

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA**

**CAMPO TÉRMICO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA  
RESIDENCIAL NA CIDADE DE SÃO CARLOS-SP.**

**JULIANA ANTUNES DE AZEVEDO**

São Carlos

2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA**

**CAMPO TÉRMICO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA**  
**RESIDENCIAL NA CIDADE DE SÃO CARLOS-SP.**

**JULIANA ANTUNES DE AZEVEDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Léa Cristina Lucas de Souza

São Carlos

2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

A994ct

Azevedo, Juliana Antunes de.

Campo térmico e consumo de energia elétrica residencial na cidade de São Carlos-SP / Juliana Antunes de Azevedo. - São Carlos : UFSCar, 2010.  
82 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Engenharia urbana. 2. Clima urbano. 3. Energia elétrica - consumo. 4. Campo térmico. 5. Geoprocessamento. I. Título.

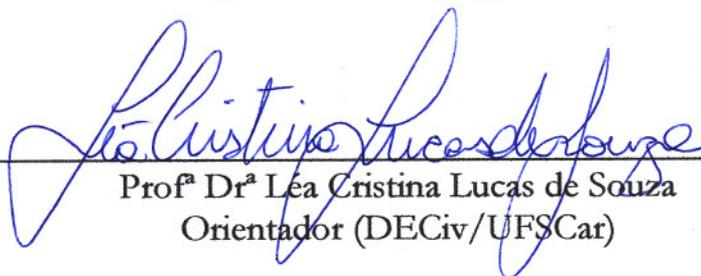
CDD: 711 (20<sup>a</sup>)



## FOLHA DE APROVAÇÃO

JULIANA ANTUNES DE AZEVEDO

Dissertação defendida e aprovada em 16/11/2010  
pela Comissão Julgadora



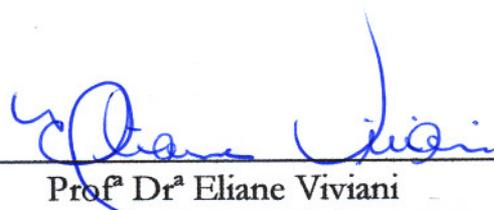
---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Leá Cristina Lucas de Souza  
Orientador (DECiv/UFSCar)



---

Prof. Dr. João Roberto Gomes de Faria  
(DAUP-FAAC/UNESP)



---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eliane Viviani  
(DECiv/UFSCar)



---

Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva  
Presidente da CPG-EU

*I have a dream  
A song to sing  
To help me cope  
With anything  
If you see the wonder  
Of a fairy tale  
You can take the future  
Even if you fail  
I believe in angels  
Something good in  
Everything I see  
I believe in angels  
When I know the time  
Is right for me  
I'll cross the street  
I have a dream  
I have a dream  
A fantasy  
To help me through  
Reality  
And my destination  
Makes it worth the while  
Pushing through the darkness  
Still another mile  
I believe in angels  
Something good in  
Everything I see  
I believe in angels  
When I know the time  
Is right for me  
I'll cross the street  
I have a dream*

*Composição: Benny Andersson & Björn Ulvaeus*

## DEDICATÓRIA

À Jacqueline Antunes de Azevedo e  
Ricardo Antunes de Azevedo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, Ricardo, Jacqueline e Rogério por todo apoio e força para não desistir nunca dos meus sonhos;

Aos meus familiares, Vovó Dirce, Tio Chico, Tia Hayd, Tio Alex, Tia Dri, Tia Mone, Marina, Lígia, Bruninho, Augusto, Tio Zé Roberto, Tia Sol, Tio Adalberto, Tia Cibele, Tio Newton, Tia Lú, Paulo, Vivi, Debby, Lili e Carol;

Vovô e Dindinha (*in memoriam*);

A Deus, meus santos e anjos protetores;

A Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Campus Rio Claro;

A Universidade Federal de São Carlos (UFSCar);

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES);

Aos amigos de São Carlos, Alessandro Hirata, Cristiano Hemerly, Luciani Rocha, Fábio Noel, Cristiane Taniguti;

Aos amigos Bruna Rossin, Mariana Mardegam (Mazinha), Andréa Casalatina Costa (Déia), Priscila Gratão, Ariane Malta;

A minha querida orientadora, Léa Cristina Lucas de Souza, por toda paciência e orientação;

Aos professores da banca, Eliane Viviani (UFSCar São Carlos) e João Roberto Gomes de Faria (UNESP Bauru), pelos conselhos e dicas na qualificação;

Aos amigos Cristiano Hemerly, Alessandro Hirata e Osvaldo Pereira, pela ajuda com os trabalhos de campo e mapeamentos;

A Construtora Bianco e Escola de Música Espaço Musical, por disponibilizar espaço em seus estabelecimentos para que este trabalho pudesse ser realizado;

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

Uma das principais modificações observadas nas cidades na atualidade são as alterações das condições climáticas em relação às áreas circunvizinhas, resultando em um clima diferenciado nas áreas urbanas. As diferenças no campo térmico de um município interferem no consumo de energia elétrica residencial, sendo seu estudo relevante, uma vez que, a energia elétrica é condição indispensável para que as comodidades e benefícios essenciais da vida moderna possam ser desfrutados. A partir disto, este trabalho teve como objetivo estabelecer relações entre o campo térmico e consumo de energia elétrica residencial na cidade de São Carlos-SP, para diferentes escalas de abordagem e em função de alguns parâmetros da morfologia urbana. Na metodologia foram trabalhadas três variáveis de estudo: a morfologia urbana, o clima e o consumo energético. No caso específico da variável clima, esta foi estudada em duas escalas: a micro-escala e a meso-escala. As etapas metodológicas do trabalho foram: inventário, revisão bibliográfica, seleção de pontos de controle, estudo do clima na micro-escala (composta pelas sub-etapas: processamento de dados climáticos, cálculo de fator de visão do céu, cálculo de taxa de ocupação e índice de aproveitamento e cálculo de índice de vegetação), estudo do clima na meso-escala (composta pelas sub-etapas: estimativa da temperatura radiométrica, cálculo do índice de vegetação e análise multicritério), estudo do consumo energético e por fim análise dos dados. Os resultados obtidos confirmaram que os parâmetros morfológicos influenciam no campo térmico em micro-escala e meso-escala. Na micro-escala o índice de aproveitamento, fator de visão do céu e altura média indicaram comportamentos como descrito na bibliografia em relação a médias, máximas e mínimas, enquanto a taxa de ocupação apresentou o comportamento indicado na bibliografia perante a amplitude. Na meso-escala a vegetação apresentou-se como fator de maior influência no clima. O consumo de energia elétrica residencial apresentou uma distribuição coerente com as variações do campo térmico, entretanto, esta variação deve ser relacionada também às classes sociais das regiões, já que estas possuem padrões de consumo variados. Quanto às técnicas de geoprocessamento utilizadas na metodologia, foi observado que os algoritmos de krigagem e análise multicritério foram úteis na investigação, já o índice de vegetação, apesar de ser de simples execução, não apresentou para micro-escala os resultados desejados.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento; Morfologia Urbana; Clima Urbano; Campo Térmico; Consumo Energético Residencial.

## ABSTRACT

One of the main changes observed in cities today are the changes of the urban climate in relation to its surrounding areas. Differences in thermal field of a city may interfere in the residential energy consumption, being its study relevant, once the energy is precondition so that essential facilities and benefits of modern life can be enjoyed. From this, this work has as objective establishment of relationships between the thermal field and residential energy consumption in the city of São Carlos-SP, for different scales of approach and based on some parameters of urban morphology. In the methodology three variables were worked: the urban morphology, the climate and energy consumption. In the specific case of variable the climate, this was studied in two scales: the scale micro-scale and meso-scale. Methodological work steps were: inventory, bibliographic review, selection of control points, climate study on micro-scale (composed by substeps: climatic data processing, calculation of sky view factor, calculation of occupancy rate and index of exploitation and calculation of the vegetation index), study of climate on meso-scale (composed by substeps: estimation of radiometric temperature, calculation of the vegetation index and multicriterium analysis), study of energy consumption and finally data analysis. The results confirmed that the morphological influence on thermal field in micro-scale and meso-scale. In the micro-scale the exploiting index, sky view factor and average height indicated behaviors as described in the bibliography for the average, maximum and minimum temperature data, while the occupancy rate has the behavior described in the bibliography for amplitude. In meso-scale vegetation was evaluated as a factor of biggest influence on the climate. The residential energy consumption presented coherent distribution with changes in thermal field; however, this changes shall also be related to social classes of regions, since these have varying patterns of use. Regarding geoprocessing techniques used in the methodology, it was observed that the algorithms, kriging and multicriterium analysis were useful in the research, however the vegetation index, despite being simple execution, did not provided for micro-scale the desirable results.

**Key words:** Geoprocessing; Urban Morphology; Thermal Field; Residential Energy Consumption.

## SUMÁRIO

Resumo	iv
Abstract	v
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	x
Introdução	1
Objetivos	3
Geral	3
Específicos	3
Estrutura da Dissertação	4
1. Revisão Bibliográfica	5
1.1. Clima, Cidade e suas Escalas	5
1.2. Parâmetros urbanos que podem influir no clima urbano	13
1.2.1. Índice de vegetação	14
1.2.2. Taxa de Ocupação e Índice de Aproveitamento	17
1.2.3. Fator de Visão do Céu	19
1.3. Consumo Energético	20
1.4. Geoprocessamento: Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas	26
2. Metodologia	31
2.1. Área de estudo	31
2.2. Modelo conceitual	32
2.3. Materiais e métodos	34
Etapa 1. Inventário	34
Etapa 2. Revisão Bibliográfica	34
Etapa 3. Seleção de pontos de controle	35
Etapa 4. Estudo do Clima na Micro-escala	35
Etapa 4.1. Processamento de dados climáticos (Temperatura)	35
Etapa 4.2. Fator de visão do céu	35

Etapa 4.3. Taxa de ocupação e índice de aproveitamento	35
Etapa 4.4. Índice de vegetação	35
Etapa 5. Estudo do Clima na Meso-escala	35
Etapa 5.1. Estimativa da Temperatura Radiométrica	35
Etapa 5.2. Índice de vegetação	35
Etapa 5.3. Análise multicritério	36
Etapa 6. Estudo do consumo energético	36
Etapa 7. Análise dos dados	36
3. Dados Levantados	37
3.1. Estudo da Micro-escala	37
3.1.1. Parâmetros Morfologia Urbana	37
3.1.2. Processamento Dados Climáticos	42
3.2. Estudo da Meso-escala	57
3.2.1. Temperatura Radiométrica	57
3.2.2. Índice de Vegetação	58
3.3.3. Análise Multicritério	59
3.3. Estudo Consumo Energético	60
3.3.1. Distribuição do Consumo de Energia Elétrica – Método de Krigagem	60
4. Resultados e Análises	63
4.1. Análise micro-escala: dados climáticos e morfologia urbana	63
4.2. Análise meso-escala: temperatura radiométrica, índice de vegetação e análise multicritério	67
4.3. Análise consumo energético	72
5. Conclusões	75
Bibliografias de Referência	78

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. A. Esquema da Urban Boundary Layer (Camada Limite Urbana) e Urban Canopy Layer (Camada Limite IntraUrbana); B. Circulação de ventos nos Canyons Urbanos	7
Figura 2. Localização São Carlos	31
Figura 3. Modelo conceitual da pesquisa	33
Figura 4. Localização dos pontos de controle	37
Figura 5. Imagem localização pontos de controle	38
Figura 6. Fotografias pontos de controles. (a). Ponto 1; (b). Ponto 2; (c). Ponto 3; (d). Estação Metereológica	39
Figura 7. Imagens pontos de controles. (a). Ponto 1; (b). Ponto 2; (c). Ponto 3; (d). Estação Metereológica	40
Figura 8. 28/04/2010	43
Figura 9. 29/04/2010	43
Figura 10. 30/04/2010	44
Figura 11. 01/05/2010	44
Figura 12. 02/05/2010	45
Figura 13. 03/05/2010	45
Figura 14. 04/05/2010	46
Figura 15. 06/06/2010	48
Figura 16. 07/06/2010	48
Figura 17. 08/06/2010	49
Figura 18. 09/06/2010	49
Figura 19. 10/06/2010	50
Figura 20. 11/06/2010	50
Figura 21. 12/06/2010	51
Figura 22. 22/06/2010	53
Figura 23. 23/06/2010	53
Figura 24. 24/06/2010	54
Figura 25. 25/06/2010	54
Figura 26. 26/06/2010	55
Figura 27. 27/06/2010	55
Figura 28. 28/06/2010	56
Figura 29. Imagem Termal – Landsat 7 – Banda 6	57
Figura 30. Índice de Vegetação - Landsat 7 – Bandas 3 e 4	58

Figura 31. Análise Multicritério	59
Figura 32. Pontos de Análise de Consumo de Energia Elétrica Residencial, 2008	60
Figura 33. Distribuição do Consumo de Energia Elétrica – Método Krigagem	61
Figura 34. Krigagem e Distribuição de Pontos de Coleta	62
Figura 35. Imagem Termal – Landsat 7 – Banda 6 – Pontos de controle	68
Figura 36. NDVI – Landsat 7 – Bandas 3 e 4 – Pontos de controle	69
Figura 37. Mapeamento da tendência de consumo de energia elétrica, em 5 classes	70
Figura 38. Mapeamento da tendência de consumo de energia elétrica, em 3 classes	71
Figura 39. Distribuição Consumo de Energia Elétrica – Método Krigagem – Pontos de controle	72
Figura 40. Região oeste e noroeste de São Carlos-SP: Bairros predominantemente de classe média alta e classe alta. Parque Santa Marta, Jardim Bandeirantes e condomínios	73
Figura 41. Região Sul de São Carlos-SP: Bairros predominantemente de classe média. Vila Prado, Vila Boa Vista, Jardim Cruzeiro do Sul	74
Figura 42. Relação das classes de consumo de energia elétrica e de tendência ao consumo	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Escalas do Clima	8
Tabela 2. Consumo Médio de Alguns Produtos	22
Tabela 3. Síntese	41
Tabela 4. Medição 1	42
Tabela 5. Medição 2	47
Tabela 6. Medição 3	52
Tabela 7. Teórica	66
Tabela 8. Resumo dados e parâmetros observados	66
Tabela 9. Resumo dados climáticos observados	66

## INTRODUÇÃO

As cidades apresentam condições climáticas muito diferenciadas das áreas circunvizinhas, fato que está, segundo autores como Monteiro (1976), Lombardo (1985) e Mendonça *et. al.*, (2003), relacionado à intensidade de urbanização, expressa em termos de espaço físico construído, que altera significativamente o clima.

Para expressar tal fato, Landsberg (1981) mostra algumas diferenças significativas dos dados climáticos no ambiente urbano e rural, permitindo uma visualização das alterações dos parâmetros físicos produzidos pela ação humana. Essas alterações variam de cidade para cidade, em virtude da intensidade de uso do solo, do processo de crescimento urbano e das características geológicas do local.

A temperatura urbana é afetada pelo balanço de radiação. A radiação solar incidente em superfícies urbanas é absorvida e transformada em calor sensível. Essa radiação atinge telhados, paredes e solo, elevando as temperaturas dessas superfícies, que também passam a emitir calor por radiação de ondas longas. A mesma radiação pode ser bloqueada nas camadas baixas da cidade, devido à verticalização, levando a um balanço de radiação positivo e conseqüente formação da ilha de calor.

Sousa (2007) destaca que os estudos mais recentes nesse âmbito ainda não conseguiram equacionar totalmente o balanço de energia em áreas urbanas. Muitos desses estudos concluíram que os efeitos combinados das características da superfície, tais como disponibilidade de água e propriedades térmicas dos materiais, interagem de maneira bastante complexa e vão demandar tempo e novos estudos para serem equacionados. Também ainda não se dispõe de uma equação matemática de fácil aplicação ao planejamento urbano.

Em complemento, Duarte (2010) cita que “excelentes trabalhos oriundos da climatologia são encontrados nas bibliotecas das prefeituras, mas, infelizmente, sem nenhuma aplicação prática, simplesmente pela falta de tradução em termos mais palpáveis, em variáveis conhecidas pelos envolvidos com o processo de decisão na esfera municipal; isso mostra aos pesquisadores a necessidade de diálogo e entendimento com o sistema político-institucional.”

Assim, observa-se que apesar da estreita relação conhecida entre clima e uso do solo, a climatologia geográfica muitas vezes não fornece subsídios suficientes para as atividades de planejamento desenvolvidas por arquitetos e engenheiros, principalmente no

que se refere às ilhas de calor e suas escalas de estudo, o que leva a uma necessidade de diálogo entre essas áreas do conhecimento.

Assis (2000) discute a base teórica para a aplicação da climatologia ao planejamento urbano com enfoque em três questões principais:

- O problema da base teórica para abordagem climatológica no planejamento urbano. Os modelos conhecidos do clima urbano desenvolvem-se a partir da perspectiva sistêmica, que tem origem comum ao pensamento racionalista das teorias ecológicas e funcionalista sobre o espaço e a cidade. A visão sistêmica tem sido criticada por sua falta de perspectiva histórica e por sua dificuldade de tratar valores humanos, sendo apontado como fator de fragmentação social e empobrecimento das relações cidadãs, quando apropriado pela prática do planejamento urbano;
- As escalas de abordagem na climatologia e no planejamento urbano. As escalas climáticas são um assunto polêmico na climatologia geográfica, havendo grande divergência nas taxonomias propostas pelos diversos autores. Essa é uma questão de fundamental importância para a própria definição da abrangência do clima urbano, além de suas implicações sobre as metodologias. Certos tipos de dados, conjunto de procedimentos e de técnicas de estudo são mais apropriados a determinadas escalas de estudo. Por outro lado, no planejamento urbano a questão das escalas e de sua integração também não são consenso;
- O problema do desenvolvimento de uma representação climatológica útil ao planejamento e projetos urbanos, implicando na necessidade de uma discussão sobre o conceito “forma urbana” e de seus atributos relacionados ao clima. Faz-se necessário identificar as principais variáveis integradoras que orientariam a geração de um tipo de representação do clima urbano, comprometida com o referencial humano e com uma perspectiva de intervenção através do plano, com vistas à gestão da qualidade física do ambiente urbano.

Associado aos problemas de interface entre a climatologia e o planejamento das cidades, agrava-se esse quadro urbano, quando considerado que, segundo Mascaró (2004), o ambiente urbano é o local de maior concentração de energia, consumida e desperdiçada. Muitas vezes o desconforto gerado por uma organização espacial urbana e arquitetônica não compatível com o meio (extrema verticalização, ausência de árvores, entre outros) leva a uma maior necessidade de consumo de energia para se atingir conforto ambiental.

