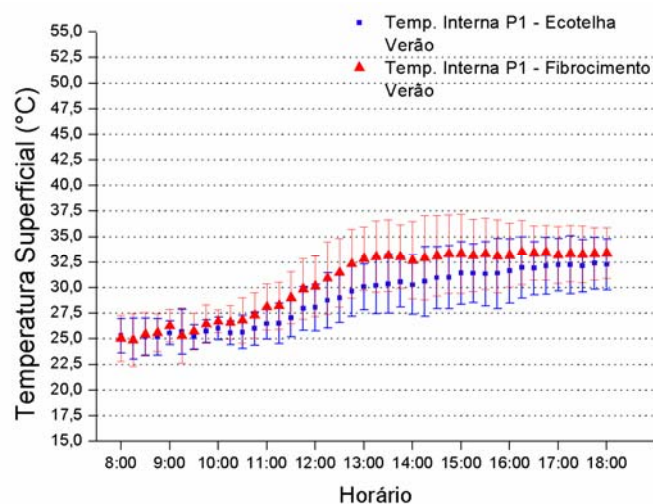


FIGURA 43 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 1 dos dois protótipos. Estação Verão

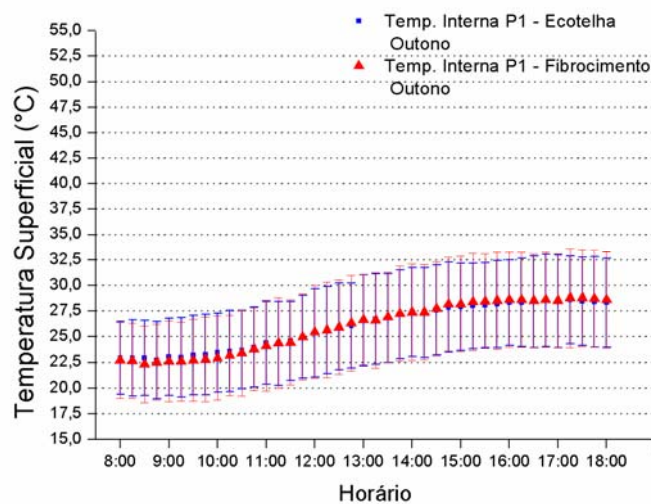


FIGURA 44 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 1 dos dois protótipos. Estação Outono

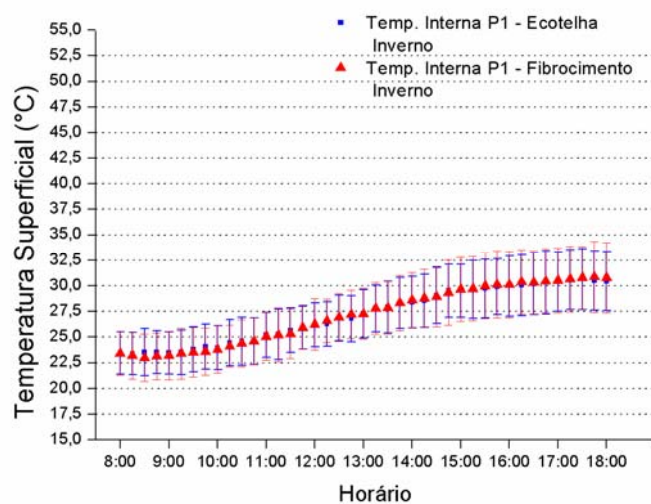


FIGURA 45 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 1 dos dois protótipos. Estação Inverno

Percebeu-se também uma maior variabilidade em torno das médias horárias referente à estação do outono, como já observado na temperatura do ar no interior dos protótipos para este mesmo período (Figura 44). Esta variabilidade é causada pelo fato de que, para o clima local, esta estação não possui características bem definidas, resultando em grandes variações na temperatura do ar externo de um dia para o outro. Confirma-se, desta forma, a interação entre a variável temperatura superficial interna da parede 1 e a estação do ano.

Quando analisou-se qualitativamente o comportamento desta temperatura em cada estação, verificou-se que no verão, as temperaturas encontradas no protótipo com cobertura vegetada foram inferiores as observadas no protótipo com cobertura de fibrocimento. Maiores diferenças podem ser vistas a partir das 11hs da manhã (Figura 43).

No outono e no inverno as temperaturas dos dois protótipos apresentaram-se muito semelhantes, somente no início do dia verifica-se, no protótipo com cobertura de fibrocimento, valores inferiores aos encontrados no protótipo com cobertura vegetada. A partir das 10hs e 30min os valores não apresentam diferença significativa (Figura 44 e 45).

Pode-se confirmar assim as interações entre a variável temperatura superficial interna da parede 1 com o tipo de cobertura, da mesma forma como com a relação entre tipo de coberturas e estação do ano, apontadas na análise de variância.

5.4.2. Temperatura Superficial Externa

A temperatura superficial externa da parede 1 só apresenta diferença significativa quando relacionada com a estação do ano (Tabela 5), assim, verifica-se que o tipo de cobertura utilizada não influenciou nos valores desta variável, ela somente varia a partir das interferências impostas pelo meio externo, características de cada estação do ano.

TABELA 5 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial externa da parede 1 como variável dependente

Variável Dependente	Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F Calculado	Nível de Significância
Temperatura Sup. Externa – Parede 01 (°C)	Estação	23174,430	2	11587,215	586,226	,000
	TipoCob	,103	1	,103	,005	,942
	Estação *					
	TipoCob	71,404	2	35,702	1,806	,164

As temperaturas superficiais externas da parede 1, assim como as internas, também apresentam um comportamento mais homogêneo na estação do outono e do inverno, com valores, de uma forma geral, inferiores aos da estação do verão (Figura 46, 47 e 48). Além disso a grande variabilidade característica da irregularidade climática da estação do outono, também podem ser verificada para esta variável (Figura 47).

Tais observações confirmam a interação existente entre a variável temperatura superficial externa da parede 1 e a estação do ano, levantada pela análise de variância.

A análise qualitativa do comportamento da temperatura externa da parede 1 para cada estação do ano aponta o que foi determinado pelo teste estatístico, ou seja, não existem diferenças significativas entre as temperaturas observadas nos dois protótipos.

Somente no período compreendido entre as 11hs e 30min e 15hs e 30min na estação do verão são encontrados temperaturas inferiores no protótipo com cobertura vegetada (Figura 46). No entanto os testes estatísticos apontam esta diferença como não significativa.

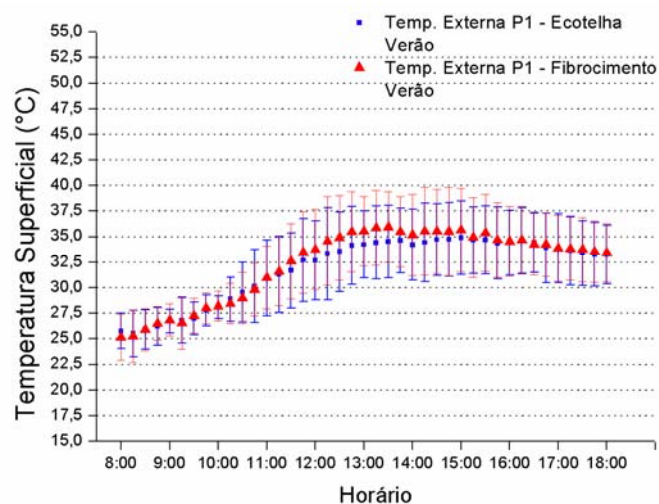


FIGURA 46 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 1 dos dois protótipos. Estação Verão

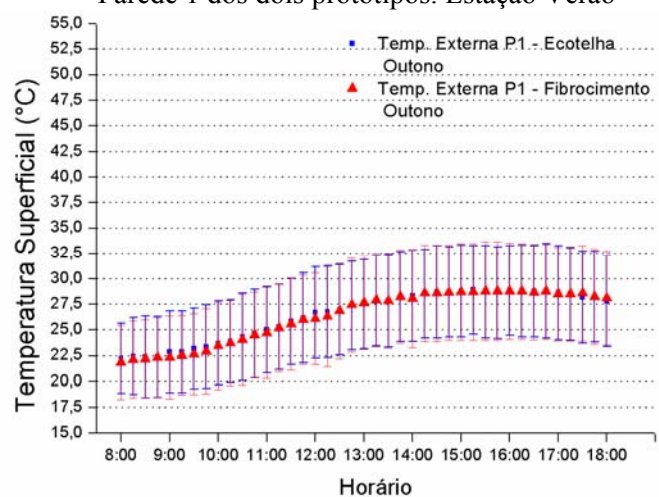


FIGURA 47 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 1 dos dois protótipos. Estação Outono

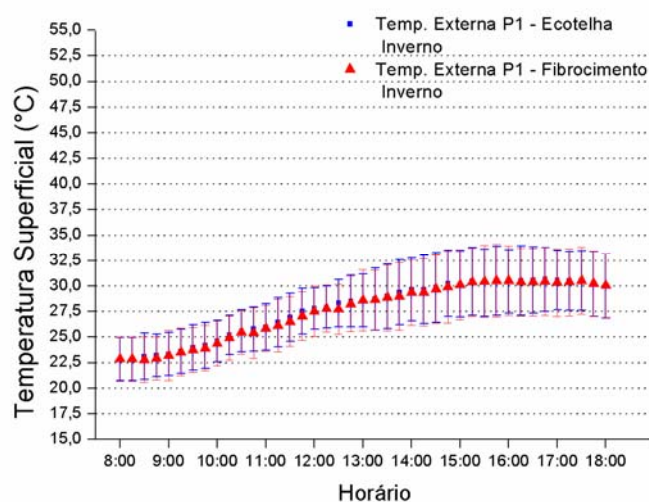


FIGURA 48 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 1 dos dois protótipos. Estação Inverno

5.5. TEMPERATURA SUPERFICIAL DA PAREDE 2

5.5.1. Temperatura Superficial Interna

Com relação à temperatura superficial interna da parede 2 podemos identificar as mesmas interações encontradas na parede 1, ou seja, a variável sofre interferência tanto da estação do ano, quanto do tipo de cobertura, e ainda da relação entre cobertura e estação do ano (Tabela 6).

Este resultado nos revela que a variável temperatura superficial interna da parede 2 é influenciada por todas as fontes de variação apontadas no teste.

TABELA 6 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial interna da parede 2 como variável dependente

Variável Dependente	Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F Calculado	Nível de Significância
Temperatura Sup. Interna – Parede 02 (°C)	Estação	10601,261	2	5300,631	296,808	,000
	TipoCob	167,626	1	167,626	9,386	,002
	Estação *					
	TipoCob	374,831	2	187,415	10,494	,000

Nas temperaturas internas da parede 2 verificaram-se as mesmas características encontradas na parede 1 (Figura 49, 50 e 51). Entre elas destacam-se o comportamento mais homogêneo das temperaturas no outono e no inverno, a presença de temperaturas mais elevadas no verão e uma grande variabilidade, característica da estação de outono. Confirma-se também aqui, a interação observada na análise de variância entre a temperatura superficial interna da parede 2 e a estação do ano.

