

DÉBORA VIVIANE CREMONEZ DOS SANTOS

**EMISSÃO DE RADIAÇÃO TÉRMICA DE SUPERFÍCIES EXTERNAS DE  
EDIFICAÇÕES E SUA RELAÇÃO COM A CONFIGURAÇÃO URBANA  
DE VIÇOSA-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Santos, Débora Viviane Cremonez dos, 1986-  
S237e Emissão de radiação térmica de superfícies externas de  
2014 edificações e sua relação com a configuração urbana de  
Viçosa-MG / Débora Viviane Cremonez dos Santos. – Viçosa,  
MG, 2014.  
xii, 98f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Joyce Correna Carlo.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.91-98.

1. Arquitetura e clima. 2. Radiação térmica.  
3. Planejamento urbano - Fatores climáticos. 4. Ilha de calor urbano. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. II. Título.

CDD 22. ed. 720.98151

DÉBORA VIVIANE CREMONEZ DOS SANTOS

**EMISSÃO DE RADIAÇÃO TÉRMICA DE SUPERFÍCIES EXTERNAS DE  
EDIFICAÇÕES E SUA RELAÇÃO COM A CONFIGURAÇÃO URBANA  
DE VIÇOSA-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2014

**DÉBORA VIVIANE CREMONEZ DOS SANTOS**

**EMIÇÃO DE RADIAÇÃO TÉRMICA DE SUPERFÍCIES EXTERNAS DE  
EDIFICAÇÕES E SUA RELAÇÃO COM A CONFIGURAÇÃO URBANA  
DE VIÇOSA-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de julho de 2014.

---

Maristela Siolari da Silva

---

Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá

---

Edson Soares Fialho  
(Coorientador)

---

Joyce Correna Carlo  
(Orientadora)

## *Agradecimentos*

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por me fazer forte nos muitos momentos de dificuldades.

Aos familiares que se fizeram presentes.

À Universidade Federal de Viçosa, pelos anos de aprendizagem e conquistas alcançadas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, professores e funcionários, por tornarem a caminhada menos árdua.

À minha orientadora Joyce Correna Carlo, por ter sido humana, sem, contudo, deixar de ser firme.

Aos colegas de curso, em especial Skarlen Fialho Soria Galvarro, minha amiga, mesmo que distantes fisicamente.

A CAPES, pela bolsa concedida para a realização desta pesquisa.

## Sumário

LISTA DE QUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	5
2.1. Objetivo Geral .....	5
2.2. Objetivos Específicos.....	6
3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA CIDADE DE VIÇOSA .....	6
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
4.1. Clima urbano .....	10
4.1.1. Ilha de calor.....	13
4.1.2. Balanço de energia .....	14
4.2. Materiais construtivos .....	17
4.3. Algumas abordagens referentes à Ilha de calor urbana e à eficiência energética .....	22
4.4. Simulação computacional em estudos do Clima urbano.....	24
4.4.1. O programa <i>EnergyPlus</i> .....	26
5. METODOLOGIA.....	28
5.1. Procedimentos Metodológicos .....	28
5.1.1. Levantamento de campo.....	28
5.1.2. Dados higrométricos .....	33
5.1.3. Simulação computacional .....	37
5.2. Análise de Resultados .....	46
6. RESULTADOS .....	48
6.1. Resultados Simulação computacional Energyplus .....	48
6.1.1. Modelo geométrico.....	48
6.1.2. Perfil horário das emissões radiantes para três superfícies horizontais... 49	
6.1.3. Caracterização das emissões radiantes de superfícies externas das edificações para a fração urbana estudada.....	56
6.2. Variáveis ambientais (temperatura do ar).....	79
6.2.1. Síntese das condições sinóticas (CPTEC – INPE).....	79
6.2.2. Dados medidos X Emissões radiantes .....	86

7. CONCLUSÕES .....	87
8. GLOSSÁRIO .....	90
Albedo: índice de reflexão dos raios solares. ....	90
Fator visão de céu: ângulo de obstrução do horizonte. Parcela visível do céu em determinado local.....	90
Massa construída: percentual de área construída no ambiente urbanizado.....	90
Superfície de admissão térmica: superfície que armazena energia térmica.....	90
Temperatura de globo negro: combina os efeitos da energia radiante dos materiais e a velocidade do ar.....	90
Padrão construtivo: características construtivas de uma edificação.....	90
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	91

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis térmicas de diferentes tipos de coberturas	19
Quadro 2 – Valores de refletância comumente utilizados e materiais de pavimentação frescos	23
Quadro 3 – Informações referentes aos três pontos de coleta de dados	35
Quadro 4 – Especificações técnicas dos equipamentos utilizados	38
Quadro 5 – Valores utilizados para modelagem do solo no <i>EnergyPlus</i>	44
Quadro 6 – Características físicas de alguns tipos de materiais construtivos	45
Quadro 7 – Materiais construtivos encontrados na área de estudo	46
Quadro 8 – Área bruta por superfície externa das edificações e refletância	50

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da população em Viçosa entre os anos de 1991 a 2012	10
Figura 2 – Vista parcial da cidade de Viçosa	11
Figura 3 – Registros médios de temperatura e umidade relativa para a cidade de Viçosa	12
Figura 4 – Registros médios de precipitação para a cidade de Viçosa	12
Figura 5 – Zonas Climáticas Locais	15
Figura 6 – Modelo de balanço de energia proposto por TSO	19
Figura 7 – Princípios básicos dos materiais frescos	22
Figura 11 – Área de estudo, com destaque para os pontos de medição	36
Figura 12 – Ponto 1: Rua Vereador José Valentino da Cruz	36
Figura 13 – Ponto 2: Avenida P.H. Rolfs	37
Figura 14 – Ponto 3: Feijó Bhering esquina com P.H.Rolfs	38
Figura 15 – Datalogger HOBO U12 Temp/RH 2Ext	39
Figura 16 – Proteção radiante data logger HOBO	40
Figura 17– Estação meteorológica do Coluni, Viçosa – MG	40
Figura 18 – Anemômetro de fio quente	41
Figura 19 – Zonas térmicas	45
Figura 20 – Emissão de radiação térmica por área de superfície (Modelo 2 pavimentos)	45
Figura 21 - Emissão de radiação térmica por área de superfície (Modelo 3 pavimentos)	46
Figura 22 – Modelo geométrico	51
Figura 23 – Modelo computacional da área estudada	53
Figura 24 – Emissões radiantes máximas, mínimas e médias para cada hora do período da manhã e noite da superfície horizontal 1 (cobertura)	53
Figura 25 – Emissões radiantes máximas, mínimas e médias para cada hora do período da manhã e noite da superfície horizontal 2 (piso canyon)	54
Figura 26 – Sombreamento do Piso_canyon às 09:00 (Solstício Inverno)	55
Figura 27 – Sombreamento do Piso_canyon às 12:00 (Solstício Inverno)	56
Figura 28 – Sombreamento do Piso_canyon às 15:00 (Solstício Inverno)	56
Figura 29 – Emissões radiantes máximas, mínimas e médias para cada hora do período da manhã e noite da superfície horizontal 3 (piso)	57
Figura 30 – Emissão de radiação térmica de superfícies verticais durante o verão no período da manhã	58
Figura 31 – Emissão de radiação térmica de superfícies verticais durante o	59

inverno no período da manhã	
Figura 32 – Emissão de radiação térmica de superfícies horizontais durante o verão e o inverno no período da manhã	61
Figura 33 – Emissão de radiação térmica de superfícies verticais durante o verão no período da tarde	62
Figura 34 - Emissão de radiação térmica de superfícies verticais durante o inverno no período da tarde	63
Figura 35 – Emissão de radiação térmica de superfícies horizontais durante o verão e o inverno no período da tarde	64
Figura 36 – Emissão de radiação térmica para as superfícies verticais durante o verão no período noturno	65
Figura 37 – Emissão de radiação térmica para as superfícies verticais durante o inverno no período noturno	66
Figura 38- Emissão de radiação térmica de superfícies horizontais durante o verão e o inverno no período da noite	68
Figura 39 – Carta sinótica para a quarta-feira dia 15/08/12	70
Figura 40 - Carta sinótica para a terça-feira dia 21/08/12	71
Figura 41 - Carta sinótica para a sexta-feira dia 24/08/12	72
Figura 42 - Carta sinótica para a quarta-feira dia 09/01/13	74
Figura 43 - Carta sinótica para a quinta-feira dia 10/01/13	75
Figura 44 - Carta sinótica para o domingo dia 13/02/13	76
Figura 45 – Média horária da temperatura do ar, verão e inverno para os dias de experimento de campo.	77
Figura 46 - Emissão de radiação térmica das superfícies verticais Norte para 24 horas. (a) verão e (b) inverno	86
Figura 47 - Emissão de radiação térmica das superfícies cobertura para 24 horas. (a) verão e (b) inverno	87
Figura 48 - Emissão de radiação térmica das superfícies piso - solo para 24 horas. (a) verão e (b) inverno	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFV – Universidade Federal de Viçosa

ANN – Redes Neurais Artificiais

FVC – Fator Visão de Céu

COLUNI – Colégio de Aplicação

MC – Massa construída

RTQ-R – Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edificações residenciais

TMY – Test Meteorological Year

FVC – Fator Visão de Céu

ZCL – Zonas Climáticas Locais

ICU – Ilha de Calor Urbana

## RESUMO

SANTOS, Débora Viviane Cremonez dos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2014. **Emissão de radiação térmica de superfícies externas de edificações e sua relação com a configuração urbana de Viçosa–MG**. Orientadora: Joyce Correna Carlo. Coorientador: Edson Soares Fialho.

A partir do século XIX, com o advento da Revolução Industrial na Inglaterra, bem como seus desdobramentos, a preocupação com o meio ambiente urbano e o estudo de seus condicionantes intensificou a análise de pesquisadores acerca do tema. O desempenho dos materiais constituintes do meio urbano tem forte influência na conformação do fenômeno de ilha de calor urbana. Diante do exposto, a existência de relação entre os fenômenos radiantes e a ilha de calor urbana bem como a temperatura do ar na área central de Viçosa deve ser analisada para subsidiar uma futura proposta de intervenção e planejamento com fim à mitigação destes impactos. Desta forma, tem-se como objetivo, investigar as emissões radiantes do espaço construído e suas relações com a configuração urbana para formação da ilha de calor na área central da cidade de Viçosa-MG. O método foi composto por: (a) levantamento de campo com definição do transecto a ser percorrido, seleção e caracterização dos pontos de medição; (b) coleta de dados higrométricos, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, temperatura do globo negro e temperatura radiante média e (c) simulação computacional, onde cada edificação foi modelada como uma zona térmica. Para que fossem consideradas suas emissões o solo foi modelado como zona térmica. Verificou-se um destaque das coberturas nas emissões radiantes para o meio exterior em diversos momentos da análise. As menores emissões máximas ocorrem durante a manhã, próximo das 6:00, chegando a  $90 \text{ W/m}^2$  (mediana de  $85 \text{ W/m}^2$ ). Das 13:00 às 15:00, elas alcançam aproximadamente  $250 \text{ W/m}^2$  e apresentam pequeno resfriamento durante a noite, voltando ao valor inicial pela

manhã. Este pequeno resfriamento noturno das coberturas é preocupante, com diferenças entre os máximos e entre as medianas (20:00 até as 4:00) de aproximadamente 20 W/m<sup>2</sup>, 17% do valor máximo às 20:00 e 8% do valor máximo às 13:00. No modelo analisado, as coberturas apresentaram cerca de 14% da área total do sítio. Já os pisos pavimentados, embora tenham tido emissões máximas de 70 W/m<sup>2</sup> às 23:00, também apresentaram pequena redução das emissões até o início da manhã, o que destaca sua inércia para manutenção de tais emissões. Em relação às coberturas, seus ganhos são irrelevantes durante a manhã e sua estabilidade térmica é visível em todos os períodos do dia. Em contraste, a área ocupada no meio urbano é aproximadamente equivalente ao restante das demais superfícies somadas, e este aspecto pode ser relevante no aquecimento do meio urbano.

## ABSTRACT

SANTOS, Débora Viviane Cremonez dos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2014. **Thermal radiation Emission external surfaces of buildings and their relationship with the urban setting of Viçosa-MG.** Adviser: Joyce Correna Carlo. Co-adviser: Edson Soares Fialho.

With the advent of the Industrial Revolution in England, as well as its consequences, concern about the urban environment and the study of their conditions intensified the analysis of researchers on the subject. The performance of the constituents of urban materials has strong influence in shaping the urban heat island phenomenon. Given the above, the existence of relationship between the radiant phenomena and the urban heat island and the air temperature in the central area of Viçosa should be analyzed to support a future proposal for intervention and planning in order to mitigate these impacts. Thus, it has as objective to investigate the radiant emissions of built space and its relationship with the urban setting for formation of the heat island in the central area of the city of Viçosa. The method consisted of: (a) field survey with definition of the transect to be traveled, selection and characterization of the measurement points; (b) collection hygrometric data, temperature and relative humidity, wind speed, temperature of the black globe and mean radiant temperature and (c) computer simulation, where each building was modeled as a thermal zone. That they might be considered their soil emissions were modeled as thermal zone. It was a highlight of the coverage in the radiant emission in the external environment at different times of the analysis. Smaller maximum emissions occur during the morning, close to 6:00, reaching  $90 \text{ W / m}^2$  (median of  $85 \text{ W / m}^2$ ). 13:00 to 15:00, they reach approximately  $250 \text{ W / m}^2$  and feature small cooling overnight, returning to baseline in the morning. This small nocturnal cooling of the covers is worrying, with differences between maximum and between the median (20:00 to 4:00) of approximately  $20 \text{ W / m}^2$ , 17% of the maximum value at 20:00 and 8% of the maximum value at 13:00. In the model analyzed crops reached about

14% of the total area of the site. Already tiled floors, although it has had maximum emissions of  $70 \text{ W / m}^2$  23:00, also presented a small reduction in emissions until the early morning, which highlights its inertia to maintain such emissions. In relation to the coverage, your earnings are irrelevant in the morning and its thermal stability is visible at all times of the day. In contrast, the area occupied in urban areas is roughly equivalent to the rest of the other added surfaces, and this may be relevant in the urban heating.

## 1. INTRODUÇÃO

A partir do século XIX, com o advento da Revolução Industrial na Inglaterra, bem como seus desdobramentos, a preocupação com o meio ambiente urbano e o estudo de seus condicionantes intensificou a análise de pesquisadores acerca do tema.

Surgem então, os primeiros registros de estudos do clima urbano. Em 1833, Howard, realizou um pioneiro estudo científico sobre o clima da cidade de Londres, que à época já registrava diferenças entre as temperaturas do campo e da área urbana.

Landsberg (1956), em análise avançada para a época, discutiu o termo cidade, concluindo que o desenvolvimento da cidade pode atenuar ou eliminar diferenças climáticas advindas do sítio ou da topografia. O autor assinala as causas básicas das mudanças climáticas potencialmente provocadas pela urbanização: alterações na superfície, produção de calor pela própria cidade e a alteração da composição da atmosfera, tal como adição de material sólido inerte, gases e substâncias químicas ativas.

Oke, em 1978, elencou as principais causas do fenômeno ilha de calor urbana:

- Aumento da entrada da radiação de ondas longas, devido à absorção e reemissão pelos poluentes da atmosfera;
- Diminuição da perda de radiação de ondas longas em ruas e cânions urbanos, devido à redução do Fator Visão de Céu (*Sky View Factor*);
- Maior absorção de radiação de ondas curtas, devido às propriedades térmicas dos materiais constituintes do meio urbano;
- Adição de calor antropogênico na área urbana, devido à utilização de aquecedores e refrigeradores, transportes e operações industriais;

- Menor evaporação, devido à retirada de vegetação diminuindo o fluxo de calor latente e aumentando o fluxo de calor sensível.

A urbanização brasileira intensificou-se a partir de 1950, momento que a indústria desponta como setor de crescente importância perante a economia nacional. O crescimento urbano verificado a partir da industrialização brasileira foi acompanhado de crescimento demográfico. Tal fato ocasionou uma ocupação desordenada das cidades, sendo responsável por modelos urbanos de baixa qualidade ambiental (GOMES; LAMBERTS, 2009). O crescimento demográfico e urbano

(...) desencadeou uma série de problemas ao ambiente, como resultado do aumento desmesurado da malha urbana, da verticalização e do uso intensivo do solo nas áreas centrais, excessiva impermeabilização, substituição de áreas verdes por áreas construídas, proliferação de assentamentos que desconsideram as restrições do sítio físico, entre outros (GOMES; LAMBERTS, 2009, p. 74).

No Brasil, os estudos de clima urbano foram iniciados por Monteiro (1976), que cunhou o termo Sistema Clima Urbano (S.C.U) por meio do qual se determina que as análises sejam realizadas em torno de três canais de percepção: conforto térmico, qualidade do ar e impacto meteórico.

O canal termodinâmico refere-se a componentes termodinâmicos (calor, umidade e ventos), que interferem diretamente no conforto térmico, a exemplo da ilha de calor. O canal físico – químico trata da qualidade do ar e sua relação com a saúde humana. O canal referente aos impactos meteóricos engloba os aguaceiros, tempestades e furacões que interferem na organização interna das cidades.

A partir de 2006, alguns trabalhos foram realizados na perspectiva de investigar os impactos do crescimento da cidade de Viçosa - MG e suas peculiaridades perante o clima local.

Xavier (2006) identificou impactos socioambientais decorrentes da expansão urbana na Avenida P.H. Rolfs entre os anos de 1986 e 2006. Por meio de análises documentais e observações de campo quantificou as edificações construídas, comprovando o intenso adensamento da área central bem como os impactos gerados na APP (Áreas de Preservação Permanente) às margens do Ribeirão São Bartolomeu. Os impactos ambientais mais evidentes foram o processo de verticalização e os problemas de tráfego e circulação nas áreas de acesso à UFV. No mesmo ano Rocha (2006) analisou a relação entre o uso do solo e os aspectos geoecológicos, enfatizando atributos térmicos e hídricos para avaliar a comprovação da existência de ilhas de calor em Viçosa. A pesquisa realizada apontou indícios da existência da ilha de calor, sobretudo na área central da cidade, aonde a magnitude chega a 3,8 °C.

No ano seguinte, Santos (2007) analisou o campo térmico na área central de Viçosa em situação sazonal de outono, por meio de medições de temperatura e umidade coletadas em 20 pontos dentro da área central. Verificou que o campo térmico na área de estudo é bastante influenciável por sistemas atmosféricos regionais e pelo ritmo das atividades antrópicas. A ilha de calor mostrou-se dotada de grande mobilidade espacial, com intensidade máxima de 6°C à tarde e 1,6°C no período noturno.

A intensidade da ilha de calor possui amplitudes diferentes quando analisados fatores como, por exemplo, o porte das cidades. Minaki e Amorim (2012) traçaram as características da ilha de calor na cidade de porte médio de Araçatuba em São Paulo, onde os valores encontrados chegaram a 5,9 °C. A pesquisa foi realizada em dias representativos do verão 2011/2012 e apresentou-se condicionada pela densidade de edificações e o elevado número de pessoas circulando na área central e de serviços daquela cidade.

Algumas cidades de pequeno porte já sofrem os efeitos do aquecimento de áreas urbanizadas. Ortiz e Amorim (2011) encontraram ilha de calor de intensidade de 4,5°C na cidade de Cândido Mota, oeste

paulista. A pesquisa foi realizada em dias representativos de Outubro e Dezembro de 2009, sendo que, as autoras consideraram a elevada densidade de construções e o calor antrópico como fatores determinantes para os resultados encontrados.

Após comprovada a existência da ilha de calor em Viçosa, Silva (2009) investigou a relação entre uso/cobertura da terra e a temperatura do ar na cidade de Viçosa - MG. Para tanto, o autor utilizou-se da proposta de zonas climáticas urbanas de Oke. Mediante as análises realizadas foi mostrado que o relevo local atuou como fator atenuante das temperaturas do ar devido à condição de fundo de vale da área analisada.

Na primeira década do século XXI, os estudos de clima urbano desenvolveram-se de forma considerável (ASSIS, 2008). Entretanto, a autora identificou que grande parte dos estudos é descritiva e concentram-se em cidades de porte médio e metrópoles, mesmo que nos mais diferentes domínios climáticos. Assis (2008) também sinalizou que a abordagem do balanço de energia em estudos do clima se mostra mais adequado e mais interessante para fins de planejamento urbano.

Ao retomar a discussão realizada por Assis (2008), torna-se necessária atenção para alguns termos componentes do balanço de energia, a saber: fluxo térmico de calor sensível ( $Q_h$ ), o fluxo de calor estocado pela estrutura urbana ( $Q_s$ ) e o fluxo de calor latente ( $Q_e$ ). Os termos mencionados anteriormente serão abordados na Revisão Bibliográfica.

Neste sentido, diversos autores destacam a importância do estudo do fenômeno ilha de calor em grandes centros urbanos e cidades de porte médio, como Postigo e Souza (2007); Kolokotroni *et al.* (2010); Mackey *et al.* (2011) e Wong *et al.* (2011). Entretanto, estudos referentes aos impactos da ilha de calor em cidades de pequeno porte ainda são bastante escassos.

Nas cidades, as superfícies construídas tendem a apresentar capacidade térmica elevada e extensa cobertura no solo. A configuração das estruturas urbanas também favorece o estoque de calor em suas

superfícies. Além disso, sua configuração geométrica (arranjos entre edifícios e outros elementos urbanos) e a inércia térmica das superfícies construídas são variáveis importantes da forma urbana (Assis, 2008; p.22). Esses são fatores que influenciam diretamente na formação do fenômeno ilha de calor, mas não se sabe ao certo de que forma eles interagem com  $Q_h$ ,  $Q_s$  e  $Q_e$ .

As iniciativas que investigam a cidade de Viçosa ainda devem ser ampliadas para incorporar a identificação de variáveis do balanço de energia. Este trabalho propõe ampliar o foco das análises descritivas ao investigar a ilha de calor sob a ótica das emissões provenientes dos materiais construtivos constituintes do espaço urbano, ou seja, de emissões radiantes de superfícies externas de edificações.

A alteração das variáveis climáticas (temperatura, umidade, ventos e precipitação) é bastante percebida nas cidades, podendo até mesmo criar um microclima urbano específico. A verticalização e o adensamento urbano provocam modificações no balanço energético e conseqüentemente alterações no clima local.

O desempenho dos materiais constituintes do meio urbano tem forte influência na conformação do fenômeno de ilha de calor urbana. Diante do exposto, a existência de relação entre os fenômenos radiantes e a ilha de calor urbana bem como a temperatura do ar na área central de Viçosa deve ser analisada para subsidiar uma futura proposta de intervenção e planejamento com fim à mitigação destes impactos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Investigar as emissões radiantes do espaço construído e suas relações com a configuração urbana para formação da ilha de calor na área central da cidade de Viçosa-MG.

## **2.2. Objetivos Específicos**

- Definir parâmetros para modelagem da área urbanizada no programa *EnergyPlus*;
- Quantificar as emissões radiantes das superfícies externas das edificações localizadas ao longo de transecto definido dentro da área de estudo, bem como da área impermeabilizada do solo;
- Estabelecer relações entre as emissões radiantes, dados medidos (variáveis ambientais) durante os experimentos de campo e a configuração urbana local.

## **3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA CIDADE DE VIÇOSA**

Viçosa está localizada na Zona da Mata mineira sobre o paralelo 20,75°S e meridiano 42,88°O (IBGE, 2010), a uma altitude aproximada de 649m acima do nível do mar, estando a 225 km da capital mineira, Belo Horizonte, a 385 km do Rio de Janeiro e a 650 km de São Paulo.

A cidade de Viçosa - MG há grande presença de estudantes e profissionais oriundos do setor educacional de diversos locais do Brasil e do mundo. A Figura 1 mostra um aumento exponencial da população a partir de 1996, momento em que a UFV inicia a reestruturação e expansão de seus cursos de graduação e pós-graduação. Juntamente a este fator percebe-se o surgimento e o fortalecimento de muitas outras instituições de ensino privadas.

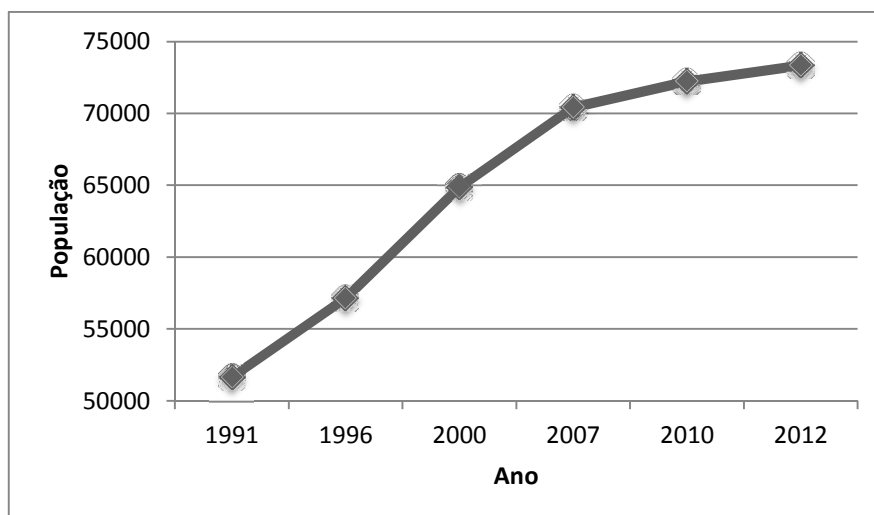


Figura 1 – Evolução da população em Viçosa entre os anos de 1991 a 2012.  
Fonte: IBGE (2013)

De acordo com critérios quantitativos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, cidades de pequeno porte são as que possuem população de até 100 mil habitantes (IBGE, 2013). Entende-se que para estudos de clima urbano, o critério quantitativo é o que possibilita melhor perspectiva do entendimento da dinâmica das cidades. Desta forma, Viçosa é analisada a partir deste critério, sendo assim definida como cidade de pequeno porte (Figura 2).