Desde a crise energética dos anos 1970, o mundo vem se preocupando com a economia de nossas fontes de energia e seu uso racional. No caso do Brasil, isso recebeu

maior destaque ainda, na transição do ano 2000 para 2001, com a “Crise do Apagão”, que levou a instituição de uma política nacional de racionamento de energia. A crise foi resultante da escassez de chuva e falta de investimentos no setor, que levou à redução das reservas nos reservatórios nacionais.

Do ponto de vista social, o consumo de energia pelo setor residencial é de grande relevância, uma vez que é condição indispensável para que as comodidades e benefícios mais essenciais da vida moderna possam ser desfrutados. Brasil (2007) afirma que o setor residencial foi responsável por 22,2% do consumo total de energia elétrica no ano de 2005, perdendo apenas para o setor industrial com consumo de 46,7% no mesmo ano.

Baseada nesses fatos, essa pesquisa apresenta duas hipóteses:

- Existem características morfológicas na cidade que interferem diretamente no clima, sendo algumas condicionantes do campo térmico;
- Diferenciações no campo térmico geram maior consumo de energia elétrica residencial, que podem ser causados pelo uso de ventiladores ou condicionadores de ar, em busca do conforto térmico.

Segundo Barbirato *et. al.* (2007), tais tipos de investigações são relevantes para um adequado controle natural dos ambientes desde a concepção de projetos, devendo-se para isso conhecer os fatores externos, ou seja, o clima para o qual se está projetando.

## ***Objetivos***

### **Geral**

Este trabalho tem como objetivo estabelecer relações entre o campo térmico e consumo de energia elétrica residencial na cidade de São Carlos-SP, para diferentes escalas de abordagem e em função de alguns parâmetros da morfologia urbana.

### **Específicos**

- Discutir sobre as escalas do clima urbano e os fatores e parâmetros que influem nestas;
- Estabelecer relações entre o clima, suas escalas e o consumo de energia elétrica residencial;
- Aplicar o potencial das técnicas de geoprocessamento (análise multicritério, algoritmos e krigagem) para estudos desse gênero.

## ***Estrutura da Dissertação***

Essa dissertação está dividida em 5 capítulos.

O Capítulo 1 constitui uma revisão bibliográfica e fundamentação teórica da pesquisa, abordando os temas: clima, cidade e suas escalas, parâmetros urbanísticos, consumo energético e geoprocessamento, sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica.

O Capítulo 2 apresenta o modelo conceitual do trabalho e suas etapas metodológicas.

O terceiro capítulo demonstra os dados levantados nas etapas metodológicas, e o quarto capítulo apresenta os resultados e as análises das etapas metodológicas.

O Capítulo 5 corresponde à conclusão.

Por fim são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento da dissertação.

## 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. *Clima, cidade e suas escalas*

Para Romero (2001) o estudo do clima compreende, tanto a formação resultante de diversos fatores geomorfológicos e espaciais em jogo (sol, latitude, altitude, ventos, massas de terra e água, topografia, vegetação, solo e etc), quanto sua caracterização definida por seus elementos (temperatura do ar, umidade do ar, movimentos das massas de ar e precipitações).

Segundo a mesma autora, existe uma diferenciação entre fatores e elementos climáticos. São eles:

1. Fatores climáticos globais (aqueles que condicionam, determinam, dão origem ao clima nos seus aspectos macro) - radiação solar, latitude, altitude, ventos e massas de água e terra;
2. Fatores climáticos locais (condicionam, determinam e dão origem ao micro-clima, ou ao clima que se verifica num ponto restrito - cidade, bairro, rua etc.) - topografia, vegetação e superfície do solo natural ou construído;
3. Elementos climáticos (representam os valores relativos a cada tipo de clima) - temperatura, umidade do ar, precipitações e movimentos do ar.

Em definição dada por Monteiro (1976), o clima urbano é tido como um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização. O espaço urbanizado constitui o núcleo do sistema que mantém relações diretas com o ambiente regional imediato em que se insere.

Segundo Mendonça (2003) o clima urbano é derivado da alteração da paisagem natural e da sua substituição por um ambiente construído, palco de intensas atividades humanas. Nesse ambiente socialmente construído, o balanço de energia precedente sofre profundas mudanças, cujos elementos climáticos mais observados têm sido a temperatura e a umidade relativa do ar (ilhas de calor, ilhas de frescor, conforto/desconforto térmico, etc.), os ventos (diretamente ligados à dispersão da poluição) e, nas cidades tropicais, a precipitação (inundações). As atividades socioeconômicas urbanas, de maneira geral, são fatores da formação do clima urbano, sendo que a intensidade do adensamento humano e urbano e a localização geográfica da cidade desempenham forte influência em tal formação.

Uma terceira definição é de Brandão (2009), na qual o clima urbano é entendido como a ambiência térmica de uma área limitada, gerada pela interação entre a atmosfera e

o ambiente construído de uma cidade, ou de parte dela, que afeta as condições de conforto térmico do pedestre e o consumo energético das edificações. Este afirma que, em um plano global, parece haver consenso, de que políticas públicas precisam ser adotadas, no sentido de reverter essa influência. No entanto, quando se trata da questão sob a ótica da arquitetura e do urbanismo, verifica-se que este tema ainda carece de desenvolvimento, para que permita a apropriação dos seus conceitos na prática projetual e de planejamento cotidianas.

Oke (1981) verificou que à medida que correntes de ar advindas das áreas rurais chegam à cidade, encontram uma atmosfera diferenciada e estratificada com características próprias. Desse modo, ele propôs a divisão da atmosfera urbana em 3 camadas, sendo de interesse do nosso objeto de estudo apenas as duas primeiras aqui definidas. São elas:

- Canopy Layer (Camada Intraurbana) – estratificada abaixo do nível dos telhados. É produzida pelos processos em micro-escala, localizados nas ruas, entre os prédios etc. A natureza ativa dessa superfície produz uma considerável complexidade de fatores atuantes.
- Urban Boundary Layer (Camada Limite da Influência Urbana) – estende-se acima do nível dos telhados. É um fenômeno localizado, com características produzidas pela natureza da superfície urbana, cuja rugosidade, proporcionada pela presença de prédios relativamente altos, provoca uma aerodinâmica particular. A velocidade do vento se reduz, mas ocorre um aumento da turbulência e no arrasto, produzidos pela fricção do ar.

Além das três escalas verticais, divididas em camadas, Oke (2004) indica a convenção de três escalas horizontais de interesse urbano, a micro-escala, a escala local e a meso-escala, além das três (duas) camadas verticais, já citadas, encontradas em áreas urbanas: a camada intra-urbana, ou a escala da cobertura urbana, a camada limite urbana e a subcamada de rugosidade (Figura 1. A.).

Neste contexto, Lombardo (1985) lembra que a camada intraurbana abrange principalmente o micro-clima (micro-escala) abrangendo do solo até, aproximadamente, o nível das coberturas das edificações (podendo desaparecer totalmente em grandes espaços abertos). A camada limite urbana equivale à escala meso-climática, situando-se imediatamente acima da camada de cobertura urbana e com características influenciadas pela presença da cidade.

A camada intraurbana possui como principal unidade o canyon urbano, que se forma entre as edificações (refere-se ao volume de ar delimitado pelas paredes e o solo entre dois edifícios adjacentes, e as interreflexões produzidas nas superfícies que o compõe) (Figura 1. B.). Devido à existência deste, é que se torna necessário o estudo de fatores como orientação, relação entre larguras das vias e altura das edificações e os materiais de construções utilizados, com finalidade de aplicação no planejamento.

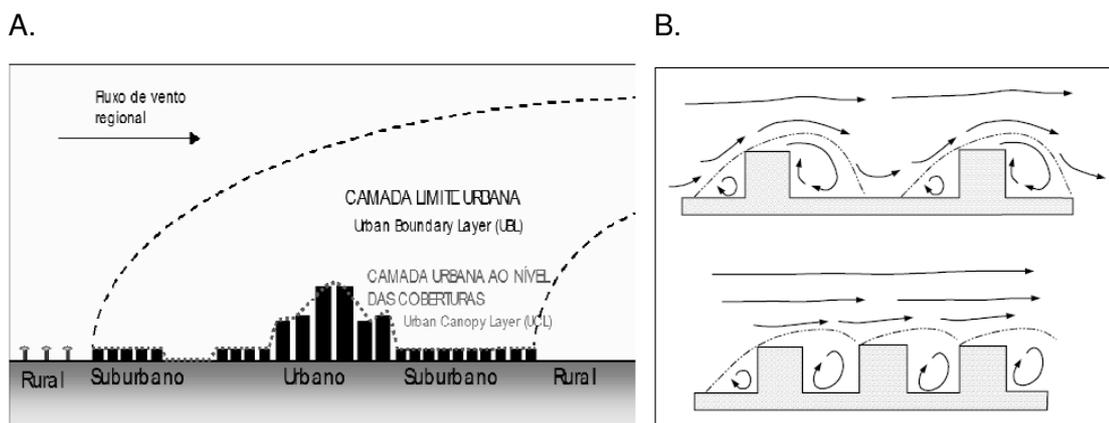


Figura 1. A. Esquema da Urban Boundary Layer (Camada Limite Urbana) e Urban Canopy Layer (Camada Limite IntraUrbana); B. Circulação de ventos nos Canyons Urbanos

Fonte: Oke, 1988, adaptado por Brandão, 2009. (rever)

Em Oke (2004) *apud*. Barbirato *et. al.* (2007) são definidas escalas horizontais, também de interesse deste estudo, da seguinte forma:

- Micro-escala: definida pelas superfícies e objetos dos arredores mais próximos podendo variar em distâncias muito pequenas, até mesmo em milímetros. Correspondem à influência de prédios, árvores, estradas, ruas, jardins, pátios; estendendo-se de um até centenas de metros;
- Escala local: estações climáticas fazem-se necessárias, para monitoramento urbano. Incluem as características da paisagem como topografia, excluindo os efeitos da micro-escala. Representam, em áreas urbanas, os climas dos arredores com características similares de desenvolvimento urbano (cobertura de superfície, tamanho espaçamento das edificações). Variam de um a vários quilômetros;
- Meso-escala: é a escala da cidade como um todo, e normalmente tem extensão de dezenas de quilômetros. São necessárias diversas estações para a sua compreensão, já que sofre influência regional.

A macro-escala é relacionada às propriedades meteorológicas, sendo influenciada pela orografia, ou seja, diferenças causadas pela mudança de altitude, não fazendo parte da abordagem específica de interesse desse estudo.

A tabela 1 de Monteiro (1976) expõe e explica as escalas do ponto de vista geográfico:

Tabela 1. Escalas do Clima							
Ordem de grandeza (Cailleux & Tricart)	Unidade de superfície	Escalas cartográficas de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meios observados	Fatores de Organização	Técnicas de análise
II	(milhões de km)	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites nfanálises	Latitude centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	(milhões de km)	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (circulação secundária)	Redes neurais
IV	(centenas de km)	1:1.000.000 1:5.000.000	Sub-Regional (fácies)	Megalópole Grande área metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos	Mapeament o sistemático
V	(dezenas de km)	1:250.000 1:100.000	Local	Área metropolitana Metrópole	Posto meteorológico Rede complementar	Integração geológica Ação Antrópica	Análise espacial
VI	Dezenas de metros	1:50.000 1:25.000	Meso-clima	Cidade grande bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (Episódios)	Urbanismo	Especiais
-		1:5.000	Topo-clima	Pequena cidade Fácies de bairro/subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	
-	Metros	1:2.000	Micro-clima	Grande edificação Habitação Setor de habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Fonte: Monteiro, 1976

Uma terceira definição de forma simplificada entre as duas é proposta por Tarifa e Armani (2000) *apud*. Duarte (2010), indicando três níveis de análise dos fenômenos climáticos urbanos:

- O que engloba toda a mancha urbana contínua da metrópole;
- O das unidades topoclimáticas, onde as diferenças estão associadas aos padrões de uso do solo (área onde este trabalho se aplica), bem como às diferenças constatadas na concentração de poluentes atmosféricos;
- O nível do habitar, do viver e do trabalhar, onde interessam os ambientes micro-climáticos, tanto internos às edificações, como externos a elas, nas ruas, praças, etc.

Junto à discussão das camadas e escalas da atmosfera, cresceram também os estudos sobre ilhas térmicas.

Segundo Barbirato *et. al.* (2007), das modificações climáticas produzidas pela cidade, a mais evidente e estudada é a ilha de calor, fenômeno próprio das cidades, resultantes do processo de urbanização e características peculiares ao meio urbano. Ocorre especialmente em noites claras, de 2 à 5 horas após o por do sol, quando as cidades apresentam temperaturas maiores que o meio rural ou menos urbanizado, que a rodeia. Durante o dia, para condições de céu nublado e chuva, a ilha é mais fraca. O local de seu maior desenvolvimento coincide, com frequência, com o centro das cidades, onde as construções formam um conjunto mais densificado.

Ainda citando Oke (1981), esse esclarece que o balanço total de radiação entre a área urbana e rural é uma das principais causas da ilha de calor, em virtude da baixa taxa de resfriamento durante a noite.

Para Oke (1981), a formação da ilha de calor é resultado de vários aspectos da urbanização. São eles: a poluição do ar, que gera um aumento da radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera, o calor antropogênico (desprendido no processo de combustão); as superfícies impermeáveis (aumento do calor sensível); as propriedades térmicas das superfícies (aumento da admitância térmica das superfícies e materiais construtivos, aumentando o calor acumulado durante o dia e desprendido durante a noite); e a geometria das superfícies, que causam o aumento da absorção de ondas longas, devido à retenção entre as edificações, à diminuição da perda de calor por turbulência causada pela estagnação entre as edificações e à diminuição da perda da radiação por ondas longas do espaço entre edificações, através da redução da área de céu visível.

É importante ressaltar que nem sempre a urbanização resultará no aumento da temperatura, já que outros fatores podem influir amenizando a influência da urbanização, assim como, não se pode afirmar que a ilha de calor é sempre negativa, já que em locais muito frios, ela pode proporcionar um ambiente mais aquecido e confortável.

Quanto às ilhas frias, temperaturas urbanas mais baixas que as áreas rurais, Oke (1996) indica que podem ocorrer pelo efeito térmico de atraso (retardamento) de áreas como os centros urbanos, que apresentam alta capacidade térmica dos materiais, e devido ao sombreamento de ruas, jardins e pátios por edifícios altos.

Uma constatação importante é a de que além de ocorrerem em diferentes escalas e poderem ser ilhas frias ou ilhas de calor, estas, quando forem ilhas de calor, possuem também processos de formação diferenciados, em função do período considerado (diurno ou noturno).

Souza (2010) afirma que as ilhas de calor desenvolvidas durante o dia são consequências de raios solares incidindo diretamente no ambiente urbano de forma que quanto maior o acesso solar, maior a temperatura alcançada; já as ilhas de calor noturnas, formam-se por processos de trocas de calor por ondas longas, de maneira que quanto maior a possibilidade de eliminação de ondas longas das superfícies para o céu, maior o resfriamento.

Amorim (2000) *apud*. Amorim *et. al.* (2009), indicou que no verão as magnitudes mais fortes das ilhas de calor durante o dia foram observadas principalmente entre 10h e 16h, coincidindo com os horários de maior insolação e maior aquecimento diurno.

No que se refere às ilhas térmicas, em especial, as ilhas de calor urbanas, Lombardo (1985), que desenvolveu metodologia de análise destas, afirmou que estas correspondem a uma área na qual a temperatura da superfície é mais elevada que as áreas circunvizinhas, o que propicia o surgimento de circulação local.

É importante observar que Lombardo (1985) estuda as ilhas de calor na cidade de São Paulo sobre uma perspectiva da ciência geográfica, que define a ilha de calor a partir da meso-escala e, portanto, se relaciona com a Urban Bondary Layer de Oke (1981). Esta é frequentemente identificada pelo processamento de imagens termais, através de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto e através de cartas de uso do solo.

Estudando a ilha de calor em meso-escala, Tavares (1974), por exemplo, apontou que a presença de ilhas térmicas na área central de Campinas-SP é resultante da presença de prédios altos. Outro fator por ele apresentado, foi a possibilidade de relação entre circulação regional e a circulação total, destacando o fato de essas ilhas térmicas contribuírem para a formação de chuvas convectivas e para acentuação da instabilidade frontal.

Brandão (1996) analisou o clima urbano da cidade do Rio de Janeiro, efetuando conjuntamente medidas de campo e imagens de satélites meteorológicas. O autor detectou a formação das ilhas de calor de moderada a forte intensidade (entre 4º C e 5º C) às 15 e 21 horas, utilizando medidas móveis e estabelecendo medidas homogêneas.

Pitton (1997) estudou as cidades médias de Rio Claro e Araras e as cidades pequenas de Cordeirópolis e Santa Gertrudes, todas no Estado de São Paulo, verificando o campo térmico. Seus trabalhos buscam relacionar o clima urbano e as ilhas térmicas com a incidência de enfermidades nos centros urbanos.

Aplicando o processamento de imagens, Sant'Anna Neto (2009) e Amorim (2006 e 2009) desenvolvem grande parte dos trabalhos relativos a clima urbano e ilhas de calor dentro da Geografia. Eles se utilizam de técnicas que empregam imagens GOES, medidas móveis e transectos, entre outras, para percepção das alterações campo-cidade, principalmente, no Oeste Paulista. Os trabalhos se apóiam no referencial teórico de Monteiro (1976) que enfatiza o canal termo dinâmico.

Freitas e Lombardo (2006a, 2006b, 2006c e 2008) também atuam com significativa expressão dentro da Geografia, explorando o uso de imagens termais, imagens de alta resolução e algoritmos de estudo da superfície urbana.

Sousa (2007) identificou em seu estudo sobre a cidade de Americana-SP, que há uma relação estatística significativa entre a tipologia urbana e temperatura superficial (formando ilhas de temperaturas diferentes, conforme se vai dos centros urbanos densamente edificadas às áreas rurais). Contudo se fazem necessários estudos que analisem mais a fundo todos os fatores da dinâmica entre a temperatura de superfície e a temperatura do ar, de modo a analisar mais especificamente a questão.

Outros dois estudos a serem considerados são o de Sorano (2009) sobre a cidade de Bauru-SP e Coltri (2006) sobre a cidade de Piracicaba-SP.

Em seu trabalho sobre Piracicaba – SP, Coltri (2006) identificou que as Ilhas de calor menos intensas localizam-se em regiões periféricas da cidade, com grande quantidade de área verde no bairro todo. Os bairros Parque da Rua do Porto, São Judas e Clube de Campo, embora não sejam bairros de periferia, encontram-se em bairros bem arborizados e com a presença d'água (Rio). Isto leva à formação de ilhas de calor menos intensas também, entretanto, devido à morfologia predominante composta por excesso de materiais de construção civil, asfalto e telhas, as ilhas de calor existem e são atribuídas à composição do bairro como um todo.