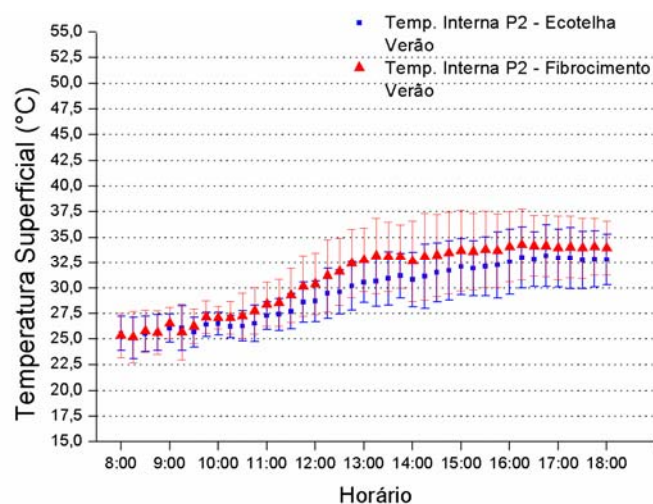


FIGURA 49 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 2 dos dois protótipos. Estação Verão

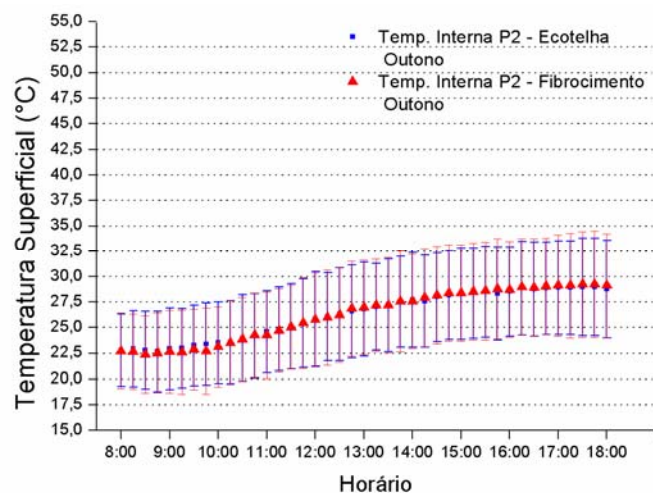


FIGURA 50 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 2 dos dois protótipos. Estação Outono

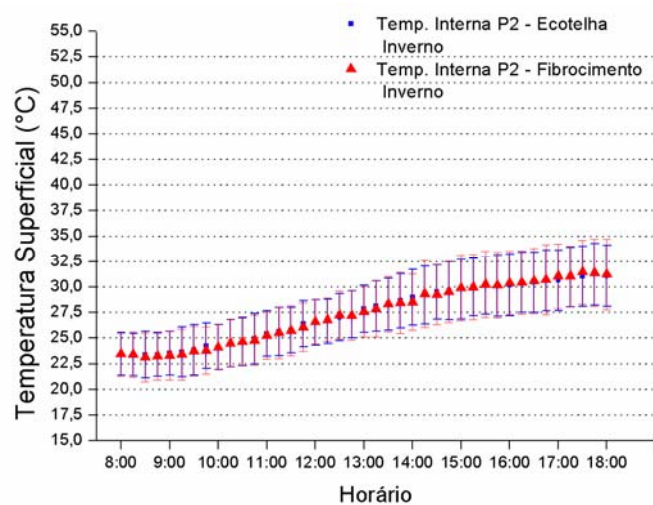


FIGURA 51 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 2 dos dois protótipos. Estação Inverno

Além disso, assim como na parede 1, as temperaturas no protótipo com cobertura vegetada, durante o período do verão, mostraram-se inferiores às observadas no protótipo com cobertura de fibrocimento (Figura 49), enquanto que no outono e no inverno não foram verificadas diferenças significativas entre as temperaturas dos dois protótipos (Figura 50 e 51). Confirma-se aqui também a interação entre essa variável com o tipo de cobertura e com a relação entre cobertura e estação do ano.

5.5.2. Temperatura Superficial Externa

A temperatura superficial externa da parede 2, assim como observado na parede 1, só apresenta diferença significativa quando relacionada com a estação do ano, assim, verifica-se também aqui que o tipo de cobertura utilizada não influenciou nos valores desta variável (Tabela 7). Podemos concluir que a temperatura superficial externa da parede 2 não sofre interferência do tipo de cobertura, seus valores são determinados somente pelas características do meio externo, relacionadas à estação do ano.

TABELA 7 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial externa da parede 2 como variável dependente

Variável Dependente	Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F Calculado	Nível de Significância
Temperatura Sup. Externa – Parede 02 (°C)	Estação	17476,957	2	8738,479	375,744	,000
	TipoCob	58,389	1	58,389	2,511	,113
	Estação *	79,031	2	39,516	1,699	,183
	TipoCob					

As temperaturas superficiais externas da parede 2, da mesma forma como observado na parede 1, apresentam um comportamento mais homogêneo no outono e no inverno, com valores um pouco inferiores aos encontrados no verão e com grande variabilidade ao redor das médias horárias da estação do outono (Figura 52, 53 e 54). Pode ser confirmada a interação existente entre a variável e a estação, observada na análise de variância.

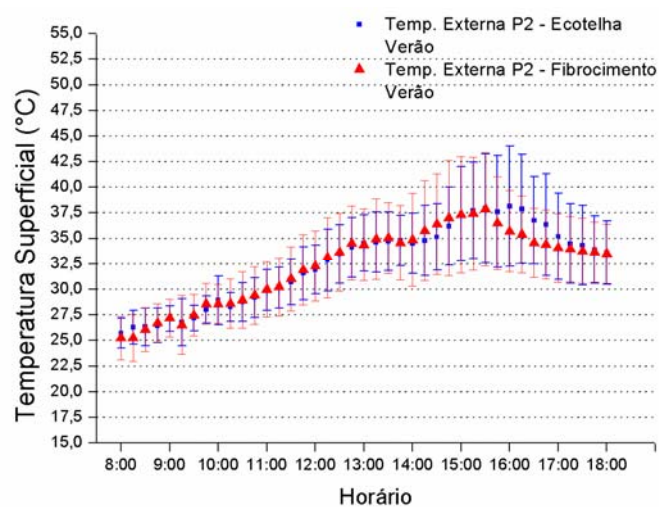


FIGURA 52 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 2 dos dois protótipos. Estação Verão

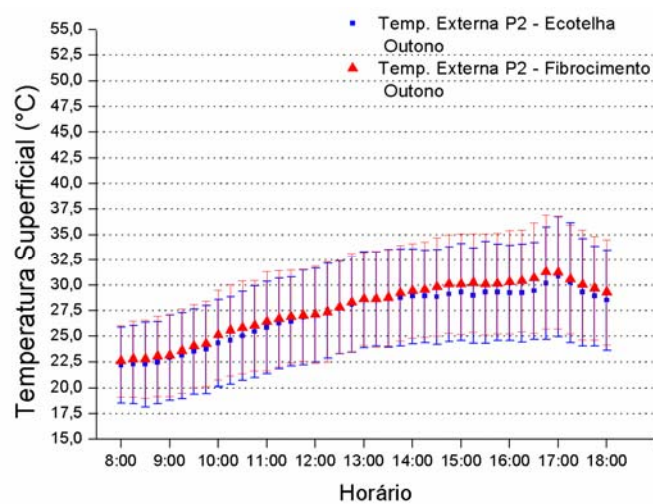


FIGURA 53 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 2 dos dois protótipos. Estação Outono

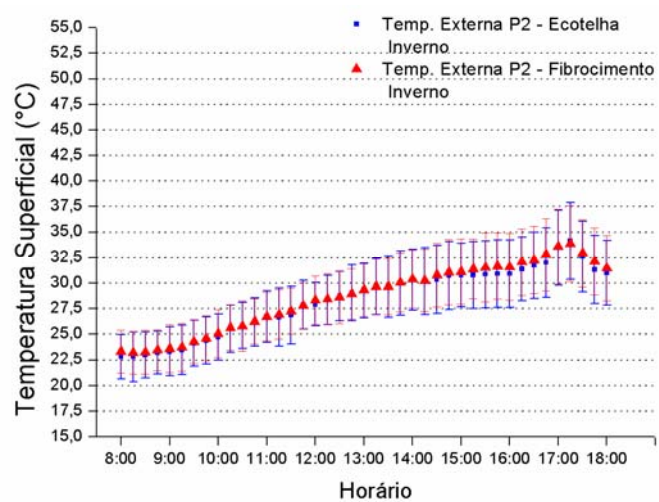


FIGURA 54 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 2 dos dois protótipos. Estação Inverno

Destaca-se ainda que não detectou-se diferenças significativas no comportamento das temperaturas superficiais externas da parede 2 dos dois protótipos em nenhuma das estações do ano. Somente no final da tarde na estação do verão verificaram-se maiores temperaturas superficiais externas na parede 2 do protótipo com cobertura vegetada em relação ao protótipo com cobertura em fibrocimento (Figura 52), no entanto o teste aponta esta diferença como não significativa. Confirma-se, desta forma, a inexistência de interação entre a variável e o tipo de cobertura e entre a relação da cobertura com a estação do ano.

5.6. TEMPERATURA SUPERFICIAL DA PAREDE 3

5.6.1. Temperatura Superficial Interna

A temperatura superficial interna da parede 3 apresenta as mesmas interações encontradas na parede 1 e na parede 2, ou seja a variável sofre interferência tanto da estação do ano, quanto do tipo de cobertura e ainda da relação entre cobertura e estação do ano (Tabela 8). Verifica-se então que a variável temperatura superficial interna da parede 3 é influenciada por todas as fontes de variação apontadas no teste.

TABELA 8 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial interna da parede 3 como variável dependente

Variável Dependente	Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F Calculado	Nível de Significância
Temperatura Sup. Interna – Parede 03 (°C)	Estação	6065,309	2	3032,655	157,876	,000
	TipoCob	489,484	1	489,484	25,482	,000
	Estação *	649,297	2	324,648	16,901	,000
	TipoCob					

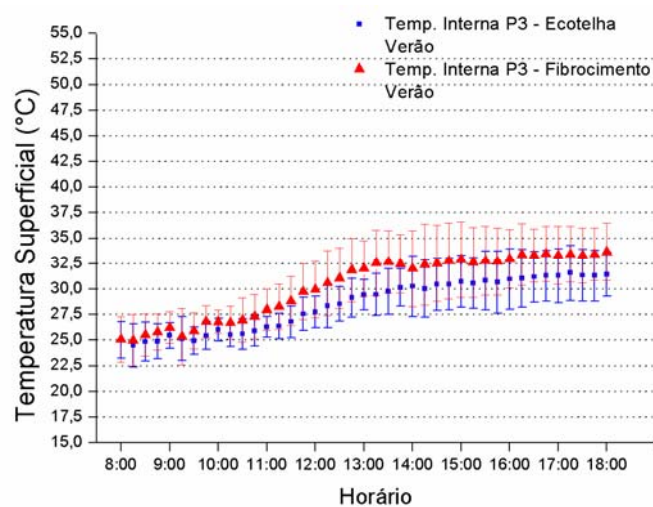


FIGURA 55 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 3 dos dois protótipos. Estação Verão

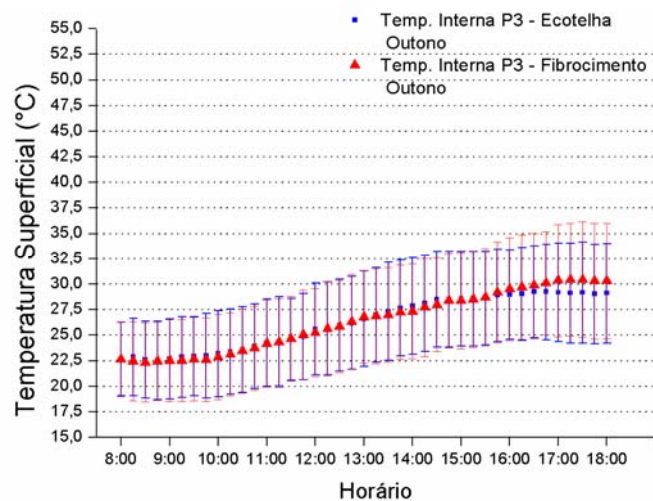


FIGURA 56 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 3 dos dois protótipos. Estação Outono

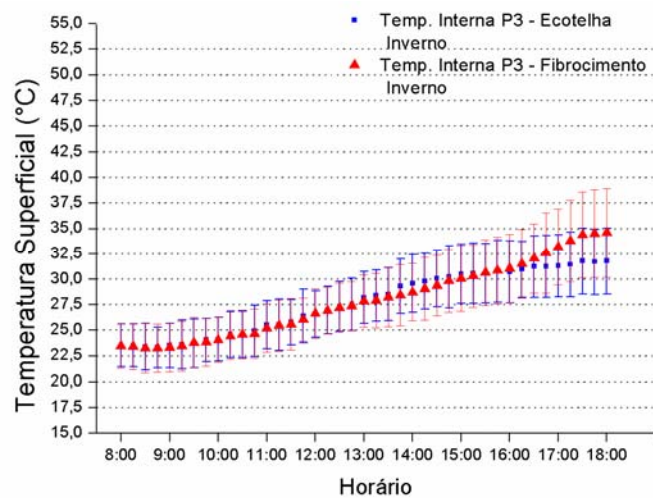


FIGURA 57 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 3 dos dois protótipos. Estação Inverno

As temperaturas superficiais internas da parede 3, assim como nas paredes 1 e 2, apresentam um comportamento mais homogêneo na estação do outono e do inverno (Figura 56 e 57), com valores um pouco inferiores aos encontrados no verão (Figura 55) e com grande variabilidade em torno das medias horárias do outono. Confirma-se aqui também a interação entre a variável e a estação do ano, observada na análise de variância.