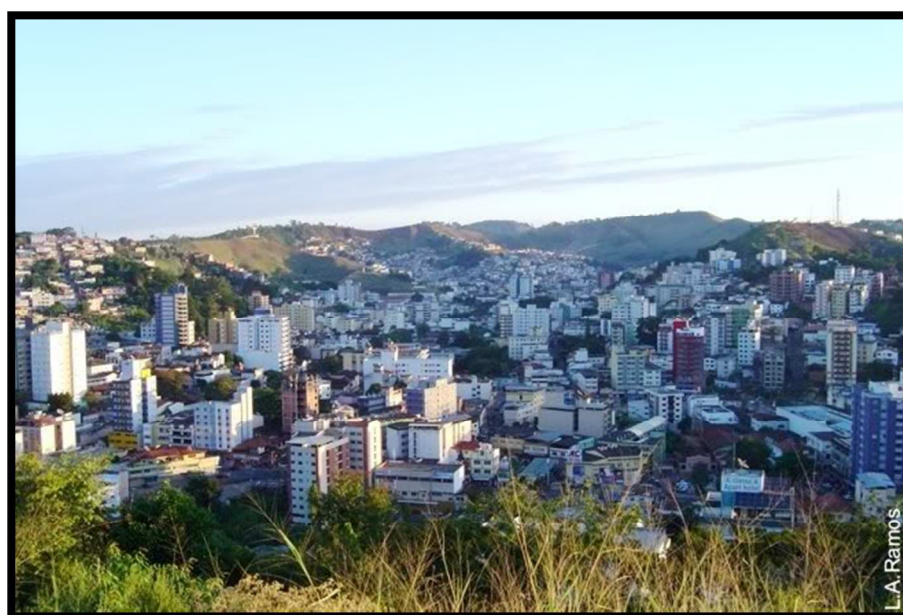


Figura 2 – Vista parcial da cidade de Viçosa (2013).  
Disponível em: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=583735>

O aumento do número de estudantes também demanda maior infraestrutura urbana, moradia, saúde, entre outros. A cidade caracteriza-se por ter o setor de prestação de serviços bastante evidenciado, visando suprir as demandas geradas pela população local e principalmente estudantil.

Quanto ao regime climático, pode ser distribuído em invernos secos e frios e verões quentes e úmidos. De acordo com a classificação climática de Koppen, o clima da região é o “Cwa” caracterizado pelo clima tropical de altitude.

Os maiores registros médios de temperatura são verificados entre os meses de janeiro e março (22,1°C 22,3°C e 21,8°C, respectivamente). As menores temperaturas médias foram registradas entre os meses de junho e agosto (16,0°C 15,4°C e 16,3°C, respectivamente) (Figura 3).

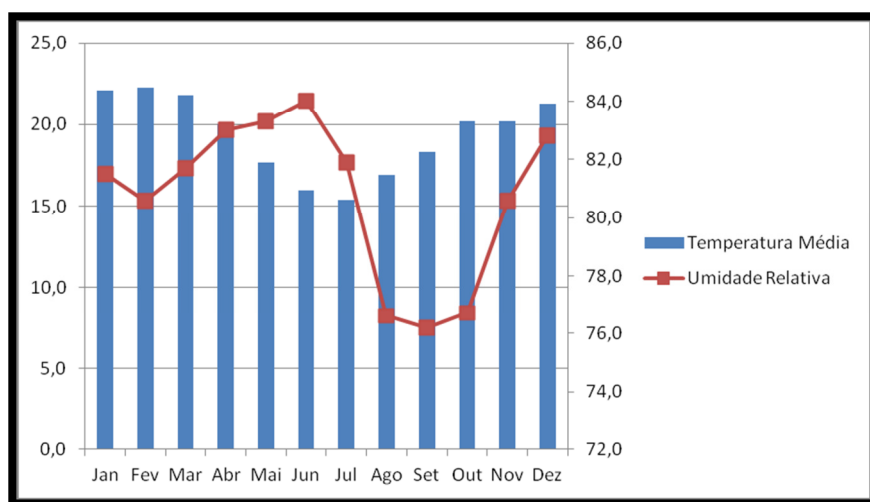


Figura 3 – Registros médios de temperatura e umidade relativa para a cidade de Viçosa. Fonte: Normais Climatológicas 1961 – 1990 (INMET).

A precipitação registrada na estação para o período de registro atinge seus valores mais elevados nos meses mais quentes: novembro, dezembro e janeiro (204,8mm, 244,9mm e 196,9mm, respectivamente). Os meses em que os menores valores de precipitação são registrados (Figura 4) coincidem com os meses que temperaturas mais baixas são registradas: junho, julho e agosto (19,1mm, 23,7mm e 18,6mm).

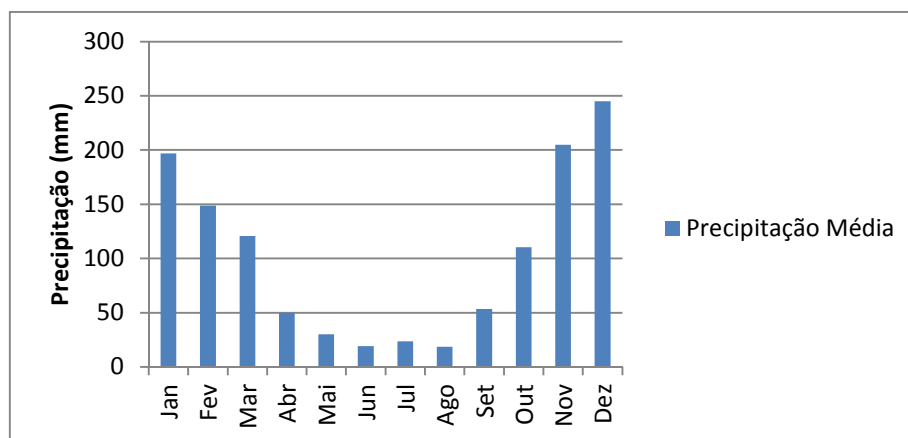


Figura 4 – Registros médios de precipitação para a cidade de Viçosa.  
 Fonte: Normais Climatológicas 1961 – 1990 (INMET).

Guimarães e Carlo (2011) realizaram caracterização bioclimática da cidade de Viçosa, com o objetivo de definir estratégias adequadas para desenvolvimento de projetos arquitetônicos, visando o maior conforto térmico dos usuários. Entre as variáveis analisadas estiveram: temperatura de bulbo seco, umidade relativa, precipitação, radiação solar e ventilação.

Os autores obtiveram as médias mensais dos totais diários de radiação solar ao longo do ano para toda a cidade de Viçosa. Observou-se que a maior intensidade diária ocorre em fevereiro ( $5000\text{Wh/m}^2$ ) e a menor em Julho ( $3000\text{Wh/m}^2$ ) (GUIMARÃES, CARLO; 2011, p.6).

Quanto à dinâmica dos ventos, de acordo com as análises realizadas, identificou-se que para o período diurno a direção nordeste é a principal, enquanto para o período noturno a principal passa a ser a leste. Quando a análise foi realizada observando-se as estações do ano, concluiu-se que no verão a direção principal é a nordeste e no inverno a direção leste iguala-se em importância com a orientação nordeste. A área de estudo desta pesquisa está situada dentro de um vale, o que altera a direção do vento.

O fenômeno da ilha de calor urbana é definido pela diferença de temperaturas entre o meio urbano e o rural. Desta forma o campus da Universidade Federal de Viçosa, com menor densidade de ocupação e elevada cobertura verde, fará parte desta pesquisa como área - controle

das variáveis ambientais que serão coletadas no centro da cidade de Viçosa e é onde está localizada a estação meteorológica.

A área de estudo desta pesquisa está localizada no Centro 2, mais precisamente compreendida entre a Avenida P.H. Rolfs, ruas Feijó Bhering e Verador José Valentino da Cruz. A área apresenta pequena variação altimétrica, oscilando entre 620 e 650 metros (Figura 5).

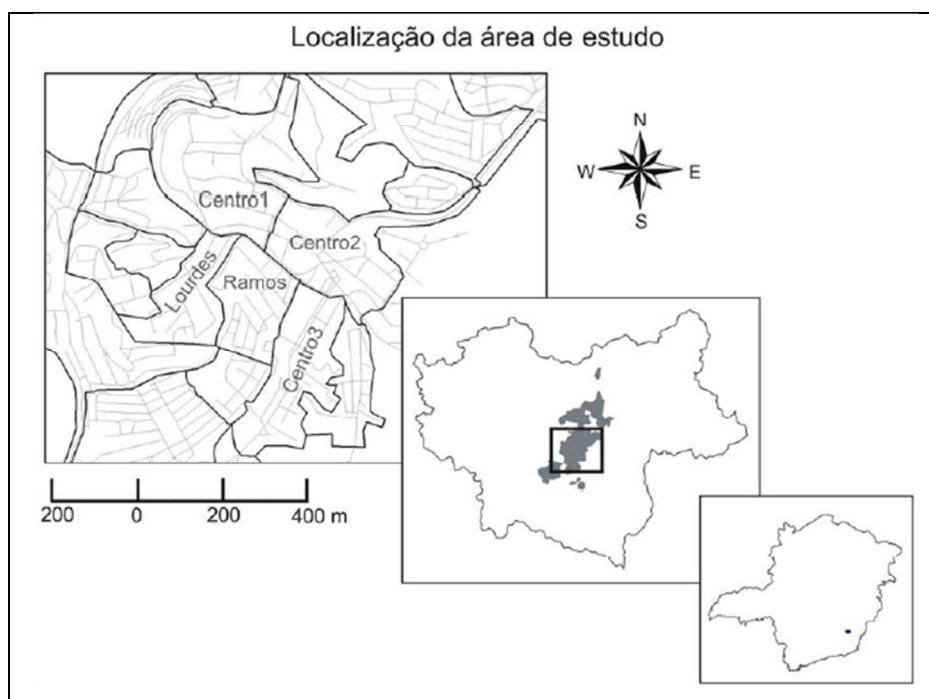


Figura 5 – Localização da área estudo

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Clima urbano

Carlos Augusto Figueiredo Monteiro foi o grande precursor dos estudos de clima urbano no Brasil. Seu envolvimento com a temática se deu a princípio por meio do convite do pesquisador renomado internacionalmente: Tim Oke. Na Europa, Estados Unidos e Ásia, estudos de clima urbano são recorrentes e bem consolidados.

Para Monteiro (1990), o clima urbano seria “(...) um sistema complexo, aberto, adaptativo que, ao receber energia maior do ambiente

que se insere, a transforma substancialmente a ponto de gerar uma produção exportada ao ambiente” (p. 11). Para o autor, este tipo de abordagem seria mais próximo ao geógrafo, visto que confere à cidade o ponto central da análise e ainda torna dinâmico o clima quando analisado por meio do viés da perspectiva sistêmica. Ainda de acordo com o autor, o geógrafo “deve penetrar na cidade para tomar-lhe a temperatura” (p.12), esta ação constitui a base da complexa análise do clima.

Por outro lado, Stewart e Oke (2009) reiteram a necessidade do pesquisador “fugir” da definição simplista do clima urbano como diferença entre as temperaturas do meio urbano e rural. Fruto de pesquisas de décadas, os autores elaboraram a teoria de classificação sistêmica “Zonas Climáticas Locais” (Figura 6). As propriedades utilizadas na formulação desta teoria são: fração de área construída, relação largura/altura (W/H), fator de visão de céu (FVC), rugosidade dos elementos (ZH), fluxo de calor antropogênico (QF) e superfície de admissão térmica ( $\mu$ ) (Stewart; Oke, 2009b, p.8).

Para estes autores, a classificação da paisagem em zonas climáticas locais (ZCL) expressa, de forma objetiva, as possíveis diferenças de temperatura existentes em áreas urbanas. O objetivo principal da criação da teoria ZCL é padronizar estudos de clima urbano, devendo ser continuamente aprimorada.

A padronização em estudos de clima urbano foi identificada em pesquisas de Monteiro (1990) e Stewart e Oke (2009a). Entretanto, há divergências quanto aos métodos de trabalho. Stewart e Oke (2009) são adeptos da modelagem com vistas a abarcar um maior número de parâmetros aplicáveis em diversas partes do planeta. Por outro lado, Monteiro (1990) afirma que a ênfase geográfica em análises urbanas deve ser abrangente sem, contudo, utilizar-se de modelos prontos, e considerando que observação e mensuração caminham lado a lado, a mensuração deve abarcar o maior número possível de pontos e a observação deve ser capaz de inter-relacionar atributos inerentes ao espaço urbano.

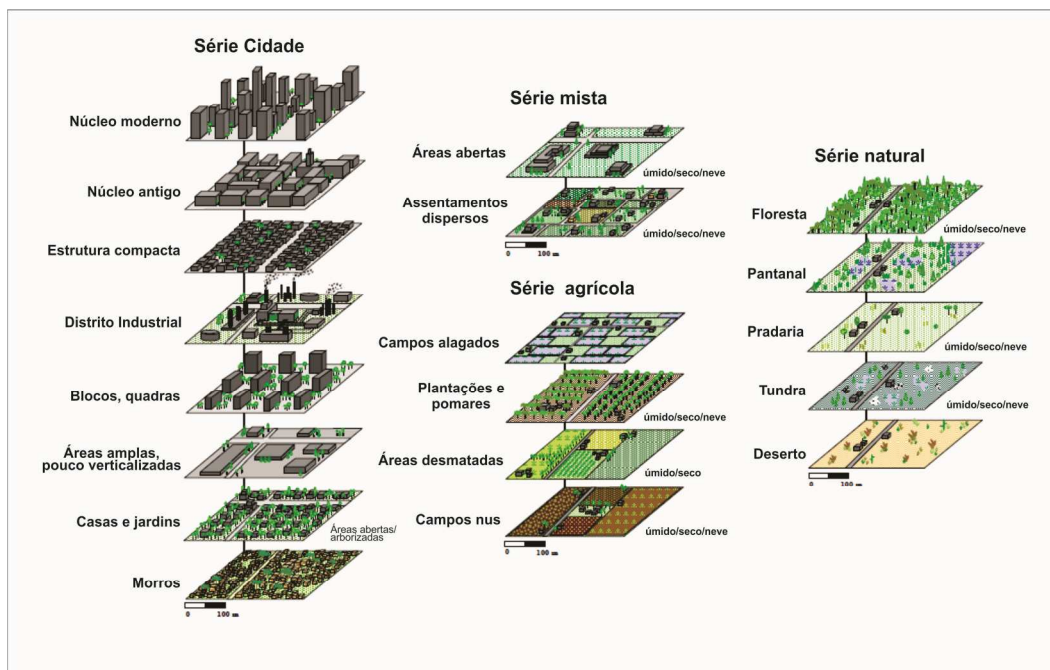


Figura 6 – Zonas Climáticas Locais  
 Fonte: Stewart e Oke, 2009a

Stewart e Oke (2009a) afirmam ainda que a classificação em zonas climáticas locais é uma boa metodologia de análise referente à magnitude do fenômeno ilha de calor. De acordo com os autores, a identificação da magnitude da ICU (ilha de calor urbana) pode ser conhecida por meio da correlação entre temperaturas de zonas climáticas diferentes, sendo muito mais abrangente do que as diferenças de temperatura entre áreas urbanas e áreas rurais.

Mostra, contudo, ser possível mesclar elementos de ambas as teorias. O trabalho de campo é fundamental para identificar o ambiente térmico das cidades, e analisar suas inúmeras nuances. A padronização no manuseio e fixação dos equipamentos de campo e a elaboração de metodologias de análise de resultados compatíveis com aspectos de cada clima possibilitam estudos de clima urbano mais abrangentes.

#### 4.1.1. Ilha de calor

Santos (2003) elaborou uma metodologia para estudo e previsão de alterações climáticas para efeito de planejamento urbano em uma área do bairro Floresta em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Para tal análise, dois aspectos da configuração urbana e que influenciam diretamente a ocorrência da ilha de calor urbana foram investigados: o fator visão de céu (FVC) e a massa construída (MC). O FVC e MC foram correlacionados à temperatura do ar (obtida por meio de levantamento de campo, com o auxílio de estação móvel), utilizando análise de dispersão, em nove pontos de FVC e cinco de MC.

Encontrou-se a correlação negativa de 67,94% entre a ocorrência de temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar com o FVC, nos pontos de maior obstrução da abóboda celeste, ou seja, não foi comprovada correlação forte e direta entre o aumento de temperatura em locais que o calor fica retido por conta do FVC e a diminuição da umidade relativa do ar. Para os valores de MC obtidos, encontrou-se correlação máxima de 98,59% (para o horário das 19 horas) com a temperatura do ar. Este dado confirma que a área construída retém maior calor ao longo do dia, liberando-o mesmo após o pôr-do-sol. De acordo com a autora, este tipo de análise é capaz de fornecer subsídios para previsão de alterações climáticas visando cenários futuros de adensamento urbano (SANTOS, 2003).

Souza et al. (2010) desenvolveram pesquisa com o intuito de avaliar a contribuição do fator visão de céu (FVC) na formação de ilhas de calor noturnas em um bairro residencial de Bauru, São Paulo. Inicialmente realizou-se a caracterização da área de estudo, para posteriormente determinar os pontos de coleta dos dados de temperatura e umidade relativa do ar, bem como dos valores de FVC. Diferentemente do que foi identificado por Santos (*op. cit.*), não se encontrou relação linear constante entre o aumento do FVC e o decréscimo da temperatura.

Nesse sentido, Assis (2008) afirma que os estudos de clima urbano devem desenvolver critérios e métodos de análise menos genéricos. Para

tanto, a análise sistemática de variáveis climáticas, modelos de simulação e o enfoque sobre o balanço de energia devem ser utilizados de forma complementar e não isoladamente como identificado anteriormente (Assis, 2005).

Para além desta perspectiva, Costa *et al.* (2008), propõem a padronização em métodos de medição de campo para estudos desta natureza. De acordo com as autoras, pela complexidade da temática, deve-se dar especial atenção à escolha dos pontos de coleta de dados, a distribuição adequada dos equipamentos em relação aos padrões de uso e ocupação do solo e ainda, à padronização da fixação dos equipamentos bem como no correto manuseio dos mesmos.

Podemos observar que os estudos sobre ilha de calor concentram-se em analisar períodos noturnos, onde o fenômeno é mais bem identificado (com raras exceções). Outro ponto fundamental é analisar efetivamente atributos da configuração urbana, como por exemplo, o índice de massa construída, o fator visão de céu e a relação largura X altura ( $W/h$ ). Também é necessário salientar a importância da padronização, seja na elaboração de modelos, seja nos experimentos de campo (transectos, uso e instalação dos equipamentos).

#### **4.1.2. Balanço de energia**

Como exposto anteriormente, os estudos de clima urbano são extremamente complexos. Pode-se afirmar que são sistemas cíclicos, onde as mais diversas variáveis contribuem cada qual, à sua maneira, para o desenvolvimento do processo de dinamização do clima.

O estudo do clima urbano via modelos de balanço de energia ganha destaque, sobretudo a partir da década de 1980. Recentemente, no Brasil, as principais pesquisas são as das autoras Barbirato (2010) e Maitelli (2010). No exterior pode-se citar os trabalhos desenvolvidos por Grimond *et al.* (2010) e Lee *et al.* (2012).

Para Maitelli (2010), o termo balanço de energia explicita um sistema baseado na primeira lei da termodinâmica (princípio de conservação), em que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas convertida. A seguir, apresentam-se as variáveis inseridas na equação do balanço de energia no meio urbano:

$$Rn + QF = C + LE + \Delta Qs + QA \quad [\text{Eq 01}]$$

Sendo:

$Rn$ , o fluxo de radiação entrando no dossel urbano, isto é, a quantidade de radiação que chega menos a quantidade que é refletida;

$QF$ , o fluxo de energia introduzido no sistema urbano pelas atividades humanas;

$C$ , o fluxo de calor vertical que sai;

$LE$ , o fluxo vertical de calor latente ou evapotranspiração;

$\Delta Qs$ , o fluxo de energia estocada pela estrutura urbana;

$QA$ , a transferência advectiva horizontal de calor sensível e calor latente no sistema.

Grimmond et al. (2010), estabeleceram uma comparação entre 33 pesquisas diferentes referentes ao estudo do balanço de energia em todo o mundo. A avaliação dos 33 modelos concluiu que, em geral, os modelos têm melhor capacidade de modelar  $Q^*$  (saldo total de radiação) e menor capacidade de modelar  $QE$  (fluxo turbulento de calor latente). Os autores salientaram a importância da compreensão da complexidade deste tipo de análise, enfatizando as trocas de energias e a modelagem do sistema água em áreas urbanas, que inclui a água existente em rios, lagos, a que é armazenada no solo e na vegetação, além do vapor d'água.

Lee et al. (2010) realizaram pesquisa em termos de balanço de energia, dando ênfase à fração urbana e à velocidade dos ventos. Os autores utilizaram dados de uma série temporal de Phoenix, Arizona, no

período compreendido entre 1983-2010. Os pesquisadores afirmaram que o modelo de balanço de energia deve considerar as variações da fração urbana bem como a influência da topologia no regime de ventos.

Por outro lado, Barbirato (2010) assume em sua pesquisa o modelo de balanço de energia proposto por TSO (Figura 7), de mesoescala e que trabalha com o parâmetro massa de construção. Este modelo foi aplicado em cidade de clima tropical de baixa latitude e clima quente e úmido e consiste na representação do balanço de energia de uma fração urbana como resultante dos fluxos de radiação, calor latente e sensível e fluxo de calor no solo.

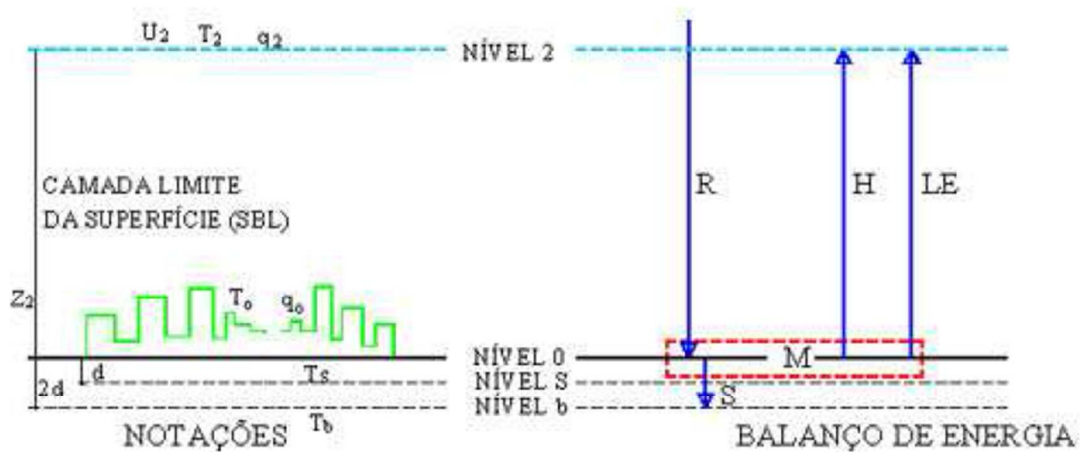


Figura 7 – Modelo de balanço de energia proposto por TSO  
Fonte: BARBIRATO, 2010

Sendo:

$M$  = armazenamento de energia ( $W/m^2$ );

$R$  = fluxo de radiação líquida ( $W/m^2$ );

$H$  = fluxo de calor sensível para o ar ( $W/m^2$ );

$L$  = calor latente da água ( $J/kg$ );

$E$  = taxa de evaporação (portanto,  $LE$  é o fluxo de calor latente) ( $kg/m^2s$ );

$S$  = fluxo de calor no solo ( $W/m^2$ ).

Alguns dos parâmetros de entrada necessários no balanço de energia são de difícil mensuração. Barbirato (2010) considerou

homogêneos os seguintes parâmetros do solo: densidade, calor específico e condutividade térmica.

Maitelli (2010) utilizou o método de Bowen que se baseia no princípio de conservação de energia e na razão entre os fluxos de calor latente e fluxos verticais de calor. Para a autora, o ponto frágil do balanço de energia é definir o que é e qual a extensão da superfície urbana. Ela assumiu que a tomada de variáveis ambientais acima do nível dos telhados em frações urbanas semelhantes (em termos de uso e ocupação do solo) seria suficiente, e ainda, os fluxos turbulentos produzidos acima da camada de menor turbulência forneceriam informações meteorológicas médias da área.

Pode-se perceber que há certo consenso entre estudiosos do clima urbano via modelos de balanço de energia quanto à dificuldade em aferir alguns parâmetros requisitados por tais modelos. Para tanto, ampla pesquisa bibliográfica deve ser realizada a fim de reunir as informações necessárias para utilização deste tipo de abordagem. Novamente, fica claro o importante papel do pesquisador na tomada de decisões, além do uso de bons equipamentos para aferição das variáveis ambientais.

#### **4.2. Materiais construtivos**

A respeito da influência dos materiais construtivos no clima urbano, especialmente na ilha de calor, Melo *et al.* (2009) executaram pesquisa em Presidente Prudente (SP), onde realizaram medições de temperatura e umidade relativa do ar por meio da fixação de equipamentos na cobertura das edificações. Os autores encontraram aumento de 2,5 °C nas temperaturas médias ao longo de trinta anos e 10 °C de diferença entre a temperatura da área urbana e rural. De acordo com a pesquisa, a aglomeração nos centros urbanos e o aumento de edificações populares desprovidas de infraestrutura básica somada à impermeabilização dos solos são fatores indutores de alterações climáticas no ambiente térmico das cidades.

Posteriormente os autores classificaram as coberturas das edificações em três grupos distintos: coberturas de fibrocimento, de cerâmica e coberturas metálicas (Quadro 1).

Quadro 1 – Variáveis térmicas de diferentes tipos de coberturas

Material	Albedo (a)	Emissividade (e)	Temperatura Superficial (°C)	Diferença de temperatura entre o ar e o material
Cerâmica vermelha	0,53	0,9	36,8	-0,1
Cerâmica branca	0,54	0,9	36,2	-0,6
Fibrocimento	0,34	0,9	47,1	10,3
Alumínio s/ pintura	0,57	0,05	69,4	32,6
Alumínio cores claras	0,40 – 0,47	0,9	40,1 – 43,3	3,2 – 6,5
Alumínio cores escuras	0,26 – 0,38	0,9	45,0 – 51,4	8,1 – 14,5
Aço galvanizado s/ pinturas	0,57	0,25	57,9	21,1

Fonte: Melo (2009)

Os autores realizaram a coleta de dados de temperatura (interna, externa e médias) em três edificações: duas em conjuntos habitacionais e uma em um bairro de classe média. As edificações do conjunto habitacional possuíam cobertura de fibrocimento e a do bairro de classe média possuía cobertura de cerâmica. As temperaturas mais altas foram encontradas em uma das edificações do conjunto habitacional, sendo que a temperatura externa às 18 horas foi de 34,2 °C e a interna de 36,2 °C.