Dentre os resultados obtidos para a cidade de Bauru-SP, que buscavam inter-relacionar a configuração da quadra e o clima urbano, foi possível observar que os resultados derivados do estudo do comportamento térmico da malha urbana de um bairro na

cidade demonstraram que há estreita relação entre a formação dos ambientes térmicos urbanos e as características da morfologia do seu entorno.

Em estudo publicado por Katzschner (2010), foi constatado que simulações de mudanças climáticas prevêm um significativo aumento das ondas de calor durante o verão na Europa Central. Isto é intensificado localmente através do efeito da ilha de calor urbana, de modo que a qualidade de vida da população das cidades será influenciada mais frequentemente, por períodos mais longos e mais fortemente no futuro, do que tem sido até agora. No mesmo estudo foi constatado que no período noturno as diferenças de temperatura entre cidade e área rural podem alcançar até 5 °C de diferença.

Sobre Bauru-SP, Souza (2010), observou que as diferenças mínimas registradas entre as temperaturas rurais e urbanas ocorreram entre 7 e 8 horas, fato justificado pela influência das superfícies verticais presentes nas áreas urbanas. A zona rural tem acesso solar maior do que a urbana. Enquanto a área urbana, sob condições de sombreamento, ainda está em processo de perda de calor ao nascer do sol, a temperatura do ar na rural já começa a se elevar.

Os estudos das ilhas térmicas têm constatado relações com o consumo de energia elétrica. Neste mesmo estudo sobre a cidade de Bauru-SP, o consumo de energia elétrica entre os pontos sujeitos à formação de ilhas de frescor e aqueles que não apresentam o desenvolvimento do fenômeno, verificou-se queda de 12% no consumo para os locais sujeitos a ilhas de frescor. Portanto, a presença de ilhas de frescor pode ser um indicador de menor demanda de energia nos edifícios.

A variação das atividades humanas nos espaços internos diferenciados, como parques, ruas, casas, indústrias e a configuração física da cidade contribuem para variações climáticas, notando-se alterações mais significativas de temperatura, umidade e vento. Neste quadro, evidencia-se que a intensidade maior da temperatura na cidade ocorre na concentração da área construída. Nos parques ou reservatórios, as temperaturas são menores, e nas áreas industriais, conjuntos residenciais com alto índice de concentração de concreto, áreas comerciais ou áreas centrais, são encontrados valores de temperatura mais elevada. Evidencia-se assim a necessidade de serem desenvolvidas técnicas de análise do uso do solo urbano compatíveis com o objetivo do estudo, isto é, relacionar as variáveis da temperatura horizontal da cidade com o uso do solo urbano, como evidenciado por Lombardo (1985).

O desafio é o diálogo entre as escalas, as variáveis diversas e áreas apresentadas, de forma a se obter resultados passíveis de serem implantados em projetos urbanos, com finalidade de planejamento e gestão urbana ambiental.

## **1.2. Índices urbanos que podem influir no clima urbano**

Barbirato *et. al.* (2007) destaca que o termo arquitetura bioclimática surgiu na década de 60 do século XX, a partir de pesquisas de Aladar e Victor Olgyay. Destaca ainda a importância desta área para consideração dos processos climáticos oriundos do meio externo imediato na adequação climática das edificações, de modo a otimizar as condições de conforto térmico dos usuários e reduzir o consumo de energia através da utilização mais racional dos meios naturais de condicionamento.

Segundo Romero (2001) a concepção arquitetural do bioclimatismo está orientada pelo desenho urbano, sendo que, esta concepção é antes de tudo uma interação de vários elementos - climáticos, do lugar, de uma cultura - com a finalidade de criar ou recriar ambientes urbanos.

Segundo a mesma autora ainda, na arquitetura bioclimática, é o próprio ambiente construído que atua como mecanismo de controle das variáveis do meio, através de sua envolvente (paredes, pisos, coberturas), seu entorno (água, vegetação, sombras, terra) e, ainda, através do aproveitamento dos elementos e fatores do clima para melhor controle do vento e do sol.

Os principais fatores condicionantes do clima urbano, agindo como atributos bioclimatizantes da forma urbana, segundo Romero (2001) são: porosidade, rugosidade, áreas densamente construídas, tamanho da cidade, uso e ocupação do solo, orientação e largura das ruas, cobertura do solo e propriedades dos materiais urbanos, altura dos edifícios e efeitos da vegetação no clima urbano.

As informações relativas ao uso e ocupação do solo são de extrema importância principalmente para o estudo da ilha de calor em meso-escala, pois essa pode revelar, além dos padrões de absorção e reflexão de radiação solar, os padrões de consumo energético e produção de energia antropogênica por atividades, como descrito anteriormente por Eriksen (1978).

Segundo Monteiro (1990) “Uma boa carta de uso de solo é um documento básico e tem sido sempre exaltado como imprescindível ao estudo do clima urbano. Contudo ela deve ser complementada e enriquecida, neste caso, de uma série de atributos informativos

que habitualmente este tipo de modelo cartográfico negligencia ou omite. Tal é, por exemplo, o caso da coloração – em cor e tonalidade – que é de grande significado para o componente do “albedo”, ou seja, a capacidade de absorver ou refletir a radiação solar recebida.”

Conforme o uso do solo varia de um local para o outro, os materiais de superfície também variam, estando mais presentes em um ou outro tipo de uso, ou com as características naturais do local. Para Romero (2001) os materiais de superfície com alto albedo e baixa condutibilidade contribuem para criar um micro-clima de extremos, já que não auxiliam para equilibrar os contrastes, exemplos são: o mar, os vales e os solos úmidos em geral tendem a equilibrar as temperaturas, enquanto a areia, a neve ou os pavimentos não atuam da mesma maneira, sendo quentes durante o dia e frios durante a noite.

Em estudo sobre a cidade de Maracanaú (Ceará), Cajazeir *et. al.* (2010) afirmam que a cidade cresceu sem planejamento adequado, sendo os conjuntos habitacionais construídos os ambientes mais afetados pelo desenho industrial assumido pelo município. A carência de medidas planejadoras pode ser observada quanto à disposição do Distrito Industrial que está à direção predominante dos ventos e os conjuntos habitacionais construídos a oeste do distrito industrial, onde se dirigem as correntes de ventos. Desse modo, ocorre a dispersão de poluentes e odores pelas residências dos conjuntos, comprometendo a qualidade do ar e o conforto térmico para a população que ali reside.

Neste estudo também se observou nas mensurações realizadas que as atividades industriais, a intensa urbanização e as características do uso do solo local, são responsáveis pela distribuição diferenciada das temperaturas em Maracanaú. Sendo que o comportamento dos pontos amostrais variaram conforme as características de densidade de construção, arborização e localização quanto as atividades industriais, exemplificando aqui a necessidade dos estudos sobre os parâmetros da morfologia urbana que podem influir no clima urbano, par as atividades de planejamento.

### **1.2.1. Índice de vegetação**

A necessidade do conhecimento de tema vegetação no ambiente urbano destaca-se devido às funções que elas desempenham na melhoria das condições ambientais e de vida da população. Sua importância está relacionada ao conforto térmico e acústico, ao controle da poluição do ar, à redução do escoamento superficial e controle de processos erosivos, à possibilidade de lazer e recreação à população, à diversificação da paisagem construída, dentre outras.

Acredita-se que uma análise que considere os aspectos quantitativos e qualitativos das áreas verdes urbanas é de fundamental importância para que se possa realizar um planejamento urbano e ambiental condizente com a realidade e com a necessidade da população.

Segundo Matias e Caporusso (2009) os termos áreas verdes, espaços livres e, até mesmo áreas livres, têm sido frequentemente utilizados no meio científico, como sinônimos, para se referirem a presença da vegetação no ambiente urbano. Embora não haja uma definição consensual, o termo mais utilizado para designar a vegetação urbana é áreas verdes.

Em Lima *et. al.* (1994) *apud.* Oliveira (1996) são encontradas as seguintes definições:

Área Verde: onde há o predomínio de vegetação arbórea, englobando as praças, os jardins públicos e os parques urbanos. Os canteiros centrais e trevos de vias públicas que tem apenas função estética e ecológica devem também ser conceituados como áreas verdes, entretanto, as árvores que acompanham o leito das vias públicas, não devem ser consideradas como tal.

Arborização Urbana: diz respeito aos elementos vegetais de porte arbóreo dentro da urbe, tais como árvores e outras. Neste enfoque, as árvores plantadas em calçadas, fazem parte da arborização urbana, porém não integram o Sistema de Áreas Verdes.

Na mesma discussão segue Rossetti *et. al.* (2010) que afirma existir uma ausência de padrões e critérios para avaliação das áreas verdes urbanas, tornando-se difícil estabelecer comparações entre as diversas áreas verdes.

Segundo Rossetti *et. al.* (2010) floresta urbana enfoca o elemento vegetal como coletivo estando relacionado com cobertura vegetal dos diversos espaços do perímetro urbano, sendo a Silvicultura Urbana sinônimo para floresta urbana e tem-se estabelecido como a ciência que objetiva o estudo de técnicas de cultivo e manejo de árvores no meio urbano que possam contribuir para alcançar o bem estar fisiológico, social e econômico.

Entretanto, para a mesma autora, o termo arborização urbana acabou sendo muito mais difundido no Brasil confundindo-se às vezes com as definições de floresta urbana. A arborização urbana remete a um padrão de distribuição de árvores em um território urbano.

Velasco (2007) explica que as árvores em ambiente urbano têm a capacidade de reduzir o escoamento superficial (runoff) através da interceptação da precipitação, de absorver poluentes, de modificar o fluxo de radiação solar que atinge a superfície, de reduzir a temperatura do ar, de alterar a velocidade do vento, entre outros. Reafirmando a importância destas no consumo de energia elétrica, as árvores têm a capacidade de reduzir o uso do condicionamento de ar artificial. Ademais, as árvores são capazes de filtrar até 70% da poluição do ar.

Segundo Romero (2001), as principais diferenças entre ambientes com e sem vegetação são: a menor capacidade calorífica e condutibilidade térmica dos materiais dos edifícios, radiação solar absorvida pelas folhas, e reflexão pequena (albedo baixo), a maior taxa de evaporação, a redução da velocidade do vento pela vegetação.

Para Romero (2001) a vegetação contribui de forma significativa ao estabelecimento dos micro-climas. Um simples espaço gramado já pode influir por absorver maior quantidade de radiação solar e, por sua vez, irradiar uma quantidade menor de calor que qualquer superfície construída, uma vez que grande parte da energia absorvida pelas folhas é utilizada para seu processo metabólico, enquanto em outros materiais toda a energia absorvida é transformada em calor.

No caso de temperatura influenciada pela presença de árvores, o efeito ocorre por forma direta ou indireta, através de sombreamento e de evaporação, respectivamente. Em Simpson e McPherson (1996) *apud*. Velasco (2007) ressalta-se ainda a importância da arborização urbana no consumo de energia elétrica em residências, por meio da interceptação da radiação solar incidente. Citando Simpson (1998), o autor explica que em estudo feito em Sacramento na Califórnia, as árvores lá plantadas são responsáveis por uma economia de energia elétrica de aproximadamente 157 GWh, que equivale a 18,5 milhões de dólares.

Para Kramer e Koslowski (1970) e Detzel (1992) *apud*. Oliveira (1996), uma árvore pode transpirar até 400 litros de água diariamente, equivalendo a 5 condicionadores de ar com capacidade de 2.500 kcal cada um, funcionando durante 20 horas por dia. Assim, as árvores alocadas estrategicamente ao redor de edificações reduzem em 50% os custos energéticos de refrigeração, sendo que o investimento em plantio é recuperado num prazo de 1-3 anos. A adaptação desta e outras informações realizadas por Kielbaso (1994) mostram que a economia de energia para as cidades norte-americanas atinge valores em torno de 8,7% devido aos benefícios verdes urbanos.

Uma abordagem diferente da trabalhada nesta dissertação em relação à vegetação e consumo de energia elétrica é a apresentada por Rossetti *et. al.* (2010), na qual a energia elétrica apresenta-se contra a arborização, pois esta se apresenta como um obstáculo nas redes de distribuição de energia elétrica.

Rossetti *et. al.* (2010) afirmam ainda que existem indícios de que a temperatura da superfície sofre influência da cobertura de solo existente. Porém, segundo esta, não se deve fazer relações diretas entre a presença de cobertura vegetal e ilhas de calor urbano, pois muitos outros são os fatores que atuam na criação deste fenômeno climático. Entretanto, apesar de não considerar a relação direta, considera a relação importante, já que a diminuição de temperatura em áreas com presença de árvores indica a melhoria na sensação do conforto humano, e redução da necessidade de ar condicionado. Essas seriam algumas vantagens de plantar árvores em locais adjacentes a edificações.

### **1.2.2. Taxa de Ocupação e Índice de Aproveitamento**

De acordo com Givoni (1998) a densidade das várias áreas construídas numa cidade afeta o clima local em cada uma das áreas urbanas. As edificações modificam principalmente as condições dos ventos, o balanço de radiação e a temperatura do ar. Portanto, a fração de solo coberto por edifícios num determinado local é um fator relevante na avaliação do efeito da urbanização no clima.

O autor explica que a distância entre os edifícios, afeta as condições de ventilação externa e internamente. Sabe-se que o aumento na densidade da área construída reduz o fluxo de ar na área urbana, como resultado da maior rugosidade e conseqüente fricção próxima do solo.

No espaço densamente construído, a trajetória da radiação solar incidente nos edifícios é complexa. Uma parte significativa da entrada de radiação chega às coberturas acima do nível do solo, e somente uma pequena parte chega ao solo. O tamanho dos edifícios, com pequena distância entre eles, faz com que a quantidade de radiação solar incidente nas ruas e em outras áreas abertas dos edifícios seja pequena. A radiação que incide nas fachadas dos edifícios é parcialmente refletida nas paredes dos edifícios vizinhos. No final desse processo, apenas uma pequena parte da radiação solar incidente nos edifícios é refletida para o céu, enquanto a maioria é absorvida pelas paredes das construções e, de acordo com a cor de cada edificação, pode ser emitida de volta ao céu no final da tarde ou à noite (Givoni, 1998).

Como a perda de calor por radiação é o fator principal do processo de resfriamento do solo e do ar que o circunda durante a noite, o resultado da insatisfatória descarga de radiação do espaço urbano abaixo do nível das coberturas é expresso primeiramente pelo lento resfriamento da área urbana durante a noite em comparação com a área rural. Portanto, quanto mais densa é a área construída menor é a taxa de resfriamento noturno, e essa é uma das maiores causas da formação das “ilhas de calor”.

Considerando exemplos práticos sobre a taxa de ocupação, Assis (1990) *apud* Duarte (2010), usando o exemplo de Belo Horizonte, demonstrou que em áreas verticalizadas, mas com maior área livre, as condições de conforto térmico são melhores do que em áreas horizontais com maior taxa de ocupação. Tal indicativo leva a legislação incentivar a construção em altura em determinados locais, mas com taxas de ocupação mais baixas e recuos e afastamentos laterais mínimos adequados.

Em estudo de Duarte (2010) foi ainda comprovada a correlação positiva da temperatura em relação à taxa de ocupação e índice de aproveitamento, e negativa, no caso de vegetação e de água.

Em termos gerais, uma forma de se obter uma aproximação da densidade urbana, como proposto por Sorano (2009), é através de índices urbanísticos usualmente empregados pelos órgãos públicos em aprovação de projetos, mas que normalmente não são associados ao comportamento térmico da cidade.

A autora procurou estabelecer uma relação entre temperaturas e índices como taxa de ocupação e índice de aproveitamento. A taxa de ocupação representa a porcentagem do terreno que pode ser ocupada pela projeção da edificação, não dependendo diretamente do número de pavimentos. Já o índice de aproveitamento é um número que, multiplicado pela área do terreno, indica a quantidade máxima de metros quadrados que podem ser construídos, somadas as áreas de todos os pavimentos.

Normalmente estes índices são calculados por lote, porém Sorano (2009) propõe seu cálculo pela média da quadra. A classificação por índice de aproveitamento médio de uma quadra é determinada pelo índice de aproveitamento médio simplificado para cada quadra através da seguinte relação:

$$IA = \frac{(H_{\text{médiaquadra}} * A_{\text{construída}})}{A_{\text{totalquadra}}}$$

Onde:

IA é o índice de aproveitamento médio da quadra

$H_{\text{médioquadra}}$  é altura média da quadra em m

$A_{\text{construída}}$  é a área construída da quadra em  $m^2$

$A_{\text{totalquadra}}$  é a área total da quadra em  $m^2$

### **1.2.3. Fator de Visão do Céu**

Givoni (1998) afirma que a intensidade da perda de radiação por ondas longas no período noturno, no qual se tem com maior frequência a formação de ilhas de calor, depende da porção do céu na qual ela é descarregada, ou seja, a fração do céu que a parede e a rua “vêem”, ou seja, o Sky View Factor (Fator de Visão do Céu).

Ou seja, o fator de visão do céu é uma das principais causas da ilha de calor urbana, porque o resfriamento das superfícies terrestres é proporcional à área de céu visível a partir desta superfície.

Para Souza *et.al.* (2008) o fator de visão do céu representa uma estimativa da área visível do céu a partir de um ponto de observação na malha urbana, sendo definido como a razão entre a radiação total recebida por uma superfície plana e aquela recebida por todo o ambiente radiante. É, portanto, um parâmetro adimensional da quantidade do céu visível em um ponto.

Segundo Souza *et. al.* (2007), a grandeza do fator de visão do céu varia de 0 (nenhuma visibilidade do céu) a 100 (100% de visibilidade do céu). Quanto maior a área visível, maior a parcela de luz natural disponível. Entretanto, pode também representar um maior acesso solar, levando a uma maior recepção de energia térmica.

Uma observação aqui feita é que segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1991) o termo céu é adotado como sinônimo de abóbada celeste. Sendo que segundo Ribeiro (2009) entende-se que a abóbada celeste é limitada pela porção visível da atmosfera e configura-se como uma superfície hemisférica (meia esfera) imaginária, que envolve o ponto de observação na Terra.

Sob condições urbanas, a maior parte da abóbada celeste vista por uma superfície vertical está obstruída por outros edifícios. Desta forma, a troca de radiação por ondas longas entre as superfícies verticais não resulta numa significativa perda de calor. A maior parte da radiação emitida por paredes ou pelo solo em áreas densamente construídas é

reabsorvida por outras paredes, conseqüentemente, a perda por radiação de ondas longas resulta apenas num pequeno resfriamento do espaço próximo ao nível do solo.