Também nesta parede as temperaturas superficiais internas do protótipo com cobertura vegetada mostraram-se inferiores as do protótipo com cobertura de fibrocimento, no período do verão (Figura 55).

No outono e no inverno não verificam-se diferenças significativas entre o comportamento da temperatura superficial interna da parede 3 dos dois protótipos (Figura 56 e 57). Somente no final do dia, destas duas estações, percebe-se um maior aquecimento da parede 3 do protótipo com cobertura em fibrocimento quando comparado ao protótipo com cobertura vegetada, com maiores diferenças verificadas na estação do inverno.

Tal fenômeno, já observado na análise do comportamento da temperatura radiante dos dois protótipos, decorre do fato de a parede 3 se posicionar na fachada noroeste, que neste horário, pela menor altura do sol, recebe radiação em ângulos praticamente perpendiculares, ocasionando um aquecimento rápido das superfícies (Figura 58).

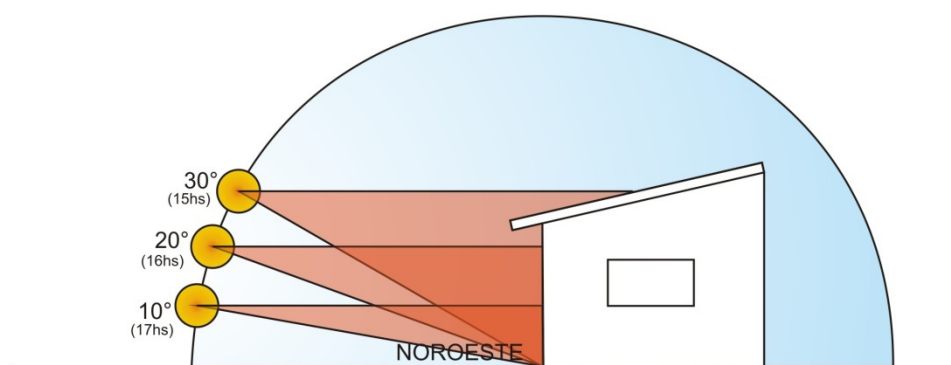


FIGURA 58 – Posicionamento aproximado do sol no período das 15h às 17h da estação do outono e do inverno em relação à fachada noroeste, com indicação da altura solar

As maiores temperaturas superficiais encontradas no protótipo com cobertura em fibrocimento se dão ao posicionamento deste protótipo em relação ao entorno, que permitiu a incidência direta de radiação sobre a parede 3, enquanto no protótipo

com cobertura vegetada a incidência era minimizada pela interceptação provocada pela vegetação presente no entorno.

Confirma-se a interação observada no teste estatístico entre a variável e o tipo de cobertura e a relação entre a cobertura e estação do ano.

5.6.2. Temperatura Superficial Externa

Com relação à temperatura superficial externa da parede 3, verificou-se que a variável sofre interferência tanto da estação do ano quanto do tipo de cobertura (Tabela 9). Tal resultado foge do padrão esperado para as temperaturas superficiais dos fechamentos, visto que os protótipos caracterizam-se por um único cômodo, e que as interferências da cobertura são as mesmas para todas as paredes.

No entanto, como já observado na temperatura superficial interna da parede 3, devido à configuração do entorno, relacionado ao posicionamento do sol, em alguns horários do dia observava-se a incidência direta de radiação nessa parede em apenas um dos protótipos. A transferência de energia térmica por radiação provocou um aquecimento diferenciado desta parede em alguns horários específicos, o que caracteriza esta interação, entre a temperatura superficial externa desta parede e o tipo de cobertura, como não significativa.

TABELA 9 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial externa da parede 3 como variável dependente

Variável Dependente	Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F Calculado	Nível de Significância
Temperatura Sup. Externa – Parede 03 (°C)	Estação	5079,035	2	2539,517	78,708	,000
	TipoCob	302,582	1	302,582	9,378	,002
	Estação *					
	TipoCob	40,120	2	20,060	,622	,537

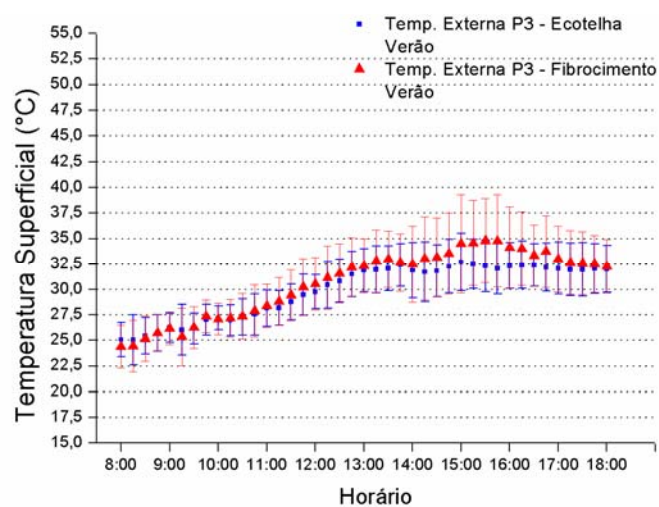


FIGURA 59 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 3 dos dois protótipos. Estação Verão

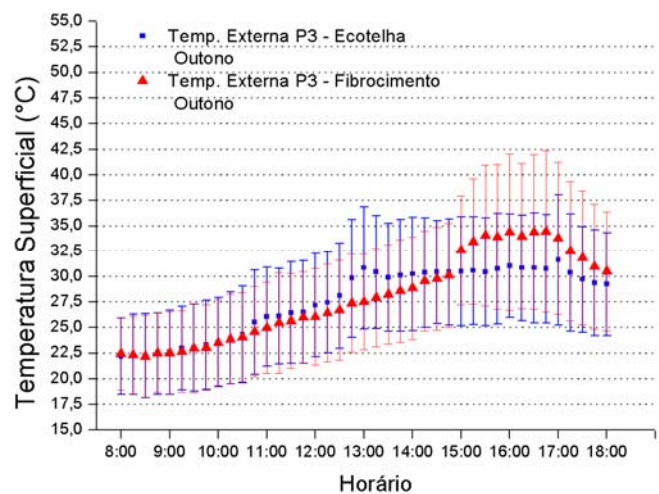


FIGURA 60 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 3 dos dois protótipos. Estação Outono

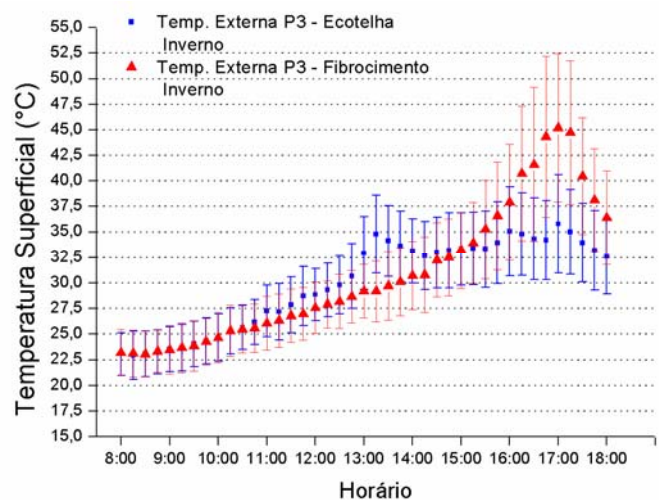


FIGURA 61 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 3 dos dois protótipos. Estação Inverno

As temperaturas superficiais externas da parede 3, como já apontado na análise de variância, apresentam características um pouco fora do padrão até então observado nas temperaturas das paredes 1 e 2. O comportamento da temperatura durante o outono e o inverno não apresenta-se tão homogêneo como até então verificava-se nas outras paredes (Figura 60 e 61). As intensidades dos valores encontrados nestes períodos não diferem-se tanto dos encontrados no verão (Figura 59). No entanto, o comportamento da variável no decorrer do dia, ainda apresenta diferenças significativas quando compararam-se as três estações do ano. Confirma-se aqui também a interação, identificada pela análise de variância, entre a variável e a estação do ano.

Quando analisou-se qualitativamente os valores de temperatura superficial externa da parede 3 para cada estação, verificou-se que no verão os valores de temperatura dos dois protótipos são semelhantes até as 14hs. No intervalo compreendido entre as 14 e 17hs a parede 3 do protótipo com cobertura em fibrocimento sofre um aquecimento, não verificado no protótipo com cobertura vegetada (Figura 59).

Na estação do outono e do inverno este comportamento diverso é ainda mais evidente. No outono a temperatura dos dois protótipos mantém-se semelhantes até as 11hs da manhã, quando observa-se uma elevação mais acentuada na parede 3 do protótipo com cobertura vegetada. Esta diferença mantém-se constante até 12hs e 30min, quando esta mesma parede sofre um aquecimento acelerado enquanto a parede 3 do protótipo com cobertura de fibrocimento mantém o mesmo ritmo de aquecimento. A partir das 13hs e 30min o protótipo com cobertura vegetada estabiliza sua temperatura com variações muito sutis, enquanto o protótipo com cobertura em fibrocimento inicia um aquecimento, chegando a ultrapassar a temperatura encontrada no protótipo com cobertura vegetada, mantendo-se assim até o final do dia (Figura 60).

Como já explicado anteriormente este comportamento é devido à configuração do entorno relacionada ao posicionamento do sol na abóboda celeste. Em alguns horários específicos do dia verifica-se a incidência de radiação direta na parede 3 em apenas um dos protótipos, ficando o outro em condições de sombreamento. O diferente posicionamento do sol durante o dia, e nas diferentes

épocas do ano, faz com que esta parede sofra interferências diferenciadas em cada protótipo, levando a este comportamento diverso na sua temperatura superficial.

No inverno verificamos o mesmo comportamento observado na estação do outono, somente apresentando variação com relação à intensidade das temperaturas observadas no protótipo com cobertura em fibrocimento. No outono a superfície externa da parede 3 deste protótipo atinge um máximo de 46°C enquanto no inverno ela chega a 53°C (Figura 60 e 61). Tal diferença é provocada pelas menores alturas solares encontradas no período do inverno, que caracterizam um maior período de incidência de radiação em ângulos próximos a perpendicular da superfície (Figura 62).