Os dados obtidos indicam que as edificações populares apresentam valores internos de temperatura mais elevados do que as temperaturas exteriores. Os autores constataram a relação entre a formação de ilhas de calor nos conjuntos habitacionais pesquisados e o tipo de cobertura das edificações e qualidade dos materiais construtivos ali empregados. Em relação a aspectos do conforto térmico, além da

produção de calor e da baixa qualidade de vida, os autores identificaram que edificações deste tipo são foco de doenças do aparelho respiratório.

Amorim *et al.* (2009), realizaram pesquisa semelhante também para Presidente Prudente e ainda para a cidade de Rennes na França. Houve coleta de variáveis ambientais em pontos fixos e móveis de ambas as cidades. Os autores ainda utilizaram imagens do satélite LANDSAT TM para acompanhar e mensurar a evolução e mudança do solo urbano por vinte anos na área pesquisada. Os autores citados anteriormente enfatizaram pontos positivos quando da utilização conjunta de imagens de satélite e os transectos térmicos, evidenciando de tal forma, a estreita relação entre o uso do solo urbano e o aparecimento do fenômeno Ilha de calor.

Bougiatoti *et al.* (2009) analisaram os materiais construtivos mais comuns em superfícies verticais de edificações em Atenas, Grécia, por meio da análise de temperatura superficial obtida por termômetro infravermelho. Os autores enfatizaram que as pedras naturais como, por exemplo, o granito e o mármore, perdem calor lentamente e de forma mais efetiva após as 21 horas, contribuindo sobremaneira para a formação da ilha de calor.

Santamouris *et al.* (2011) elaboraram um artigo de revisão referente à pesquisas sobre o uso de materiais reflexivos (materiais frescos) no meio urbano e edificações, visando mitigar efeitos indesejados do aquecimento provocado por alguns tipos de materiais construtivos (Figura 8).

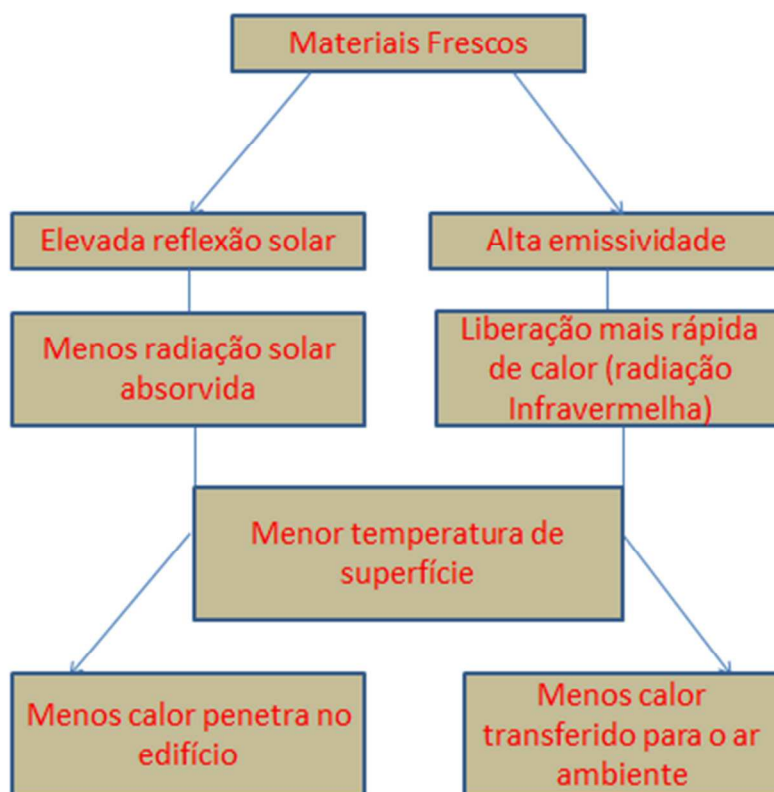


Figura 8 – Princípios básicos dos materiais frescos  
 Fonte: SANTAMOURIS, 2011 (adaptado)

Amorim et al (2009), concluíram que a ilha de calor pode ser considerada como um indicador de qualidade ambiental urbana, sobretudo em cidades de porte médio com clima tropical continental e temperado oceânico que são naturalmente quentes. O fenômeno da ilha de calor urbana se mostrou resultante da interação entre radiação recebida e radiação refletida por materiais construtivos de edificações.

Santamouris et al (2011), Bougiatoti et al (2009) e Melo et al. (2009), bem como Amorim et al. (2009), convergem suas análises para a importância fundamental dos materiais construtivos e urbanos na geração da ilha de calor (Quadro 2).

Também fica claro que o uso de materiais “frescos”, com albedo maior e menor emissividade contribuem para mitigar os efeitos indesejáveis da ilha de calor urbana. Porém, Santamouris et al (2011),

afirma que, por outro lado, os materiais frescos envelhecem rapidamente e possuem alta degradação óptica, ou seja, perdem a cor. Este fato é bastante importante, pois se os materiais perdem a cor, também perdem grande parte de suas características reflexivas. Tornam-se necessárias pesquisas que minimizem efeitos negativos do uso dos materiais frescos bem como a possibilidade de estender os benefícios para um número maior de pessoas, tornando tais materiais mais acessíveis à população de baixa renda por exemplo.

Diante da complexa relação entre materiais construtivos e alterações térmicas no ambiente da cidade, pode-se perceber que os autores anteriormente citados indicam caminhos possíveis para mitigar esses efeitos. Entretanto, ações efetivas de mitigação dependem de avanços em pesquisas científicas e boa vontade do poder público. Portanto, podem se tornar de difícil aplicação a médio e longo prazo.

Quadro 2 – Valores de refletância comumente utilizados e materiais de pavimentação frescos:

Material	Refletância Solar
Asfalto preto convencional	0,04 – 0,06
Asfalto convencional envelhecido	0,09 – 0,18
Asfalto com neve	0,3 – 0,45
Asfalto com fina camada de cor fresca	0,27 – 0,55
Laje de concreto cinza	0,12 – 0,2
Laje de concreto branca	0,6 – 0,77
Telhado de concreto pigmentado com cores frescas (bege, verde, cinza)	0,61 – 0,68
Bloco de concreto pigmentado com cores frescas (vermelho, amarelo, bege)	0,45 – 0,49
Telhado de concreto com painéis fotovoltaicos	0,77
Mármore branco	0,65 – 0,75
Mármore de cor escura	0,2 – 0,4
Telhado de borracha vermelha	0,07 – 0,1
Granito de cor escura	0,08 – 0,12

Fonte: Santamouris (2011), (adaptado).

### **4.3. Algumas abordagens referentes à Ilha de calor urbana e à eficiência energética**

De forma geral, observa-se que o fenômeno da ilha de calor urbana tem sido amplamente pesquisado, sobretudo a partir da década de 1970 onde os impactos da ocupação desordenada das cidades e a poluição foram significativamente ampliados.

Internacionalmente, a ilha de calor, quando abordada em estudos, busca apreender as relações entre si e a morfologia urbana e conseqüentemente, seus impactos sobre a eficiência energética no meio urbano e no ambiente construído. Por outro lado, os estudos sobre ilhas de calor em regiões tropicais, a exemplo do Brasil, são recentes e ainda poucos (cerca de 20% do total), embora nos últimos 30 anos as pesquisas sobre o clima urbano venham aumentando consideravelmente (ASSIS, 2008).

Grande parte das pesquisas referem-se a metodologias de coleta de dados visando quantificar a ilha de calor e em modelos que buscam prever e/ou simular resultados futuros. No ano de 2006, Kolokotroni *et al*, buscaram identificar através de coleta de dados aliados e modelos preditivos, o comportamento da ilha de calor em Londres e, a partir de então, quantificar a demanda de energia para refrigeração e ainda, como utilizar a ventilação passiva para minimizar possíveis impactos.

Os autores apresentaram um resumo da coleta de dados de temperatura do ar realizados nos anos de 1999 e 2000 para quantificar a intensidade da ilha de calor. Em seguida, os dados foram condensados em duas semanas representativas, uma de clima quente e outra de clima quente típico de Londres.

Já 2010, os mesmos autores desenvolveram uma metodologia para validar a previsão de demanda de energia para aquecimento e resfriamento dentro de edifícios devido à ilha de calor em Londres. Para tanto, foram simuladas temperaturas do ar no meio urbano em função de condições meteorológicas específicas.

Em ambas as pesquisas, os autores destacaram procedimentos metodológicos mistos, em que a coleta de dados era acrescida de métodos de simulação, por exemplo, as Redes Neurais Artificiais (ANN). Os resultados apontaram para uma eficácia dos modelos de simulação para a previsão da temperatura média mensal do ar e também para a demanda de aquecimento e refrigeração dos edifícios. Entretanto, no trabalho mais recente, os autores afirmam que existe a possibilidade de desvios significativos na modelagem, dependendo das condições meteorológicas durante a execução dos levantamentos de campo.

O impacto da morfologia urbana sobre o consumo de energia em edifícios em Cingapura foi investigado por Wong *et al.* (2011). Com objetivo de avaliar e discutir o impacto da morfologia urbana sobre o consumo de energia em edifícios, os autores buscavam fundamentar a tese de que a densidade de área construída e a razão de vegetação (áreas verdes e arborização) têm um alto grau de impacto no microclima. Os resultados obtidos indicaram a economia de 5-10% na carga de refrigeração apenas quando estratégias de vegetação são utilizadas.

As áreas verdes são importantes para a mitigação da ilha de calor através do potencial para resfriamento e frescor que proporcionam. Oliveira *et al.* (2011), analisaram a combinação entre o fenômeno da ilha de calor urbana e o aquecimento global e de que maneira estes poderiam contribuir para aumentar os efeitos negativos à saúde e ao meio ambiente. Os autores analisaram o desempenho térmico de um pequeno espaço verde de 0,24 ha em Lisboa (Portugal) e suas influências na atmosfera de uma área densamente urbanizada. No Brasil, Mascaro (2008) buscou comprovar a eficácia da arborização como sombreamento adequado para a insolação no verão em regiões de clima subtropical úmida, como por exemplo, a cidade de Porto Alegre-RS.

As pesquisas citadas acima convergem no sentido dos benefícios proporcionados pela vegetação. Os resultados encontrados indicam cerca de três graus de diferença entre temperaturas de área vegetadas e não vegetadas, além da capacidade da vegetação em atuar na renovação do

ar, proporcionando melhorias nos níveis de poluição. É importante frisar que apesar dos benefícios, o uso da vegetação não deve ser a única ação de mitigação utilizada por conta de seu caráter de médio e longo prazo.

Mackey *et al.*(2011), observou que as últimas pesquisas a respeito da ilha de calor urbana concentram-se em aplicações de métodos em pequenas escalas ou avaliações de modelagens realizadas para grandes escalas. Os autores utilizaram imagens LANDSAT da cidade de Chicago, nos EUA para avaliar duas estratégias de mitigação dos impactos da ilha de calor: superfícies reflexivas e superfícies vegetadas. Os autores concluíram que as superfícies reflexivas analisadas aumentam o albedo em 0.016 enquanto as vegetadas apenas em 0.007. Por meio da análise de imagens de satélite de Chicago ao longo de 15 anos, foi possível identificar ainda, que as superfícies reflexivas influenciam maiores áreas da cidade se comparadas aos benefícios de superfícies vegetadas.

#### **4.4. Simulação computacional em estudos do Clima urbano**

Como ferramenta de trabalho a simulação computacional auxilia na busca por resultados de pesquisa confiáveis e ancorados na realidade. Nos mais variados segmentos científicos é possível verificar a expansão do uso desta ferramenta. Gavira (2003), para fins de análise, assumiu duas abordagens para os programas de simulação: os de propósito geral e os baseados na dinâmica dos sistemas. O objetivo da pesquisa foi identificar os aspectos potenciais da simulação enquanto ferramenta de aquisição de conhecimento. Para tanto, aplicou-se a simulação computacional num sistema de fila de uma fábrica de componentes plásticos.

A construção civil é um ramo industrial e produtivo que também tem utilizado a simulação computacional para minimizar falhas. Alves e Tommelein (2007) discutiram a importância do gerenciamento da cadeia de suprimentos da construção civil. Os autores se utilizaram da simulação computacional com base em dados da cadeia de suprimentos

de dutos de ar condicionado por entenderem que esta é uma ferramenta de baixo custo e que oferece modelos e conclusões de uma realidade controlada no qual experimentos futuros podem ser realizados.

Mothibi (2005) realizou um estudo onde investigou formas de otimização energética em habitações de interesse social em Botswana, por meio da simulação computacional (software BERS) com a possibilidade de análise da forma de edificações com base em dados do sistema padrão.

Huttner *et al.* (2008) utilizou o programa Envi-met para simular os efeitos do aquecimento global sobre o estresse provocado pelo calor na Europa Ocidental. Os autores realizam duas simulações, uma em que condições de contorno típicas de dias de verão europeu são mantidas e outra em que o contorno sofre impactos de ondas de calor extremas.

Mothibi (2005) e Huttner (2008) enfatizaram a possibilidade que os programas computacionais de simulação oferecem em termos de controle em situações relacionadas ao clima. Estudiosos do clima urbano admitem que são inúmeros os fatores que intervêm no sistema, como por exemplo entrada de frentes de ar, precipitação e sítio urbano, entre outros. Fica clara a expansão da simulação computacional enquanto ferramenta de apoio metodológico em pesquisas científicas. Quanto ao uso da simulação em estudos de conforto urbano, percebe-se uma gama de programas disponíveis para desenvolvimento deste tipo de análise. Entretanto, estes respondem de formas diferentes para cada situação específica do meio urbano.

É importante analisar os programas computacionais disponíveis e utilizar aquele que mais se adequa ao que se propõe analisar, tendo em vista que a simulação computacional trabalha com simplificação de modelos e não deve ser destacada dos experimentos de campo.

#### 4.4.1. O programa *EnergyPlus*

O *EnergyPlus* é um programa que simula parâmetros relacionados às edificações. É resultado da união entre dois outros programas, o BLAST (por meio do balanço de calor) e o DOE-2 (cálculo da iluminância).

Apesar de considerar parâmetros do meio urbano, o programa não é capaz de alterar as temperaturas externas em função do desempenho térmico das zonas internas, não considera o calor antropogênico do meio urbano (considera dentro das zonas térmicas dos edifícios), não fornece emissões radiantes do solo. Estas limitações foram superadas por meio de ações que serão descritas na metodologia.

Mesmo diante das limitações, o programa possui recursos relevantes para análises urbanas. O *Energyplus* é capaz de corrigir a velocidade do vento de acordo com 4 opções de configuração urbana (portanto, realiza trocas convectivas com as superfícies externas), considera a influência do albedo e de reflexões das superfícies externas, além de considerar a inércia térmica de elementos construtivos.

O modelo de cálculo do balanço térmico utilizado no *EnergyPlus* é bastante importante para analisarmos os ganhos e perdas de calor através de componentes opacos (paredes e coberturas, por exemplo). Este método abarca cada elemento de uma edificação e envolve os processos de condução, convecção e radiação.

Os ganhos e perdas de calor são analisados com base no cálculo do fluxo de calor por convecção entre as temperaturas internas de cada superfície e a temperatura do ambiente no qual está inserido.

A distribuição solar refere-se a forma como o programa considera a intervenção dos raios solares no ambiente modelado. Para as análises realizadas neste trabalho, optou-se por: exterior completo com reflexões (*full exterior with reflections*). Neste caso, todo tipo de sombra é considerado. O programa assume que todo feixe de radiação solar que penetra na zona é absorvido de acordo com a absortância solar do piso. Quando é refletido pelo piso, o feixe de radiação solar é distribuído

uniformemente para todas as superfícies interiores que poderão absorvê-lo mediante suas absortâncias.

Para que o edifício seja simulado no *EnergyPlus* foi necessária criar zonas térmicas, mais detalhes de cada superfície que será modelada, bem como as de sombreamento. A configuração da zona térmica inclui a configuração da geometria, dos componentes, dos materiais, entre outros. Mediante a configuração da zona térmica e todos seus componentes, é permitida ao usuário uma série de variáveis de saída fornecida pelo programa.

Para que o *EnergyPlus* realize uma simulação também é necessária a configuração das cargas internas do modelo, referentes ao comportamento de pessoas dentro das zonas, de parâmetros relacionados a iluminação e equipamentos elétricos. Esta pesquisa está baseada na configuração de cargas internas para edificações residenciais de acordo com as orientações descritas no RTQ – R (BRASIL, 2012) e que serão abordadas na metodologia.

É de interesse neste trabalho enfatizar variáveis de saída referentes às superfícies externas (*paredes, coberturas, pisos*). As variáveis utilizadas nesta pesquisa são listadas a seguir:

- Temperatura do solo (C) (horária);
- Temperatura de superfície do solo (C) (horária);
- Temperatura profunda do solo (C) (horária);
- Temperatura Operativa da Zona;
- Temperatura Radiante Média da Zona;
- Ganho de energia por radiação térmica da face externa de superfícies (J).

Em termos de pesquisa, a temperatura do solo, bem como a energia radiante absorvida e liberada por ele e pelo envelope da edificação influenciam sobremaneira as condições climáticas do ambiente analisado. Portanto, o principal ponto que esta pesquisa necessitava de

responder era como modelar o solo de forma que o calor emitido por ele fosse considerado pelas emissões radiantes das superfícies externas do modelo. A metodologia descrita no item 5, busca elucidar as etapas realizadas para alcançar tais objetivos.

## **5. METODOLOGIA**

A área de estudo abrange uma parcela do que é considerado área central da cidade de Viçosa – MG. Construções acima de três pavimentos predominam no local de grande circulação de veículos e pessoas, devido à proximidade do *Campus* da UFV. As principais ruas que compõem a área de estudo são a Avenida P.H. Rolfs, a Rua Feijó Bhering, a Ladeira dos Operários e a Padre Serafim.

Baseada em informações referentes ao adensamento e verticalização da área de estudo, obtidas em Zachi (2007), criou-se a hipótese da possibilidade de análise de acordo com o modelo de Zonas climáticas locais proposto em Stewart e Oke (2009a).

### **5.1. Procedimentos Metodológicos**

A pesquisa desenvolveu-se com base em três etapas de planejamento: levantamento de campo, simulação computacional e análise de resultados.

#### **5.1.1. Levantamento de campo**

Diversas visitas ao campo foram realizadas com o objetivo de observar e fotografar o maior número possível de informações construtivas a respeito do local. Imagens obtidas por meio do *Google Earth* foram utilizadas para complementar o diagnóstico da área de estudo.

As informações obtidas acima, juntamente com um mapa gerado em CAD fornecido pela Prefeitura Municipal de Viçosa foram utilizadas para construção do modelo geométrico no programa *Sketchup* e posterior simulação no *Energy Plus versão 7.2*.

#### **5.1.1.1. Definição do transecto a ser percorrido**

A definição do transecto considerou o tempo máximo de percurso de 1 (uma) hora, tempo este usualmente utilizado em pesquisas de clima urbano devido à variabilidade temporal dos parâmetros climáticos.

As campanhas realizadas para medição dos dados higrométricos foram realizadas em três estações do ano: inverno, primavera e verão. Três pontos foram escolhidos como referência para coleta dos dados, com base nas informações obtidas nas etapas anteriores. A coleta destes dados ocorreu, em cada estação, durante três dias (não necessariamente consecutivos) e em quatro horários: às 09, 15, 18 e 21 horas. Estes horários foram escolhidos visando abranger diferentes períodos ao longo do dia em termos de absorção e emissão de energia radiante por parte das superfícies.

#### **5.1.1.2. Seleção dos pontos de medição**

Para medição da temperatura, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e temperatura do globo negro, foram selecionados três pontos de medição, conforme mostra a Figura 9. Um dos pontos está localizado na Rua Vereador José Valentino da Cruz (“Ladeira dos Operários”), outro na Avenida P.H. Rolfs e o último na Rua Feijó Bhering.

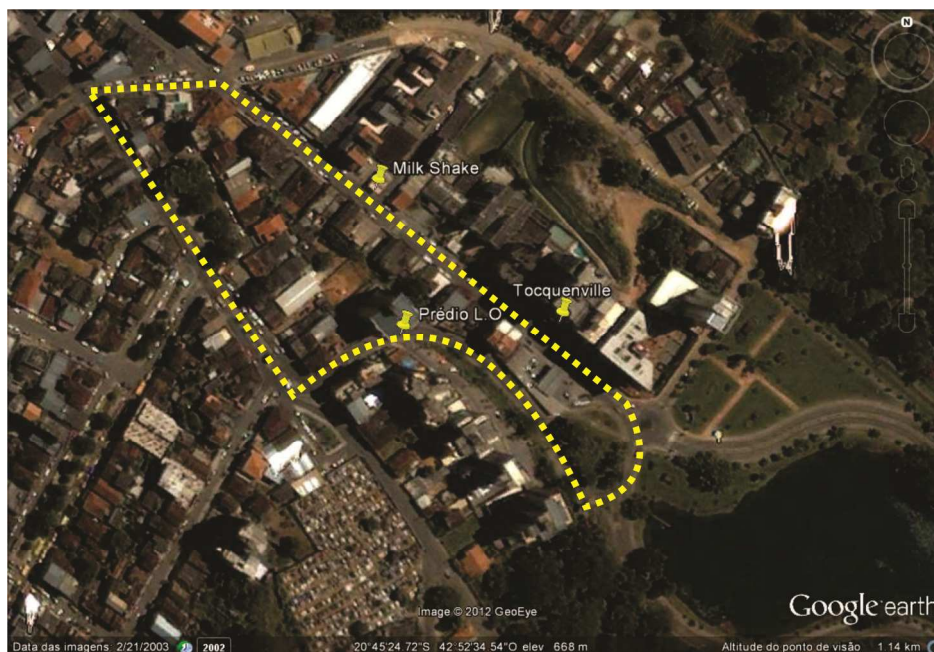


Figura 9 – Área de estudo, com destaque para os pontos de medição.

A “Ladeira dos Operários” é uma importante via de acesso à UFV. Predominam no local Edificações residenciais, que possuem lojas comerciais no primeiro piso (Figura 10). O tráfego de veículos e pessoas é constante durante todo o dia, sendo que aumenta consideravelmente nos horários considerados “de pico”, que têm relação direta com o horário de início e término das atividades na UFV, bem como no intervalo para o almoço.



Figura 10 – Ponto 1: Rua Vereador José Valentino da Cruz

A Avenida P.H. Rolfs é a principal via de acesso à UFV. Da mesma forma que na “Ladeira dos Operários”, contém lojas comerciais no térreo e apartamentos residenciais predominam nos demais pavimentos. Sua disposição na malha urbana lembra um corredor que canaliza os ventos vindos da área verde na UFV. Entretanto, pode reter o calor gerado no local. O ponto de número 2 (Figura 11) está localizado próximo à entrada do edifício Tocqueville Center, à sombra e com margem de segurança visando à proteção dos equipamentos do tráfego intenso de pessoas.



Figura 11 – Ponto 2: Avenida P.H. Rolfs

A Rua Feijó Bhering é uma pequena e estreita via de ligação entre a avenida P.H. Rolfs e a rua dos Estudantes. De perfil predominantemente comercial, possui fluxo de veículos médio, sendo que, ao longo do dia o trânsito de pessoas é constante, porém não é elevado. O terceiro ponto (Figura 12), local da coleta dos dados está próximo à esquina da Avenida P.H. Rolfs com a rua Feijó Bhering.



Figura 12 – Ponto 3: Feijó Bhering esquina com P.H.Rolfs

A estação meteorológica da UFV (próxima ao colégio do COLUNI) é o ponto de referência. Sua localização é comumente utilizada como dados compatíveis a uma área de campo. O acesso aos dados gerados na Estação foi possível por meio do Inmet. Realizou-se análise entre os dados das variáveis medidas e os que foram gerados pela estação, buscando avaliar a divergência ou convergência entre estes valores. A estação meteorológica automática forneceu dados horários, diários e mensais de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa do ar (%), temperatura de ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ), pressão (hPa), velocidade do vento (m/s), radiação solar global ( $\text{kJ}/\text{m}^2$ ) e precipitação pluviométrica (mm).

O ponto de número 1 está localizado a 671 metros de elevação, sendo que o de número 2 e 3 estão aproximadamente a 661 e 662 metros.

#### **5.1.1.3. Caracterização dos pontos de medição**

Foi elaborado um quadro explicativo (Quadro 3) contendo as principais informações referentes aos três pontos de coleta de dados. As principais informações são as seguintes: uso do solo (residencial, comercial ou misto), presença de vegetação (significativa, pouca ou nenhuma) e fluxo de veículos (baixo, médio ou intenso). Estas

informações foram obtidas por meio de visualização (uso do solo e presença de vegetação) e contagem dos veículos durante a coleta dos dados higrotérmicos.

Quadro 3 – Informações referentes aos três pontos de coleta de dados

Ponto	1	2	3
Uso do solo	Misto	Misto	Misto
Vegetação	Pequena	Nenhuma	Pequena
Fluxo de veículos	Médio	Intenso	Médio
Piso pavimentado	Asfalto	Asfalto	Asfalto
Cores predominantes do entorno edificado	Amarelo, verde claro, cinza	Cinza, tons de vermelho	Cinza, bege
Verticalização do entorno	3 pavimentos ou mais	3 pavimentos ou mais	3 pavimentos ou mais

## 5.1.2. Dados higrométricos

### 5.1.2.1. Temperatura e Umidade Relativa do ar

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos por meio do *data logger* HOBO U12 Temp/RH 2Ext (Figura 13). O aparelho foi programado para coletar dados a cada 5 minutos, entretanto, para efeito da pesquisa, utilizou-se apenas o valor registrado no momento da leitura da temperatura do globo negro bem como da velocidade dos ventos.



Figura 13– Datalogger HOBO U12 Temp/RH 2Ext

Foi necessário *criar* uma proteção à radiação infravermelha para o *datalogger* (figura 14). O *datalogger*, envolto na proteção radiante confeccionada, foi instalado em um suporte metálico.