Logo, este fator pode determinar o índice de perda de radiação, de acordo com a densidade da área. Define-se assim, mais um parâmetro a ser utilizado na determinação de locais com maior ou menor probabilidade para a formação de ilhas de calor em micro-escala.

Para Souza *et. al.* (2007 e 2008) tal fator relaciona-se ainda ao consumo energético além do conforto térmico. Do ponto de vista do consumo energético existe uma tendência de que, quanto menor o fator de visão do céu, maior o consumo energético, pois se passa a ter uma maior demanda por luz artificial e a formação da ilha de calor em micro-escala, leva ao maior uso de ar condicionado e ventiladores artificiais.

Segundo Leme, Pedrotti e Souza (2005), vários são os métodos existentes para a determinação do fator de visão do céu. O método desenvolvido por Souza, Rodrigues e Mendes (2003), denominado extensão 3DSkyView, por exemplo, promove o cálculo do fator de visão do céu através de um algoritmo incorporado ao software ArcView, desenvolvido pela ESRI (Environmental Studies Research Institute). O cálculo com a extensão 3DSkyView se baseia na projeção estereográfica do entorno analisado e sua sobreposição com o mesmo tipo de projeção para a abóbada celeste dividida em várias partes. Esta sobreposição permite gerar o valor do fator de visão do céu para um ponto qualquer analisado no solo terrestre, apresentando como resultado o valor da porcentagem de céu obstruída.

### **1.3. Consumo Energético**

Segundo Achão (2003), o consumo de energia elétrica residencial está vinculado à busca do conforto. A classe de renda e as diferenças regionais, as quais a pessoa está submetida, faz com que essa obtenha produtos para seu conforto e a partir disso tenha certo consumo de energia elétrica residencial.

Ainda segundo Achão (2003), embora o setor residencial do ponto de vista energético seja um setor de importância média, por não ter produto próprio, do ponto de vista social, o consumo de energia pelo setor residencial é da maior relevância, já que energia é condição indispensável para se desfrutar das comodidades mais essenciais da vida moderna.

O consumo energético se dá em duas formas: direta ou indireta. Direta é aquela ligada ao uso de equipamentos domésticos; e indireta é aquela embutida nos bens e serviços. No setor residencial são considerados, derivados de consumo direto: cozimento de alimentos, aquecimento de água, iluminação, condicionamento ambiental (condicionadores artificiais), conservação de alimentos (geladeira e freezer), serviços gerais (uso de máquina de lavar roupas, microondas, ferro elétrico, computador, etc.) e lazer (televisão, DVD, etc.).

Em dados divulgados pela CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz) em 2001, as porcentagens a destinados usos do consumo residencial se dividiam em: conservação de alimentos (25%-30%); aquecimento de água (25%-35%); iluminação (15%-25%); televisão (10%-15%), ar condicionado (2%-5%), entre outros.

Para Achão (2003), desde 1970 vem havendo um incremento no consumo energético final por setor, sendo os três primeiros setores, industrial, residencial e transportes. Em 1970 o residencial era o maior consumidor, seguido da indústria e do transporte. Entretanto, em 1975, a indústria passou a frente do setor residencial, e em 1980 o transporte também passou a frente do setor residencial, colocando este em terceiro lugar.

Dentro do setor residencial Achão (2003) estabelece três fatores básicos para seu incremento na sua evolução:

1. Atendimento à demanda reprimida, especialmente através das novas ligações de energia elétrica;
2. Facilidade de acesso a financiamentos e transferência de renda, propiciada pelo Plano Real em seus primeiros anos de vigência. Com a estabilização da moeda, houve um expressivo incremento na aquisição de equipamentos eletroeletrônicos;
3. Tendência crescente observada nos grandes centros urbanos de concentração de atividades profissionais e de lazer nas residências, com maior segurança e economia.

Achão (2003) ressalta também a importância da localização geográfica de um município ou região. Nos estados do Norte e Nordeste o percentual de gasto com aquecimento de água é bem menor que nos outros estados, devido ao clima quente que evita a necessidade deste gasto. Entretanto, por este mesmo motivo, o gasto com condicionamento ambiental (ar condicionado e ventiladores) também é maior que nos outros estados.

A importância do poder aquisitivo também é ressaltada, já que nas classes mais altas o consumo com serviços gerais são maiores, devido a maior difusão de equipamentos eletrônicos.

A Tabela 2 é referente ao consumo de diversos equipamentos:

<b>Tabela 2. Consumo Médio de Alguns Produtos</b>				
<b>Aparelhos Elétricos</b>	<b>Potencia Média/Watts</b>	<b>Dias Estimados Uso/Mês</b>	<b>Média Utilização/Dia</b>	<b>Consumo Médio Mensal (kWh)</b>
<b>Aparelho de som</b>	80	20	3 h	4,8
<b>Ar condicionado 7.500 BTU</b>	1000	30	8 h	120,0
<b>Aspirador de pó</b>	100	30	20 min	10,0
<b>Chuveiro elétrico</b>	3.500	30	40 min	70,0
<b>Ferro elétrico automático</b>	1.000	12	1 h	12,00
<b>Forno de microondas</b>	1.200	30	20 min	12,00
<b>Geladeira duas portas</b>	300	-	-	80
<b>Lâmpada fluorescente compacta 15W</b>	15	30	5 h	2,2
<b>Lâmpada incandescente 60W</b>	60	30	5 h	9,0
<b>Lavadora de louças</b>	1.500	30	40 min	30,0
<b>Lavadora de roupas</b>	500	12	1 h	6,0
<b>Liquidificador</b>	300	15	15min	1,1
<b>Microcomputador</b>	120	30	3 h	10,8
<b>Radio relógio</b>	5	30	24 h	3,6
<b>Secador de cabelos</b>	1400	30	10 min	7,0
<b>Secadora de roupas</b>	1000	8	1 h	8,0
<b>TV em cores 30"</b>	90	20	5 h	13,5
<b>Ventilador de teto</b>	120	30	8 h	28,8
<b>Vídeo game 15</b>	15	15	4 h	0,9

Fonte: Procel.

<http://www.cpfl.com.br/SeuConsumo/CálculodeConsumo/tabid/1090/language/pt-BR/Default.aspx> Acessado em 22/08/2010, às 15:07 horas.

O acesso ao consumo não deve ser apenas distinguido de acordo com a classe de renda do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), mas pelo padrão de classificação sócio-econômica da ABEP (Associação Brasileira de Estudos Populacionais).

A classificação do IBGE, prevê a divisão em 5 classes sociais, baseadas na faixa de renda do indivíduo.

A classificação da ABEP prevê uma classificação na qual se adotam critérios variados além da renda, pois há famílias de mesma classes com rendas diferentes e pessoas de mesma renda em classe diferentes. Esta classificação avalia que pessoas pertencem à mesma classe de seu domicílio e considera em suas análises: número de

aparelhos de TV em cores, número de rádios, número de banheiros, número de empregadas domésticas, posse de máquina de lavar roupa, posse de geladeira e freezer, posse de vídeo cassete ou DVD e nível de instrução do chefe de família.

Tal classificação torna-se útil para estudos de consumo já que indica o acesso ao consumo, o que não necessariamente é indicado pela classe de renda do IBGE, pois indivíduos com mesma renda podem ter hábitos de consumo diferenciados.

Barbirato *et. al.* (2007) lembra que no Brasil e no mundo, a redução do consumo de energia elétrica vem sendo uma preocupação crescente. As fontes de energia não renováveis estão cada vez mais caras, gerando motivos, além dos ambientais, também econômicos e políticos para alternativas sustentáveis de geração de energia.

Givoni (1998) destaca que a necessidade de consumo energético na obtenção de um conforto ambiental apropriado não se deve apenas a um problema decorrente das condições climáticas, mas, muitas vezes, ao desconforto gerado por uma organização espacial urbana não compatível com o meio. Ainda relembra as necessidades econômicas que apóiam a conservação de energia nas edificações, e a relevância do tema face ao seu potencial de impacto tecnológico, social e ambiental.

Especificamente ao que se refere às condições climáticas de um local e suas relações com o consumo de energia elétrica, um estudo realizado por Velasco (2007), para três pontos do município de São Paulo, indicou que existe uma relação significativa entre o incremento do consumo de energia elétrica, com o aumento da quantidade de aparelhos de ar condicionado. Além disso, o mesmo estudo mostrou que a redução das temperaturas máximas diárias relacionadas com as áreas de maior porcentagem de cobertura vegetal é a mesma que apresentou menor necessidade de refrigeração artificial, pois a cobertura vegetal é indicada como importante variável para o resfriamento do ambiente, diminuindo a necessidade de uso de ar condicionado pelo menor estresse térmico.

Souza (2010) explica que apesar da ilha de calor urbana ser um fenômeno bastante estudado, poucos trabalhos quantificam sua relação com o consumo de energia. A autora aponta os estudos de Santamouris *et. al.* (2001) e os de Williamson e Erell (2001), que demonstram que além de existir uma redução da energia para aquecimento, ocorre também um aumento na carga de resfriamento de edifícios e que estão diretamente relacionadas à distribuição espacial da ilha de calor urbana.

Oliveira e Souza (2007) também constatam que as maiores faixas de consumo de energia coincidiram em sua pesquisa com as maiores amplitudes térmicas, representando que, áreas urbanas de maior instabilidade térmica também representam áreas de edificações mais consumidoras. Quando foi feita a mesma análise, considerando-se as temperaturas médias do ar e da superfície, esta relação tornou-se um pouco menos evidente.

Segundo Barbirato *et. al.* (2007), analisando o consumo energético do edifício num aspecto mais amplo, verifica-se a grande influência energética exercida por fatores externos ao mesmo, fatores relacionados à configuração da cidade e ao entorno. Consequentemente, apresentando a ilha de calor como um elemento determinante no consumo de energia dos edifícios.

Segundo Souza *et. al.* (2006, 2007, 2008) em seus estudos com fator de visão do céu para consumo energético e conforto térmico, foi indicada uma clara relação entre fator de visão do céu e consumo de energia (2007) e fator de visão do céu e conforto térmico (2006, 2008), o que indica que possivelmente exista um comportamento linear entre os fatores.

Para Souza (2006) o fator de visão do céu é considerado uma das causas da ilha de calor urbana, embora sua relação numérica com a temperatura urbana seja de difícil determinação, no entanto, indica que existe uma tendência para ocorrências de maiores temperaturas médias do ar em locais sujeitos a menor visibilidade do céu.

Segundo estudo realizado na cidade de Bauru sobre o consumo de energia e FVC, pode-se observar que, as maiores faixas de consumos de energia estudadas (de 289 a 607 KWH/mês) coincidem com as maiores amplitudes térmicas; a faixa de consumo mais baixa estudada (de 75 a 162 KWH/mês) refere-se à menor amplitude térmica. O mesmo acontece para as temperaturas médias do ar e da superfície. Isto mostra uma tendência de que áreas urbanas de maior instabilidade térmica também sejam áreas de edificações mais consumidoras, segundo Pedrotti, Leme e Souza (2005).

Complementando este estudo, foram realizados outros dois por Almeida e Souza (2007), e Souza *et. al.* (2008) para 40 pontos na cidade de Bauru-SP, no qual se confirmou que o baixo índice de fator de visão do céu, a maior formação de ilhas de calor e o melhor nível de renda dos moradores, ocasionaram um padrão maior de consumo de energia elétrica.

No estudo de Almeida e Souza (2007) foram geradas ainda diversas cartas temáticas que identificaram:

1. Nítida semelhança entre o padrão de renda familiar e o de consumo médio mensal, sendo as regiões de maior consumo de energia praticamente as mesmas em que se localizam as famílias de maior poder aquisitivo;
2. Quanto à geometria urbana, os principais pontos de baixo fator de visão do céu do bairro foram encontrados em áreas com a característica de grande consumidor, indicando que a verticalização e a densidade construtiva nesses pontos mostraram-se causadores de menores amplitudes térmicas, por dificultarem, tanto o aquecimento, quanto a dissipação de calor das superfícies, o que leva a formação de ilhas de calor.

Ainda Souza (2010), em outro estudo realizado para a cidade de Bauru-SP, obteve resultados que apontam existir um aumento de 8,5% de consumo de energia elétrica com o aumento de 1°C na intensidade da ilha de calor e indicam a ocorrência de uma queda de 12% no consumo em pontos com formação de ilhas de frescor.

Além de se caracterizar como um problema econômico e de degradação ambiental, o consumo excessivo de energia elétrica também provoca o agravamento de problemas sociais. Para que haja o aumento da produção de eletricidade, os impactos ambientais tornam-se inevitáveis, principalmente os causados pelas novas usinas, como inundações, deslocamentos de populações (no caso de hidrelétricas) ou poluição e riscos com a segurança pública (no caso de usinas nucleares ou termoeletricas). Os investimentos na produção de energia implicam na redução dos investimentos em outras áreas (saúde, educação e habitação).

A partir disto conclui-se que do ponto de vista do conforto natural, o ambiente urbano é prejudicado pela geometria, o que leva a formação das ilhas de calor, e conseqüente aumento dos gastos com energia elétrica. Barbirato *et. al.* (2007) afirma a importância de se avaliar tais relações do ambiente com o consumo de energia elétrica, pois seu entendimento pode se constituir em ferramenta útil para o projetista criar ambientes termicamente confortáveis e energeticamente eficientes em edificações e espaços externos.

#### **1.4. Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas**

O termo geoprocessamento, segundo Moreira (2005) denota o conjunto de conhecimentos que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos geograficamente identificados, bem como extrair informações quando eles são observados por um sistema sensor. É uma ferramenta essencial para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens, para posterior interpretação. Um exemplo de ferramenta do geoprocessamento é o Sistema de Informações Geográficas, que é definido como:

*“A associação de elementos de uma Base Cartográfica a um Banco de Dados Relacional, permitindo desenvolver aplicações voltadas para uma administração otimizada. Sistema de computador composto de hardware, software, dados e procedimentos, construídos para permitir a captura, gerenciamento, análise, manipulação, modelamento e exibição de dados referenciados geograficamente para solucionar, planejar e gerenciar problemas.”*

Dicionário de Cartografia – IBGE

Estes precisam armazenar grandes quantidades de dados e torná-los disponíveis a operações de consulta e análise. Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SBGD) são ferramentas fundamentais para os SIG, embora alguns sistemas comerciais ainda utilizem sistemas de arquivos para fazer o gerenciamento dos dados.

O sensoriamento remoto pode ser definido como uma das técnicas, atividades e/ ou conjunto de conhecimentos englobado pelo geoprocessamento, assim como o SIG. Esse compreende a aquisição de informação sobre um alvo ou objeto sem a necessidade de se encontrar em contato direto com ele. Assim, este envolve a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração da informação) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos alvos ou objetos registrados pelos sensores.

Esta energia eletromagnética corresponde à ordenação em maneira continua em função de seu comprimento de onda e sua frequência, resultando no espectro eletromagnético.

Coltri (2006) conclui em seu estudo que o sensoriamento remoto termal é ferramenta valiosa em estudos de comportamento térmico, pois permite obter o desenho termal das superfícies. Um importante satélite nesta abordagem é o Landsat.

O Landsat 7 foi lançado em abril de 1999, com um novo sensor, o ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Sua imagem é composta por 8 bandas espectrais, que podem ser combinadas e administradas de acordo com a finalidade que se tem.

O Landsat 7 é um satélite de média resolução (resolução espacial de 15 metros na banda pancromática, 30 metros para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e 60 metros para a banda termal), sendo que permite a monitoração de uma área por vários meses, em intervalos de 16 em 16 dias.

A limitação do sensor está em seu horário de passagem no Brasil, que é na parte da manhã. Nesse horário, fenômenos como a ilha de calor ocorrem em menor intensidade (Givoni, 1998).

Coltri (2006) explica que além da resolução espacial, as imagens de satélite possuem ainda a resolução espectral, que é a medida da amplitude das faixas espectrais as quais o sensor é sensível. O autor, citando Novo (1989), afirma que um sensor que opera em uma faixa de 400nm a 500 nm possui um poder de resolução espectral maior que um outro que opere na faixa de 400nm a 600 nm, pois será capaz de registrar variações no comportamento espectral dos alvos em faixas mais estreitas do espectro eletromagnético.

Coltri (2006) destaca também a resolução radiométrica, citando Vitorazzi (1992), se referindo à sensibilidade do sistema sensor em detectar diferentes níveis de intensidade do sinal de retorno, isto é, nos níveis de cinza. Cita o Landsat, cujo sensor MSS (“multispectral scanner system”) produz imagens com 128 níveis de cinza, enquanto o sensor TM (“thematic mapper”) 256 níveis de cinza.

As principais melhorias do Landsat 7 para o estudo de clima urbano em relação a sua última versão, o Landsat 5, são: uma banda Pancromática com resolução espacial de 15 m, e aumento da resolução espacial da banda termal para 60 metros, que era de 120 metros no Landsat 5.

De suas bandas e suas aplicabilidades podem ser citadas:

- Banda 1 Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ ) (0,45 - 0,52). Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.

- Banda 2 Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ ) (0,52 - 0,60). Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
- Banda 3 Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ ) (0,63 - 0,69). A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação e sem vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
- Banda 4 Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ ) (0,76 - 0,90). Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno. Permite a identificação de áreas agrícolas.
- Banda 5 Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ ) (1,55 - 1,75). Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
- Banda 6 Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ ) (10,4 - 12,5). Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
- Banda 7 Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ ) (2,08 - 2,35). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia.

Segundo Amorin *et. al.* (2009) as imagens por satélite são úteis para estimar a temperatura da superfície, dependendo do tipo de uso e ocupação do solo. Sendo que estas, podem ajudar a compreender a distribuição das fontes de calor dentro de uma área urbana que levam à formação da ilha de calor urbana.

Em seu estudo sobre Presidente Prudente e Rennes (França), Amorin *et. al.* (2009) indicou que a localização das temperaturas mais elevadas mostrou-se diretamente relacionada à densidade de construções. O excesso noturno de calor, foi atribuído à liberação do calor estocado durante o dia pelas edificações, que pode ser observada na

imagem landsat 7 tratada. Nas mesmas imagens do estudo podem ainda ser observados, os limites das áreas construídas em direção ao rural, definindo o limite da ilha de calor.

Imagens do Landsat são disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em todas as bandas. Algumas potencialidades de suas bandas para o estudo aqui desenvolvido são:

- As bandas 3 e 4 podem ser utilizadas para realização do Normalized Difference Vegetation Index ou Índice de Vegetação (NDVI), através do programa IDRISI 3.2.
- A banda 6 pode ser tratada por um algoritmo no software IDRISI 3.2, resultando em uma estimativa da temperatura radiométrica de superfície. A imagem termal resultante do sensor Landsat é constituída por uma composição de *pixel* em forma de uma matriz (x,y). O *pixel* irá representar uma área da superfície imageada da terra pelo satélite. A cada *pixel* está consorciado um valor que indicará a intensidade da radiação eletromagnética refletida de cada material, seja a cobertura de uma edificação, asfalto, concreto ou vegetação que aparecem na imagem (Meneses e Neto, 2001). Sendo assim, a Imagem Termal pode estimar a temperatura radiométrica da superfície urbana e não a temperatura do ar.