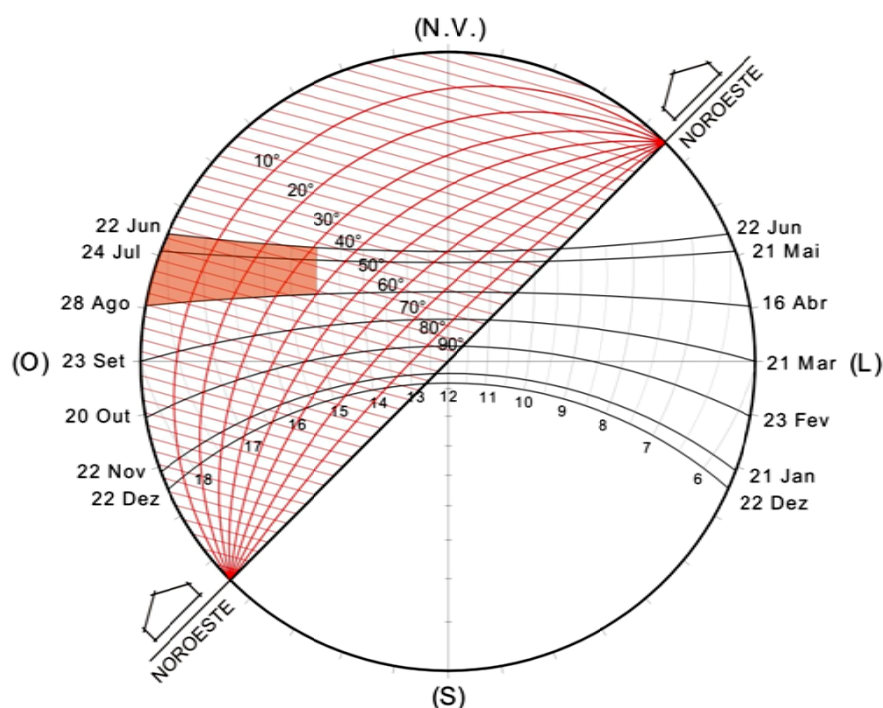


FIGURA 62 – Carta Solar da cidade de Cuiabá com indicação da altura solar no período das 15hs às 17hs e 30min da estação do outono e do inverno em relação à fachada noroeste

5.7. TEMPERATURA SUPERFICIAL DA PAREDE 4

5.7.1. Temperatura Superficial Interna

A temperatura superficial interna da parede 4 apresenta um resultado um pouco diferenciado das interações encontradas em todas as outras paredes dos protótipos. Enquanto todas as outras paredes indicaram a interferência tanto da estação do ano, quanto do tipo de cobertura e ainda da relação entre cobertura e

estação do ano na temperatura superficial interna, a parede 4, de acordo com a análise de variância, não apresenta diferenças significativas em sua temperatura superficial quando relacionada com o tipo de cobertura (Tabela 10). Verifica-se que a variável “temperatura superficial interna” da parede 4 é influenciada apenas pela estação do ano e pela interação entre a estação e o tipo de cobertura.

TABELA 10 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial interna da parede 4 como variável dependente

Variável Dependente	Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F Calculado	Nível de Significância
Temperatura Sup. Interna – Parede 04 (°C)	Estação	9339,516	2	4669,758	257,894	,000
	TipoCob	59,299	1	59,299	3,275	,070
	Estação *	316,507	2	158,254	8,740	,000
	TipoCob					

As temperaturas superficiais internas da parede 4, assim como nas outras paredes dos protótipos, apresentam um comportamento mais homogêneo na estação do outono e do inverno com valores um pouco inferiores aos encontrados no verão (Figura 63, 64 e 65). Verificou-se também uma grande variabilidade em torno das médias horárias do outono. Confirma-se aqui também a interação entre a variável e a estação do ano, observada na análise de variância.

Também nesta parede as temperaturas superficiais internas do protótipo com cobertura vegetada mostraram-se inferiores as do protótipo com cobertura de fibrocimento, no período do verão (Figura 63). No outono e no inverno não verificam-se diferenças significativas entre o comportamento da temperatura superficial interna da parede 3 dos dois protótipos (Figura 64 e 65).

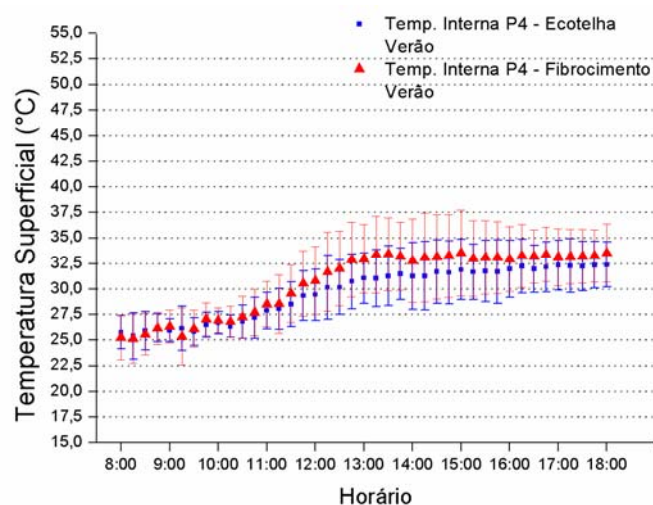


FIGURA 63 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 4 dos dois protótipos. Estação Verão

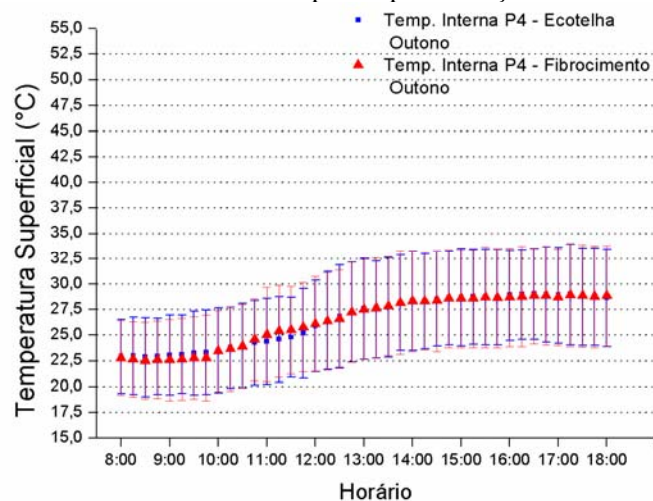


FIGURA 64 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 4 dos dois protótipos. Estação Outono

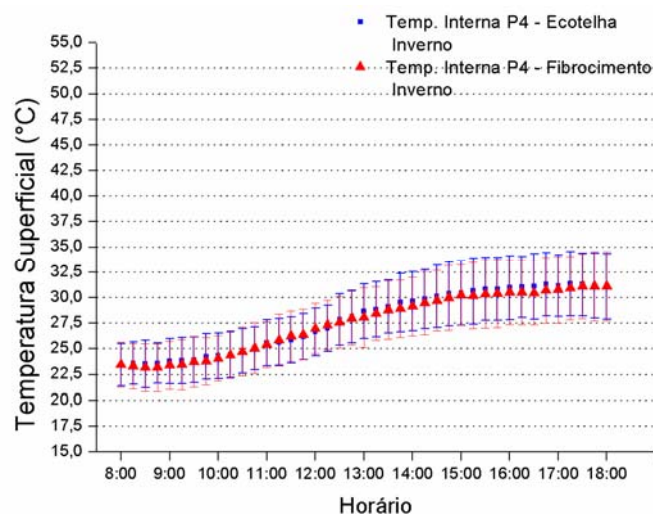


FIGURA 65 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Interna da Parede 4 dos dois protótipos. Estação Inverno

Confirma-se a interação observada no teste estatístico entre o comportamento da variável nos dois protótipos nas diferentes estações do ano. No entanto o teste indica que a diferença encontrada entre a temperatura superficial interna da parede 4 dos protótipos na estação do verão não foi capaz de caracterizar uma interação entre a variável e o tipo de cobertura, interação apontada como não significativa na análise de variância.

5.7.2. Temperatura Superficial Externa

Com relação à temperatura superficial externa da parede 4, verificou-se que a variável sofre interferência tanto da estação do ano quanto da interação entre o tipo de cobertura e a estação do ano (Tabela 11). Tal resultado foge do padrão esperado para as temperaturas superficiais dos fechamentos, pelo fato de os protótipos caracterizarem-se por um único cômodo, considerando que as interferências da cobertura são as mesmas para todas as paredes.

Este resultado está relacionado ao posicionamento do sol, em alguns horários do dia, que ocasionou a incidência direta de radiação nesta parede em apenas um dos protótipos. A transferência de energia térmica por radiação provocou um aquecimento diferenciado da parede 4, em alguns horários específicos, assim como observado na parede 3. Tal fenômeno justifica a interação, encontrada na análise de variância, entre a temperatura superficial externa desta parede e a relação entre o tipo de cobertura e a estação do ano.

TABELA 11 – Análise de Variância, considerando a temperatura superficial externa da parede 4 como variável dependente

Variável Dependente	Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F Calculado	Nível de Significância
Temperatura Sup. Externa – Parede 04 (°C)	Estação	8623,242	2	4311,621	89,035	,000
	TipoCob	9,095	1	9,095	,188	,665
	Estação *	400,936	2	200,468	4,140	,016
	TipoCob					

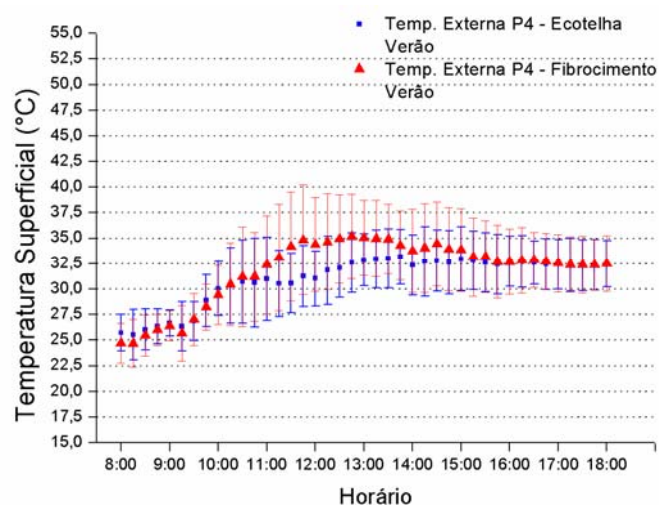


FIGURA 66 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 4 dos dois protótipos. Estação Verão

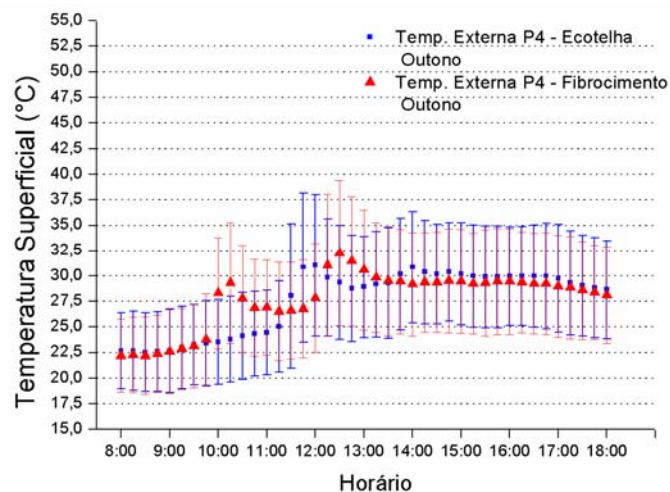


FIGURA 67 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 4 dos dois protótipos. Estação Outono