Figura 14 – Proteção radiante *datalogger* HOBO

De acordo com a literatura consultada (ISO 7726), os equipamentos utilizados para coleta de dados em estudos de clima urbano, relacionados à ilha de calor, devem estar posicionados a altura de 1,5m do chão.

A estação meteorológica automática da UFV (Figura 15) fornece dados horários, diários e mensais de temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), ponto de orvalho (°C), Pressão (hPa), vento (m/s), radiação (kJ/m<sup>2</sup>) e chuva (mm).



Figura 15– Estação meteorológica da UFV, Viçosa – MG  
Fonte: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/fotos/A510.jpg>

Os dados coletados foram cruzados com os disponibilizados pela estação automática, a fim de estabelecer relações com os dados coletados no ambiente urbano.

#### 5.1.2.2. Velocidade do vento

Os dados referentes à velocidade do vento foram coletados por meio de um anemômetro de fio quente (Figura 16), distante do *datalogger* HOBO cerca de 60 cm. Os dados foram coletados simultaneamente aos de temperatura e umidade relativa do ar e temperatura do globo negro.



Figura 16 – Anemômetro de fio quente

A escolha pelo anemômetro de fio quente justifica-se devido à dinâmica dos ventos no local da pesquisa, que apesar de possuir edificações bastante verticalizadas não oferece obstáculos à circulação dos ventos. O quadro 4 traz um resumo das especificações técnicas de cada aparelho.

Quadro 4 – Especificações técnicas dos equipamentos utilizados:

Aparelho	Especificações técnicas
<i>Datalogger</i> HOBO U12 Temp/RH 2Ext	<i>Datalogger</i> portátil de temperatura e umidade, 2 canais – armazenamento mínimo de 7.800 dados, intervalo mínimo de medição de um minuto a três horas.
Anemômetro digital de fio quente	Intervalo de medição mínimo de 0,2 m/s a 10 m/s.
Globo negro	Material plástico de 15 cm de diâmetro.

### 5.1.2.3. Temperatura do globo negro e temperatura radiante média

A temperatura do globo negro foi obtida por meio da leitura em termômetro analógico fixado no centro de um globo negro de plástico.

O globo negro foi afixado no mesmo suporte que os demais equipamentos a uma altura de aproximadamente 1,5m, tendo-se cuidado de mantê-los a 0,5 cm uns dos outros para que não houvesse interferência nos dados coletados.

A temperatura radiante média foi obtida por meio da Equação 2 (ASHRAE, 2005):

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

Onde:

$t_g$  é a temperatura do globo (°C)

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

Equação 2 – Fórmula TRM - ASHRAE Fundamentals Handbooks (2005)

### 5.1.3. Simulação computacional

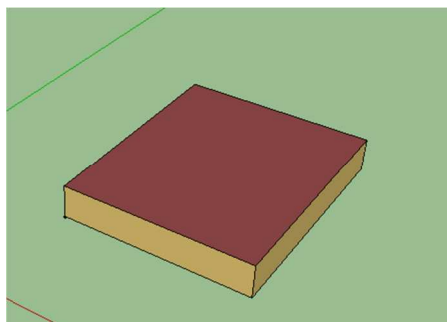
#### 5.1.3.1. Zonas térmicas

Para a definição do número de zonas a serem modeladas para cada edificação (cinco ou apenas uma) (Figura 17) foram utilizadas as variáveis: temperatura operativa e temperatura radiante média das zonas.

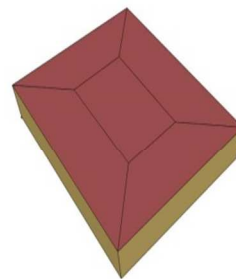
É importante salientar que as superfícies citadas anteriormente expressam a condição da zona térmica, que é o fundamental para as análises que foram realizadas.

Por meio da análise de frequência de ocorrências de emissões radiantes das superfícies, buscou-se avaliar a necessidade de modelar cada edificação com mais de uma zona térmica.

Partindo de um modelo de cinco zonas e outro modelo simplificado de apenas uma zona térmica, foram avaliadas duas edificações: de 2 e 3 pavimentos: uma edificação em contato com o solo e com cobertura exposta, e outra com um pavimento intermediário entre o térreo e o último pavimento. A massa interna foi inserida no modelo de uma zona, e o arquivo climático utilizado foi o TMY2 de Viçosa (GUIMARAES; CARLO, 2013).



(a) uma zona térmica



(b) cinco zonas térmicas

Figura 17 – Zonas térmicas

As Figuras 18 e 19 contém as médias das diferenças de densidade de radiação emitida por superfícies externas, coberturas e paredes. Concluiu-se então, que não havia necessidade de simular cada edificação

com cinco zonas térmicas, pois as diferenças médias entre as emissões dos modelos com zona única e 5 zonas foram, em 100% dos casos, inferiores a 20 W/m<sup>2</sup>, com concentração de ocorrências abaixo de 5 W/m<sup>2</sup>.

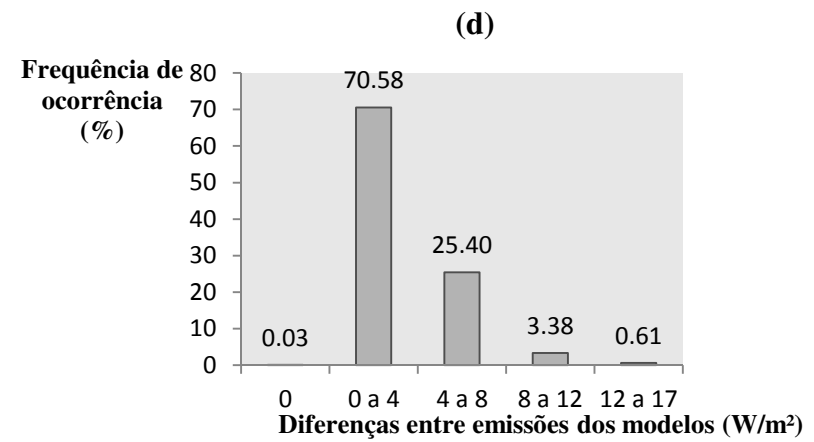
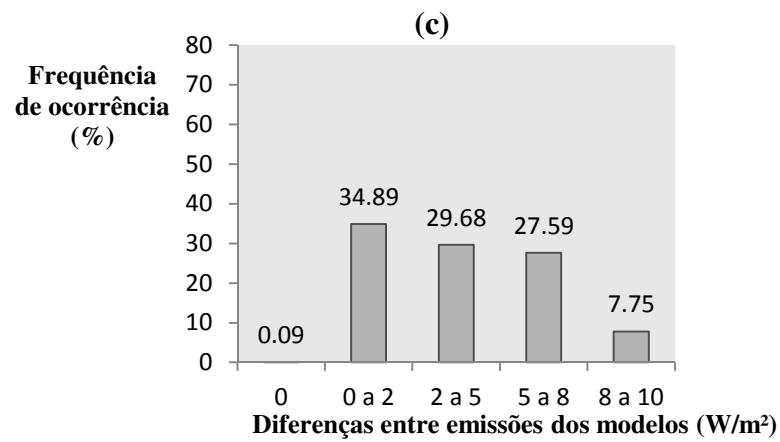
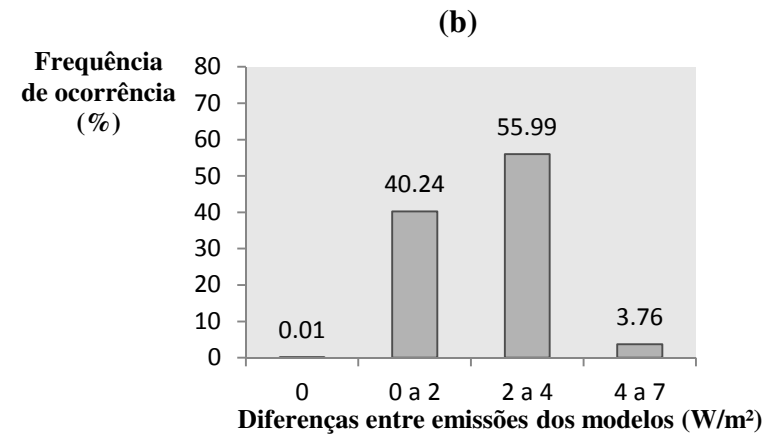
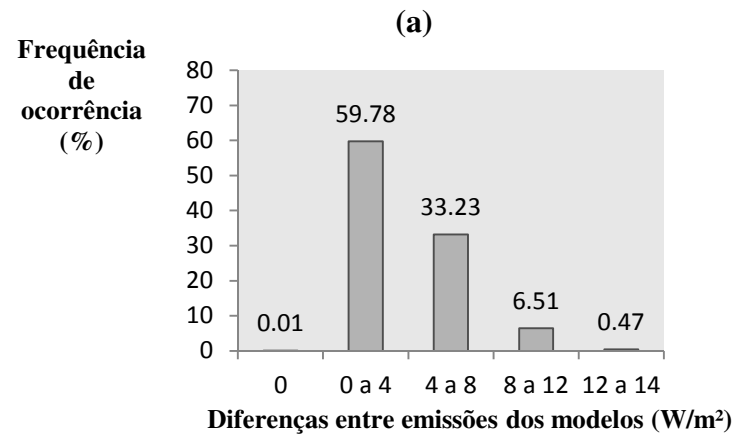


Figura 18 – Emissão de radiação térmica por área de parede externa (Modelo 2 pavimentos). (a): Z3 e Z7, (b): Z3 e Z8, (c): Z3 e Z9 e (d): Z3 e Z10.

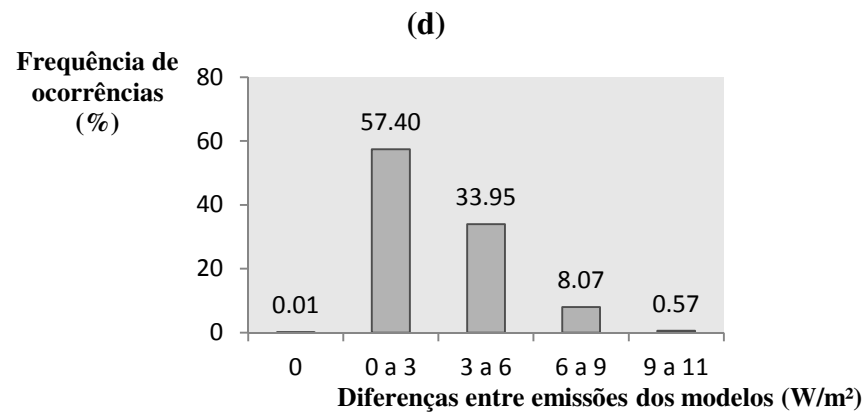
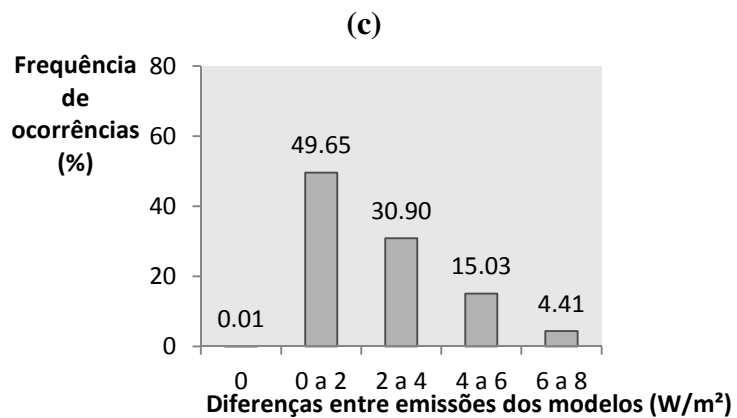
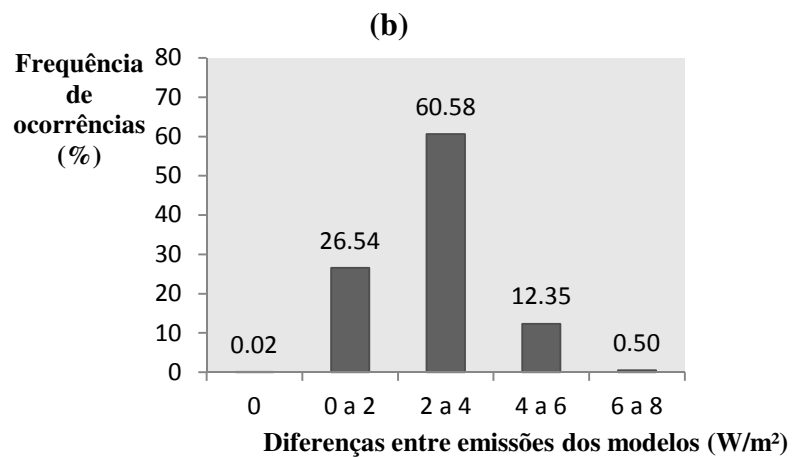
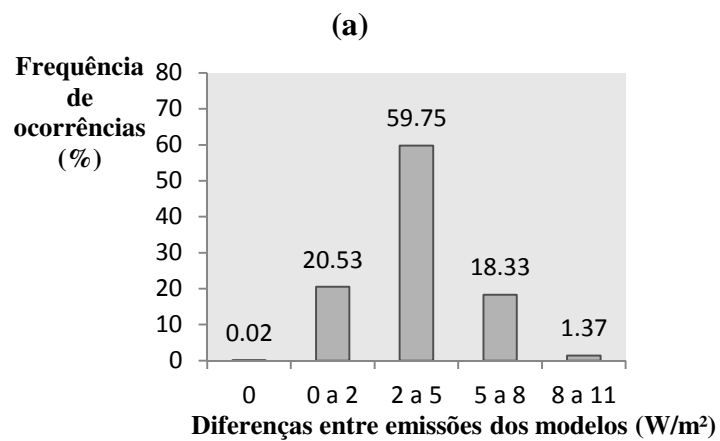


Figura 19 - Emissão de radiação térmica por área de parede externa (Modelo 3 pavimentos). (a): Z2 e Z2, (b): Z2 e Z3, (c): Z2 e Z4 e (d): Z2 e Z5.

### 5.1.3.2. Parâmetros para modelagem do solo no programa EnergyPlus

O Programa *EnergyPlus* simula e fornece parâmetros de edificações tais como emissões radiantes de superfícies, entretanto, não as fornece para o piso exterior.

Para modelagem do solo urbano no ambiente do programa foi necessária inserção dos seguintes parâmetros: espessura e propriedades térmicas do solo e propriedades térmicas dos materiais constituintes de superfície do solo.

### 5.1.3.3. Zona térmica do subsolo

Como dito anteriormente, o *EnergyPlus* não fornece emissões radiantes do solo, apenas de superfícies pertencentes a zonas térmicas. Criou-se uma zona térmica (correspondente ao subsolo), com características, propriedades e materiais semelhantes a de um solo urbano.

Criaram-se dois modelos: o primeiro contendo dois edifícios (três e dois andares respectivamente) sobre uma zona térmica cuja cobertura representa um pavimento de subsolo e o segundo contendo dois edifícios (idênticos aos do primeiro caso) sobre o piso na cota zero (Figura 20).

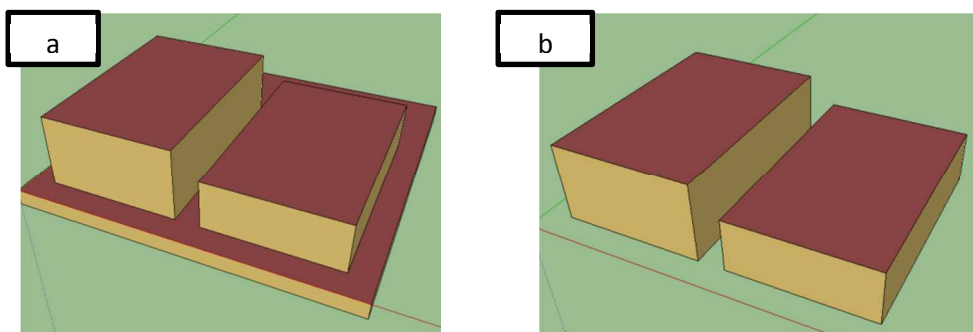


Figura 20 – (a) – modelo contendo zona térmica que simula o solo e (b) – modelo em contato diretamente com o solo

O quadro 5 apresenta as propriedades térmicas utilizadas para modelagem do solo no *EnergyPlus*. Baseado em Brandão (2009), selecionou-se valores referentes a modelagem computacional de solos semelhantes aos encontrados na área de estudo. Os valores mínimos foram adotados porque foram os únicos que permitiram ao programa finalizar a simulação.

Quadro 5 – Valores utilizados para modelagem do solo no *EnergyPlus*.

Valores	Densidade( $\rho$ )	Calor específico (c)	Condutividade térmica (K)
Máximo	2000	1550	1,58
Mínimo	1600	890	0,25
Médio	1800	1220	0,915

Fonte: Brandão (2009), adaptado.

Os dados de entrada para modelagem do solo são importantes na medida em que o *EnergyPlus* utiliza-os para considerar a inércia térmica do solo, e conseqüentemente, obter a energia radiante que é reemitida ao ambiente e tem papel fundamental na dinâmica do microclima.

A zona térmica criada deveria possuir características e propriedades térmicas que permitissem a simulação pelo programa, entretanto, o objetivo foi ser o mais semelhante possível ao solo urbano. O *construction* piso-solo (solo) é composto pelos materiais listados abaixo.

Foram encontradas diferenças máximas de 35% entre as temperaturas operativas, e médias de 16%. Para fins de calibração da simulação essa diferença foi reduzida para cerca de 10%. Realizou-se ajustes na espessura do material solo, que deveria ser o mais espesso possível. Após calibração, o valor máximo obtido para a espessura foi de 0,8m, valor que foi utilizado para a simulação.

O quadro 6 contém resumo dos dados de entrada, materiais e espessura utilizados.

Quadro 6 – Características físicas dos materiais construtivos utilizados para modelagem do solo.

Material	Rugosidade	Espessura	Condutividade ( $\lambda$ )	Densidade ( $\rho$ )	Calor específico (c)
Laje de concreto	Suave	0,1	1,75	2200	1000
Solo	Grosseira	0,8	0,25	1600	890
Asfalto	Grosseira	0,05	1,15	2300	920

Fonte: NBR 15.220 (2005) (adaptado).

As diferenças entre as temperaturas radiantes das zonas não alcançaram 1%. A média encontrada foi de 7,73% e a média das diferenças em torno de 2,04% ( $W/m^2$ ).

Visando adequar a Zona solo às análises realizadas pelo *Energyplus*, subdividiu-se a referida zona em superfícies menores, entretanto, todas possuíam as mesmas configurações em termos de materiais e componentes.

Os dados de saída utilizados na simulação do solo foram: temperatura do solo, temperatura superficial do solo e temperatura em profundidade do solo. Além da necessidade de ativarmos as variáveis que consideram a transferência de calor do solo e a troca de calor entre superfície de concreto (laje) e o solo.

#### **5.1.3.4. Materiais construtivos**

Os materiais construtivos são de grande relevância para as emissões radiantes em superfícies externas de edificações, devido aos seus potenciais de transmissão ou armazenamento da energia térmica. O quadro 7, apresenta uma lista contendo os principais materiais construtivos encontrados na fração estudada.

Os materiais foram padronizados para viabilizar a modelagem com base na NBR 15.220 e no Catálogo de Propriedades Térmicas de paredes e coberturas (LABEEE, 2011), que consideram materiais típicos para edificações residenciais.

A padronização dos materiais foi embasada nas informações obtidas por meio de observação visual no local, fotografias, imagens do *Google Earth* e, ainda, por meio de levantamento realizado com os alvarás de ocupação do IPLAM – Viçosa.

Quadro 7 – Materiais construtivos encontrados na área de estudo.

Material construtivo
Piso asfáltico
Piso pedral (brita + concreto + pedra São Tomé)
Parede pintada de 15cm com blocos cerâmicos
Cobertura de telha cerâmica e laje
Parede citada anteriormente e mármore
Parede citada anteriormente e granito
Cobertura de telha cerâmica e forro de madeira
Parede pintada de bloco concreto com argamassa
Cobertura de fibrocimento e laje

Após as análises dos documentos disponibilizados, estabeleceu-se que o padrão construtivo a ser seguido seria o de edificações construídas durante e após o ano de 1960.

#### **5.1.3.5. Absortância solar e emissividade**

Definidos os materiais a serem utilizados, foi preciso determinar a absortância solar para cada um dos seis tipos de materiais inseridos na modelagem.

Os valores foram padronizados conforme o que é previsto na NBR 15.220 e Catálogo de Propriedades Térmicas do RTQ-R (BRASIL, 2012).

#### **5.1.3.6. Modelagem das cotas altimétricas no ambiente do Energy Plus**

Por se tratar de uma análise em microescala, o fator da localização e altimetria da área de estudo necessita de atenção especial, pois influenciam diretamente todo o complexo sistema no qual a energia radiante está inserida tanto pelas condições de sombreamento quanto de trocas radiantes entre as superfícies.

Foram criados platôs como zonas térmicas de subsolos cujas coberturas localizam-se nas cotas altimétricas do sítio estudado e com as propriedades estabelecidas para simular o solo. Assim, os platôs possibilitaram a reprodução das condições de fator de forma e, portanto, a variação de energia incidente, absorvida e reemitida mais próxima do caso real.

#### **5.1.3.7. Cargas internas**

Como exposto anteriormente, as edificações na área de estudo mesclam os usos residencial e comercial. Entretanto, a parte comercial concentra-se no primeiro piso das edificações. Proporcionalmente, pode-se dizer que há um predomínio de uso residencial.

Pelo balanço térmico, o calor gerado dentro destas edificações é de extrema importância, pois oferece nova dinâmica em termos de energia radiante das superfícies externas das edificações.

Para satisfazer às necessidades da pesquisa optou-se utilizar as cargas internas e padrões de uso disponibilizadas no RTQ-R (BRASIL, 2012), que são dados específicos para simulação computacional de edifícios residenciais. Por meio de análises no local, pode-se identificar cerca de setes edificações que são exclusivamente comerciais e em torno de 94 edificações residenciais. Portanto, no universo de análise desta pesquisa, optou-se por considerar dados de edificações residenciais, que prevalecem na área estudada.

A área do apartamento tipo foi de 70m<sup>2</sup>, distribuído de acordo com o número de pavimentos da edificação e com as suas dimensões em planta, considerando um desconto das áreas comuns das edificações quando superiores a 2 pavimentos. O número de habitantes foi fixado em 0,4 pessoas/m<sup>2</sup>, não havendo diferenças entre sala e cozinha. A taxa metabólica utilizada é de 108 W/m<sup>2</sup>.

A densidade de potência instalada para a iluminação é de 3,5 W/m<sup>2</sup>. Para os equipamentos a densidade de potência instalada é de 1,5 W/m<sup>2</sup> para a sala e para a cozinha 5 W/m<sup>2</sup>.

## **5.2. Análise de Resultados**

A amostra obtida por meio das medições de campo não permite análises conclusivas, entretanto, é possível estabelecer elementos passíveis de serem relacionados com os dados obtidos para as emissões radiantes das superfícies analisadas na fração urbana estudada.

Gráficos referentes às estações do ano, inverno e verão, foram elaborados, para análise da temperatura do ar. Os dados foram organizados de acordo com os horários de medição e pontos de coleta de dados.

A simulação computacional fornece dados para o ano inteiro (8760 horas) e que possuem grande variabilidade. Optou-se por trabalhar apenas duas estações do ano: inverno e verão, por serem representativas e possuírem dinâmicas diferentes. Visando determinar os padrões de emissão de radiação térmica devido ao regime solar diário, em que há períodos de resfriamento e de aquecimento de superfícies, as análises foram realizadas para os períodos da manhã, tarde e noite.

Em um primeiro momento realizaram-se análises do perfil horário das emissões radiantes para três superfícies horizontais: cobertura, piso no canyon e piso mais desobstruído possível, chamado de piso solo. A superfície da cobertura é 100% livre de obstrução. Para traçar este panorama geral, para cada hora foram verificadas a média das emissões

máximas, médias e mínimas diárias das estações de verão e de inverno separadamente.

Para os valores encontrados que expressam ganhos de energia para o meio exterior realizou-se estudo de sombreamento das superfícies para alguns horários do dia, por meio do *Sketchup 8*.

Em um segundo momento, realizou-se uma caracterização das emissões radiantes de todas as superfícies externas das edificações, para verão e inverno, nos três períodos do dia: manhã, tarde e noite. Foram utilizados valores médios para calcular o primeiro e o terceiro quartil, bem como valores máximos e mínimos além da mediana para as superfícies analisadas. Tal processamento permite caracterizar hora a hora, por estações do ano e por períodos do dia de que forma está distribuída a variabilidade das emissões radiantes de todas as superfícies.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Resultados Simulação computacional Energyplus

#### 6.1.1. Modelo geométrico

A figura 21 representa o modelo geométrico utilizado para a pesquisa em questão.

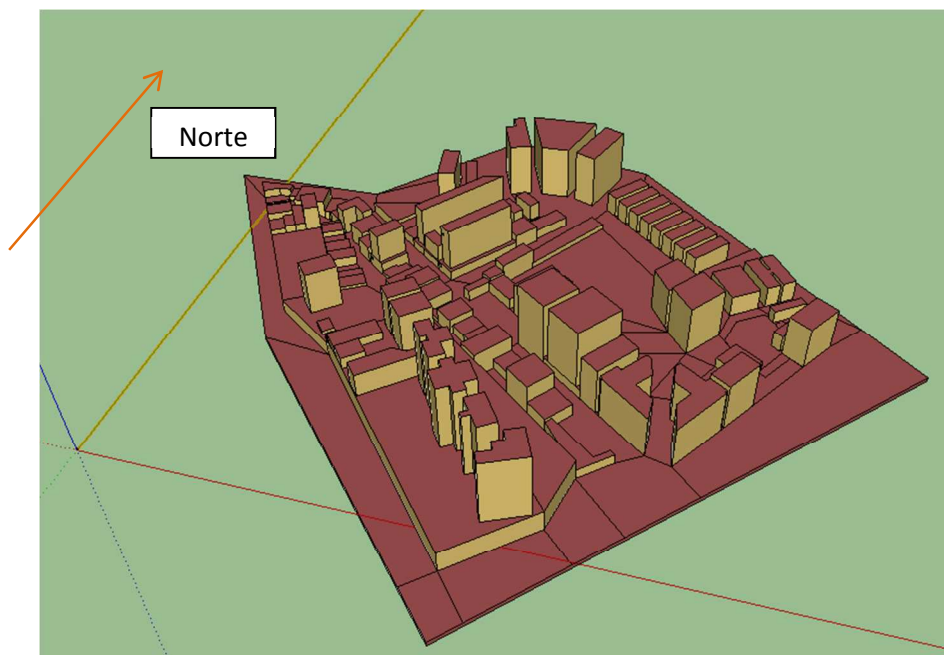


Figura 21 – Modelo geométrico

O quadro 8 contém a área por superfície externa das edificações bem como a absorvância. Vê-se que a área de superfície vertical exposta varia de aproximadamente 26 mil m<sup>2</sup> (6,92% do modelo) a 44 mil m<sup>2</sup> (11,51%), enquanto a área de cobertura é de , aproximadamente 54 mil m<sup>2</sup> (14,21%).