A análise multicritério é definida como um conjunto de técnicas e métodos, computacionais e matemáticos, aplicados para auxiliar ou apoiar o processo de tomada de decisões. Diante os diversos critérios se estabelece uma relação de importância entre eles.

Esta é eficiente para os casos em que se têm diferentes variáveis ou condicionantes que contribuem para a ocorrência de um determinado processo, onde se deve, portanto, determinar a importância relativa de cada uma delas. Neste procedimento, diferentes fatores que influenciam o processo são sintetizados através do cruzamento ordenado por pesos previamente definidos por uma equipe, geralmente multidisciplinares.

Segundo Corseuil e Campos (2007) a análise multicritério tem sido empregada em diversos estudos relacionados ao planejamento ambiental como definição de áreas mais adequadas para instalação de empreendimentos, análise de risco ambiental, análise de sensibilidade ambiental e planejamento de uso das terras.

Roy (1996) *apud*. Corseuil e Campos (2007) explica que a análise multicritério é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários), fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada. Ainda afirma que a integração entre os métodos de

análise de multicritérios e os SIGs tem sido um avanço na metodologia de sobreposição de mapas para a determinação da adequação de uso da terra, sendo entendida como um processo que combina e transforma dados espaciais em uma resposta para a tomada de decisão.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Área de Estudo

A pesquisa tem como área de estudo a área urbana de São Carlos, que se encontra no interior do estado de São Paulo, entre as coordenadas 21°35'45" e 22°09'30" de latitude Sul e 47°43'04" e 48°05'26" de longitude oeste.



Figura 2. Localização São Carlos

Fonte: [www.dep.ufscar.br/localizacao.php](http://www.dep.ufscar.br/localizacao.php) Acessado em 06/08/2010, às 12:46 horas.

A fração urbana do município abrange uma área de 67,52 km<sup>2</sup>, representando 6% da área municipal. Em 2007 contava com uma população urbana estimada de 212.956 habitantes, sendo que em 2000 era de 183.369 habitantes e em 1940, 25.746 habitantes (IBGE, 1940, 2000, 2009). Corresponde ao 14º maior município do interior do estado em número de residentes. O motivo atribuído ao crescimento de sua população é o crescimento urbano industrial da região e inicialmente a estação ferroviária.

O município de São Carlos está na borda oeste das Cuestas Basálticas, próximo ao planalto ocidental. Seu relevo está assentado na unidade geomorfológica do Planalto Residual de São Carlos, tendo aspecto bastante movimentado, constituindo mesas e morros isolados, resultado de intensa erosão provocada pelos rios que, partindo de zonas elevadas,

entalharam profundamente o planalto. A altimetria do município varia 480 metros, sendo as menores cotas 520 metros e as maiores 1000 metros, no sítio urbano estão por volta de 775 metros (Bortolucci, 1983).

De maneira geral, os solos do município são caracterizados por alta permeabilidade, sendo constituído em sua maioria, por zonas de solo latossolo-vermelho-amarelo e de areia quartzosa profunda, com característica arenosa.

Possui clima tropical de altitude Cwa, pela classificação de Köppen (1936) que determina um clima com verões quentes e invernos secos. Os ventos predominantes são nordeste, seguidos de ventos sudeste.

Em estudos prévios realizados sobre o clima urbano do município Souza (1996) *apud*. Barbosa (2010) constatou que a influência da área urbana sobre as características térmicas é mais significativa no período noturno (do pôr do sol, ao sol nascente), com a formação da ilha de calor neste período, além de constatar que a geometria urbana não é o principal fator deste fenômeno. Esta também ressaltou que após atingir seu máximo (entre 2 a 5 horas após o pôr do sol), a intensidade da ilha de calor decai, sendo eliminada quando ocorre a temperatura máxima do dia seguinte.

Segundo Barbosa (2010) os resultados obtidos em sua pesquisa sobre intensidade de ilhas de calor em São Carlos, na estação de verão, observou-se que a maior intensidade da ilha de calor, no período de verão ocorreu na atuação da massa Tropical Atlântica sobre a região, sendo o tipo de tempo habitual caracterizado por cenário com predominância de céu claro, alta incidência de radiação solar e valores de temperaturas elevadas com máxima diária acima das médias das máximas indicadas pelas Normais Climatológicas. Observou-se também, que as características do entorno construído exerceram maior influência no comportamento térmico urbano, na qual as diferenças térmicas entre diferentes regiões dentro da malha urbana de São Carlos foram superiores a 5°C.

## **2.2. Modelo conceitual**

O modelo conceitual deste trabalho representa a forma com a qual o embasamento teórico, procedimentos metodológicos e variáveis se relacionam (Figura 3).

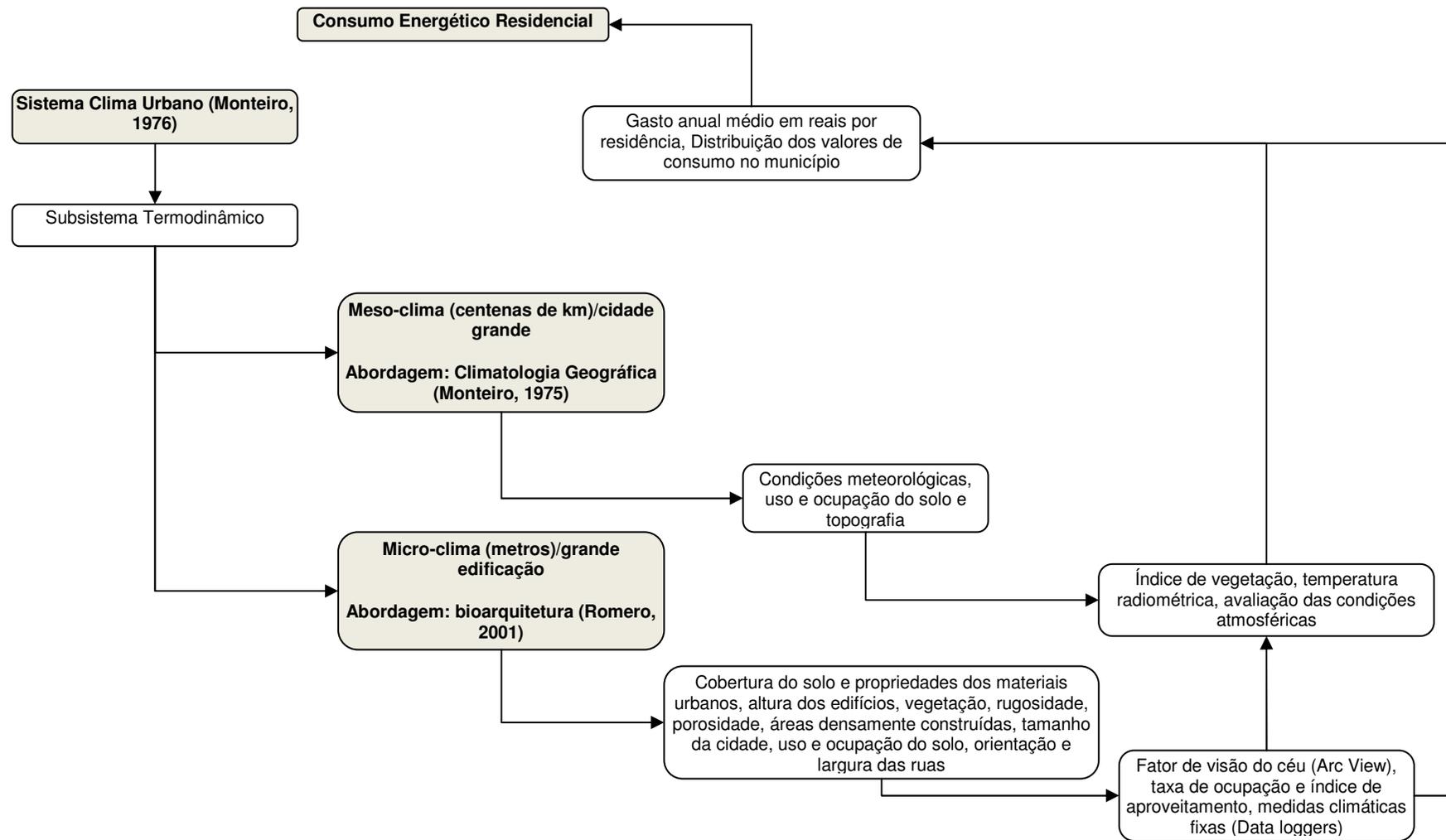


Figura 3. Modelo conceitual da pesquisa

### **2.3. Materiais e Métodos**

O presente projeto envolveu três variáveis de estudo: a morfologia urbana, o clima e o consumo energético.

No caso específico da variável clima, esta foi estudada em duas escalas: a micro-escala e a meso-escala. Tal necessidade advém da falta de consenso existente entre as áreas do conhecimento de Geografia e Arquitetura, que apresentam pouca interação, definição pouco objetiva do clima dentro de cada escala, e subjetividade quanto à influência dos parâmetros em cada escala.

Os procedimentos metodológicos estão apresentados nas etapas que seguem, com base no modelo conceitual mostrado.

#### **Etapa 1. Inventário**

- Imagem Landsat 7 (disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, data da imagem: 16/05/2003)
- ArcGIS 9.2 (disponibilizado através do convênio UFSCar-USP-UMinho-UNESP- UCoimbra)
- ArcView (disponibilizado pelo Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos (USP))
- IDRISI 3.2 (disponibilizado pela Escola Politécnica da USP)
- Base cartográfica cadastral (disponibilizada pelo Laboratório de Geoprocessamento do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos - DeCIV/UFSCar)
- Dados climáticos da área rural (disponibilizados pela Estação Automática do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET)
- Dados de consumo energético (disponibilizados pela Pesquisa Origem-Destino de São Carlos - Rodrigues da Silva (2008))
- Imagens Google Earth
- Data Loggers - HOBO H8 da Onset (disponibilizados pela Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação (FAAC), da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Bauru)

#### **Etapa 2. Revisão Bibliográfica**

**Etapa 3. Seleção de pontos de controle:** foram definidos 3 pontos de controle para serem estudados na micro-escala. Como critério, foram selecionados pontos próximos uns dos outros, para evitar a interferência da topografia, que não foi selecionada como parâmetro de estudo. A obtenção de dados referentes a alturas e áreas foi realizada no dia 14/10/2009 . Após, estes foram espacializados na base cadastral (Laboratório de Geoprocessamento – DeCIV/UFSCar), no software ArcGIS 9.2.

#### **Etapa 4. Estudo do Clima na Micro-escala**

**Etapa 4.1. Processamento de dado climático (Temperatura):** foram realizadas medidas de temperatura nas amostras selecionadas, registradas em data loggers de hora em hora. Os aparelhos foram instalados a uma altura de 3,5 metros do solo. As datas das medições foram: 28/04/2010 a 04/05/2010; 06/06/2010 a 12/06/2010; 22/06/2010 a 28/06/2010;

**Etapa 4.2. Fator de visão do céu:** os dados de área e altura obtidos em campo foram inseridos na plataforma ArcView e manipulados na extensão 3DSkyView, para obtenção do fator de visão do céu nas amostras;

**Etapa 4.3. Taxa de ocupação e índice de aproveitamento:** após inseridos no ArcGIS 9.2, foram aplicados aos dados, os cálculos de taxa de ocupação e índice de aproveitamento nos pontos de controle;

**Etapa 4.4. Índice de vegetação:** foi aplicado o Normalized Difference Vegetation Index, obtido através das bandas 3 e 4, para obtenção do índice de vegetação. Este foi calculado a partir do IDRISI 3.2.

#### **Etapa 5. Estudo do Clima na Meso-escala**

**Etapa 5.1. Estimativa da Temperatura Radiométrica:** através do algoritmo termal processado no programa IDRISI na banda 6 da imagem Landsat 7, estimou-se a temperatura radiométrica;

**Etapa 5.2. Índice de vegetação:** foi aplicado o Normalized Difference Vegetation Index, obtido através das bandas 3 e 4, para obtenção do índice de vegetação. Este foi calculado a partir do IDRISI 3.2.

**Etapa 5.3. Análise multicritério:** esta foi utilizada para identificar em meso-escala as variações do campo térmico, e conseqüentemente os locais mais tendenciosos ao consumo de energia elétrica.

**Etapa 6. Estudo do consumo energético:** o estudo do consumo energético foi realizado através das informações de consumo de energia elétrica presentes na pesquisa Origem-Destino, realizada em 2008 por Rodrigues da Silva (2008), que possuía a média anual de consumo de energia elétrica em reais, no perímetro urbano do município de São Carlos-SP. Estes foram inseridos em forma de tabela georreferenciada no ArcGIS 9.2, e após aplicado o método de interpolação Krigagem, para a visualização e distribuição das áreas de consumo em classes.

**Etapa 7. Análise dos dados** os parâmetros estudados foram analisados e identificaram-se as tendências da micro-escala e meso-escala climática, conjuntamente às características da morfologia urbana e o consumo energético.

### 3. Dados Levantados

#### 3.1. Estudo da Micro-escala

##### 3.1.1. Parâmetros Morfologia Urbana

Foram escolhidos três pontos de controle para a realização das medições (Figuras 4, 5, 6 e 7 e Tabela 3).

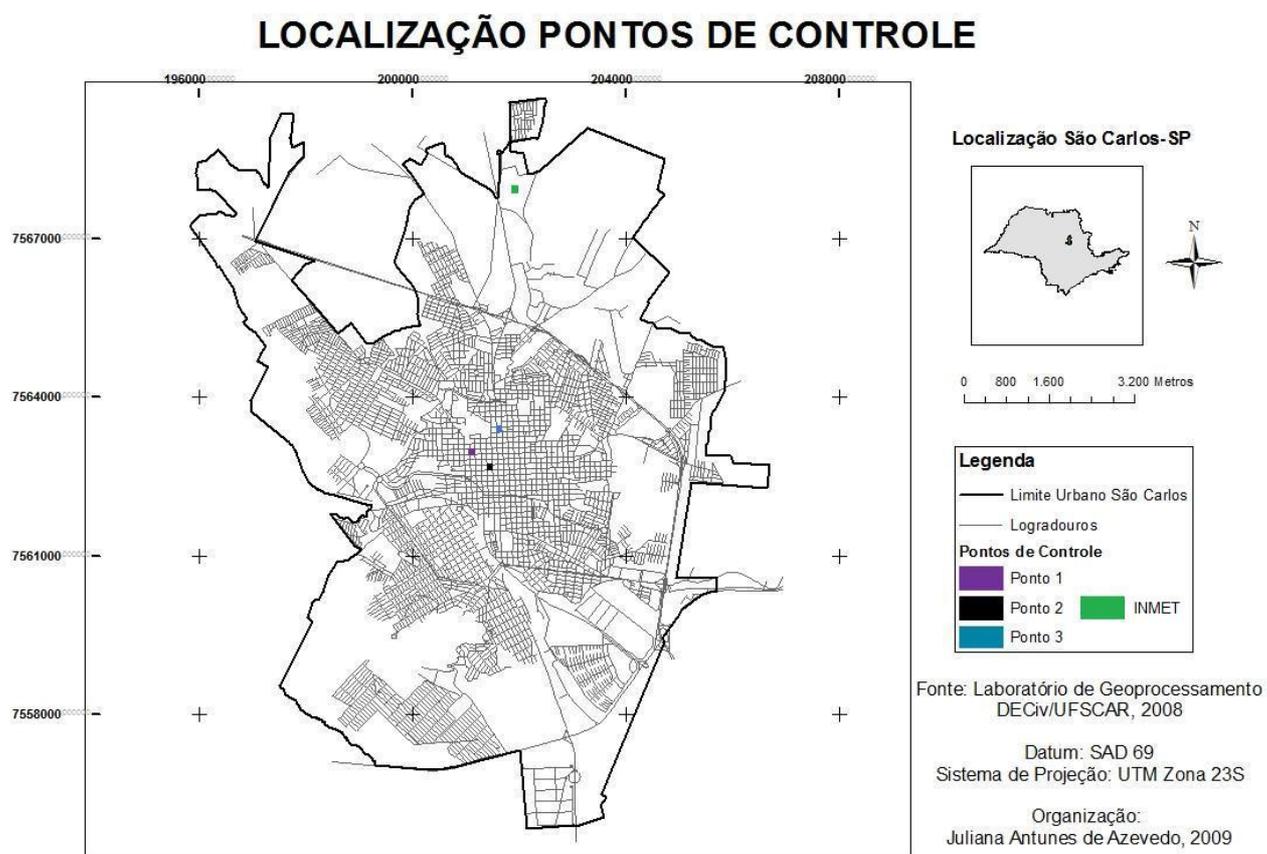


Figura 4. Localização dos pontos de controle

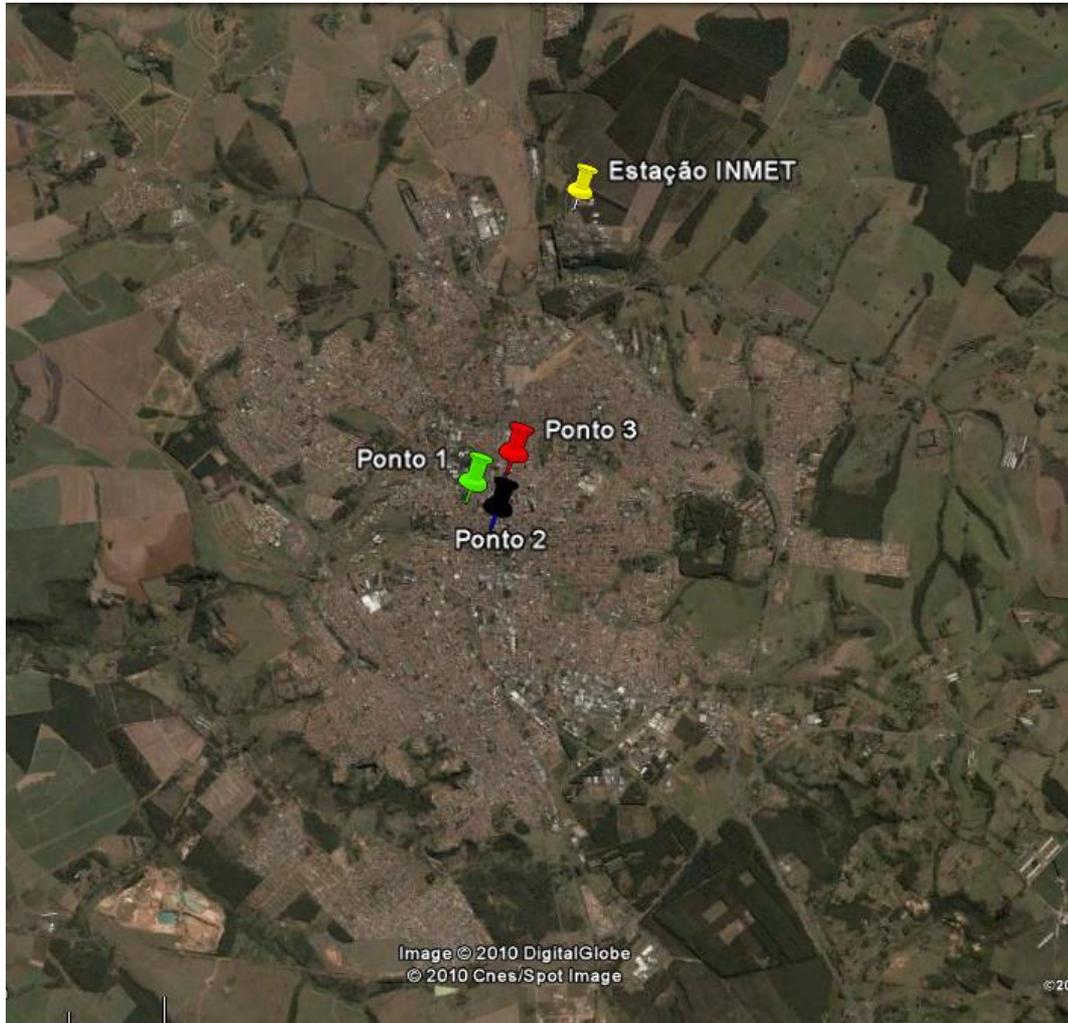


Figura 5. Imagem localização pontos de controle  
Fonte: Google Earth (2010)

Os pontos de controle podem ser verificados na Figura 6.