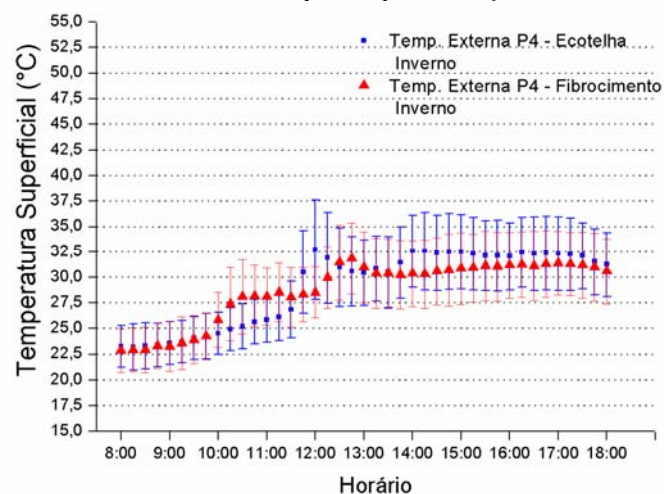


FIGURA 68 – Comportamento da media horária da Temperatura Superficial Externa da Parede 4 dos dois protótipos. Estação Inverno

Na parede 4, o comportamento da temperatura superficial externa não apresenta homogeneidade em nenhuma das estações do ano. No entanto, este comportamento revela características diferenciadas quando relaciona-se a estação de verão (Figura 66) com a de outono e inverno (Figura 67 e 68). Além disso, as temperaturas encontradas no outono e no inverno apresentam alguns picos, mas de uma forma geral são inferiores as temperaturas encontradas na estação do verão. Isso confirma a interação entre a variável e a estação do ano levantada pela análise de variância.

Assim como na parede 3, quando analisou-se qualitativamente o comportamento da temperatura superficial externa da parede 4 para cada estação verificaram-se grandes variações em momentos específicos do dia. No verão as temperaturas dos dois protótipos comportam-se de forma semelhante até as 10hs e 30min, a partir deste horário o protótipo com cobertura em fibrocimento sofre um aquecimento acelerado, chegando a valores bem maiores que os encontrados no protótipo com cobertura vegetada. Este comportamento mantém-se até as 15hs e 30min quando as temperaturas dos dois protótipos atingem valores semelhantes (Figura 66).

No outono e no inverno as variações são ainda mais significativas, caracterizadas por um acelerado aquecimento do protótipo com cobertura em fibrocimento às 10hs. As 11hs e 30min as temperaturas igualam-se novamente e passam a assumir um comportamento semelhante, com um atraso de 30min aproximadamente da temperatura superficial externa do protótipo com cobertura em fibrocimento em relação ao protótipo com cobertura vegetada (Figura 67 e 68).

Como já explicado anteriormente este comportamento é devido à configuração do entorno relacionado ao posicionamento do sol na abóboda celeste. Em alguns horários específicos do dia verifica-se a incidência de radiação direta na parede 4 em apenas um dos protótipos, ficando o outro em condições de sombreamento. A insolação diferenciada verificada nos dois protótipos leva a este comportamento diverso na temperatura superficial da parede 4.

5.8. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO PELO MÉTODO DE FANGER (PPD/ PMV)

Aplicando-se o método de Fanger para a avaliação do conforto térmico no interior dos protótipos verifica-se que somente no início do dia, na estação do inverno, são encontradas condições ideais de conforto nos dois ambientes monitorados. Nas demais estações, para o mesmo período do dia, as condições estão muito próximas do conforto, podendo ser facilmente conduzidas ao conforto com a instituição de estratégias bioclimáticas (Figura 69).

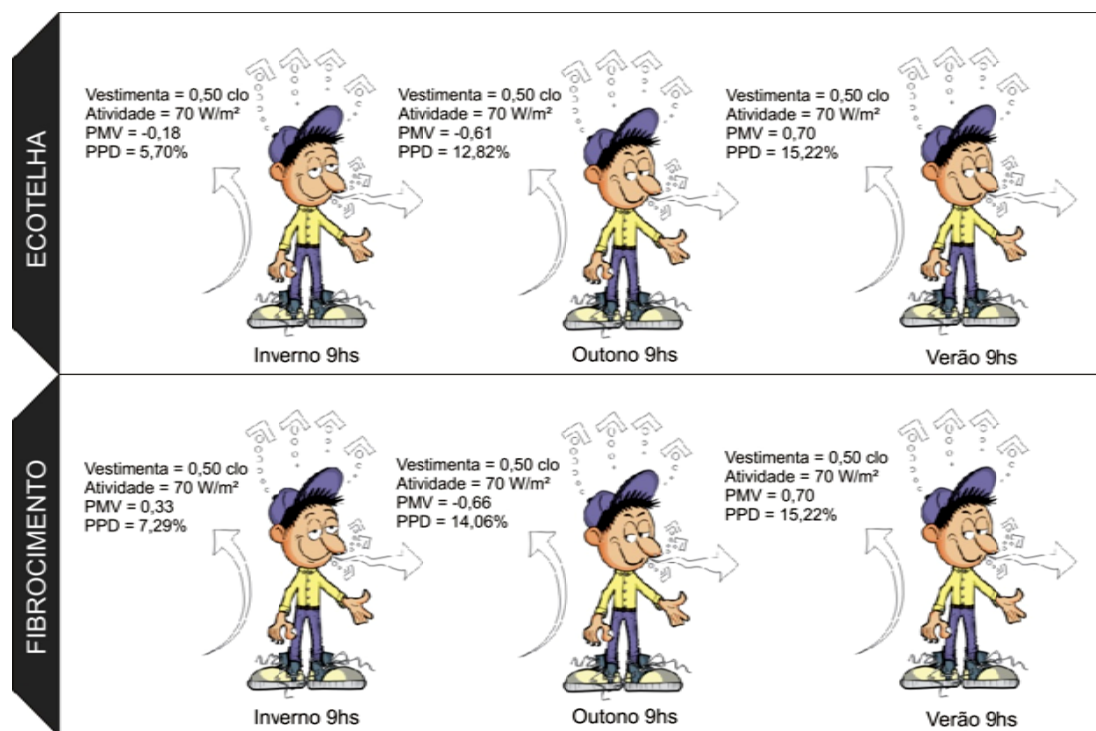


FIGURA 69 – Condições de conforto às 9hs nas três estações monitoradas

Fonte: Analysis CST 2.1

Às 13hs, no entanto, a ocorrência de temperaturas do ar externo mais elevadas, menores índices de umidade e maior incidência de radiação fazem com que, em nenhuma das estações do ano sejam verificadas condições de conforto nos ambientes monitorados. Vale ressaltar que, como já observado nas análises anteriores, o protótipo com cobertura vegetada apresenta, de uma forma geral, menor porcentagem de pessoas insatisfeitas que o protótipo com cobertura em fibrocimento (Figura 70).

Devemos levar em consideração que os ambientes monitorados possuíam aproximadamente 5m², com pé direito de 1,90 metros, sem existência de forro e poucas aberturas para ventilação. Tais características são aceitáveis para abrigos de bombas de sucção, no entanto, a análise utilizando o método de Fanger revelou que não são ideais para a ocupação humana. Os resultados permitiram identificar que o protótipo no qual foi instalada a cobertura vegetada apresentou melhores condições de conforto no ambiente estudado.

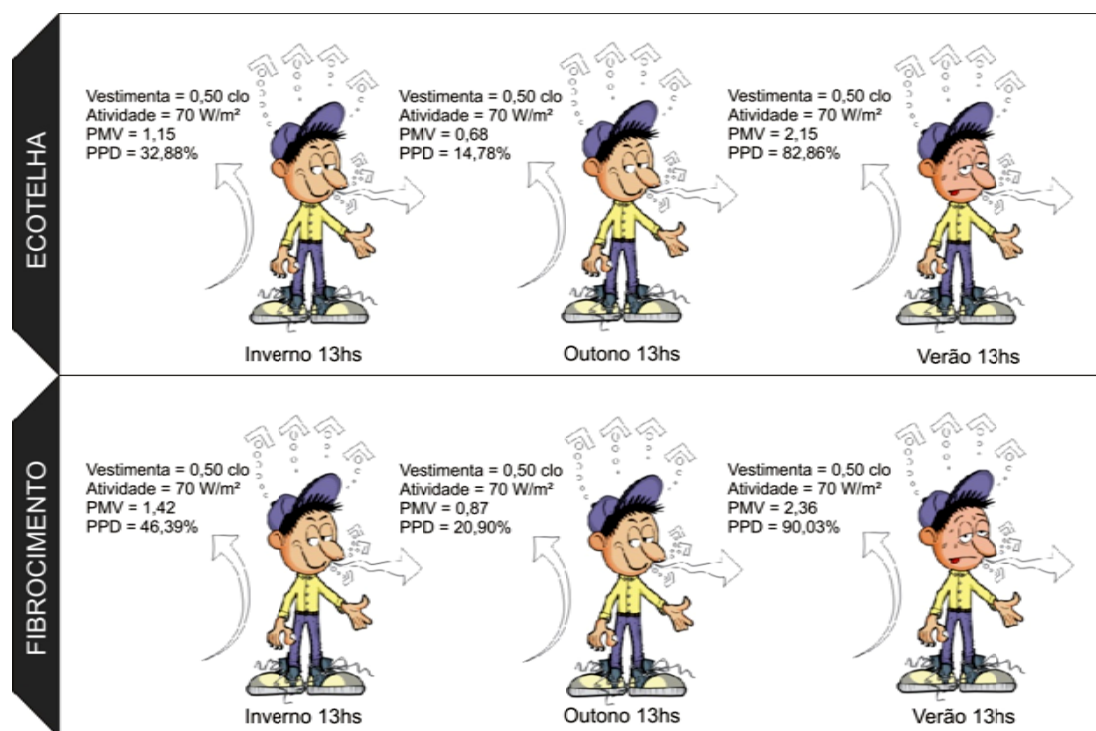


FIGURA 70 – Condições de conforto às 13hs nas três estações monitoradas

Fonte: Analysis CST 2.1

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação das interferências provocadas pela implantação da cobertura verde extensiva sobre uma telha de fibrocimento, na cidade de Cuiabá, mostrou resultados que possibilitaram sua caracterização como estratégia passiva adequada para o condicionamento térmico de edifícios localizados na cidade.

Verificou-se no interior do protótipo no qual houve a implantação da cobertura vegetada menores valores de temperatura do ar em praticamente todos os horários do dia. No verão o ar no interior do protótipo com cobertura vegetada chegou a apresentar às 13hs, $4,7^{\circ}\text{C}$ a menos que o protótipo com cobertura em fibrocimento. No outono esta diferença é $0,6^{\circ}\text{C}$ e no inverno chega a $0,8^{\circ}\text{C}$.

Somente a partir da 16hs, observa-se a ocorrência de valores mais elevados de temperatura do ar no protótipo com cobertura vegetada, até mesmo quando comparados a temperatura do ar externo. Este comportamento explica-se pela alta inércia térmica da cobertura vegetada, que dificulta o resfriamento da telha depois de cessada a incidência de radiação solar, mantendo-a aquecida por mais tempo. As transferências de energia térmica entre a cobertura e o ar no interior dos protótipos fazem com que o ar interno também leve mais tempo para resfriar-se.