A superfície que predomina no modelo é o piso solo que, descontadas as áreas ocupadas pelas edificações, corresponde a 183.957,1 m<sup>2</sup> e representa 48,18% das áreas analisadas neste trabalho. Deve-se observar que estas superfícies contém a maior absorvância utilizada nas simulações, devido às características da cobertura asfáltica e do concreto do sítio analisado.

Quadro 8 – Área bruta por superfície externa das edificações e absorvância.

Superfície	Área bruta(m <sup>2</sup> )	Absorvância
Parede Norte	33.069,5	0,5
Parede Sul	26.455,3	0,5
Parede Oeste	43.960,8	0,5
Parede Leste	40.071,5	0,5
Cobertura	54.273,1	0,5
Piso Solo	183.957,1	0,63
Área total modelo	381.787,3	-

### 6.1.2. Perfil horário das emissões radiantes para três superfícies horizontais

Nas figuras que se seguem, deve-se observar que as grandezas negativas são consideradas emissões e as grandezas positivas são considerados ganhos de radiação térmica. Conseqüentemente, as grandezas mais baixas são as emissões mais altas, consideradas emissões máximas.

No período da manhã o intervalo de análise foi de 06h às 12hs. Estes horários permitem que seja realizada uma análise decorrente do início da incidência de radiação solar nas superfícies. O horário das 05:00 foi excluído por não haver necessariamente a presença do sol em algumas ocasiões. No período noturno o intervalo de análise foi de 20:00 às 04:00.

Foram selecionadas uma cobertura livre de obstrução, um piso no canyon (próximo a Px) e outro piso localizado em uma área mais desobstruída possível (próximo a Py) (Figura 22).

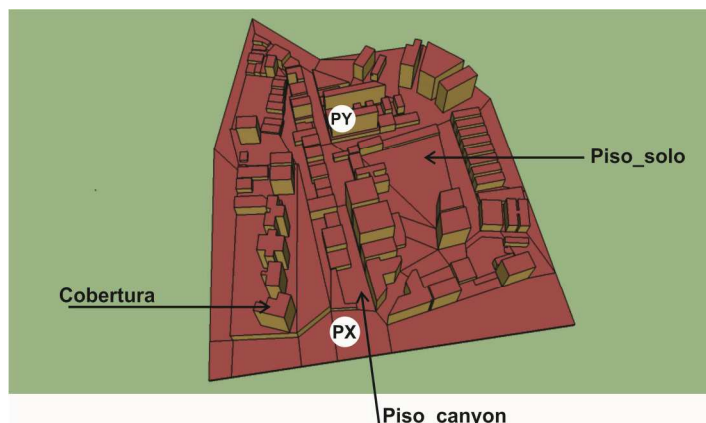


Figura 22 – Modelo computacional da área estudada

A figura 23a apresenta os resultados encontrados para a cobertura no período da manhã durante o verão e o inverno. A figura 23b refere-se aos resultados encontrados para o período noturno.

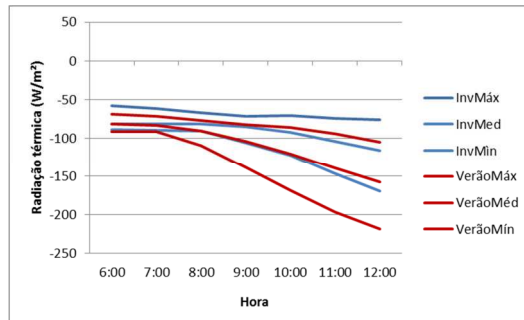
Como esperado, a energia radiante emitida no verão é maior que a emitida no inverno, lembrando que as grandezas negativas indicam as perdas de energia, ou seja, as emissões por radiação térmica. No verão, a radiação térmica incide mais verticalmente e durante mais tempo nas superfícies.

As coberturas são consideradas por inúmeros pesquisadores (GARTLAND, 2010; GOULART, 2010; GERMANO, 2012) como as superfícies das edificações que mais contribuem no aumento das temperaturas nos centros urbanos. No início da manhã, entre 06:00 e 07:00, horário no qual a superfície começa a receber radiação solar, pode-se perceber que as emissões permanecem pouco alteradas cerca de  $91 \text{ W/m}^2$ . A partir das 08:00 até às 12:00 as emissões aumentam continuamente atingindo cerca de  $218 \text{ W/m}^2$  (Figura 23a).

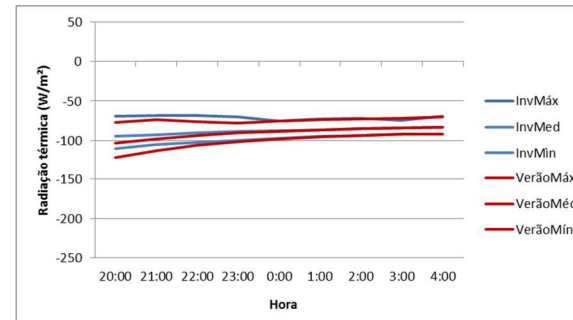
No período da manhã, para as condições de inverno e verão, as emissões mínimas evidenciam a ocorrência do atraso térmico. Enquanto na condição de verão o aumento das emissões mínimas se dá aproximadamente às 07:00, no inverno, as emissões mínimas ocorrem após as 08:00. O atraso térmico passa a ocorrer a partir do início da incidência de radiação solar, aproximadamente 05:30 no verão e 06:40 no inverno.

Como se pode observar na figura 23b, a partir das 20:00 há uma tendência na diminuição das emissões, entendendo-se que mesmo após o pôr-do-sol, às 17:20 (inverno) e 18:10 (verão) há também um atraso na liberação da energia recebida e acumulada durante o dia.

A figura 24 (a e b) apresenta os resultados encontrados para o Piso\_canyon no período da manhã e noturno para o verão e o inverno.

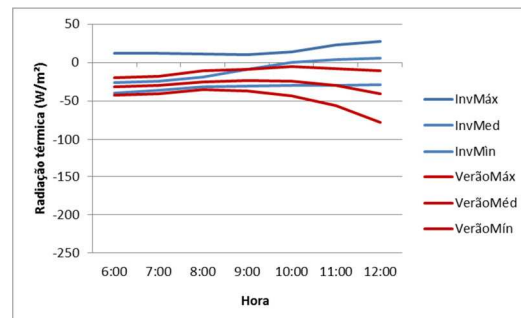


(a)

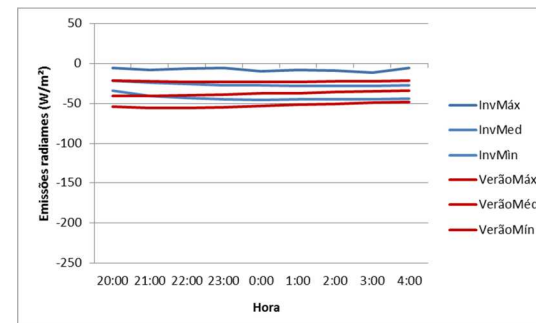


(b)

Figura 23 – (a) Emissões radiantes máximas, mínimas e médias para cada hora do período da manhã da superfície horizontal 1 (cobertura).(b) Emissões radiantes máximas, mínimas e médias para cada hora do período noturno da superfície horizontal 1 (cobertura).



(a)



(b)

Figura 24 – (a) Emissões radiantes máximas, mínimas e médias para cada hora do período da manhã da superfície horizontal 2 (piso canyon). (b) Emissões radiantes máximas, mínimas e médias para cada hora do período noturno da superfície horizontal 2 (piso canyon).

A superfície horizontal em questão recebe esta nomenclatura por estar localizada dentro de um canyon na fração urbana estudada. O piso\_canyon está inserido em uma avenida das mais verticalizadas da cidade de Viçosa e possui a particularidade de canalizar a umidade e a circulação dos ventos vindos de áreas verdes e das lagoas existente no campus da UFV. Tal característica interfere diretamente nas condições térmicas e emissões das superfícies localizadas no canyon.

A Figura 24b, que contém as análises para o período noturno, mostra que, para a condição do piso-canyon a emissão máxima, cerca de 55,79 W/m<sup>2</sup> ocorre em torno das 22:00.

A figura que contém as emissões para o período da manhã indica para condições de inverno, valores positivos, ou seja, ganho de energia por parte da superfície (Figura 24a). As figuras 25, 26 e 27 apresentam a localização das superfícies horizontais selecionadas para as análises, bem como as condições de insolação do Piso\_canyon às 09:00, às 12:00 e às 15:00.

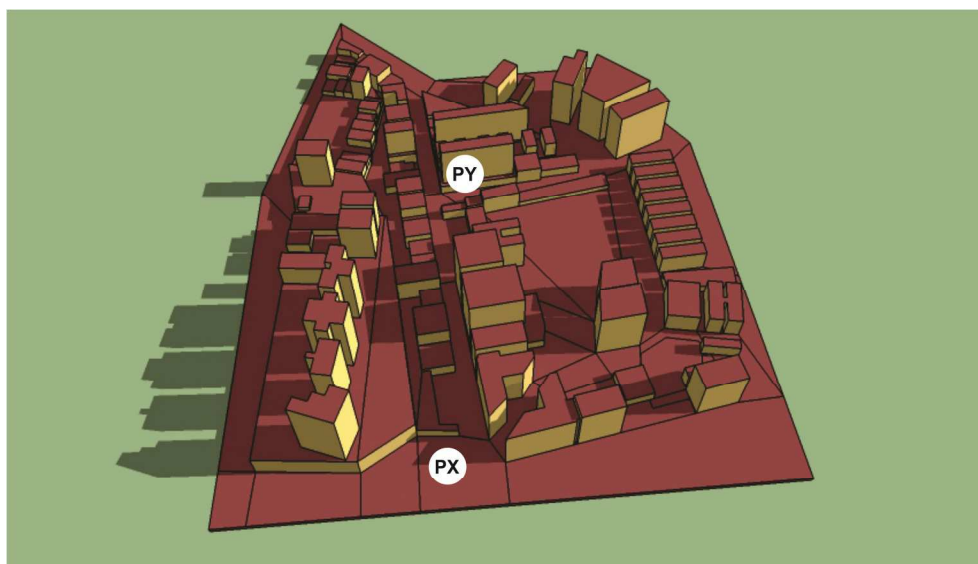


Figura 25 – Sombreamento do Piso\_canyon às 09:00 (Solstício Inverno)



Figura 26 - Sombreamento do Piso\_canyon às 12:00 (Solstício Inverno)



Figura 27 - Sombreamento do Piso\_canyon às 15:00 (Solstício Inverno)

A condição de canyon urbano apresenta superfícies de edificações sem o recebimento de insolação direta durante toda a manhã, sobretudo para aquelas localizadas próximo a Px e também a áreas próximas a Py. Nestes locais especificamente, a insolação direta ocorre por volta das 14:00. Às 15:00, próximo a Px é possível notar que a avenida e as edificações ali localizadas ainda não recebem por completo a radiação solar direta.

Assim, os valores positivos encontrados para a superfície Piso\_canyon durante a manhã de inverno, somados às condições de

sombreamento, são indicativos de que ela está recebendo energia radiante de superfícies ao seu redor.

A superfície horizontal 3, um piso solo desobstruído, inicia o aumento das emissões por volta das 08:00 culminado com a máxima de 100,15 W/m<sup>2</sup> às 12:00 (Figura 28a) do verão. O valor mínimo de emissão radiante pela superfície ocorre às 07:00 no inverno, cerca de 5,99 W/m<sup>2</sup>.

No período noturno, para as condições de verão, percebe-se que o horário das 20:00 detém o maior valor de emissão noturna: 72,53 W/m<sup>2</sup> (Figura 28b). Os valores de energia radiante emitida decrescem até às 23:00, sendo encontrado o valor mínimo de 14,43 W/m<sup>2</sup> no inverno. Entre às 00:00 e 04:00 a superfície apresenta uma elevação na perda da radiação térmica, chegando aos 24,37 W/m<sup>2</sup>.

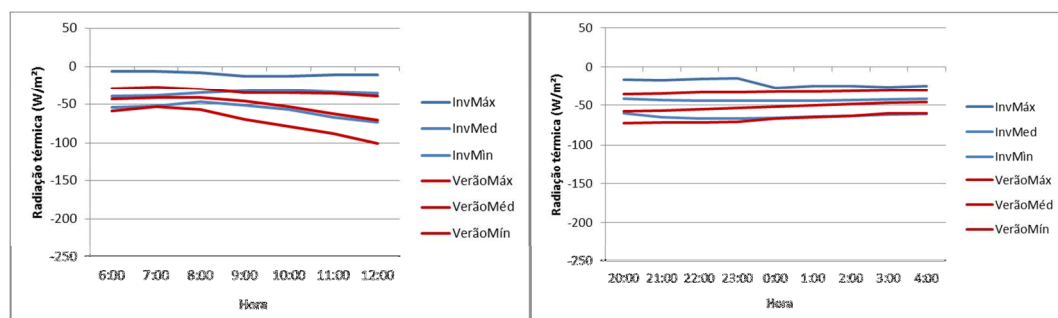


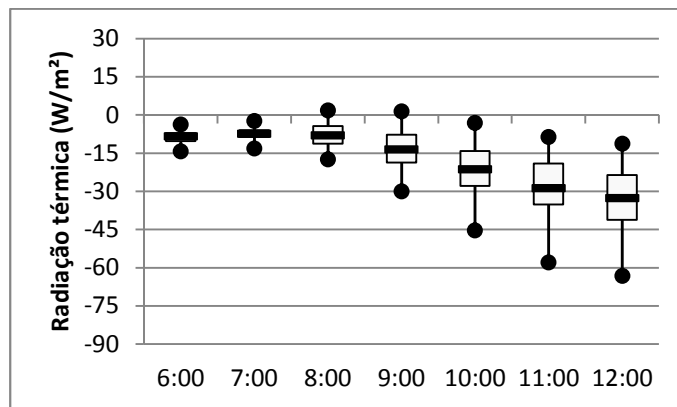
Figura 28 – (a) Emissões radiantes máximas, mínimas e médias para cada hora do período da manhã da superfície horizontal 3 (piso solo). (b) Emissões radiantes máximas, mínimas e médias para cada hora do período noturno da superfície horizontal 3 (piso solo).

O comportamento do Piso-canyon e do piso desobstruído são semelhantes. Entretanto, deve-se observar que, para o período noturno, o piso desobstruído tem sua emissão máxima de 72,53 W/m<sup>2</sup> às 20:00, enquanto o Piso\_canyon tem a emissão máxima de 55,79 W/m<sup>2</sup> às 22:00. Isto sugere que a superfície Piso\_canyon para a condição noturna no verão, retém calor por um período maior que o piso desobstruído, o que está de acordo com o fator visão de céu destas superfícies.

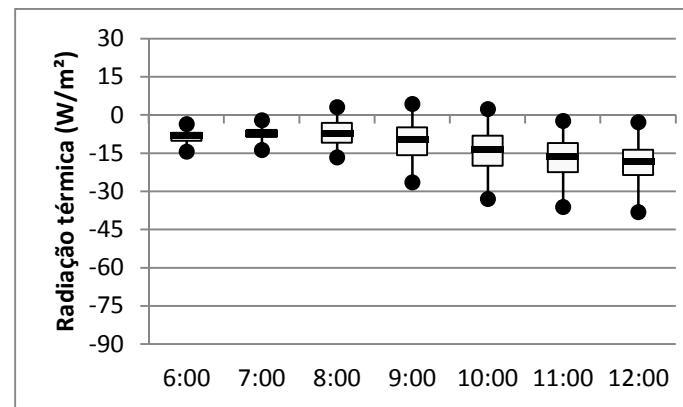
### **6.1.3. Caracterização das emissões radiantes de superfícies externas das edificações para a fração urbana estudada**

#### **6.1.3.1. Análise período da manhã (Inverno e Verão)**

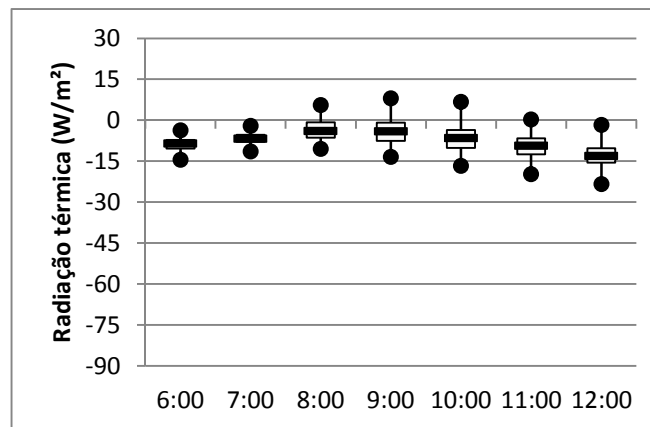
No período da manhã do verão, para as três orientações (Figura 29), as emissões às 06:00 estão concentradas entre 0 e 15 W/m<sup>2</sup>. Para as superfícies verticais Sul e Oeste é possível identificar ganho de energia entre 08 e 10:00, cujo maior valor é de 8,19 W/m<sup>2</sup> as 09:00 da superfície Oeste. A inclinação da curva formada pelas medianas ou pelas emissões máximas apresenta diferenças claras entre as três superfícies (N, S e O), entretanto, a inclinação da curvas de emissões da superfície Norte se destaca pois apresenta ganho de energia a partir das 08:00 e, um aumento da inclinação da curva que alcança uma emissão máxima de 63,15 W/m<sup>2</sup>, enquanto as demais superfícies apresentam máximos de 23 e 38 W/m<sup>2</sup>.



(a) – Superfície Vertical Norte



(b) – Superfície Vertical Sul

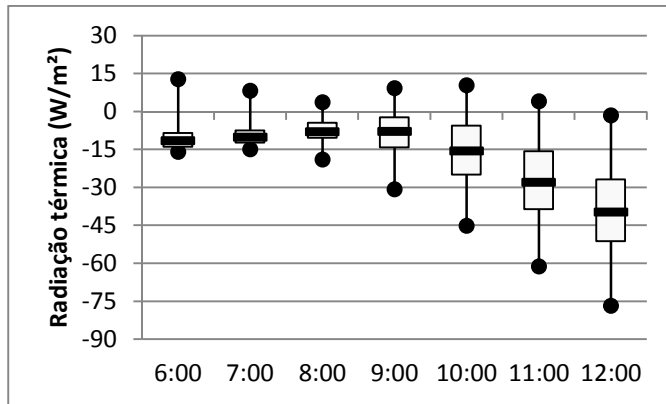


(c) – Superfície Vertical Oeste

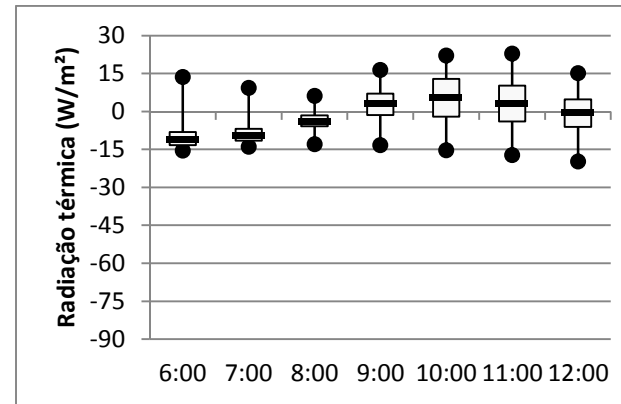
Figura 29 – Emissão de radiação térmica de superfícies verticais durante o verão no período da manhã

No período da manhã do inverno (Figura 30), vê-se que as curvas são semelhantes às do verão, porém a curva da superfície Norte é mais acentuada que a do verão, com emissão máxima de  $76,73 \text{ W/m}^2$  e as curvas das superfícies Sul e Oeste apresentam emissões menores que a do verão, com máximas de  $23,25$  e  $38,11 \text{ W/m}^2$ , respectivamente. Estas tendências estão de acordo com as condições de incidência solar nas superfícies verticais pela orientação e pela época do ano.

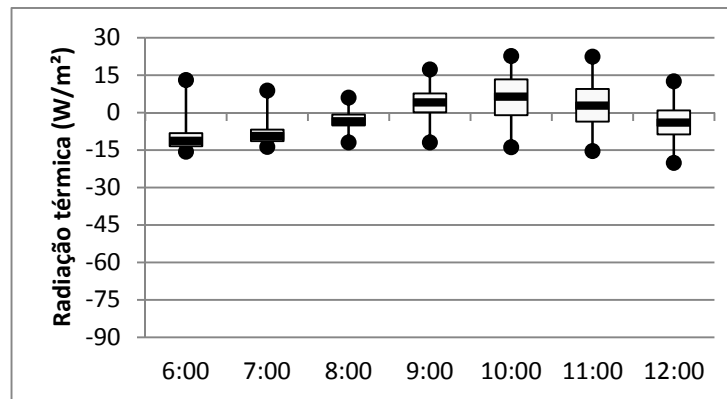
Além disso, é importante salientar que o perfil das curvas nas superfícies verticais Sul e Oeste mostra que, sobretudo no inverno, a condição de sombreamento existente sobre elas tem papel fundamental na dinâmica de ganho de energia de outras superfícies verticais, que notadamente recebem calor do entorno, em especial de 9:00 a 11:00 nos dois casos.



(a) – Superfície Vertical Norte



(b) – Superfície Vertical Sul



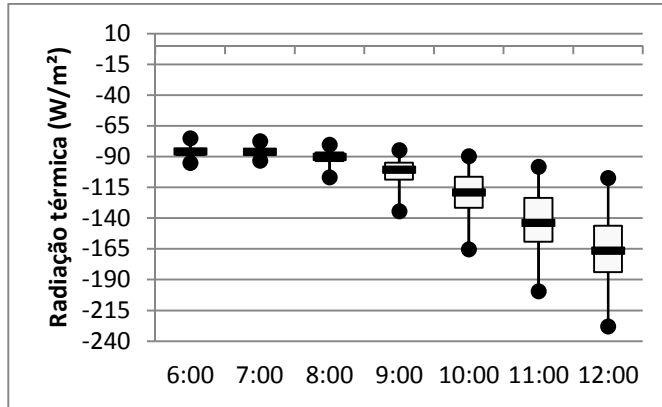
(c) – Superfície Vertical Oeste

Figura 30 – Emissão de radiação térmica de superfícies verticais durante o inverno no período da manhã

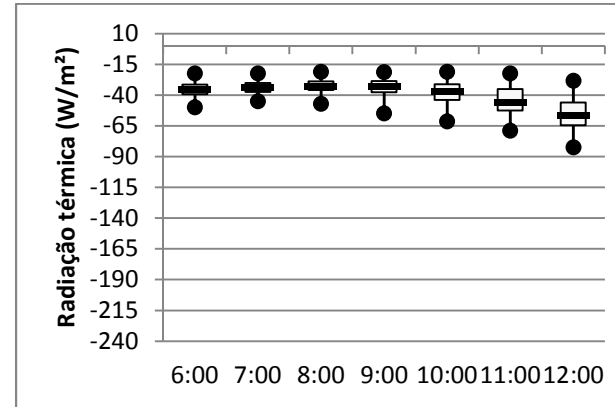
As superfícies horizontais (Figura 31) tem desempenho semelhante quanto ao aspecto geral da curva se observado o verão e inverno. Entretanto, suas grandezas entre o inverno e verão são distintas, em especial para a cobertura, quando no verão a menor emissão máxima ocorre às 6:00 e é de  $75,21 \text{ W/m}^2$  enquanto no inverno, para o mesmo horário, ela é de  $61,76 \text{ W/m}^2$ . Ao meio dia elas se distanciam, chegando a  $227,94 \text{ W/m}^2$  no verão e  $166,59 \text{ W/m}^2$  no inverno. Além disso, percebe-se o atraso ocorrido na emissão térmica para as duas estações do ano: no verão, a inclinação da curva se acentua a partir das 08:00 e, no inverno, às 09:00.

As superfícies Pisos representam os pisos expostos ao exterior. A inclinação da curva de emissões no verão ocorre de forma suave, a partir das 09:00. A emissão máxima é de  $82,36 \text{ W/m}^2$  e ocorre ao meio dia. No inverno, a inclinação da curva também é suave, entretanto, ocorre para cima indicando ganho de energia por parte do piso. A emissão máxima ocorre ao meio dia e é de  $53,45 \text{ W/m}^2$ . A variação na inclinação da curva de verão e inverno ocorre as 09:00, mas o ganho de energia por parte dos pisos no inverno indica que a superfície está sombreada, recebendo energia do entorno.

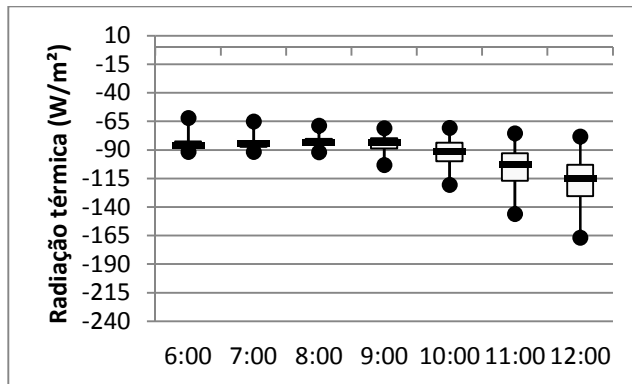
Tais dados confirmam o afirmado por Gartland (2010), Goulart, (2010) e Germano (2012) sobre a relevante participação da cobertura das edificações no aumento da carga térmica urbana.