(a). Ponto 1



(b). Ponto 2



(c). Ponto 3



(d). Estação Meteorológica INMET

Figura 6. Fotografias pontos de controles. (a). Ponto 1; (b). Ponto 2; (c). Ponto 3; (d) Estação Meteorológica

Imagens obtidas do Google Earth para caracterizar os pontos de controle (Figura 7):



(a). Ponto 1



(b). Ponto 2



(c). Ponto 3

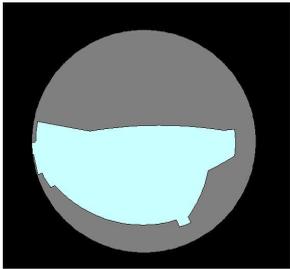
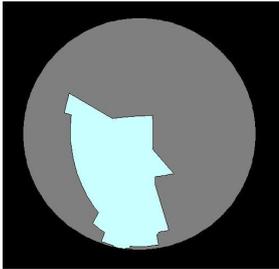
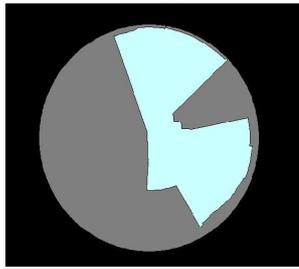


(d). Estação Metereológica INMET

Figura 7. Imagens pontos de controles.

(a). Ponto 1; (b). Ponto 2; (c). Ponto 3; (d). Estação Metereológica

Fonte: Google Earth

<b>Tabela 3. Síntese</b>			
	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>
	<b>Quadra Estudada</b> <b>Circundante pelas</b> <b>ruas: Rua</b> <b>Riachuelo, Rua XV</b> <b>de Novembro, Rua</b> <b>São Sebastião, Rua</b> <b>Aquidaban</b> <b>Nome</b> <b>estabelecimento:</b> <b>Comercial e</b> <b>Construtora Bianco</b> <b>Ltda.</b>	<b>Quadra Estudada</b> <b>Circundante pelas</b> <b>ruas: Rua Sete de</b> <b>Setembro, Rua Nove</b> <b>de Julho, Rua</b> <b>Episcopal, Rua</b> <b>Marechal Deodoro</b> <b>Nome</b> <b>estabelecimento:</b> <b>Espaço Musical</b>	<b>Quadra Estudada</b> <b>Circundante pelas</b> <b>ruas: Avenida São</b> <b>Carlos, Rua Dr.</b> <b>Orlando Damiano,</b> <b>Rua Tiradentes, Rua</b> <b>Da. Alexandrina</b> <b>Nome</b> <b>estabelecimento:</b> <b>Edifício Itapoã</b>
<b>Índice de Aproveitamento</b>	0,92	1,64	2,34
<b>Taxa de Ocupação</b>	0,53	0,46	0,49
<b>Altura Média (m)</b>	5	10,63	16
<b>Fator de Visão do Céu</b>	59% 	45% 	47% 
<b>Índice de Vegetação</b>	- 0,57 – 0,05 predominantemente Pequena parcela 0,06 – 0,19 *	0,06 – 0,19 predominantemente Pequena parcela 0,20-0,30	- 0,57 – 0,05
<b>Observação *</b>	Apesar de uma taxa na quadra intermediária, o quarteirão ao lado é uma praça com índice de 0,31 – 0,41.		

### **3.1.2. Processamento Dados Climáticos**

Foram realizados 3 trabalhos de campo para medições de dados climáticos de temperatura. As datas foram: 28/04/2010 a 04/05/2010; 06/06/2010 a 12/06/2010; 22/06/2010 a 28/06/2010.

Na medição 1, realizada do dia 28/04/2010 a 04/05/2010, obtiveram-se os dados apresentados na Tabela 4 e respectivos dados apresentados nas Figuras 8 a 14.

<b>Tabela 4. Medição 1</b>				
<b>28/04/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	27,36/15:00	29,09/15:00	25,79/17:00	26,90/15:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	17,87/07:00	18,27/07:00	18,37/07:00	17,40/06:00
<b>Amplitude</b>	9,49	10,82	7,42	9,50
<b>Média °C</b>	21,92	22,51	22,27	21,73
<b>29/04/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	26,23/14:00	28,79/14:00	26,87/14:00	26,50/14:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	17,42/06:00	17,87/05:00	17,77/06:00	17,40/07:00
<b>Amplitude</b>	8,81	10,92	9,10	9,10
<b>Média °C</b>	21,09	21,70	21,45	21,09
<b>30/04/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	25,11/15:00	27,01/15:00	25,23/15:00	24,85/13:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	15,56/07:00	16,03/07:00	15,94/07:00	14,75/06:00
<b>Amplitude</b>	9,55	10,98	9,29	10,10
<b>Média °C</b>	19,92	20,46	20,33	19,69
<b>01/05/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	22,63/14:00	26,82/15:00	23,76/15:00	23,10/14:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	15,84/06:00	15,82/06:00	16,25/06:00	12,95/00:00
<b>Amplitude</b>	6,79	11,00	7,51	10,15
<b>Média °C</b>	18,93	19,69	19,52	17,88
<b>02/05/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	24,10/16:00	27,73/15:00	25,09/14:00	25,10/15:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	14,55/4:00	14,98/04:00	15,27/04:00	12,20/02:00
<b>Amplitude</b>	9,55	12,75	9,82	12,90
<b>Média °C</b>	19,14	20,37	20,13	18,90
<b>03/05/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	26,33/16:00	28,77/15:00	26,89/15:00	26,85/15:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	17,27/07:00	18,30/07:00	17,72/07:00	16,35/06:00
<b>Amplitude</b>	9,06	10,47	9,17	10,50
<b>Média °C</b>	21,24	22,67	22,25	20,54
<b>04/04/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	26,60/16:00	29,97/14:00	27,58/14:00	27,20/15:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	18,84/07:00	19,95/07:00	19,25/07:00	17,30/02:00
<b>Amplitude</b>	7,76	10,02	8,33	9,90
<b>Média °C</b>	22,34	23,68	23,12	21,48