Os resultados de temperatura do ar também possibilitaram a verificação da inadequação da cobertura de fibrocimento ao clima local, pois em todos os horários do dia na estação do verão, e em alguns horários da estação do outono, na qual observa-se menor incidência de radiação sobre as coberturas, as temperaturas encontradas no interior do protótipo com este tipo de cobertura apresentaram-se mais elevadas que as temperaturas externas. No inverno, no entanto, as temperaturas do ar neste protótipo apresentaram valores iguais ou inferiores aos encontrados no exterior.

De uma forma geral, os efeitos da implantação da cobertura verde, sobre a temperatura do ar interno, são mais facilmente observados na estação do verão.

Comparando-se os efeitos determinados pelas características climáticas de cada estação do ano, verifica-se maior homogeneidade e menor intensidade, da temperatura do ar interno na estação do outono e do inverno, ocasionados pelos baixos valores de radiação observados neste período, juntamente com menores temperaturas médias do ar externo. A estação do outono ainda apresenta maior variabilidade em torno das médias horárias, ocasionado pela ausência de características climáticas definidas para este período.

Quando analisaram-se os efeitos provocados na temperatura superficial da cobertura, podemos dizer que, de acordo com os resultados encontrados para estação de verão, a implementação de uma cobertura vegetada sobre uma cobertura de fibrocimento provoca uma redução de 15°C na amplitude diária da temperatura superficial e um atraso de aproximadamente 45min para a ocorrência da temperatura máxima do dia.

No entanto, na estação do outono e do inverno não podemos identificar claramente os valores referentes à redução na amplitude diária da temperatura superficial da cobertura e o atraso na obtenção do valor máximo de temperatura no dia, provocados pela implementação da cobertura vegetada sobre a cobertura de fibrocimento. Isso acontece devido à irregularidade de incidência da radiação direta sobre as coberturas. Nestas estações, no período da tarde, as duas coberturas estavam parcialmente sombreadas.

No entanto, também nestas estações, são verificadas temperaturas superficiais internas inferiores na cobertura vegetada quando comparada a cobertura em fibrocimento. Chegou-se a verificar, nos dias mais quentes da estação do outono, uma diferença de 14°C entre as temperaturas máximas atingidas pelas duas coberturas. Nos dias mais frescos esta diferença passa a ser de 3°C. No inverno a temperatura superficial da cobertura vegetada chegou a apresentar 18°C a menos que a cobertura de fibrocimento.

A análise das diferenças entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar indicou a existência de um comportamento diferenciado da relação dessas temperaturas nos dois protótipos nas diferentes estações do ano estudadas. No verão as diferenças são mais acentuadas no protótipo com cobertura em fibrocimento,

fenômeno provocado pela maior intensidade da radiação incidente neste período relacionada com a baixa inércia térmica desta cobertura.

No protótipo com cobertura vegetada verificam-se diferenças mais acentuadas na estação do inverno, com valores negativos, pelo fato de as temperaturas das superfícies de fechamento apresentarem valores inferiores a temperatura do ar, fazendo com que o ar perca energia radiante para essas superfícies. Tal resultado é devido às menores intensidades da radiação e menores temperaturas do ar externo neste período.

Com relação às temperaturas superficiais externas das paredes de fechamento, verificou-se que a implantação da cobertura verde não interfere nesta variável, em nenhum dos períodos analisados. O comportamento da temperatura externa das paredes somente é determinado pelas características climáticas de cada estação do ano, com maior homogeneidade e menor intensidade nas estações do outono e do inverno, ocasionados pelos baixos valores de radiação observados nestes períodos, juntamente com menores temperaturas médias do ar externo. A estação do outono ainda apresenta maior variabilidade em torno das médias horárias, confirmando a ausência de características climáticas definidas para este período.

A temperatura superficial interna, no entanto, sofre, além das interferências relacionadas às características climáticas de cada estação do ano, modificações provocadas pela implantação da cobertura verde. O comportamento desta variável diferencia-se também quando analisa-se a interferência da relação conjunta entre estação do ano e tipo de cobertura.

Os valores de temperatura superficial interna encontrados nas paredes do protótipo com cobertura vegetada apresentaram, no verão, resultados inferiores aos observados no protótipo com cobertura de fibrocimento. No outono e no inverno, no entanto, as temperaturas dos dois protótipos apresentaram-se muito semelhantes. Somente no final do dia, destas duas estações, percebe-se um maior aquecimento da parede 3 do protótipo com cobertura em fibrocimento quando comparado ao protótipo com cobertura vegetada. Tal fenômeno decorre do fato de a parede 3 se posicionar na fachada noroeste, que neste horário, pela menor altura do sol, recebe radiação direta em ângulos praticamente perpendiculares, ocasionando um

aquecimento rápido da superfície, o que não ocorre no protótipo com cobertura vegetada devido à interceptação provocada pela vegetação presente no entorno.

Os resultados encontrados na análise das condições de conforto dos protótipos monitorados, através do método de Fanger, permitiram identificar que o protótipo no qual foi instalada a cobertura vegetada apresentou melhores condições de conforto no ambiente estudado.

6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

a) Estudos mais aprofundados com monitoramento por um período maior de tempo, considerando as 24 horas do dia, visto que permitiria maior compreensão do desempenho da cobertura vegetada, levantando seu efeitos durante o período noturno.

b) Estudos que considerem também o período da primavera, não abordado neste trabalho, de forma a estabelecer um conhecimento mais completo do comportamento do telhado verde em todas as realidades climáticas características da cidade de Cuiabá, MT.

c) Análises utilizando outros tipos de telhados verdes, buscando avaliar o comportamento de cada material, de forma a identificar o mais eficiente para o clima local.

7. BIBLIOGRAFIAS

7.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS

AKBARI, H. Measured energy savings from the application of reflective roofs in two small nonresidential buildings. **Energy**, v.28, n.9, p.953-967, 2003.

AKBARI, H., BRETZ, S., TAHA, H., KURN, D., HANFORD, J. Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. **Energy and Buildings-Special Issue on Urban Heat Islands and Cool Communities**, v.25, n.2, p.117–126, 1990.

AKBARI, H., KONOPACKI, S. Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto, Canada. **Energy**, v.29, n.1, p.191-210, 2004.

AKBARI, H., KONOPACKI, S., POMERANTZ, M. Cooling energy savings potential of reflective roofs for residential and commercial buildings in the United States. **Energy**, New York, v.24, n.5, p.391- 407, 1999.

AKBARI, H., POMERANTZ, M., TAHA, H., Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. **Solar Energy**, v.70, n.3, p.295-310, 2001.

ALBERTI, L.B. **The Ten Books of Architecture - The 1755 Leoni Edition**, New York: Dover, 1986, IV, 3, p. 70.

ALCAZAR, S.S., BASS, B. **Energy performance of green roofs in a multi storey residential building in Madrid**. Greening Rooftops for Sustainable Communities, p. 569-582, may. 2005.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI). **ASHRAE Standard 55-1992, Thermal environmental conditions for human occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 1992.

ANDRADE, S.F. **Estudos de Estratégias Bioclimáticas no Clima de Florianópolis**. 1996. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Desempenho Térmico de Edificações – Projeto de Norma Brasileira no 02:135.07-001**. São Paulo, COBRACON, mimeo, 1998

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

BALDWIN, R. **Environmental Assessment and Management of Buildings**. Building Research Establishment, Watford, UK, 1996.

BARBOSA, M.J. **Uma Metodologia para Especificar e Avaliar o Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares**. 1997, 307 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BASS B., KRAYENHOFF, E., MARTILLI, A., STULL, R., AULD, H. **The impact of Green roofs on Toronto's urban heat island. Proceedings of Greening Rooftops for Sustainable Communities**. Chicago, Illinois, 2003.

BASS, B., CURRIE, B.A., PERKS, T., SO, D. **Effects of Green Elements on Graduate Students Perception of Wellness - #30 Charles Street Toronto**, unpublished, 2004.

BASS, B., KRAYENHOFF, E.F., MARTILLI, A., STULL, R.B., AULD, H. **Modelling the impact of Green roof infrastructure on the urban heat island in Toronto**. Green roofs Infrastructure Monitor, 4(1), 2002.

BATESON, G. **Steps to an Ecology of Mind**. Paladin, St Albans, UK, 1973.

BENGTSSON, L. Peak flows from thin sedum-moss roof. **Nordic Hydrology**, v.36, p. 269-280, 2005

BENGTSSON, L., GRAHN, L., OLSSON, J. Hydrological function of a thin extensive Green roof in southern Sweden. **Nordic Hydrology**, v.36, p. 259-268, 2005.

BOGO, A. et al. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico**. Relatório Interno do Núcleo de Pesquisa em Construção da UFSC. Florianópolis: NPC – UFSC, 1994. (Mimeo)

BOND, T.E., KELLY, C.F. The globe thermometer in agricultural research. **Agricultural Engineering**, California, v.36, n.5, p.251-255, Abr. 1955.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Assistência à Saúde. Série Saúde & Tecnologia. **Textos de Apoio à Programação Física dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde, Sistemas de Controle das Condições Ambientais de Conforto**. Brasília, 1995, 92 p.

BRENNEISEN, S. **The Benefits of Biodiversity from Green Roofs – Key Design Consequences**. Proceedings from Greening Rooftops for Sustainable Communities, First North American Green Roof Infrastructure Conference, Chicago, maio 2003.

BROWN, L. **The Acceleration of History**. Vital Signs 1995–1996, World Watch Institute, Earthscan Publications Ltd., London, UK, 1995.

BROWNLIE, I. **Principles of public international law**, 4 ed , New York, 1990, 748 p.

CAMPOS NETO, A.A. **Estudo Bioclimático no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso**. 2007, 138f, Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

CARTER, T.L. , RASMUSSEN, T.C. **Use of green roofs for ultra-urban stream in the Georgia piedmont (USA)**. p.526-539. Apresentado na 3ª North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Washington, The Cardinal Group, Toronto, mai. 2005.

CHANDLER, T.J. **Urban Climatology and relevance to Urban Design**. Nota técnica n. 149. World Meteorological Organization, CH-1211, Geneva 20, Switzerland, 1976.

CHEN, J., CHAMBERS, D., WILLS, D., SHA, K. **Sustainable Development and Sustainable Construction in China**. CIB Task Group 16. Compendium on Sustainable Construction. CIB Triennial Conference, Gavle, Sweden, Out. 1998.

COHNSTAEDT, J., SHIELDS, J., MACDONALD, M. **New workplace commons, a study of innovative support for cultural and social enterprises in both the not-for-profit and for-profit sectors** . Autorizado pelo Patrimônio Canadense ; Cidade de Toronto, Divisão de Cultura e Ministério da Cultura, 2003 (Não publicado).

COMMONWEALTH OF AUSTRALIA (AGO). **Australian commercial buildingsector greenhouse gas emissions 1990–1910, executive summary report**. Australian Greenhouse Office, Canberra, Australia, p.13, 1999a.

COMMONWEALTH OF AUSTRALIA (AGO). **Australian residential building sector greenhouse gas emissions 1990–2010 final report**. Australian Greenhouse Office, Canberra, Australia, 1999b.

COMMONWEALTH SCIENCE AND INDUSTRY RESEARCH ORGANISATION. **WasteWater Treatment & Management in Australia**. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia, 1998.

CONNELLY, M. **Summary of Data Analysis. Centre for the Advancement of Green Roof Technology**. British Columbia Institute of Technology. Report to Canada Mortgage and Housing Corporation. BCIT Green Roof Research Program, Phase 1. Jan/Dec. 2005.

CONNELLY, M., LIU, K. **Green roof research in British Columbia – an overview**. In: Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, 2005, Washington. Proceedings Canada: Green Roofs for Healthy Cities. p.1-17, 2005.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá. **Evolução do Perímetro Urbano de Cuiabá – 1938 a 2007**. Ano 2007. IPDU - Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. Cuiabá: 2007.72 p.