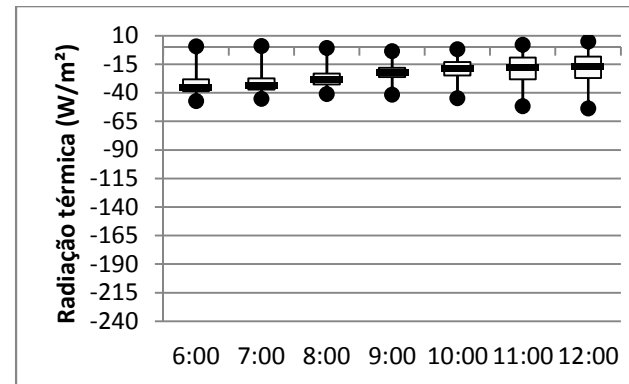
(a) – Cobertura Verão Manhã



(b) – Pisos Verão Manhã



(c) – Cobertura Inverno Manhã



(d) – Pisos Inverno Manhã

Figura 31 – Emissão de radiação térmica de superfícies horizontais durante o verão e o inverno no período da manhã

### **6.1.3.2. Análise período da tarde (Verão e Inverno)**

A figura 32 apresenta uma pequena variação da inclinação da curva para as superfícies verticais de orientação Norte. O valor máximo de emissão ocorreu às 15 horas e foi de 71,96 W/m<sup>2</sup>. Os valores mínimos oscilaram entre 13,66 e 21,04 W/m<sup>2</sup>.

As superfícies orientadas a Sul também tiveram pequena variação na curva relativa aos valores mínimos de emissão, bem como a mediana. Os valores máximos tiveram variação maior se comparados a de orientação Norte. O máximo registrado foi de 72,63 W/m<sup>2</sup>.

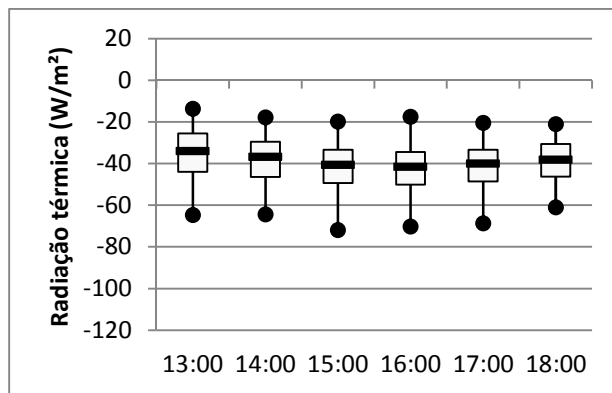
Quando analisados os resultados encontrados para as superfícies verticais orientadas a Oeste identifica-se um acentuado aumento das emissões ocorridas entre as 13 e 16 horas. A emissão máxima foi registrada às 17 horas, cerca de 100 W/m<sup>2</sup>.

Assim como apresentado na análise do verão para o período da tarde, a inclinação da curva no inverno (Figura 33) para as superfícies analisadas tem pouca variabilidade, bem como os valores de mínimo, mediana e máximo. No entanto, as grandezas das emissões das superfícies Norte aumentaram em, aproximadamente, 20 W/m<sup>2</sup> devido à inclinação máxima do sol no inverno em Viçosa, que chega a 40° com o plano horizontal ao meio dia. Também a superfície vertical orientada a Oeste é a que possui maior inclinação da curva de emissões máximas, sendo que o máximo no período de 67,45 W/m<sup>2</sup> às 17:00.

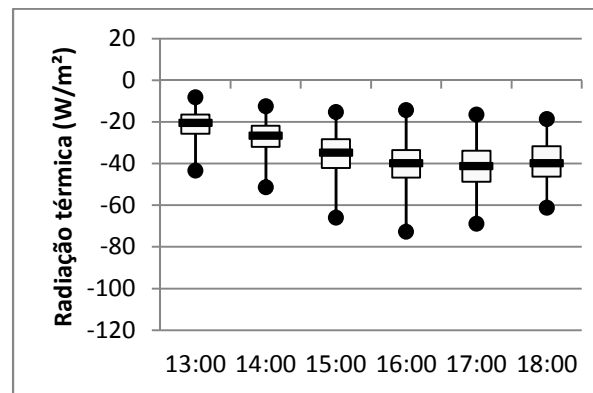
Tanto para o verão quanto para o inverno (Figura 34), para o período da tarde, a superfície horizontal Cobertura apresenta diminuição das emissões entre as 13:00 e as 18:00. Merece destaque a diferença de magnitude dos dados do verão e inverno, sobretudo para a cobertura, o que indica que a maior exposição desta superfície à radiação solar faz com que a mesma tenha participação efetiva na amplitude térmica de seu entorno. Para a análise dos pisos é importante salientar a pequena variação da curva de emissões para verão e inverno no período da manhã

e da tarde. O ganho de energia dos pisos no inverno é também relevante, sendo maior no período da tarde, cerca de  $10,16 \text{ W/m}^2$  às 16:00.

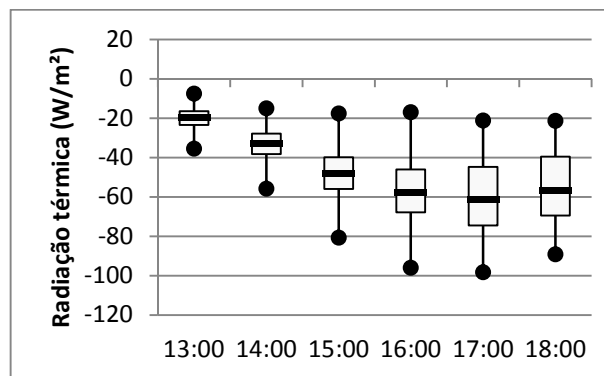
Cada uma das superfícies de edificações tem papel bem definido no ambiente térmico da cidade. Como dito anteriormente, as coberturas estão mais expostas à radiação solar e por este motivo tendem a emitir mais. No inverno, os pisos estão sombreados a maior parte do tempo, e por isto acumulam calor ao longo do dia, liberando – o em pequenas quantidades, este fato explica a pequena inclinação da curva de emissões.



(a)– Vertical Norte

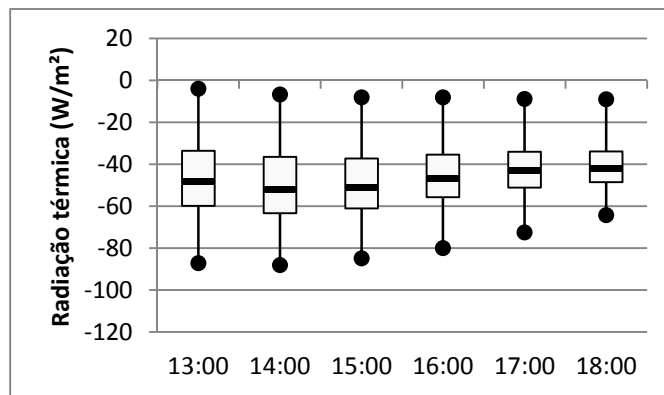


(b)– Vertical Sul

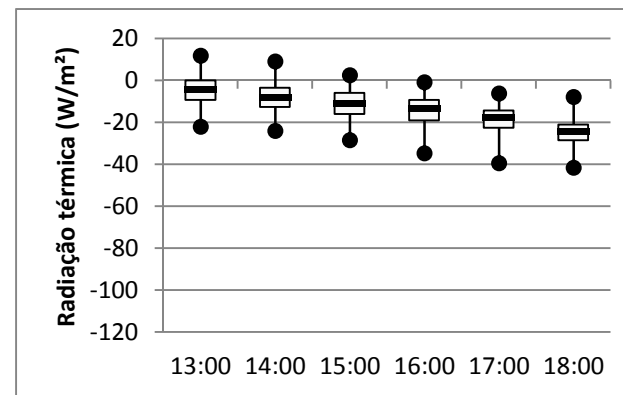


(c)– Vertical Oeste

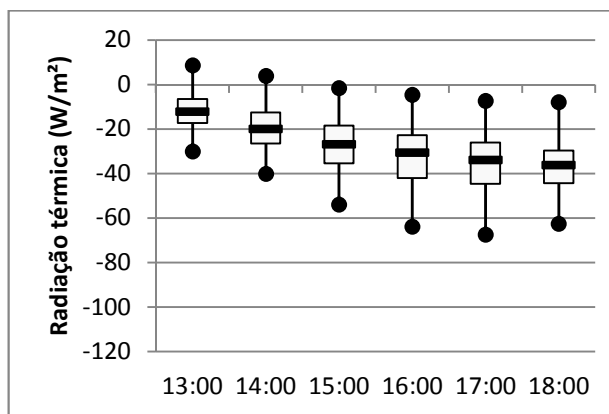
Figura 32 – Emissão de radiação térmica de superfícies verticais durante o verão no período da tarde



(a) Vertical Norte

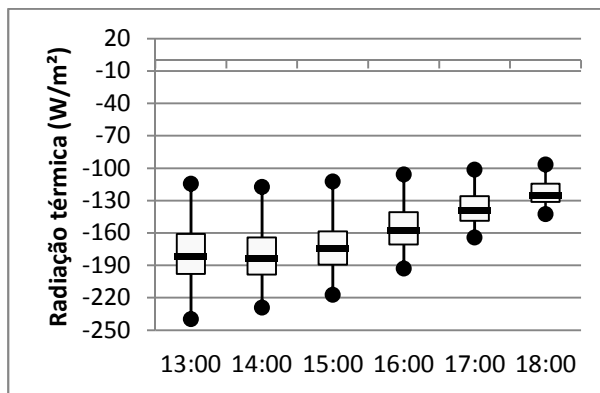


(b) Vertical Sul

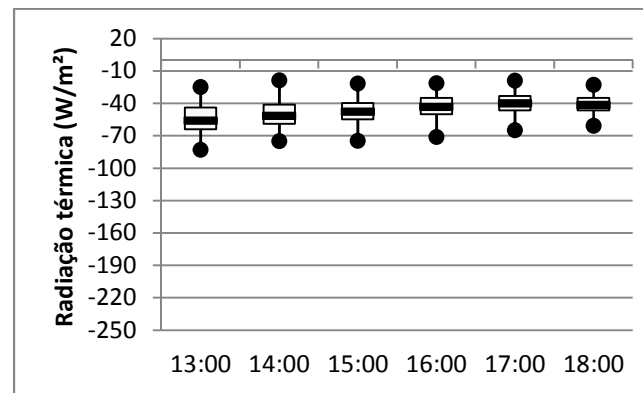


(c) Vertical Oeste

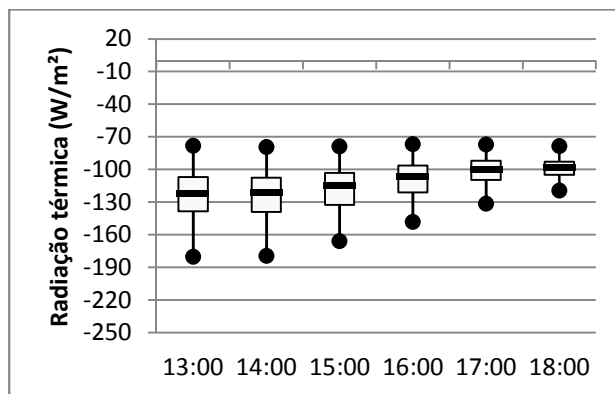
Figura 33 - Emissão de radiação térmica de superfícies verticais durante o inverno no período da tarde



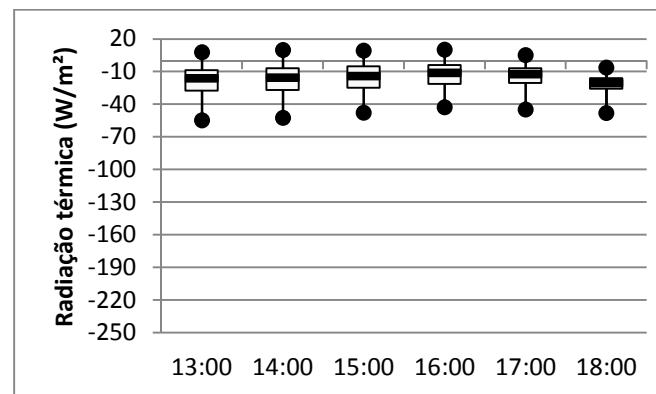
(a) Coberturas



(b) Pisos



(c) Coberturas



(d) Pisos

Figura 34 – Emissão de radiação térmica de superfícies horizontais durante o verão e o inverno no período da tarde

### 6.1.3.3. Análise período noturno (Verão e Inverno)

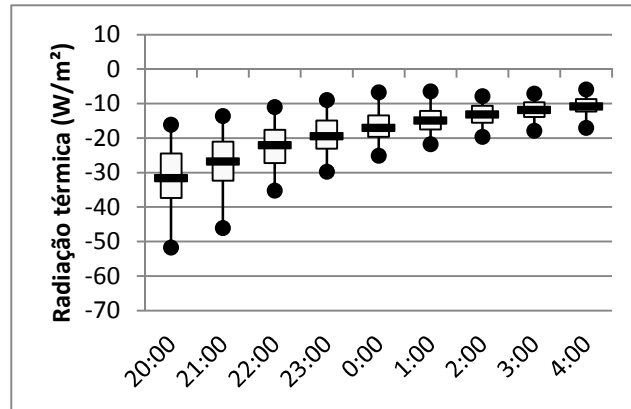
Para as superfícies verticais (Figura 35) no período noturno – verão, a curva de emissões é bastante semelhante. Os valores máximos ocorrem às 20:00, chegando a  $62,03 \text{ W/m}^2$  para a superfície vertical orientada a Oeste. As menores emissões ocorrem entre 2:00 e 4:00 e não ultrapassam  $7,76 \text{ W/m}^2$ .

No inverno, as medianas e os máximos apresentam curvas bem acentuadas, que indicam a redução das emissões ao longo da noite (Figura 36).

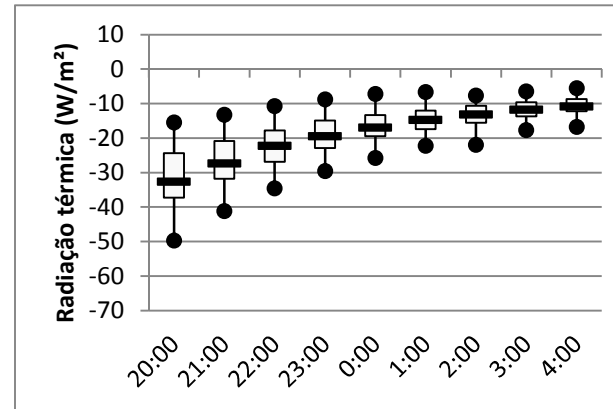
Às 20:00 tem-se 50% das emissões variando entre  $22,27 \text{ W/m}^2$  e  $32,65 \text{ W/m}^2$ , o que já é baixo para os valores encontrados neste trabalho. Sendo que 25% emitem menos que  $22,27 \text{ W/m}^2$ , com o valor mínimo de  $7,7 \text{ W/m}^2$  emitido. Outros 25% de emissões estão acima de  $32,65 \text{ W/m}^2$ , com valor máximo de emissão de  $41,15 \text{ W/m}^2$ .

Às 04:00, tem-se 50% das emissões variando entre  $10,07 \text{ W/m}^2$  e  $15,29 \text{ W/m}^2$ , o que é muito pouco. Sendo que 25% emitem menos que  $10,07 \text{ W/m}^2$ , apresentando até ganhos de energia de  $2,40 \text{ W/m}^2$ . O ganho de energia ocorreu às 04:00, sendo indicativo de que as superfícies verticais recebem energia de outra (s) superfície(s) do entorno.

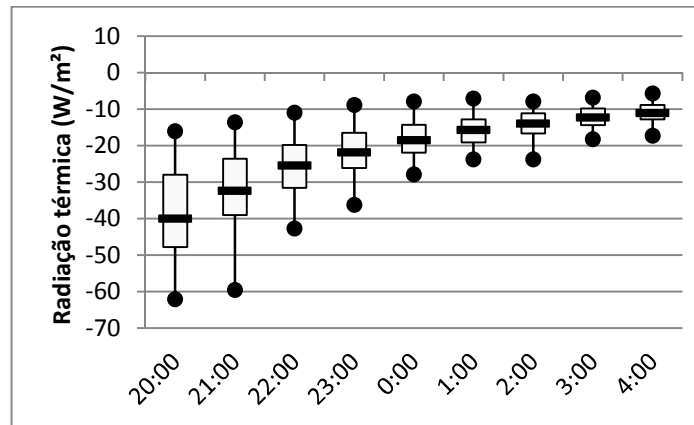
Além disso, sabe-se que não há incidência solar no inverno em superfícies verticais orientadas a sul. Portanto, toda energia emitida é decorrente de ganhos de temperatura do ar externo, por geração interna de calor do edifício ou radiação térmica proveniente de outras superfícies, tais como o piso ou superfícies verticais voltadas a Norte (desconsiderando-se a radiação da abóbada celeste). Tal fator é mais bem identificado ao comparar a inclinação da curva de redução de emissão (ou aumento dos ganhos de radiação térmica) da orientação Sul com a Oeste.



(a) Vertical Norte



(b) Vertical Sul



(c) Vertical Oeste

Figura 35 – Emissão de radiação térmica para as superfícies verticais durante o verão no período noturno

Às 20:00 tem-se 50% das emissões variando entre 27,03 W/m<sup>2</sup> e 39,76 W/m<sup>2</sup>. Sendo que 25% emitem menos que 27,03 W/m<sup>2</sup>, com o valor mínimo de 7,7 W/m<sup>2</sup> emitido. Outros 25% de emissões estão acima de 39,76 W/m<sup>2</sup>, com valor máximo de emissão de 49,26 W/m<sup>2</sup>.

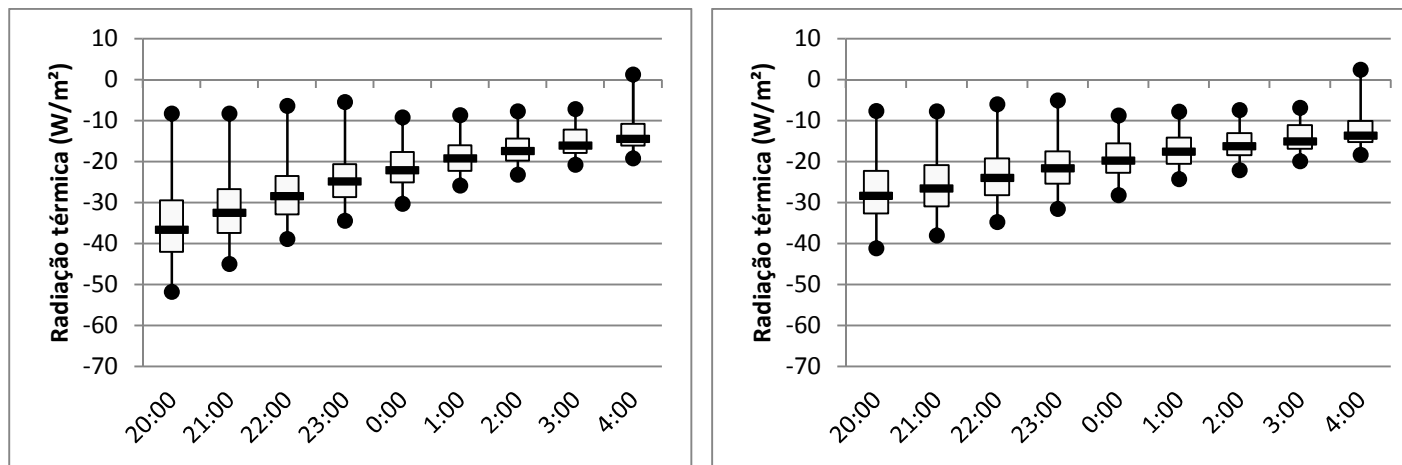
Às 04:00 tem-se 50% das emissões variando entre 10,44 W/m<sup>2</sup> e 15,68 W/m<sup>2</sup>, Sendo que 25% emitem menos que 10,44 W/m<sup>2</sup>, apresentando até mesmo ganhos de energia de 1,80 W/m<sup>2</sup><sup>1</sup>. O ganho de energia ocorreu às 04:00, sendo indicativo de que tais superfícies verticais receberam energia de outra (s) superfície(s) do entorno com maior inércia, como os pisos que representam o solo no modelo computacional.

Ao estabelecermos uma comparação entre superfícies verticais de orientação Sul e as de orientação Oeste, pode-se perceber que, para os horários extremos de 20:00 e 04:00, as emissões mínimas são bastante semelhantes. Além disso, pode-se observar que entre 20:00 e 23:00 há uma grande diferença entre os valores mínimos e máximos emitidos, o que acentuou a diferença da inclinação da curva como previamente comentado. A partir das 24:00 a diferença entre mínimo e máximo emitido se estabiliza, entretanto, o ganho de energia por parte das superfícies às 04:00 merece destaque.

Assim, dadas as grandezas verificadas neste trabalho até o momento, não se vê possibilidade de que haja efeitos de ilhas de calor no período do inverno pelas superfícies verticais, cuja redução de emissões radiantes no período noturno é cerca de 45%.

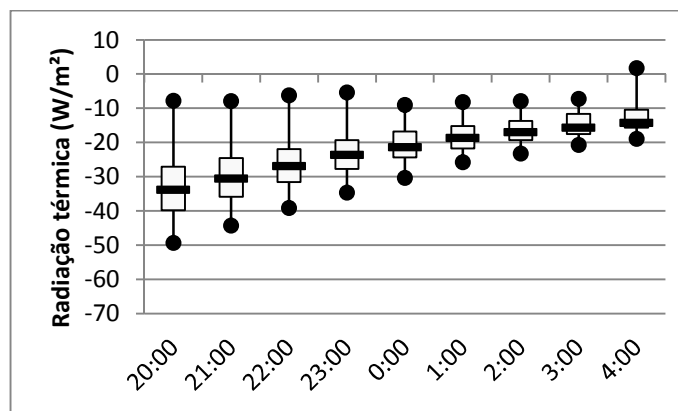
---

<sup>1</sup> Sabe-se que este valor não é significativo em termos quantitativos, mas o fato de serem ganhos mostra a relação de trocas energéticas ocorridas naquele horário.



(a) Vertical Norte

(b) Vertical Sul

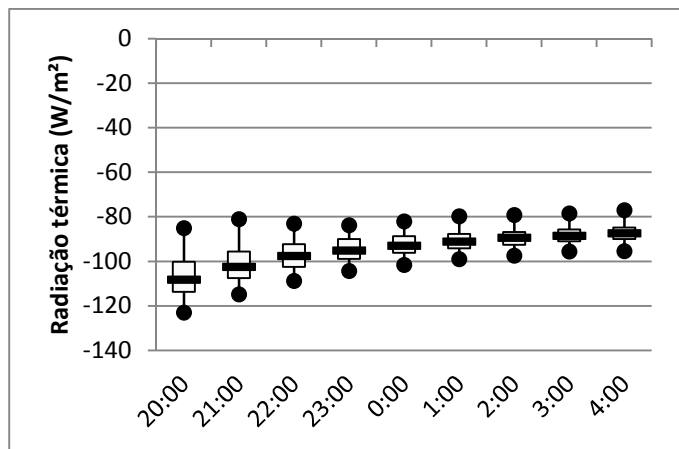


(c) Vertical Oeste

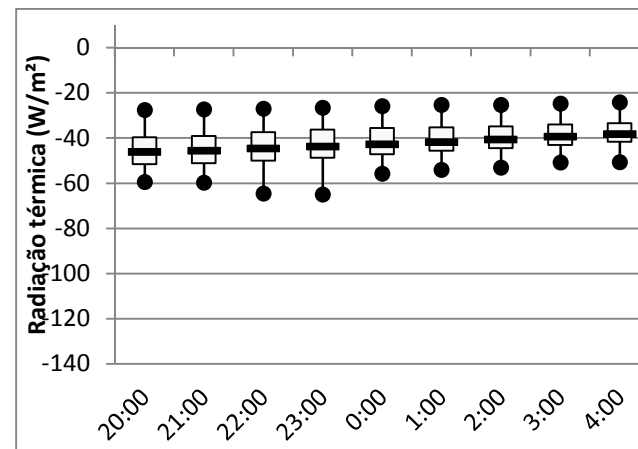
Figura 36 – Emissão de radiação térmica para as superfícies verticais durante o inverno no período noturno

As superfícies horizontais para o período da noite (Figura 37) seja verão ou inverno possuem desempenho semelhante entre si e, ao contrário das superfícies verticais, as emissões máximas, mínimas e medianas apresentam pequena variação horária e sazonal. A situação apresentada diverge em termos de valores absolutos das emissões que são ligeiramente menores no inverno.

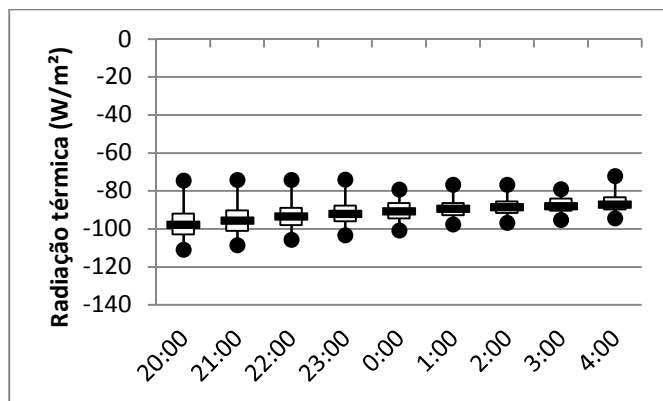
Este aspecto já pode ser indicativo das superfícies participantes no aquecimento do meio urbano. Não há significativa queda de emissão ao longo da noite e suas grandes emissões são significativamente elevadas em comparação com os demais dados, com pequenas diferenças entre verão e inverno. As emissões máximas das coberturas são cerca de duas vezes mais as emissões máximas das superfícies verticais e, como dito, pouco decrescem até as 4:00: para superfícies verticais, elas alcançam cerca de 20 W/m<sup>2</sup>, enquanto as coberturas mantêm um máximo de 100 W/m<sup>2</sup> neste mesmo horário. Já os pisos mantêm aproximadamente máximos entre 50 e 70 W/m<sup>2</sup> ao longo da noite de inverno.