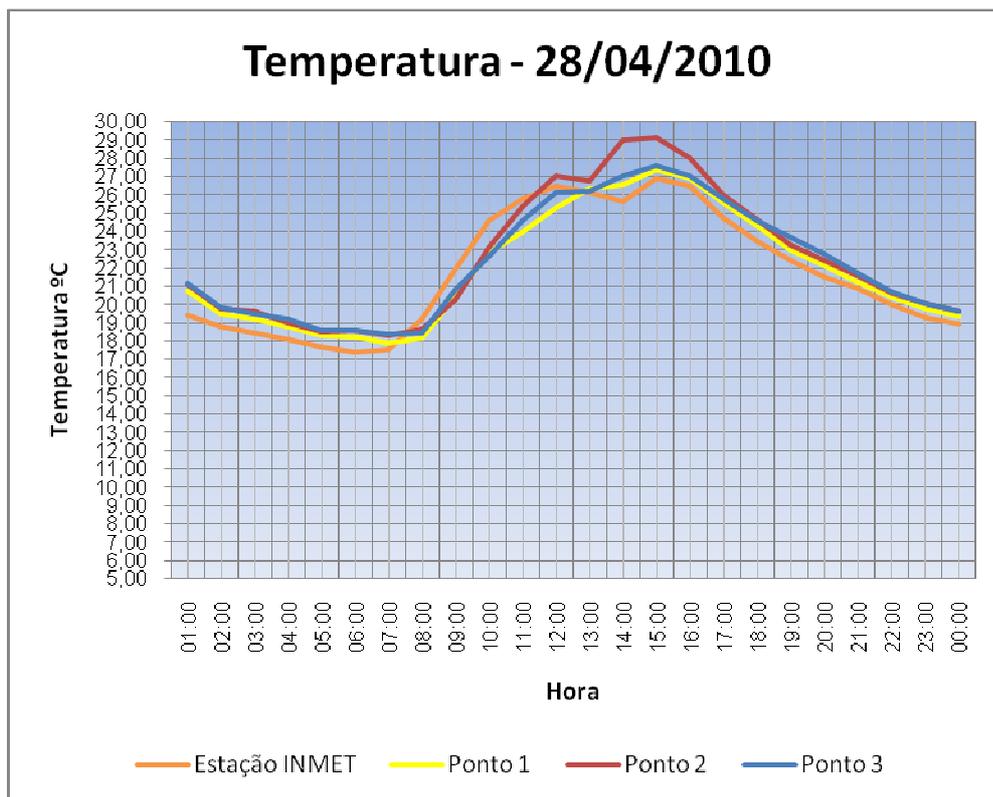


Figura 8. 28/04/2010

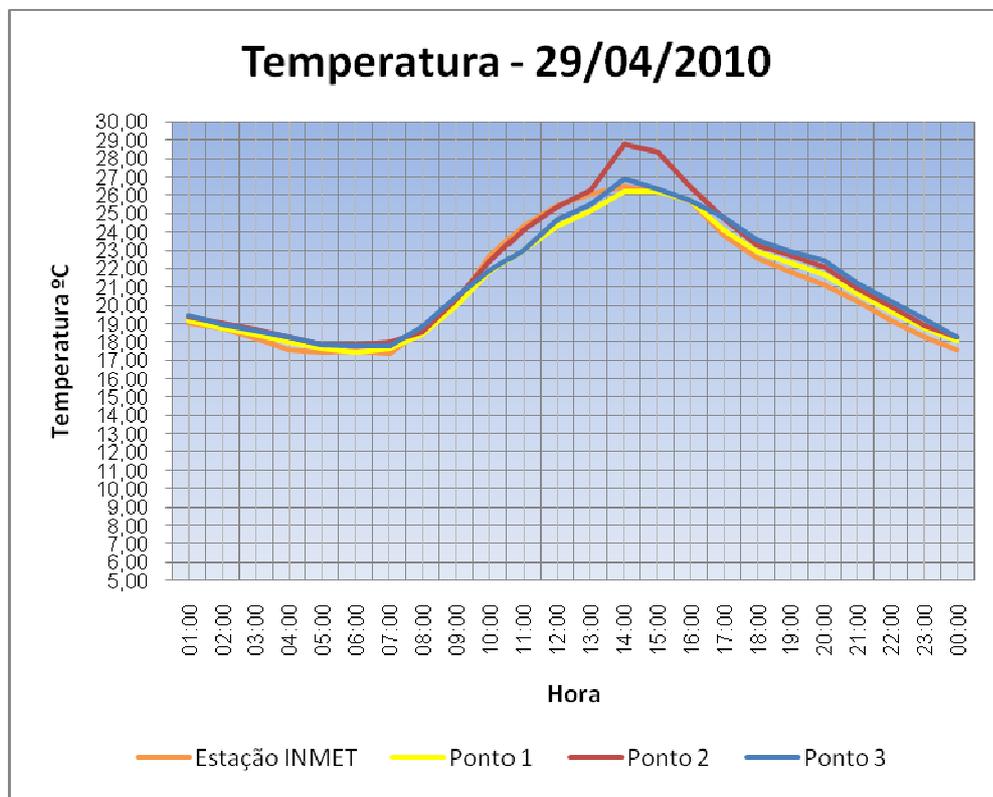


Figura 9. 29/04/2010

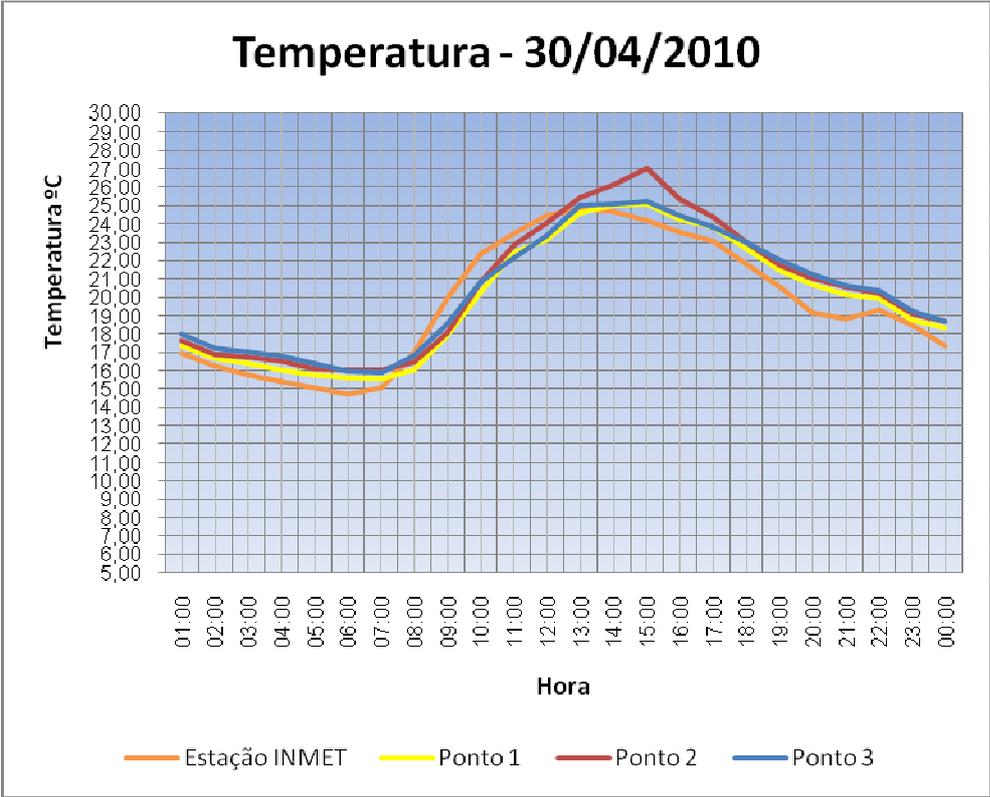


Figura 10. 30/04/2010

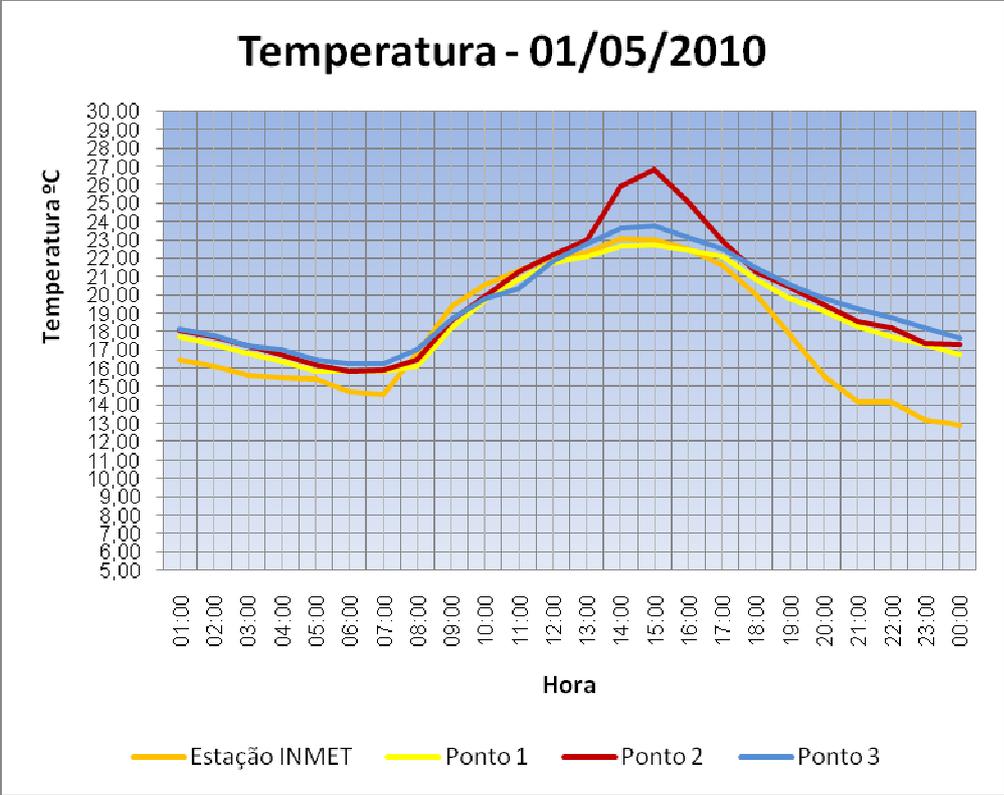


Figura 11. 01/05/2010

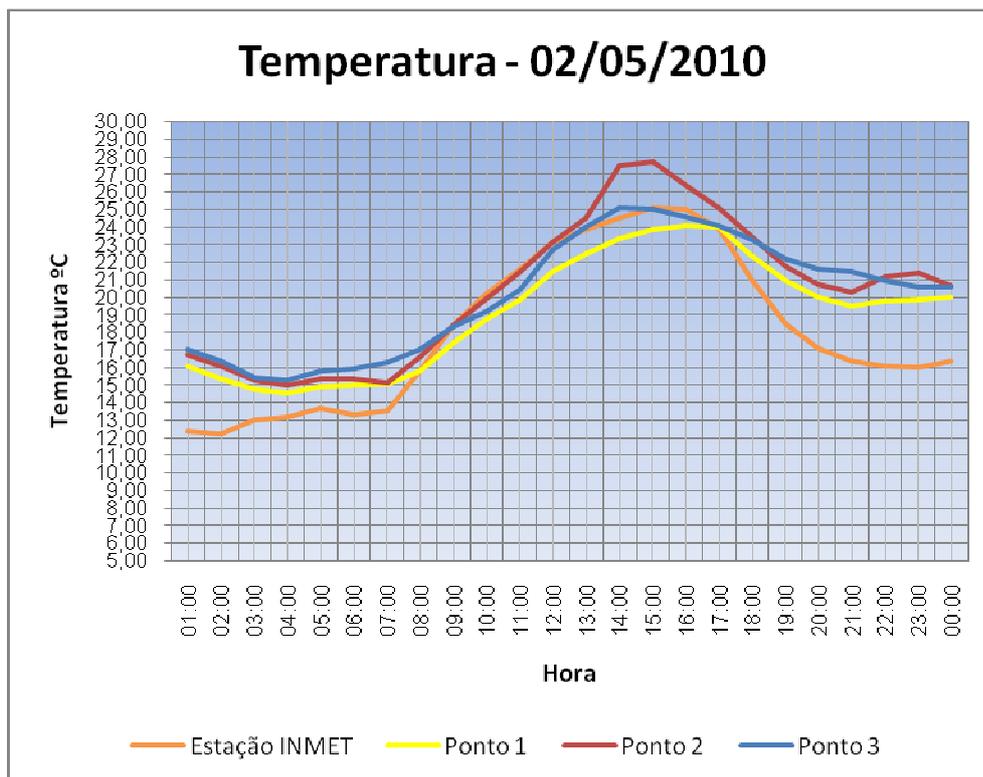


Figura 12. 02/05/2010

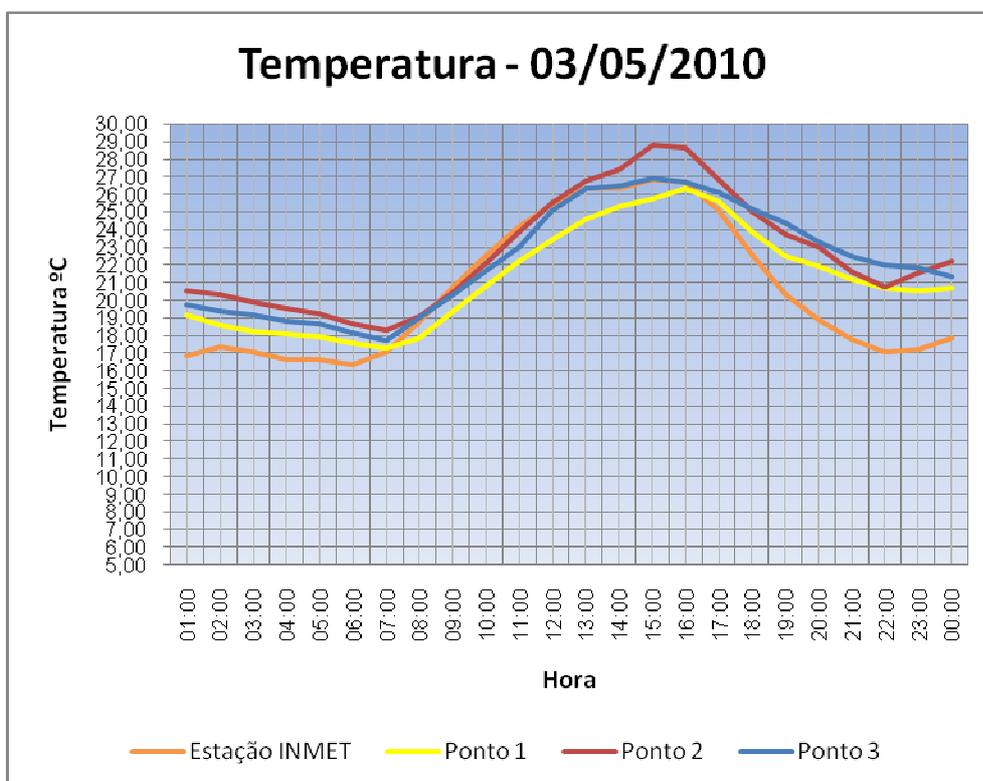


Figura 13. 03/05/2010

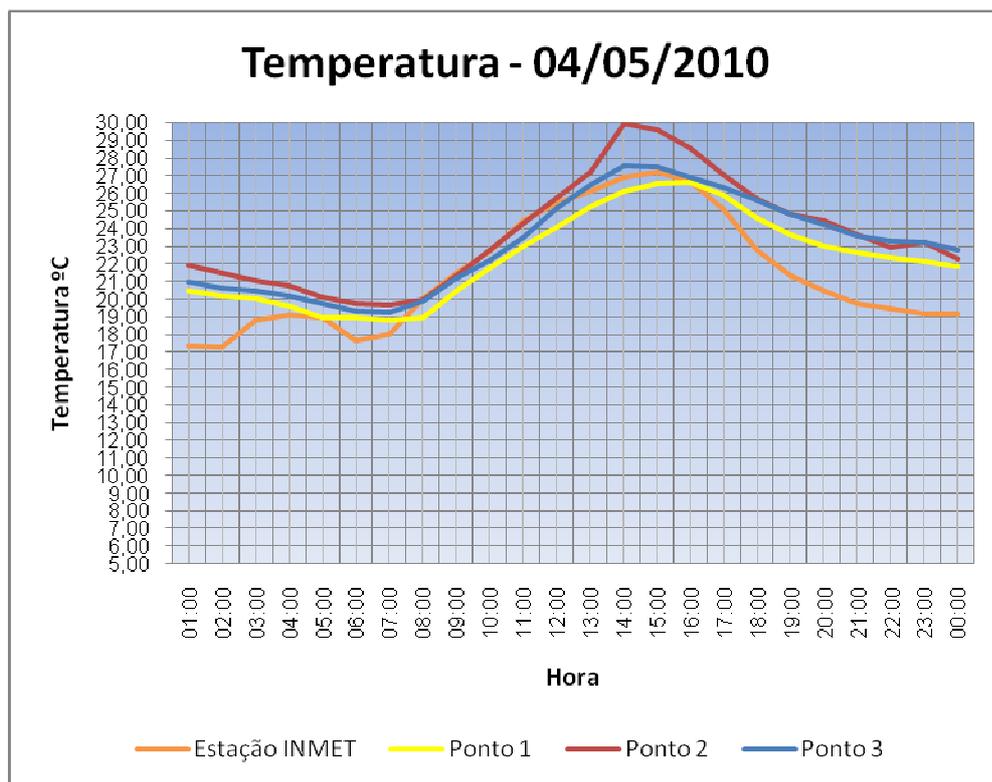


Figura 14. 04/05/2010

- Máximas: o ponto 2 apresentou sempre o maior valor de máxima, sem exceção; e o ponto 1 as menores máximas, exceto nos dias 28/04/2010 que ocorreu no ponto 3, e no dia 30/04/2010 na estação do INMET;
- Mínimas: o ponto 2 apresentou o maior valor nas mínimas, exceto para os dias 28/04/2010, 01 e 02/05/2010 que os maiores valores ocorrem para o ponto 3. O INMET apresentou as menores mínimas em todos os dias analisados;
- Amplitude: foi constatada no ponto 2, na maioria dos casos, a maior amplitude, com exceção para os dias 02, 03, 04/05/2010, que ocorreu na estação do INMET. O ponto 1 apresentou em quase todos os dias de análise a menor amplitude, exceto nos dias 28 e 30/04/2010, que ocorreu no ponto 3;
- Média: assim como em todos os outros casos apresentou o maior valor o ponto 2, e neste caso sem exceção. O INMET apresentou a menor média, com restrição para o dia 29/04/2010, na qual tem média igual ao ponto 1;
- Horário: a ocorrência das máximas e mínimas variou quase todos os dias, e de ponto para ponto. As máximas para os pontos 1, 2 e 3 variaram entre 14 e 17 horas, enquanto para a estação do INMET variaram das 13 às 15 horas. As mínimas apresentaram uma variação menor entre os pontos e horários, variando das 04 às 07 horas. A estação do INMET apresentou uma variação de mínimas entre 00 e 07

horas. Ainda em relação às mínimas no dia 02/05/2010 houve mínima às 04 horas para todos os pontos, exceto INMET que se deu às 02 horas.

Com relação a medição 2, realizada do dia 06/06//2010 a 12/06/2010 obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 5 e Figuras 15 a 21:

<b>Tabela 5. Medição 2</b>				
<b>06/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	18,06/16:00	21,68/14:00	19,08/14:00	19,55/14:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	10,44/07:00	11,01/05:00	11,30/07:00	8,20/04:00
<b>Amplitude</b>	7,64	10,67	7,78	11,35
<b>Média °C</b>	13,52	14,41	14,49	12,74
<b>07/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	20,41/15:00	25,99/15:00	22,01/15:00	22,80/15:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	11,18/05:00	11,42/05:00	11,81/05:00	7,80/02:00
<b>Amplitude</b>	9,23	14,57	7,31	15,00
<b>Média °C</b>	15,25	16,30	16,44	14,04
<b>08/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	22,47/16:00	27,21/15:00	23,71/15:00	24,10/15:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	12,17/08:00	13,31/05:00	14,70/07:00	9,50/04:00
<b>Amplitude</b>	9,23	13,90	9,01	14,60
<b>Média °C</b>	15,25	17,86	18,17	16,36
<b>09/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	21,53/15:00	24,36/15:00	22,08/14:00	22,75/15:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	11,08/06:00	11,66/06:00	11,64/06:00	10,80/05:00
<b>Amplitude</b>	10,45	12,70	10,44	11,95
<b>Média °C</b>	15,90	16,68	16,45	16,40
<b>10/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	21,44/15:00	22,78/15:00	21,46/15:00	22,05/15:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	12,82/07:00	13,55/05:00	13,16/07:00	12,95/04:00
<b>Amplitude</b>	8,62	9,23	8,30	9,10
<b>Média °C</b>	16,11	16,77	16,46	16,25
<b>11/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	19,08/15:00	21,65/15:00	19,96/15:00	19,35/14:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	11,54/00:00	11,98/00:00	12,00/00:00	11,60/00:00
<b>Amplitude</b>	7,54	9,67	7,96	7,75
<b>Média °C</b>	15,00	15,61	15,40	15,01
<b>12/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	19,34/15:00	22,42/14:00	20,17/15:00	20,30/15:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	10,61/05:00	11,08/05:00	10,81/05:00	10,60/05:00
<b>Amplitude</b>	8,73	11,34	9,36	9,70
<b>Média °C</b>	13,73	14,57	14,16	14,11