DALEY, R.M. **A Guide to rooftop gardening - from the city of Chicago**, 2006. Disponível em: <<http://www.icma.org/upload/library/2003-06/%7BEC554F94-5F6D-4536-BA9A-2B7A0D0158D1%7D.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2008.

DEL BARRIO, E.P. Analysis of the green roof cooling potential in buildings. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.27, n.2, p.179-193, abr. 1998.

DUARTE, D.H.S. **Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental**, 2000, Tese (Tese de Doutorado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, out.2000.

DUBOSE, J.R. **Sustainability as an Inherently Contextual Concept: some lessons from agricultural development**. 1994, Tese (Mestrado em Tecnologia) Georgia Institute of Technology, June. Atlanta, USA, 1994.

DUNNET, N., KINGSBURY, N. **Planning Green Roofs and Living Walls**, Timber Press, Portland, Oregon, 254p., 2004.

DUNNETT, N. **Review of green roof plants**. In: The Green Roof Infrastructure Monitor. North America Inc. v. 9. n. 1. Department of Landscape, University of Sheffield, 2007.

DUNNETT, N., KINGSBURY, N. **Planting Green Roofs and Living Walls**. Portland, Oregon 97204-3527, U.S.A.: Timber Press, 2004.

ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. Westport: AVI, Environmental engineering in agriculture and food series, 1978. 358 p.

FANGER, P.O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. New York : McGraw-Hill, 1972.

FANGER, P.O. **Thermal Confort**. New York, McGraw-Hill Book Company, 1970.

FEDERAL TECHNOLOGY ALERT. **Green Roofs**, Produced for the U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, by the National Renewable Energy Laboratory. DOE/EE-0298, ago. 2004.

FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (Landscape, Research, Development and Construction Society). **Guideline for the Planning, Execution, and Upkeep of Green-roof Sites**. 2002. Disponível em: <www.f-l-l.de/english.html>. Acesso em: 14 Ago.2008.

FRIENDS OF THE EARTH EUROPE. **Towards Sustainable Europe**. Friends of theEarth Europe, Brussels, 1995.

FROTA, A.B., SCHIFFER, S.R., **Manual de conforto térmico**. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GEDGE, D. **From Rubble to Redstarts**. Redstart Action Plan Working Group. Proceedings from Greening Rooftops for Sustainable Communities, First North American Green Roof Infrastructure Conference, 29 e 30 mai., Chicago, 2003.

GEORGESCU-ROEGEN, N. The entropy law and the economic problem. In:Energy and economic myths: institutional and analytical economic essays. **PergamonPress**, New York, p.53–60, 1976.

GETTER, K.L., D. ROWE, B. The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development. Michigan State University, Department of Horticulture. Hortscience. **Plant & Soil Sciences**, Bldg La. p.1276-1285, 2006.

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

GONZÁLEZ, E., HINZ, E., OTEIZA, P., QUIRÓS, C. **Proyecto, Clima Y Arquitectura**. Universidad de Zulia. Vol. 1. Editorial Gustavo Gili. México 1986.

GOOGLE, Google Earth 5.0.11733.9347. São Paulo, 2009. Disponível no site: <<http://www.baixaki.com.br/download/Google-Earth.htm>>, 10.440.000 bytes.

GRAHAM, P. **Building Ecology: First Principles For A Sustainable Built Environment**. Blackwell Science Ltd, Sydney, Austrália, 2003.

GRANT, G., ENGLEBACK, L., NICHOLSON, B. **Green roofs: existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas**. English Nature Research Report n. 498. Peterborough, U.K.: English Nature, 2003.

GRIME, J.P. **Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties**. 2.ed. Chichester, UK: Wiley, 2001.

GRIMMOND, C.S.B., OKE, T.R., STEYN, D.G. **Urban water balance I: A model for daily totals**. Wat. Resour. Res. 22, p.1397-1403, 1986.

GROPIUS, W. **Bauhaus: Novarquitectura**, Editora Perspectiva, São Paulo, 1972

HARVEY, J. **The Economics of Real Property**. Macmillan Publishers Ltd, Hampshire, UK, 1981.

HERTZ, J.B. **Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil**. São Paulo: Pioneira, 1998.

HILL, R.C., BOWEN, P.A. Sustainable construction: principles and a framework for attainment. **Construction Management and Economics**, v.15, p. 223–239, 1997.

HOWARD, N. **Sustainable Construction: the data. CR 258/99.** Building Research Establishment Centre for Sustainable Construction, Watford, UK, p.14, 2000.

INGLEBY, A.M.J. **Green Roofs: A study of their benefits, and barriers to their installation, in London.** 2002, Dissertação (Dissertação de Mestrado) Environmental Management at Birkbeck College London. Set.2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa Brasil Climats**, Escala 1:5.000.000, com adaptações, 1978.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION (CIB). **Agenda 21 on sustainable construction.** CIB Report Publication.237, Rotterdam, Netherlands, Jul. 1999.

INTERNATIONAL UNION FOR THE CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES (IUCN). **World Conservation Strategy**, Gland, Switzerland, 1980.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 7730 (International Standard): **Moderate thermal environments**—determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1994.

_____. ISO 7726. **Thermal Environments**—Instruments and Methods for measuring physical Quantities. International Organization for Standardization, 1996.

IZARD, J.L., GUYOT, A. **Arquitetura Bioclimática.** Barcelona: Gustavo Gilli, 1983.

IZARD, J.L., GUYOT, A. **Arquitetura Bioclimática.** Barcelona: Gustavo Gili, 1980.

JENSEN, J.S., ULDUM, S.A., SONDERGARD-ANDERSEN, J., VUUST, J., LIND, K. Polymerase chain reaction for detection of Mycoplasma genitalium in clinical samples. **J Clin Microbiol** , v.29, p.46-50, 1991.

JOHNSON, N.F , NEWTON, G.J. **Estimation of the dose of radon progeny to the peripheral lung and the effect of exposure to radon progeny on the alveolar macrophage.** Radiat. Res. 139, p.163–169, 1994.

JOHNSTON, J., NEWTON, J. **Building Green, A Guide for Using Plants on Roofs, Walls and Pavements, The London Ecology Unit.** London, 1996.

JOHNSTON, J., NEWTON, J. **Building green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements.** London: Greater London Authority, 2004.

KANE, R. **The Green Fuse: Using Plants to Provide Ecosystem Services, Sustainable Plant Research and Outreach**, Oregon, United States, 2004.

KAPLAN, R. The role of nature in the context of the workplace. **Landscape and Urban Planning**, v.26, p.193-201, 1993.

KATS, G. **The Costs and Financial Benefits of Green Buildings**. A Report to California's Sustainable Building Task Force. 120 p. Out. 2003.

KNUDTSON, P., SUZUKI, D. **Wisdom of the Elders**. Stoddart Publishing, Toronto, 1992.

KOEHLER, M.J. **Transcripts from a design experiment**, 2003. Disponível em: <<http://mkoehler.educ.msu.edu/MattWeb/Data/DesignExperimentTranscripts.html>> Acesso em: 15 fev. 2009

KÖHLER, M., KEELEY, M. **The Green Roof Tradition in Germany: the Example of Berlin**. In: EarthPledge, Green, 2005

KOHLER, M., SCHMIDT, M., GRIMME, F.H., LAAR, M., PAIVA, V.L.A., TAVARES, S. Green roofs in Temperate climates and in the hot-humid tropics - far beyond the aesthetics. **Environmental Management and Health**, v.13, n.4, p. 382-391, 2002.

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

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, R., XAVIER, A.P. **Analysis – CST 2.1**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE. Núcleo de Pesquisa em Construções - NPC. Florianópolis – SC, 2007.

LANDSBERG, H.E. **The Urban Climate. International Geophysics Series n.28**, Academic Press, New York, 1981.

LAWSON, B. **Building materials energy and the environment: towards ecologically sustainable development**. Royal Australian Institute of Architects, Red Hill Australia, 1996.

LIU, B., BASKARAN, B. **Green roof infrastructure – technology demonstration, monitoring and market expansion project. Part 1: Field monitoring and technical analysis**. National Research Council - Institute for Research in Construction. Jun. 2003.

MACIVER, D., URQUIZO, N., **Atmospheric Change in Canada: An integrated Overview**, Environment Canada, Ottawa 1999.

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.

MARAGNO, G.V. Adequação Bioclimática da Arquitetura de Mato Grosso do Sul. **Ensaio e Ciência**, Campo Grande, MS, v. 6, n. 3, p. 13-37, 2002.

MARTIN, A. Green roof manual. **How to replace your dead roof with a living landscape**. AmeriCorps community action project. p.17, 2005.

MEDINA, E. Aspectos ecofisiológicos de plantas CAM en los trópicos. **Revista de Biología Tropical**, Venezuela, v. 35, n. 1, p. 55-70, 1987.

MINKE, G. **Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos**. Montevideo: Fin de Siglo, 2003.

MONTERUSSO, M.A., ROWE, D.B., RUGH, C.L. Establishment and persistence of Sedum spp. and native taxa for green roof applications. **HortScience**, v.40, n.2, p.391-396, 2005.

NASCIMENTO, W.C., SCHMIDT, A.L. **Coberturas Verdes Na Região Metropolitana De Curitiba – Barreiras E Potencial De Estabelecimento Na Visão Dos Profissionais Da Construção Civil**. Artigo apresentado no XII encontro Nacional de tecnologia do ambiente construído Entac 2008 Geração de valor no ambiente contruído : inovação e sustentabilidade, 2008.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (EUA) (NREL). Homepage. Disponível em: <<http://www.nrel.gov>>. Acesso em: 22 abr. 2009.

NEVINS, R.G. Criteria for thermal comfort. **Building Research**, p. 27-30, Jul-Aug. 1966.

NIACHOU, A., PAPAKONSTANTINO, K., SANTAMOURIS, M., TSANGRASSOULIS, A., MIHALAKAKOU, G. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. **Energy and Buildings**, v.33, p.719-729, 2001.

OBERLANDER, C.H., WHITELAW, E., MATSUZAKI, E. **Introductory manual for greening roofs for public works and government services Canada**. Public works and government services Canada, 2002.

ODUM, H. **Material circulation, energy hierarchy, and building construction**. In: Kibert, J., Sendzimir, J. & Guy, B. (eds) *Construction Ecology: Nature as the basis for green buildings*. Spon Press, New York, 2002, p.38.

OKE, T.R. **The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects**, in J. E. Cermak et al. (eds.), *Wind Climate in Cities*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, p. 81-107, 1995.

OLGYAY, V. **Arquitectura y Clima: Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLGYAY, V., OLGAY, A. **Solar Control & Shading Devices**. Princeton: Princeton University, 1957.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo : Ceres, 1981. 400 p.

OSMUNDSON, T. **Roof Gardens – History, Design and Construction**. W.W. Norton & Company, Inc., New York, NY, 1999.

PARKER, J.H. Landscaping to reduce the energy used in buildings, **Journal of Forestry** , v.81, n.2, p.82- 84, 1982.

PATTERSON, J. Positive environmental impacts of high-speed rail: Air emission reductions from aviation. **Rail International**, v.29, September-October, p. 232-235, 1998.

PECK, S., CALLAHAN, C., KUHN, M., BASS, B. **Greenbacks from Green roofs: Forging a New Industry in Canada**, CMHC, Toronto, 1999.

PECK, S., KUHN, M. **Design guidelines for green roofs**, 2006. Disponível em: <<http://www.cmhc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/loader.cfm?url=/commonspot/security/getfile.cfm&PageID=70146>>. Acesso em: 15 set. 2008.