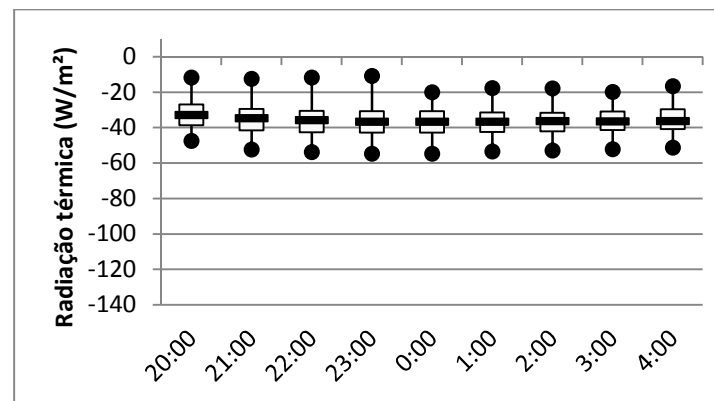
(a) Coberturas



(b) Pisos



(c) Coberturas



(d) Pisos

Figura 37- Emissão de radiação térmica de superfícies horizontais durante o verão (36a e 36b) e o inverno (36c e 36d) no período da noite.

#### **6.1.3.4. Perfil geral de variação das curvas ao longo de 24 horas (Verão e inverno)**

Observando-se as figuras que se seguem (38 a 41), temos um perfil geral de emissão (24 horas) para as superfícies verticais de orientação norte e sul, coberturas e piso-solo, para as estações do ano verão e inverno.

Os valores observados variam entre ganhos de energia de até 30 W/m<sup>2</sup> (verticais norte e sul e piso-solo) e emissões próximas de 300 W/m<sup>2</sup> para as coberturas.

As superfícies verticais Norte têm suas maiores emissões no verão entre as 12 e 16 horas, de aproximadamente 71,95 W/m<sup>2</sup>. No inverno, os valores se aproximam de 88,02 W/m<sup>2</sup>, também ocorridos no período compreendido entre as 12 e 16 horas.

As superfícies verticais Sul têm suas maiores emissões no verão entre as 14 e 17 horas, com valores próximos de 90 W/m<sup>2</sup>. No inverno, os valores máximos se aproximam de 41,63 W/m<sup>2</sup>, ocorridos entre 16 e 18 horas.

As curvas de emissões são bastante semelhantes para as superfícies verticais Norte e Sul, tanto para o verão quanto para o inverno. Até às 9 da manhã a curva de emissões se mantém constante, havendo ligeira inclinação entre as 10 e 18 horas. No período noturno também se pode identificar que a curva se mantém constante, entretanto, as emissões são maiores que as do período da manhã.

As superfícies horizontais cobertura e piso-solo divergem entre si quanto à inclinação da curva e de valores emitidos. As coberturas possuem valores máximos emitidos de aproximadamente 250 W/m<sup>2</sup> no verão e 190 W/m<sup>2</sup> no inverno. Os valores máximos emitidos pelas superfícies piso-solo (aproximadamente 70 W/m<sup>2</sup>) se assemelham as emissões das superfícies verticais Norte e Sul. A curva de emissões que representa as coberturas é bastante acentuada no período da tarde e se mantém estável entre as 20 e 4 horas da manhã, sendo que as emissões noturnas são mais elevadas que as da manhã. A curva de emissões das

superfícies que representam o piso-solo é constante durante todo o dia, merecendo destaque os ganhos de energia verificados no inverno durante o período da manhã e da tarde.

Portanto, em termos de valores emitidos, as coberturas têm papel de destaque e são componentes diretos da dinâmica térmica no meio urbano. As superfícies piso-solo, entretanto, apesar de não serem as maiores emissoras, possuem destaque em termos de área ocupada no modelo, aumentando seu potencial de interferência na dinâmica térmica urbana.

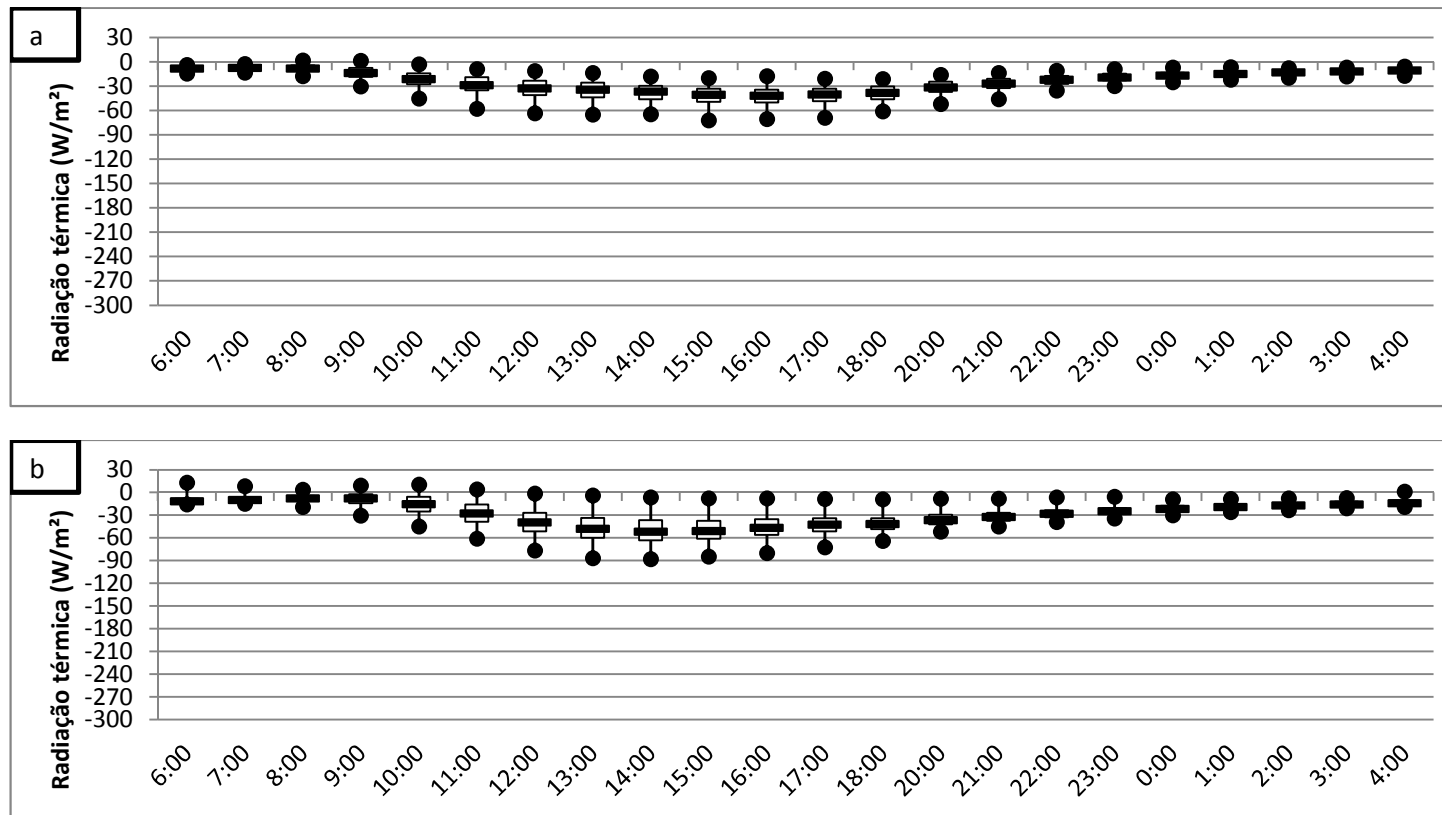


Figura 38 – Emissão de radiação térmica das superfícies verticais norte para 24 horas. (a) verão e (b) inverno

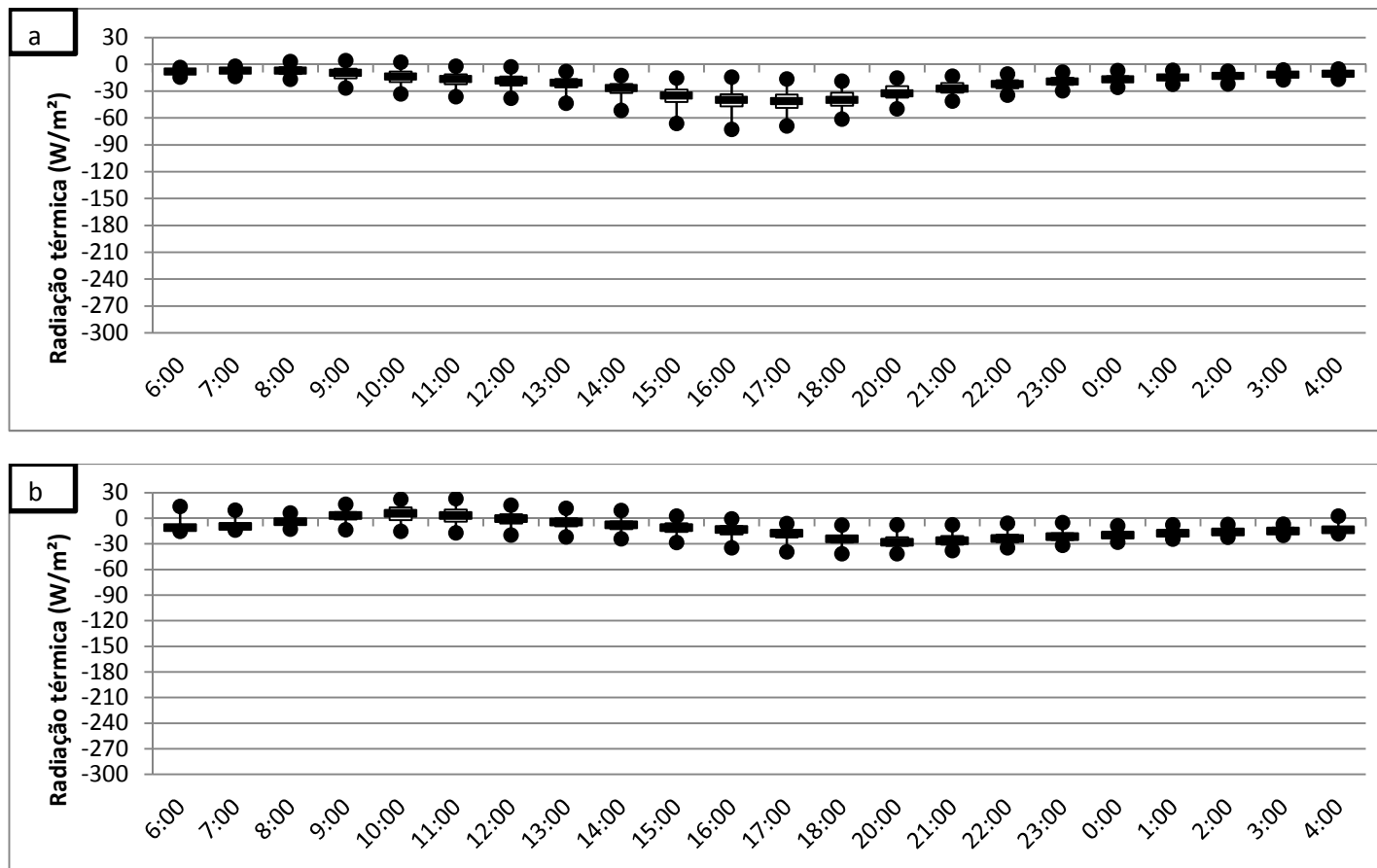


Figura 39 – Emissão de radiação térmica das superfícies verticais sul para 24 horas. (a) verão e (b) inverno

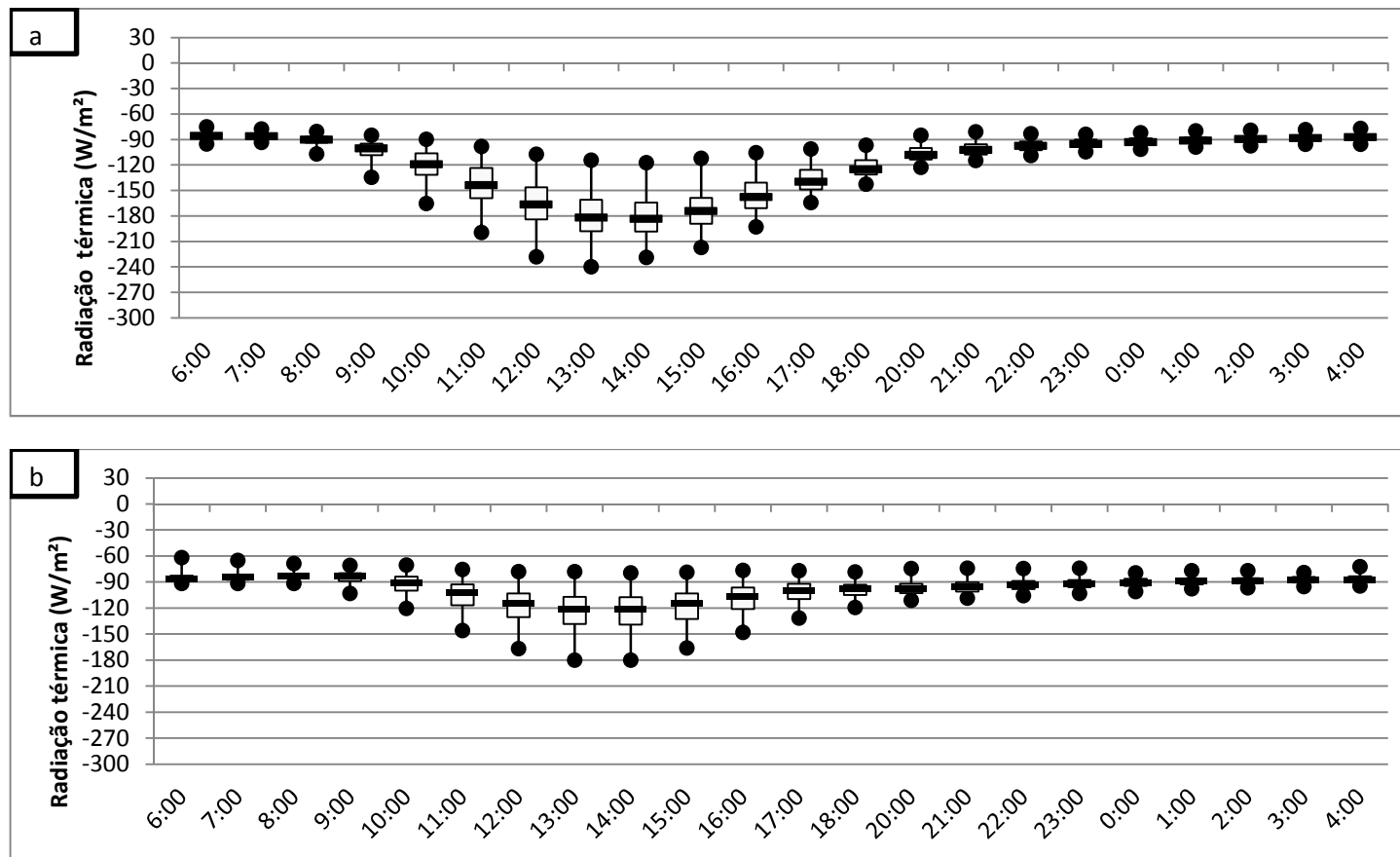


Figura 40 – Emissão de radiação térmica das coberturas para 24 horas. (a) verão e (b) inverno

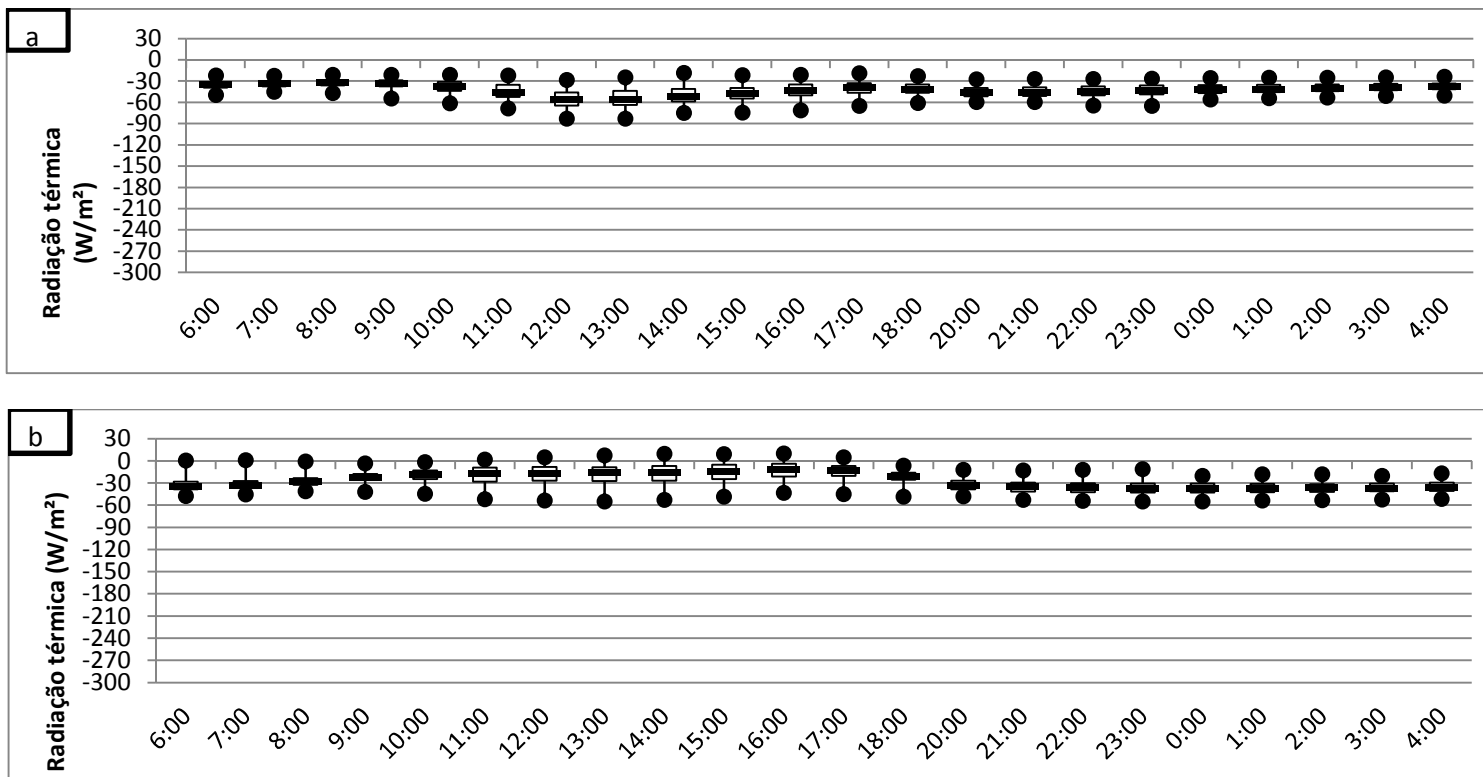


Figura 41 – Emissão de radiação térmica das superfícies piso - solo para 24 horas. (a) verão e (b) inverno

## **6.2. Variáveis ambientais (temperatura do ar)**

### **6.2.1. Síntese das condições sinóticas (CPTEC – INPE)**

As cartas sinóticas são mapas que nos fornecem elementos que caracterizam um determinado estado de tempo, para uma determinada região em um dado momento. A seguir, análises sinóticas do CPTEC /INPE para os dias de medições de campo.

#### **6.2.1.1. Período de medição Inverno/2012**

- Dia 15/08/12

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z da quarta-feira (15/08) (Figura 42), é possível notar a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) bastante ampla, com núcleo de 1038 hPa em torno de 30W. O escoamento da ASAS encontra-se bastante intenso e atua sobre a faixa centro-leste do Brasil, favorecendo a advecção de umidade do oceano para essa região. Observam-se cavados embebidos no escoamento deste sistema, um deles entre o MS, passando por SP, até o Oceano Atlântico. Outro cavado é observado sobre o Nordeste da Argentina. Nota-se a presença de um sistema frontal estacionário sobre o Atlântico, a leste de 35W, e estende o eixo de um cavado em direção ao Uruguai. Verifica-se uma família de sistemas frontais em oclusão, atuando entre o Pacífico e Atlântico, passando pelo Chile e a Argentina. O Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) está centrado a oeste de 100W, porém, é possível observar pulso deste sistema atuando sobre o oeste da América do Sul. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atua em torno de 7N/10N sobre o Pacífico e sobre o Atlântico.

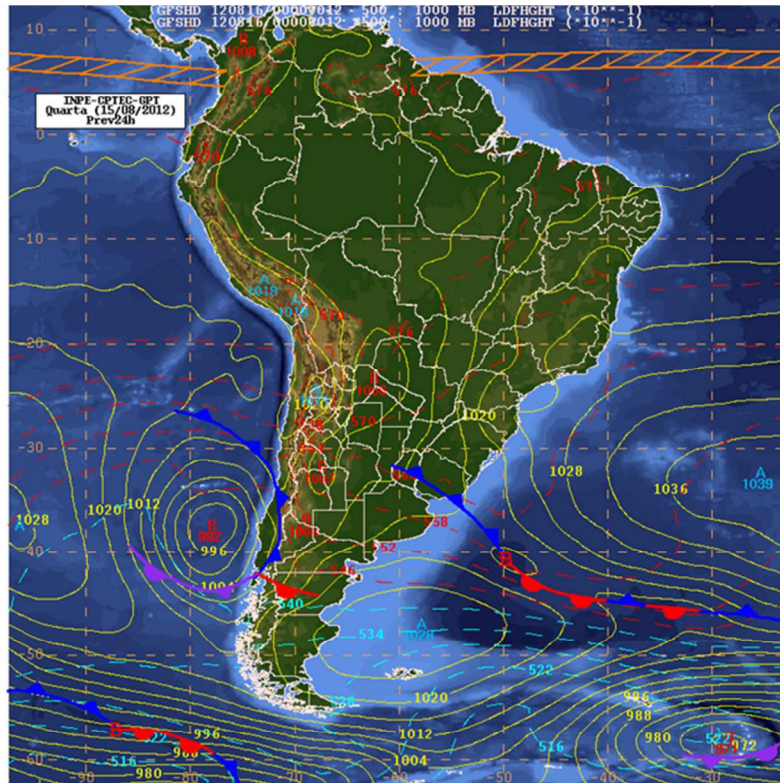


Figura 42 – Carta sinótica para a quarta-feira dia 15/08/12

- Dia 21/08/12

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z da terça-feira (21/08) (Figura 43), observa-se a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) com valor pontual de 1035 hPa, posicionada em torno de 32S/30W. Este sistema ainda encontra-se com características de bloqueio e com escoamento intenso sobre a faixa centro-leste do Brasil. Verifica-se a presença de um sistema frontal entre o nordeste da Argentina, sul do Paraguai, RS, Uruguai e Oceano Atlântico adjacente. Observa-se um cavado sobre o centro-sul da Argentina. Nota-se um sistema frontal em oclusão sobre Oceano Pacífico, com baixa pressão de 983 hPa, posicionado em torno de 48S/81W. Uma frente fria é observada ao sul do continente. Sistemas frontais são observados sobre o Oceano Atlântico, ao sul de 25S. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) encontra-se entre os paralelos de 20 e 30S, com núcleo de 1020 hPa a 1023 hPa. A

Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscila em torno de 5N/10N sobre o Oceano Pacífico e entre 8N/10N sobre o Atlântico.

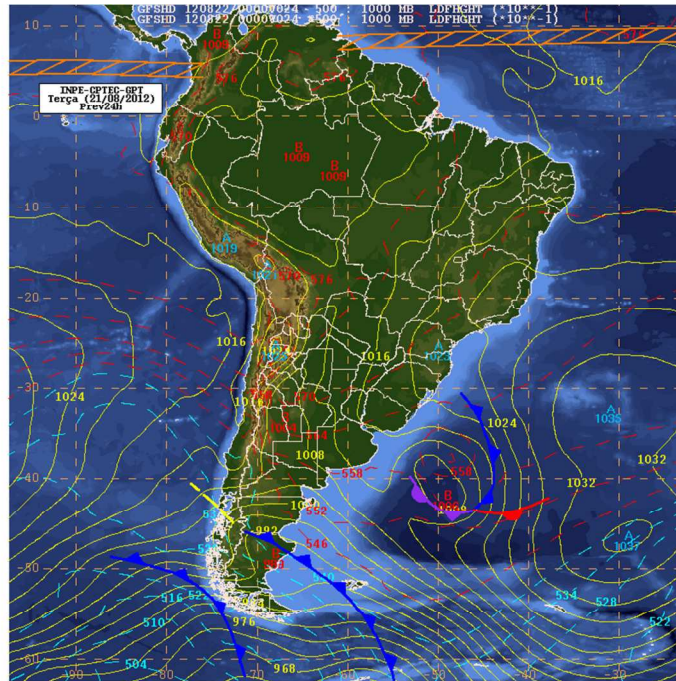


Figura 43 - Carta sinótica para a terça-feira dia 21/08/12

- Dia 24/08/12

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z do dia 24/08 (Figura 44) observa-se a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) com valor de 1036 hPa posicionado a leste de 30°W, mas como comentado acima influencia a circulação sobre grande parte do continente. Este sistema ainda apresenta características de bloqueio, porém com enfraquecimento em relação às análises anteriores. Associado a este sistema nota-se significativo gradiente de pressão sobre a faixa leste do Brasil, o que explica os ventos significativos em 850 hPa. Observa-se o sistema frontal, favorecido pelo padrão comentado em nível de 250 e 500 hPa, entre o norte da Argentina e Atlântico, com ciclone de 1012 hPa em torno de 36°S/58°W. Pode-se observar intenso gradiente de espessura (pontilhados vermelhos e azuis) e de pressão na retaguarda deste

sistema, caracterizando uma zona baroclínica, que gera ventos intensos e aumenta a advecção de ar mais frio e úmido. Este padrão colabora para a condição de chuva estratiforme, mas também intensa. Na retaguarda deste sistema observa-se uma crista emitida pela Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS), associada ao anticiclone migratório. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) apresenta seu núcleo de 1032 hPa, posicionado a oeste de 90°W, fora do domínio da figura da análise. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscila em torno de 8°N/9°N sobre o Pacífico e em torno de 8°N sobre o Atlântico.