PECK, S.W., CALLAGHAN, C., KUHN, M.E., BASS, B. **Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada**. Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Canada, 1999.

PHOTO GALLERY. **Green Roofs for healthy Australian cities**. 2007. Disponível em: <<http://greenroofs.wordpress.com/contact-us/>>. Acesso em: 25 mai 2008.

PROWELL, E.S. **An Analysis of Stormwater Retention and Detention of Modular Green Roof Blocks**. 2006, Tese (Tese de mestrado) Submitted to the Graduate Faculty of The University of Georgia in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science Athens, Georgia 2006.

RAMACHANDRAN, A. **The impact of construction technology on the environment**. Keynote address XVIII IAHS World Congress, Rio de Janeiro, out. 1990.

RAMÓN, F.R. **Sudor y arquitectura**. Madrid: H. Blume, 1980

REES, W., TESTEMALE, P. WACKERNAGEL, M. **Our Ecological Footprint: reducing human impact on the Earth**. New Society Publishers, Gabriola Island, Canada, 1996.

REGISTER, R., PEEKS, B. **Ecocity theory: conceiving the foundations**. In: Village Wisdom, Future Cities – proceedings of the third international ecocity and ecovillage conference. 8–12 jan. 1996, Yoff, Senegal. Ecocity Builders, Oakland, USA- 1997.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima: Acondicionamento Térmico Natural**. 2a ed., 1986.

ROBINSON, D. **Mountain Equipment Coop, Social and Environment Coordinator**. Pers comm, 2005.

ROHLES, F.H., NEVINS, R.G., SPRINGER, W., FEYERHERM, A.M. **Temperature - Humidity chart for thermal comfort of seated persons**. In: ASHRAE Transactions, v. 72, n.1, , p. 283, 1966.

ROHRBACH, J. **The Ancient World, Adonis And New Departures**. Tradução livre, data não indicada. Disponível em <<http://ecoroofsyste.ms.com/history.html>>. Acesso em: 05 mai 2009.

ROODMAN, D., LENSSEN, N. **A Building Revolution: how ecology and health concerns are transforming construction**. World Watch Paper N° 124, March, World Watch Institute, Washington DC, USA. p.23, 1995.

ROSENZWEIG, C., GAFF, S., PARSHALL, L. **Introduction and study methods**. In: **Green roofs in the New York metropolitan region, research report**. Columbia: Columbia University, Center for Climate Systems Research, NASA Goddard Institute for Space Studies, 2006. Available at: <<http://ccsr.columbia.edu/cig/greenroofs/index.html>>. Acesso em: 10 out. 2008.

RUAS, A.C. **Avaliação de Conforto Térmico Contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. 2001, Dissertação (Dissertação de mestrado) Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, 2001.

SAILOR, D.J. Simulated Urban Climate response to modification in surface Albedo and Vegetative Cover. **Journal of Applied Meteorology** , v.34, n.7, p.1694-1704, 1995.

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.

SERRA, F.R., COCH, R.H. **Arquitectura y Energia Natural**. Barcelona: Edicion UPC, 1995.

SILVA, E.M., CORRÊA, D.M., RIBEIRO, A.G. **O Conforto Térmico na Cidade de Uberlândia – MG**. Artigo apresentado no II SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA, Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Geografia, Nov. 2003.

SILVA, R.G. **Introdução à Bioclimatologia Animal**. São Paulo: Nobel, 285p, 2000.

SOKAL, R.R., ROHLF, F.J. **Biometry: The principles na practice of statistics in biological research**. 3 ed., W. H. Freeman and Company, New York, 1997. 850 p.

SOUZA, C.F., TINÔCO, I.F.F., BAÊTA, F.C., FERREIRA, W.P.M., SILVA, R.S. Avaliação de Materiais Alternativos para Confecção do Termômetro de Globo - **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.26, n.1, p.157-164, jan./fev., 2002.

STOCKDALE, J. Pro-growth, limits to growth, and a sustainable development synthesis. **Society and Natural Resources**, v. 2, n.3, p. 163–176, 1989. Citado em HILL, R.C., BOWEN, P.A. (1997).

THEODOSIOU, T.G. Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. **Energy and Buildings**. Lausanne, v.35, n.9, p.909-917, 2003.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM (UNEP), PEACE CHILD INTERNATIONAL. **Pachamama, our earth – our future, by young people of the world**. EvansBrothers Ltd, London, 1999.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM ,UNEP. **Summary for Policy Makers: A report of Working Group One of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Climate Change Synthesis Report United Nations, Geneva, Switzerland. p.2–4, 2001.

VAN OSS, H. **Cement. US Geological Survey Minerals Yearbook –Minerals and Metals**. US Government Printing Office, Washington, USA, v.1, p.16.1–16.13, 1999. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/myb/>. Accessed 4/02/02.

VECCHIA, F., CASTAÑEDA, G. **Reacción ante el calor de cuatro sistemas de cubiertas**. Ingeniería 10 -1, p.17-23. Mar. 2006.

VELAZQUEZ, L.S. Organic greenroof architecture: sustainable design for the new millennium. **Environmental Quality Management**, Hoboken, v.14, n.4, p.73-85, Summer, 2005.

VILELA, S. **Telhados verdes: pequenos pulmões para grandes cidades**. Texto publicado no site <www.dw-world.de> em 12 nov. 2005.

VITRUVIO. M. **Da Arquitetura**. Tradução e notas Marco Aurélio Lagonegro. São Paulo: Hucitec, 1999.

WELLS, M., GRANT, G. **Biodiverse Vegetated Architecture Worldwide: Status, Research and Advances**. Proceedings of IEEM Conference on Sustainable new housing and major developments: Rising to the Ecological Challenges. Bournemouth, England, p. 15-17 nov. 2004.

WHITE ARKITEKTER. **A school built on ecological ideas**. Stratörnskolan, Lund Sweden , 1998.

WILSON, A., UNCAPHER, J., MCMANIGAL, L., LOVINS, L.H., CURETON, M. BROWNING, W. **Green Development: integrating ecology and real estate**. John Wiley & Sons, New York, 1998.

WONG, M. **Environmental benefits of green roofs**. Singapore: Hitchins Group, 2006.

WONG, N.H., TAY S.F., WONG, R., ONG, C.L., SIA, A. Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore, **Building and Environment** , v.38, n.3, p.499-509, 2003.

WONG, N.H., CHEN, Y., ONG, C.L., SIA, A. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. **Building and Environment**, v.38, p.261-270, 2003.

WORLD COMMISSION FOR THE ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED), **Our Common Future**, Oxford University Press, Oxford, 1987.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. World Resources 1992–1993, Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, 1992. In: SPENCE, R., MULLIGAN, H. Sustainable development and the construction industry. **Habitat International** ,v.19, n.3, p. 279– 292, 1995.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. A Guide to World Resources 2000–2001: people and ecosystems: the fraying web of life. **Elsevier Science**, Amsterdam, Netherlands, p.6, 2000.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **World Resources 1996–1997: a guide to the global environment**. Oxford University Press, New York, 1996.

WORLD WATCH INSTITUTE. **Earth Day 2000: A 30-year report. World Watch March/April**. Washington DC, USA, p.11, 2000.

XAVIER, A.A.P. **Condições de Conforto Térmico para Estabelecimentos de 2º Grau na Região de Florianópolis**. 1999, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

YEANG, K. **Designing With Nature: the ecological basis for architectural design**. McGraw Hill, New York, 1995.

YENCKEN, D., WILKINSON, D. Resetting the Compass: Australia's journey towards sustainability. **CSIRO Publishing**, Melbourne, p.125–129, 2000.

YOK, T.P., SIA, A. **A Pilot Green Roof Research Project in Singapore**. Proceedings from Green Roofs for Healthy Sustainable Cities Conference, Washington D.C., Mai. 2005.

ZUBEVICH, K. **The Search for the Sacred in the Concrete Jungle**. (via link on the Ecopsychology web site, Jul. 2004.

7.2. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

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

ANES, A.A.A. (2007). **A influência da massa e da exposição solar no comportamento térmico dos edifícios**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Disponível em: <www.deetc.isel.ipl.pt/jetc05/CCTE02/papers/finais/civil/110.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2008.

ARAÚJO, C. **Transmissão de calor**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos. 1982, p.442.

ATKINSON, G.A. An introduction to tropical building design. **Architectural Design**, v.23, p.268-271, out. 1953.

ATKINSON, G.A. Principles of tropical design. **Architectural review**, v.128, p.81-83, jul.1960.

AYOADE, J.O. **Introduction to climatology for the tropics**. Chichester, John Wiley & Sons, 1983.

BARRY, R.G., CHORLEY, R.J. **Atmosphere, weather & climate**. London, Routledge, 1998

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.labeee.ufsc.br>. Acesso em: 12 Fev 2008.

BREUNING, J. **Fire & wind on extensive green roofs**. In: The Green Roof Infrastructure Monitor. North America Inc. v. 9. n. 1. Green Roof Service, 2007

BUENO, A.D., LAMBERTS, R., PHILIPPI, P.C. **Higroscopicidade em telhas de cerâmica : efeitos sobre o comportamento térmico**. Núcleo de Pesquisa em Construção. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.lenep.uenf.br/~bueno/Artigos/104-HigroscopicidadeTelhasCeramica.pdf>>. Acesso em: 02 jul 2007.

CARTER, T., JACKSON, C.R. Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v.80, n.1/2, p.84-94, Mar. 2006.

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

COSTA, E.C.C. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo: Edgard Blücher. 1982, p.264.

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

DISNDALE, S., PEAREN, B., WILSON, C. **Feasibility study for green roof application on queen's university campus**. Kingston: Queen's Physical Plant Services, 2006, p.58.

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.

EMILSSON, T., ROLF, K. Comparison of establishment methods for extensive green roofs in southern Sweden. **Urban Forestry & Urban Greening**, Amsterdam, v.3, n.2, p.103-111, Jan. 2005.

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.

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

GONÇALVES, J.C.S., DUARTE, D.H.S. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Ambiente Construído**: Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez. 2006.

GRANJA, A.D. **Transmissão de calor em regime periódico: efeito da inércia térmica em fechamentos opacos**. 2002, Tese (Tese de Doutorado) Faculdade de engenharia civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP. Fev. 2002.

KREBS, L.F. **Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha**. 2005, Dissertação

(Dissertação de Mestrado) Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

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.

LEVALLIUS, J. **Green roofs on municipal buildings in Lund - Modeling potential environmental benefits**. Geobiosphere Science Centre. Physical Geography and Ecosystems Analysis. Lund University, 2005.

LOPES, D.A.R. **Análise do Comportamento Térmico de uma Cobertura Verde Leve (CVL) e Diferentes Sistemas de Cobertura**. 2007, 145f, Dissertação (Dissertação de Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

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.

MORAIS, C.S. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos-SP**. 2004, Dissertação (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

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.

PAPST, A.L. **Uso de Inércia térmica no clima subtropical. Estudo de caso em Florianópolis – SC**. Florianópolis, 1999, p.165. Dissertação (Dissertação de

Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

PHILIPPI, P.M. **How to get cost reduction in green roof construction**. In: ANNUAL GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES CONFERENCE, AWARDS AND TRADE SHOW, 4., 2006, Boston. Proceedings... Boston: Green Roofs for Healthy Cities. p.10.

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.

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

SAIZ, S. Comparative life cycle assessment of standard and green roofs. **Environmental Science & Technology**, Easton, v.40, n.3, p.4312-4316, Jul 2006.

VUJOVIC, V., OGUREK, D. J. Case Study: Green Roof System. In: School Business Affairs. Issues in education: Boosting budgets by building green - Improving student health - **Environment and achievement**. v. 71, n. 1, jan. 2005.