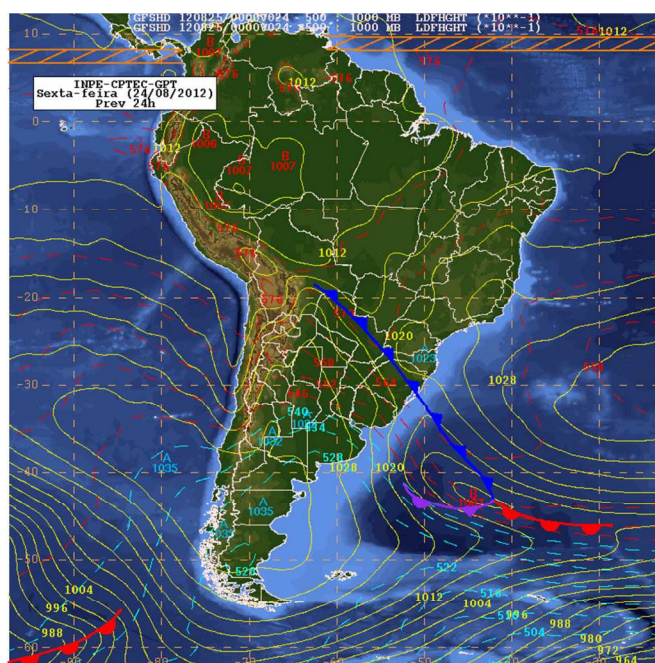


Figura 44 - Carta sinótica para a sexta-feira dia 24/08/12

### 6.2.1.2. Período de medição Verão 2013

- Dia 09/01/13

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z do dia 09/01/2013 (Figura 45), verifica-se o ramo frio de um sistema frontal que se estende desde o leste da Argentina até uma área de baixa pressão em torno de 42S/41W. Acoplado ao ramo quente deste mesmo sistema uma frente

estacionária segue pelo Atlântico entre os paralelos de 40S e 50S. Nota-se outro sistema frontal em fase de oclusão sobre o oceano Pacífico. Alguns cavados podem ser vistos ao sul de 30S, um deles com atuação sobre o sul do continente Sul Americano e outro sobre o oceano em 45S/46W. A área de baixa pressão entre a Bolívia, norte da Argentina e Paraguai associada à Baixa do Chaco (BCH) e Baixa do Noroeste Argentino (BNOA) encontra-se enfraquecida em relação às análises anteriores, no entanto, este sistema ainda favorece a instabilidade que pode ser vista sobre áreas do Paraguai e norte da Argentina (vide imagem de satélite). A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) tem núcleo de 1031 hPa em 35S/10W e se estende sobre parte do leste do Brasil. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) possui núcleo pontual de 1022 hPa centrado em 36S/85W. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscila entre 04N/08N sobre o Pacífico e entre 01N/04N sobre o Atlântico.

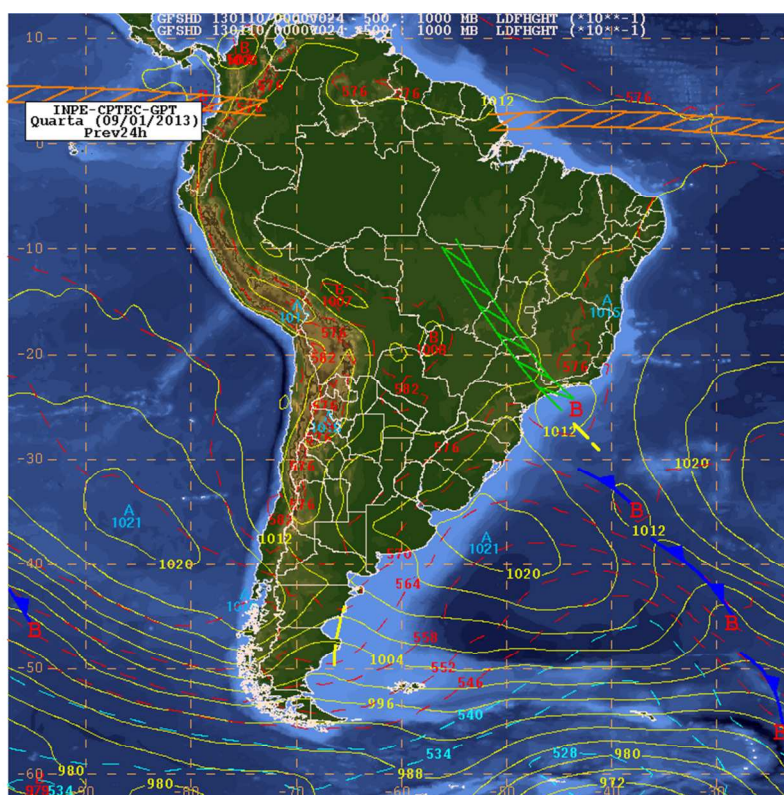


Figura 45 - Carta sinótica para a quarta-feira dia 09/01/13

- Dia 10/01/13

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z do dia 10/01/2013 (Figura 46), nota-se a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sistema este, caracterizado pela formação de uma banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste e que, nesta análise se estende deste o MT, passando pelo sul de GO, nordeste do MS, norte de SP e extremo sul de MG, seguindo pelo Atlântico. A ZCAS ainda é responsável pela persistência de chuvas sobre as localidades onde ela atua. No oceano Atlântico pode ser observado à presença de uma família de frentes. A Alta pós-frontal apresenta núcleo de 1020 hPa centrado em torno de 38S/51W. Outros sistemas frontais são vistos no Pacífico ao sul de 40S. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) tem núcleo de 1030 hPa a leste de 20W, fora do domínio da figura. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) possui núcleo pontual de 1021 hPa centrado em 35S/86W. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscila entre 03N/08N sobre o Pacífico e entre 01N/04N sobre o Atlântico.

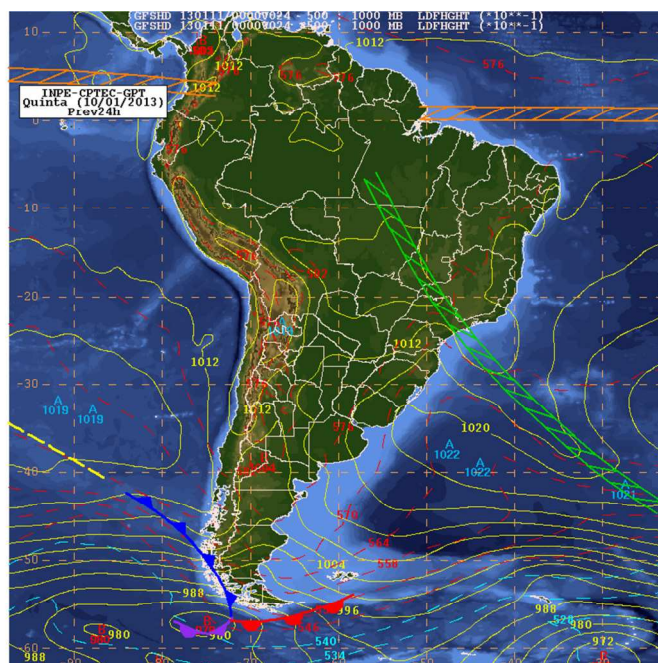


Figura 46 - Carta sinótica para a quinta-feira dia 10/01/13

- Dia 13/02/13

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z do dia 13/02/2013 (Figura 47) nota-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) entre o extremo sudeste do AM, MT, GO, MG, SP e RJ, se estendendo pelo Atlântico até quase o centro de baixa pressão em torno de 40°S/40°W. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) tem núcleo principal a leste de 30°W, no valor de 1028 hPa (fora do domínio da figura). A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) possui núcleo de 1024 hPa, com influência no sul do continente. O pulso emitido pela ASPS no sul do continente está associado a uma frente fria, que atua no sul da Província de Buenos Aires (Argentina). Este pulso tem núcleo de 1020 hPa em torno de 47°S/64°W e a frente está associada a um ciclone extratropical, centrado em torno de 62°S/37°W. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscila entre 4°N/7°N sobre o Pacífico e entre 2°N/4°N sobre o Atlântico.

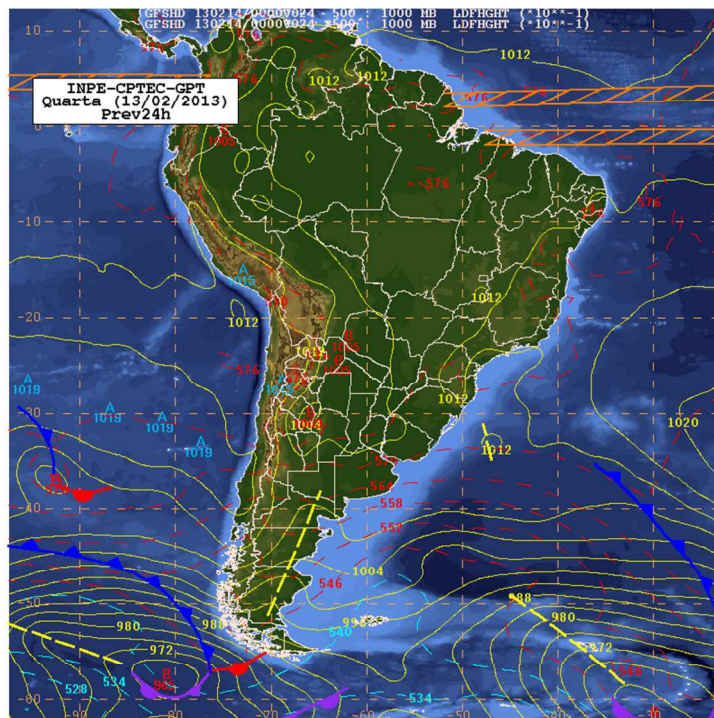


Figura 47 - Carta sinótica para o domingo dia 13/02/13

### 6.2.2. Dados medidos X Emissões radiantes

Para fins de análise juntamente aos dados obtidos na simulação computacional, foram utilizados apenas os dados referentes à temperatura do ar. A Figura 48 apresenta os dados médios para cada hora de medição para os três pontos de coleta de dados, verão e inverno.

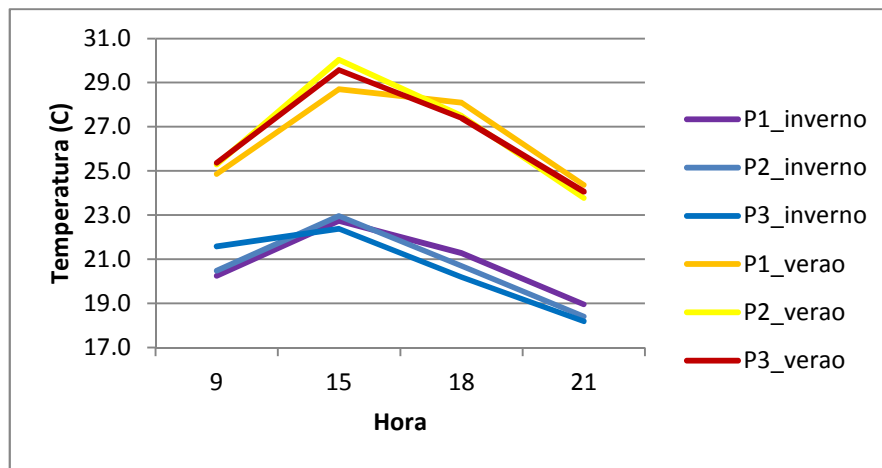


Figura 48 – Média horária da temperatura do ar, verão e inverno para os dias de experimento de campo

Em linhas gerais, pode-se afirmar que os pontos de coleta de dados têm comportamento semelhante ao longo dos dias em que o trabalho de campo foi realizado. É importante salientar, com base na análise sinótica, que o sistema predominante durante o experimento de campo foi o ASAS (Alta Subtropical do Atlântico Sul). Os dias de medição do inverno foram caracterizados por temperaturas em ligeira elevação. O último dia de medição do verão foi caracterizado por períodos alternados de chuva e tempo nublado, e o sistema atuante foi a ZCAS.

As maiores temperaturas para verão e inverno foram registradas às 15:00, coincidindo com os valores mais altos de emissão para as superfícies verticais que foram registrados entre 15:00 e 17:00. Os pontos em que os dados foram coletados estão inseridos em uma área bem

verticalizada e diretamente influenciados pelas reflexões diversas propiciadas pelas superfícies das edificações.

De acordo com os resultados obtidos na simulação computacional, é possível identificar o comportamento cíclico das emissões radiantes das superfícies ao longo do dia. Para as superfícies verticais no período da manhã as emissões máximas se deram as 09:00 e 12:00. Entre esses horários as emissões tiveram leve decréscimo. No período da tarde, as máximas emissões foram registradas as 15:00, sendo elas as maiores encontradas. Para o período noturno as máximas emissões ocorreram entre 20 e 22 horas e na análise do inverno as superfícies as 04:00 obtiveram ganho de energia. É sabido que as 04:00 não há presença de radiação solar, portanto, as superfícies verticais absorvem calor do entorno, seja dos pisos, coberturas ou da temperatura do ar.

Quando observado o valor encontrado para as emissões das coberturas percebe-se que a emissão máxima ocorre entre 12:00 e 13:00. E esta superfície é aquela que possui os maiores valores de emissão por receberem mais diretamente a radiação solar. No período noturno as emissões radiantes da Cobertura são semelhantes as encontradas a partir da metade da manhã.

Quanto aos pisos é importante frisar que a inclinação da curva de emissões é constante ao longo dos três períodos do dia. As emissões máximas e mínimas sofrem pouca variação. Entre 13 e 15 horas foram encontradas as maiores emissões. Os ganhos de energia por parte dos pisos no inverno deve-se as condições de sombreamento a qual a superfície é submetida.

## **7. CONCLUSÕES**

Para a condição de inverno, algumas superfícies apresentaram ganho de energia. A largura das vias e a altura dos edifícios, bem como a

morfologia urbana influenciaram a reflexão e a absorção da radiação solar de onda longa e dificultaram a perda do calor gerado.

O atraso térmico permite que seja equacionada a variação de calor entre o meio urbano e o interior do edifício, de forma a gerenciar as emissões de energia radiante, visando melhorar a ambiência térmica das cidades. Nesta pesquisa não foram alterados valores de atraso térmico dos materiais construtivos, entretanto, foi observado que o atraso térmico foi relevante nas emissões das superfícies horizontais, em especial no verão.

Foi verificado que as superfícies verticais têm participação variada no aquecimento do meio urbano durante o dia, porém com resfriamento intenso no período noturno e não parecem ser as principais causas de aquecimento pela emissão térmica.

Verificou-se um destaque das coberturas nas emissões radiantes para o meio exterior em diversos momentos da análise. As menores emissões máximas ocorrem durante a manhã, próximo das 6:00, chegando a  $90 \text{ W/m}^2$  (mediana de  $85 \text{ W/m}^2$ ). Das 13:00 às 15:00, elas alcançam aproximadamente  $250 \text{ W/m}^2$  e apresentam pequeno resfriamento durante a noite, voltando ao valor inicial pela manhã. Este pequeno resfriamento noturno das coberturas é preocupante, com diferenças entre os máximos e entre as medianas (20:00 até as 4:00) de aproximadamente  $20 \text{ W/m}^2$ , 17% do valor máximo às 20:00 e 8% do valor máximo às 13:00. No modelo analisado, as coberturas apresentaram cerca de 14% da área total do sítio.

Já os pisos pavimentados, embora tenham tido emissões máximas de  $70 \text{ W/m}^2$  às 23:00, também apresentaram pequena redução das emissões até o início da manhã, o que destaca sua inércia para manutenção de tais emissões. Em relação às coberturas, seus ganhos são irrelevantes durante a manhã e sua estabilidade térmica é visível em todos os períodos do dia. Em contraste, a área ocupada no meio urbano é aproximadamente equivalente ao restante das demais superfícies

somadas, e este aspecto pode ser relevante no aquecimento do meio urbano.

Estudos de clima urbano são notadamente complexos. As limitações do presente trabalho estão diretamente ligadas às características da simulação computacional utilizada. Como foi descrito aqui em outro momento, o *Energyplus* não simula o solo como zona térmica. Foi preciso criar uma zona, com características e materiais com potencial de emissão de energia térmica semelhantes ao solo.

O programa não fornece interações horárias das emissões com a temperatura do ar, visto que utiliza as temperaturas do ar do arquivo climático. Cada edificação foi modelada como uma zona térmica e ausência de aberturas. Os materiais construtivos foram simplificados, adotaram-se os mesmos para todas as edificações. As absorptâncias dos materiais construtivos também foram simplificadas. Pesquisas futuras devem quantificar tais incertezas e minimizá-las. Diante da complexidade dos estudos de clima urbano é preciso numerosos estudos que abarquem perspectivas diferentes do fenômeno. A generalização e a simplificação ocorrem em estudos do clima e também de simulação computacional. Há que se estabelecer métodos para minimizar o grau de incerteza advindos destas análises.

Trabalhos futuros devem ser realizados no intuito de refinar o modelo proposto, bem como a metodologia. Tais como: estudo da configuração da dinâmica dos ventos na área estudada, inserção de novas absorptâncias, sobretudo para paredes e coberturas. Ainda, inserção da cobertura vegetal (a exemplo de uma pequena área verde do campus para comparação do potencial de emissões), inclusão de modelos de predição do efeito da evapotranspiração e investigação dos efeitos de diversas fontes de calor antropogênico (calor gerado pelos veículos automotivos, por exemplo).

## 8. GLOSSÁRIO

Albedo: índice de reflexão dos raios solares.

Fator visão de céu: ângulo de obstrução do horizonte. Parcela visível do céu em determinado local.

Massa construída: percentual de área construída no ambiente urbanizado.

Superfície de admissão térmica: superfície que armazena energia térmica.

Temperatura de globo negro: combina os efeitos da energia radiante dos materiais e a velocidade do ar.

Padrão construtivo: características construtivas de uma edificação.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, T. C. L.; TOMMELEIN, I. D. Cadeias de suprimento na construção civil: análise e simulação computacional. In: **Ambiente Construído**. Porto Alegre: ANTAC, 2007. v. 7, n. 2, p. 31-44.

Amorim, M. C. C. T. *et al.* Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins [Online]**, 7 | 2009, posto online em 28 Outubro 2009, Consultado em 18 agosto 2013. URL : <http://confins.revues.org/6070> ; DOI : 10.4000/confins.6070

ASHRAE Handbook—Fundamentals. (2005). Atlanta, GA: **American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers**.

ASSIS, E. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexão de uma trajetória. Encontro Nacional e Latino americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005. p.92-101.

\_\_\_\_\_. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **Revista RUA - Revista de Arquitetura e Urbanismo**, Salvador, n. 9, p. 20–25, 2006.

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

BARBIRATO, G. M. Modelo de balanço de energia aplicado ao caso da cidade de Maceió–AL, e suas implicações para o planejamento urbano. **Fórum Patrimônio**. Belo Horizonte, v. 4, n. 1, jan./ jun. 2010.

BOUGIATIOTI, F. *et al.* The summer thermal behaviour of “skin” materials for vertical surfaces in Athens, Greece as a decisive parameter for their selection. **Solar energy** 83 (2009), 582 – 598.

BRANDÃO, R. S. **As interações espaciais urbanas e o clima:** incorporação de análises térmicas e energéticas no planejamento urbano. 2009. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-23032010-093854/>. Acesso em 17-05-2012.

COSTA, A., LABAKI, L., ARAÚJO, V. Medições de campo na área urbana: O desafio da padronização. In: **RUA - Revista de Arquitetura e Urbanismo**, v.1, Salvador, p. 26 a 31, 2006.

ENERGYPLUS. “EnergyPlus Engineering Reference”. U.S. Department of Energy. 2013.

ENERGYPLUS. “EnergyPlus Input Output Reference”. U.S. Department of Energy. 2013.

ENERGYPLUS. “Getting Started with EnergyPlus”. U.S. Department of Energy. 2013.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte:** Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira. 2009. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-22022010-154045/>. Acesso em 23-10-2011.

GAVIRA, M. de O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: [www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde-20052003-004345/](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde-20052003-004345/).

Acesso em: 14 de março de 2012.

GOMES, P.S.; LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros, MG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 73-91, jan./mar. 2009.

GRIMMOND, C.S.B.; *et al.* The International Urban Energy Balance Models Comparison Project: First Results from Phase 1. In: **JOURNAL OF APPLIED METEOROLOGY AND CLIMATOLOGY**, Junho 49 (2010), p. 1268 – 1292.

GUIMARÃES, I. B. B; CARLO, J. C. **Caracterização Bioclimática da cidade de Viçosa - MG** In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, Búzios, 2011, Anais... Búzios, ENCAC-ELACAC 2011.

HUTTNER, S. *et al.* Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. In: **5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology**, October 2008, p. 307-312.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Estimativa da população de Viçosa em 2012. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=317130&idtema=75&search=minas-gerais|vicosa|estimativa-da-populacao-2012>>

Acesso em: 15 de janeiro 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas 1961–1960.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>.

Acesso em: 23 de novembro de 2012.

Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Requisitos Técnicos da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R.** Brasil, 2012.

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE). **Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros (Anexo V).** 2013. Disponível em: [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/AnexoVRAC\\_CatalogoPropriedadesTermicas%20v03SET2013.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/AnexoVRAC_CatalogoPropriedadesTermicas%20v03SET2013.pdf).

Acesso em: 07/09/2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726:** ergonomics of the thermal environment: instruments of measuring physycal quantities. Switzerland, 1998.

LANDSBERG, H.E. O clima das cidades. **Revista do Departamento de Geografia**, 18 (2006), 95 – 111.

LEE, T. W., LEE, J. Y., WANG, Z. Scaling of the urban heat island intensity using time-dependent energy balance. **Urban Climate** 2 (2012) 16–24.

KOLOKOTRONI, M. *et al.* The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. **Solar Energy** 80 (2006), 383-392.

KOLOKOTRONI, M. *et al.* A validated methodology for the prediction of heating and cooling energy demand for buildings within the Urban Heat Island: Case study of London. **Solar Energy** 84 (2010), 2246-2255.

MACKEY, C. W. *et al.* Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island. **Building and Environment** (2011), doi:10.1016/j.buildenv.2011.08.004.

MAITELLI, G. T. Balanço de energia estimado para a cidade de Cuiabá: uma abordagem do balanço de energia pelo método de Bowen. **Fórum Patrimônio**. Belo Horizonte, v. 4, n. 1, jan./ jun. 2010.

MASCARO, J. Significado ambiental-energético da arborização urbana. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, América do Norte, 7, out. 2008.

Disponível em:  
<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/rua/article/view/3151>.

Acesso em 07 set. 2011.

MELLO, M. A. R. de, MARTINS, N., SANT' ANNA NETO, J. L. A influência dos materiais construtivos na produção do clima urbano. **Revista Brasileira de Climatologia**. Setembro, p. 27 – 40. 2009.

MINAKI, C., AMORIM, M.C.C.T. Características das ilhas de calor em Araçatuba/SP: análise de episódios. **REVISTA GEONORTE**, Edição Especial 2, V.2, N.5, p. 279 – 294, 2012.

MONTEIRO, C.A de F. **Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos do clima urbano no Brasil**. Geosul, Florianópolis, v.5, n.9, p.7-19, 1990.

MOTHIBI, B. E. Optimising Energy For Thermal Comfort In Low - Cost Housing With Particular Reference To Botswana. In: **XXXIII IAHS World**

**Congress on Housing Transforming Housing Environments through Design** September 27-30, 2005, Pretoria, South Africa.

OLIVEIRA, S. *et al.* The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study of Lisbon. **Building and Environment** 46 (2011), 2186-2194.

OKE, T. R. **Boundary layer climate**. London: Methuen& Ltd A. Halsted Press Book, 1978. 372 p.

ORTIZ, G.F., AMORIM, M.C.C.T. Ilha de calor em Cândido Mota/SP: algumas considerações. **Revista Formação Online**, n. 18, volume 1, p. 238-257 , jan./jun., 2011.

POSTIGO, C.P.; SOUZA, L. C. L. Ambiente térmico urbano: verticalização, acesso solar e formação de ilhas de calor. In: **IV ENCONTRO NACIONAL E V LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 2007, Ouro Preto.

ROCHA, V. M. **Influência das Atividades Antrópicas no Campo Termohigrométrico do Município de Viçosa-MG em Situações Sazonais de Primavera no Ano de 2006**. Viçosa. 2006. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Artes e Humanidades, UFV.

SANTAMOURIS, M.; SYNEFFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy** 85 (2012), 3085 – 3102.

SANTOS, I. G dos; LIMA, H. G de; ASSIS, E. S de. Influência da geometria urbana e da inércia térmica na alteração do clima urbano: uma abordagem preditiva. In: **ENCAC - COTEDI**, 2003, Curitiba.

SOUZA, L. C. L. de. , *et al.* Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. In: **Ambiente Construído**. Porto Alegre: ANTAC, 2010. v. 10, n. 4, p. 155 - 167.

STEWART, I.D., and T.R. OKE, 2009. **Newly developed “thermal climate zones” for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer**. Preprints, T.R. Oke Symposium & Eighth Symposium on Urban Environment, January 11–15, Phoenix, AZ.

STEWART, I.D., and T.R. OKE, 2009a. **Classifying urban climate field sites by “local climate zones”: The case of Nagano, Japan**. Preprints, Seventh International Conference on Urban Climate, June 29–July 3, Yokohama, Japan.

STEWART, I. D., 2009. **Classifying urban climate field sites by Local Climate Zone**. Urban Climate News – Quarterly Newsletter of the IAUC, Issue 34, pp. 8 – 11.

ROMERO, M. A. B., *et al.* A aplicabilidade da simulação computacional da ventilação no processo de urbanização. IX Encontro Nacional e VI Latino americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Ouro Preto: ANTAC, 2007. p.1619-1628.

SANTOS, J.A.A. dos. **O campo térmico na área central de Viçosa-MG em situação sazonal de outono em 2007**. Viçosa. 2007. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Artes e Humanidades, UFV.

SILVA, C. H. da. **Uma análise da relação uso/cobertura da terra e a temperatura do ar em cidade de clima tropical – Viçosa (MG)**. 2009. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia, UFV.

WONG, N. H. *et al.* Evaluation of the impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption. **Solar Energy** 85 (2011), 57-71.

XAVIER, F. V. **Impactos sócio – ambientais causados pela expansão urbana na Avenida “P. H. Rolfs”**. Viçosa, 2006. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Artes e Humanidades, UFV.

ZACCHI, R. C. **Processo de verticalização na área central em Viçosa (MG)**. 2009. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia, UFV.