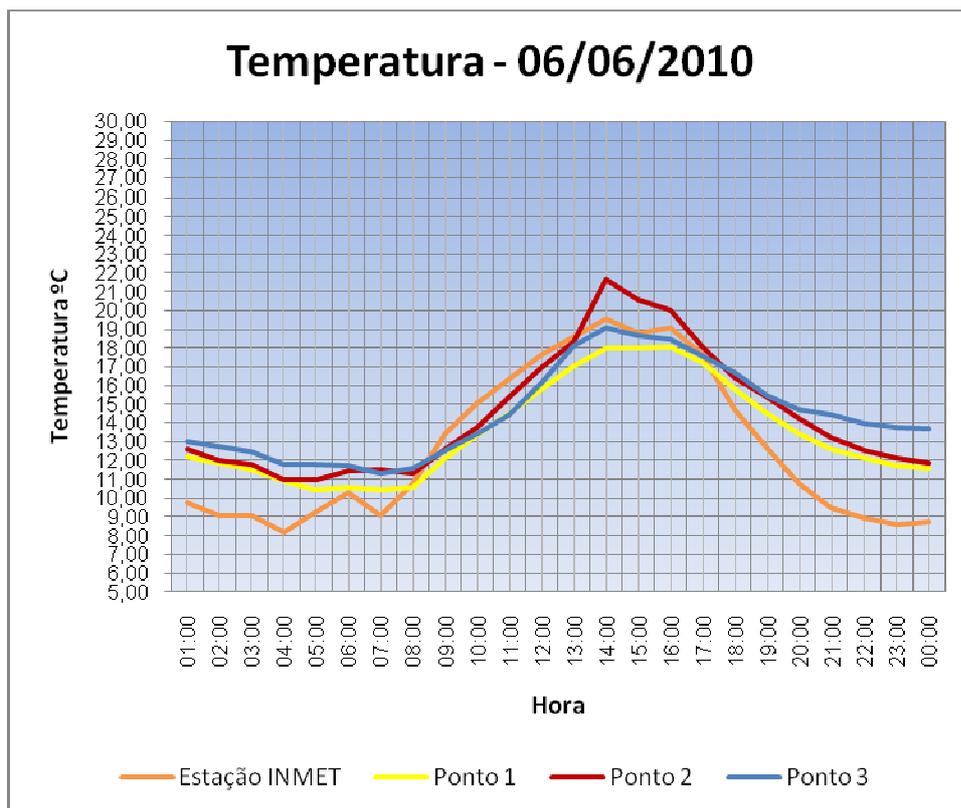


Figura 15. 06/06/2010

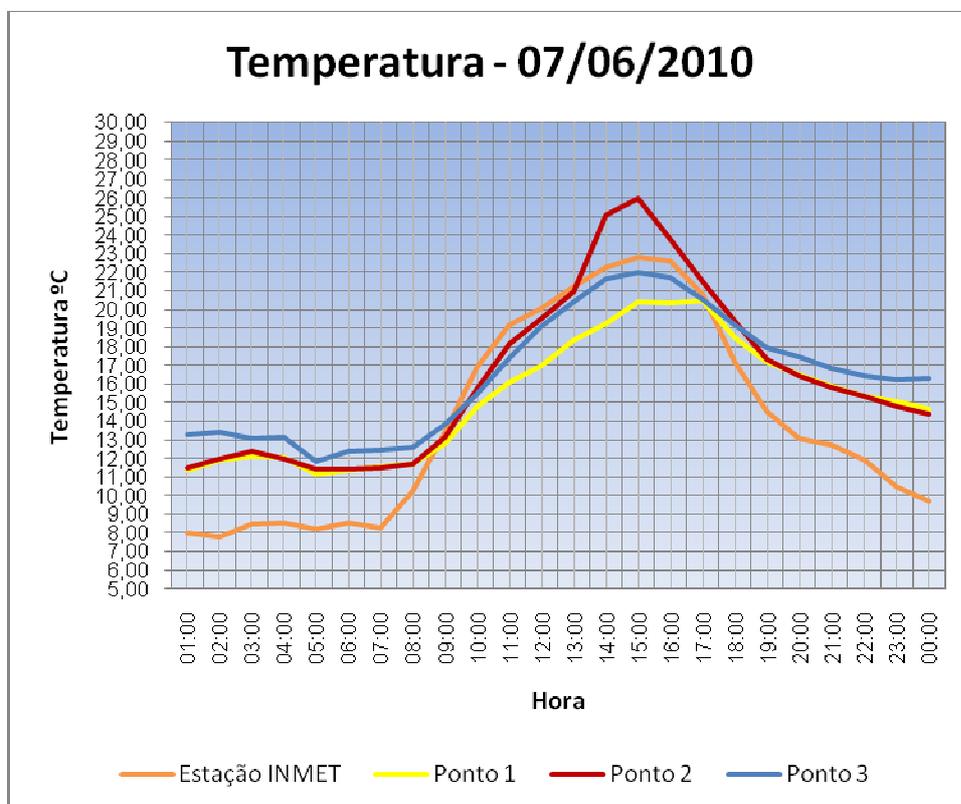


Figura 16. 07/06/2010

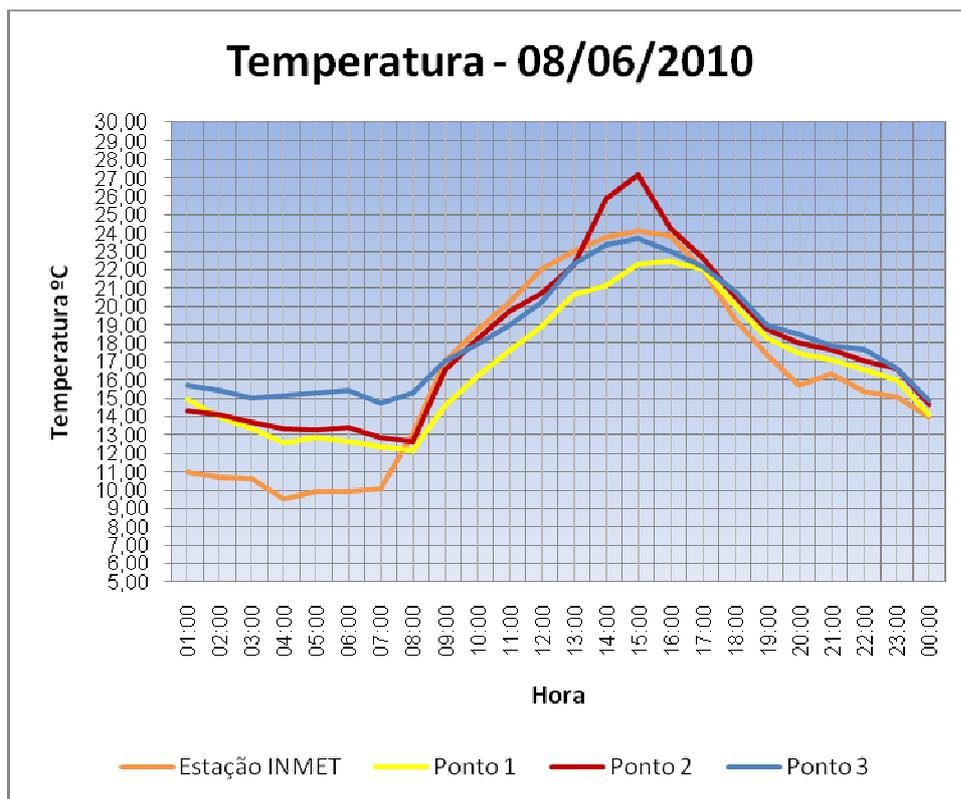


Figura 17. 08/06/2010

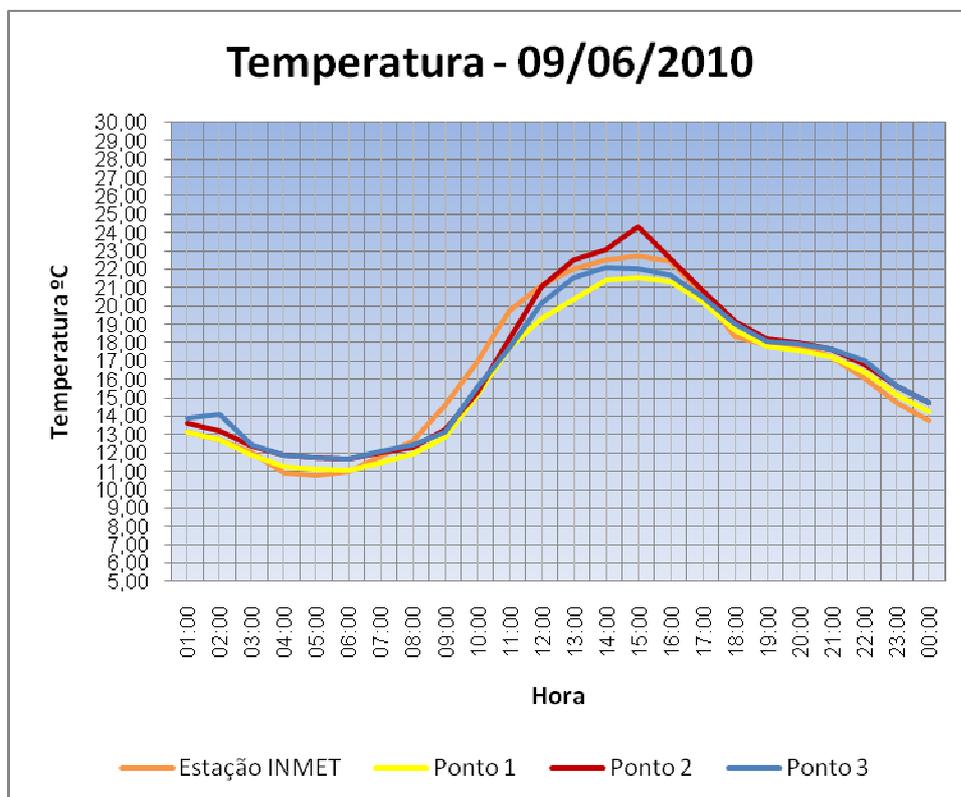


Figura 18. 09/06/2010

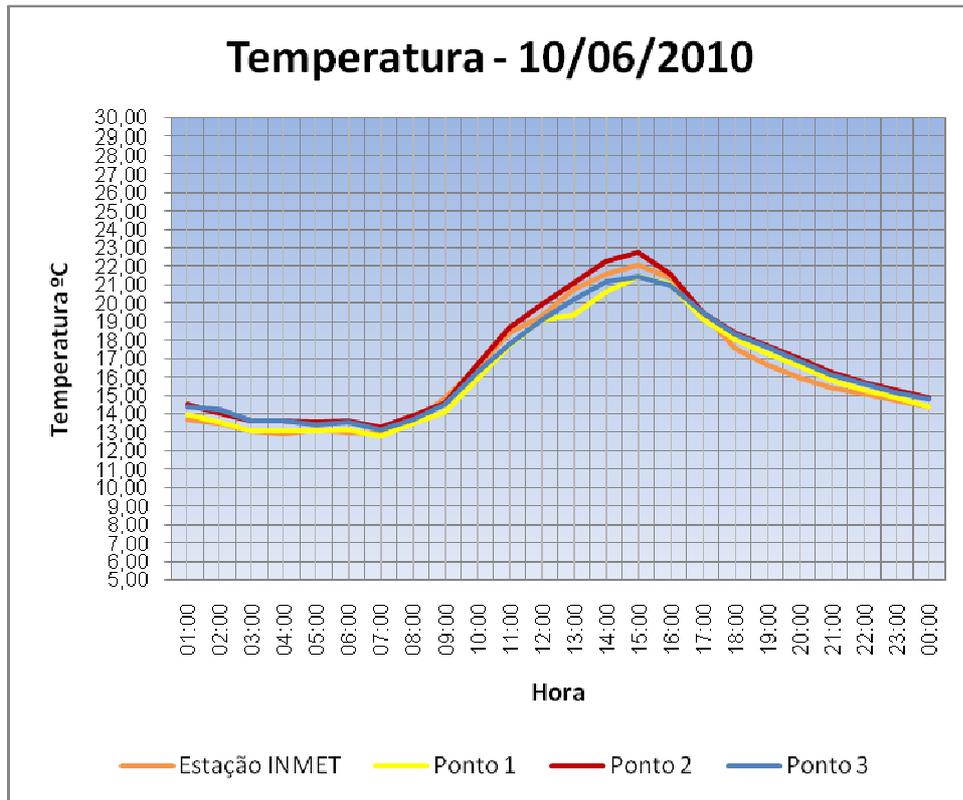


Figura 19. 10/06/2010

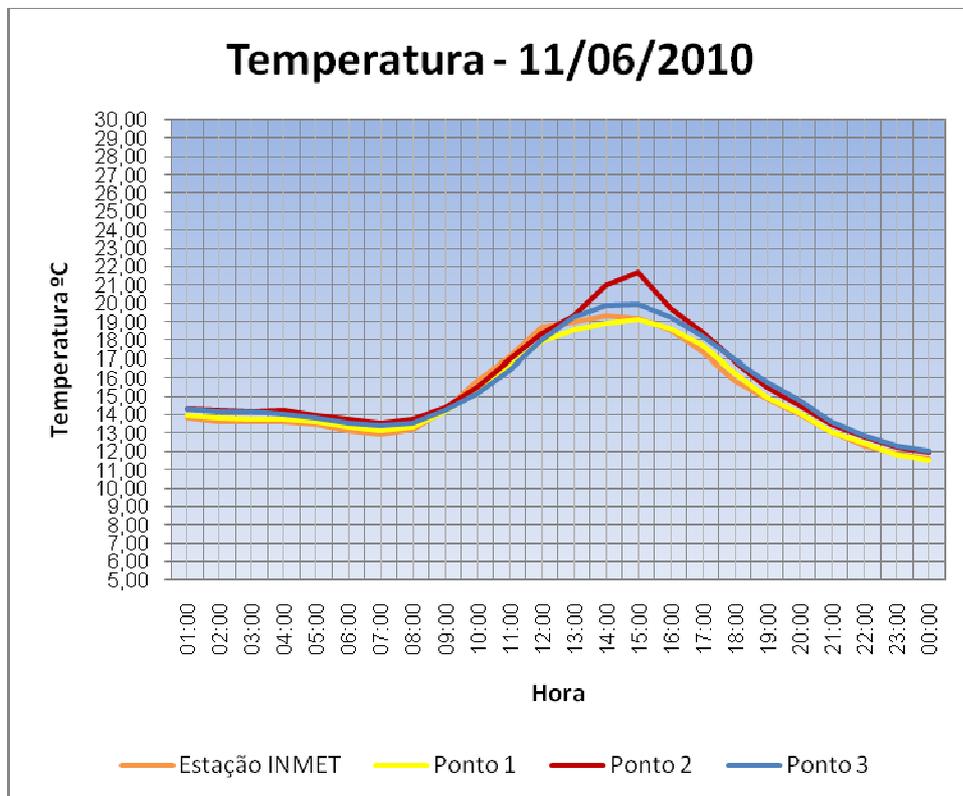


Figura 20. 11/06/2010

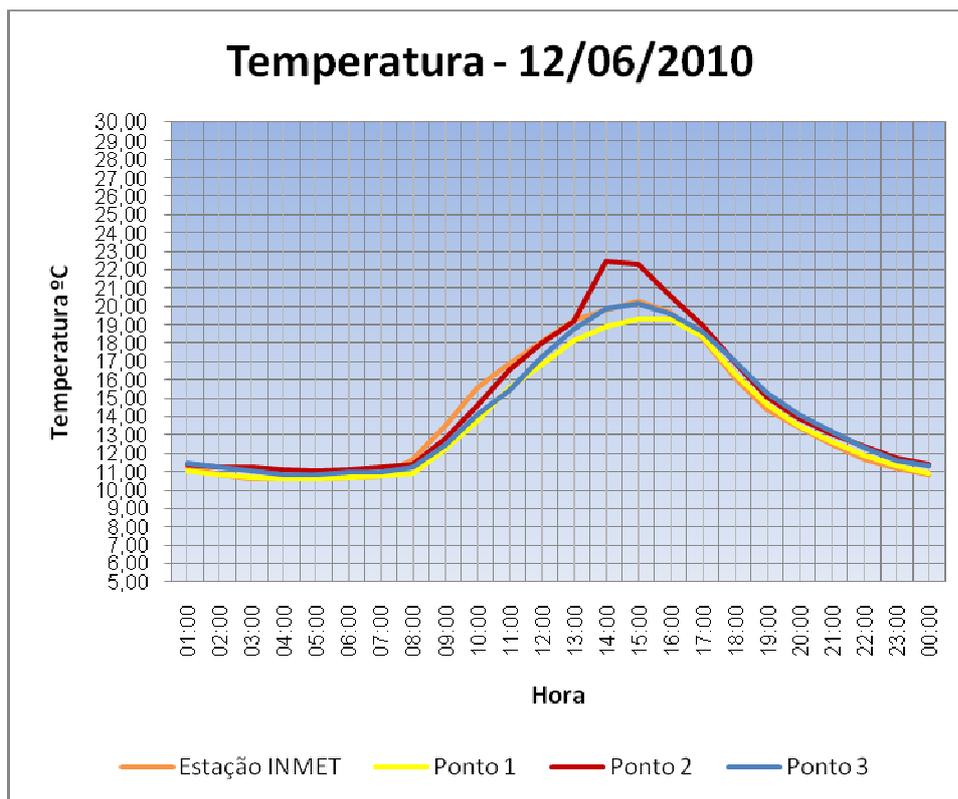


Figura 21. 12/06/2010

- Máximas: o ponto 2 apresentou sempre o maior valor de máxima; e o ponto 1 as menores máximas;
- Mínimas: o ponto 3 apresentou o maior valor nas mínimas, exceto para os dias 09, 10 e 12/06/2010 que os maiores valores ocorrem para o ponto 2. O INMET apresentou as menores mínimas, exceto nos dias 10 e 11/06/2010;
- Amplitude: no INMET ocorreu a maioria dos casos a maior amplitude, com exceção para os dias 10, 11 e 12/06/2010 que ocorreu no ponto 2. O ponto 3 apresentou a maioria dos casos de menor amplitude, menos nos dias 10, 11 e 12/06/2010, que ocorreu no ponto 1;
- Média: a maior média ocorreu no ponto 2, exceto nos dias 06, 07 e 08/06/2010 que ocorreram no ponto 3. O ponto 1 apresentou a menor média, menos para os dias 06 e 07/06/2010, que se deram no INMET;
- Horário: assim como no período anterior, o horário de ocorrência das máximas e mínimas varia quase todos os dias, e de ponto para ponto. As máximas para os pontos 1, 2 e 3 variaram entre 14 e 16 horas, enquanto para a estação do INMET variaram das 14 às 15 horas. As mínimas variaram das 05 às 08 horas. A estação do INMET apresentou uma variação de mínimas entre 02 e 05 horas, no caso das

mínimas houve no dia 11/06/2010, um valor de mínima às 00 horas para todos os pontos.

Os dados obtidos para a medição 3 (22/06/2010 a 28/06/2010) são apresentados na Tabela 6 e Figuras 22 a 28.

<b>Tabela 6. Medição 3</b>				
<b>22/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	22,65/14:00	27,11/14:00	25,31/14:00	25,35/14:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	16,70/00:00	17,11/00:00	17,44/00:00	13,40/05:00
<b>Amplitude</b>	7,95	10,00	7,87	11,95
<b>Média °C</b>	20,40	21,69	21,48	19,25
<b>23/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	23,33/16:00	26,92/15:00	23,88/15:00	24,05/15:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	13,23/07:00	13,67/07:00	13,76/07:00	12,85/07:00
<b>Amplitude</b>	10,10	13,25	10,12	11,20
<b>Média °C</b>	18,35	19,28	18,89	18,21
<b>24/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	24,85/16:00	27,68/15:00	25,31/14:00	25,65/15:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	17,03/07:00	17,61/07:00	17,18/07:00	15,45/07:00
<b>Amplitude</b>	7,82	10,07	8,13	9,20
<b>Média °C</b>	20,38	21,56	20,85	20,32
<b>25/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	24,63/16:00	28,92/15:00	26,04/15:00	26,00/15:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	17,01/08:00	17,94/07:00	17,32/07:00	14,85/07:00
<b>Amplitude</b>	7,62	10,98	8,72	11,15
<b>Média °C</b>	20,35	21,75	21,42	19,69
<b>26/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	24,68/15:00	28,62/14:00	25,77/15:00	25,60/14:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	17,27/08:00	17,89/05:00	18,56/08:00	13,90/07:00
<b>Amplitude</b>	7,41	10,73	7,21	11,70
<b>Média °C</b>	20,39	21,70	21,54	18,82
<b>27/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	22,18/16:00	25,65/15:00	23,14/15:00	23,00/16:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	14,41/08:00	14,89/07:00	14,46/07:00	11,95/00:00
<b>Amplitude</b>	7,77	10,76	8,68	11,05
<b>Média °C</b>	17,69	18,82	18,69	16,57
<b>28/06/2010</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Estação INMET</b>
<b>Máxima °C /Hora</b>	23,67/15:00	28,22/15:00	24,61/15:00	24,90/15:00
<b>Mínima °C /Hora</b>	14,72/06:00	15,01/06:00	16,08/07:00	11,10/07:00
<b>Amplitude</b>	8,95	13,21	8,53	13,80
<b>Média °C</b>	18,58	19,76	19,70	17,63

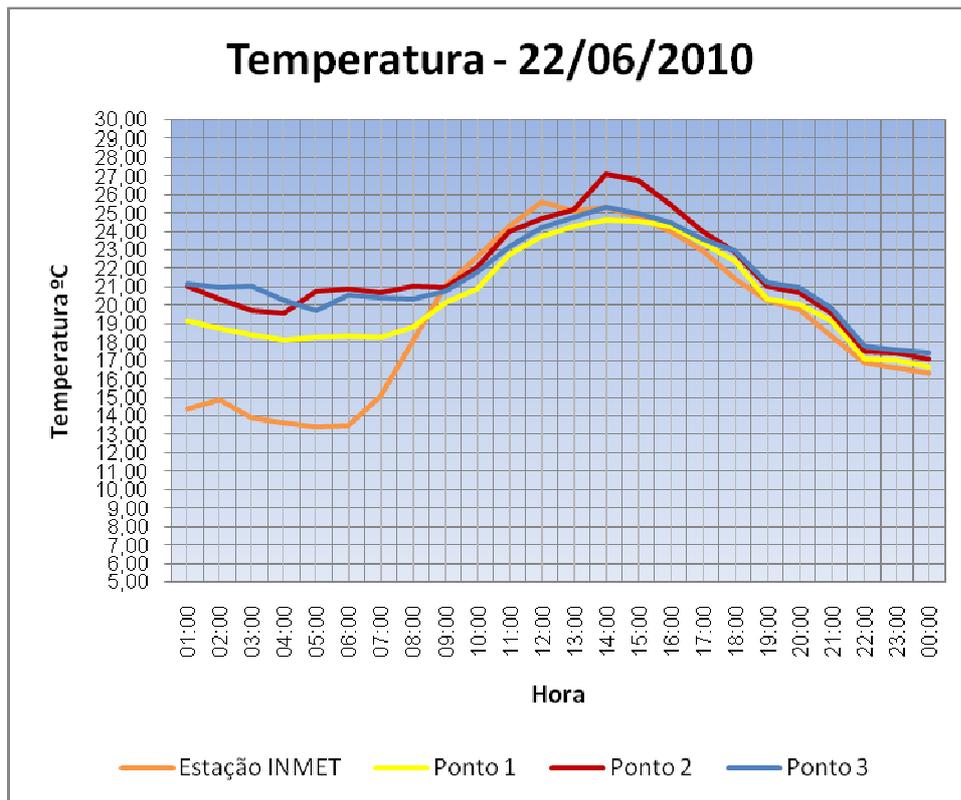


Figura 22. 22/06/2010

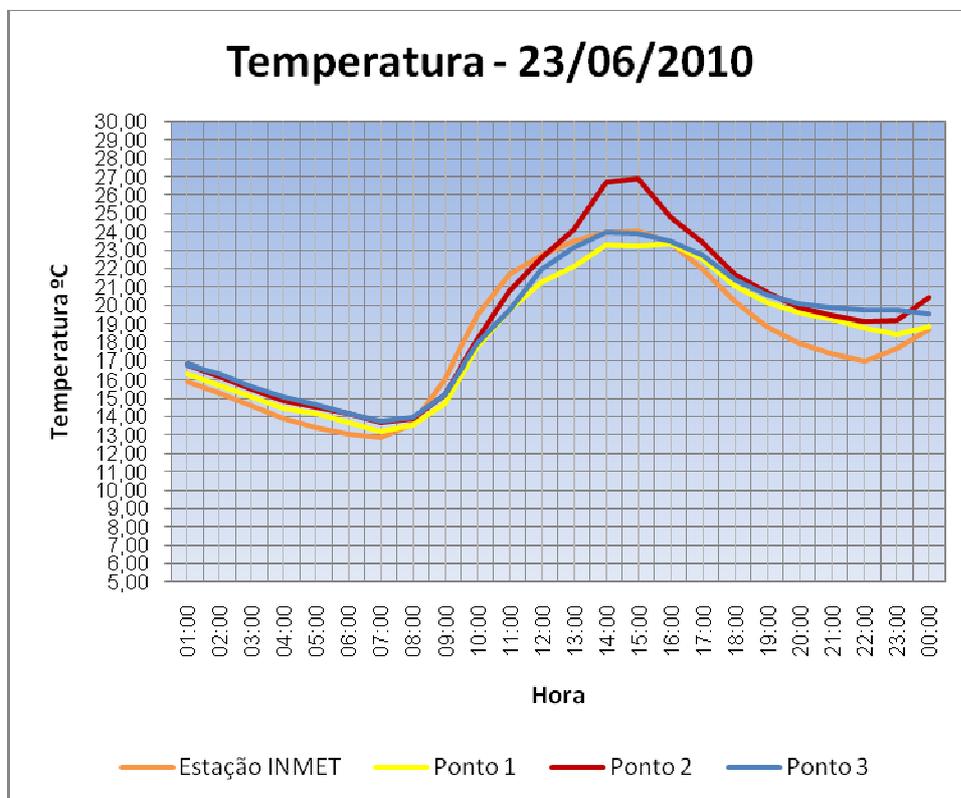


Figura 23. 23/06/2010

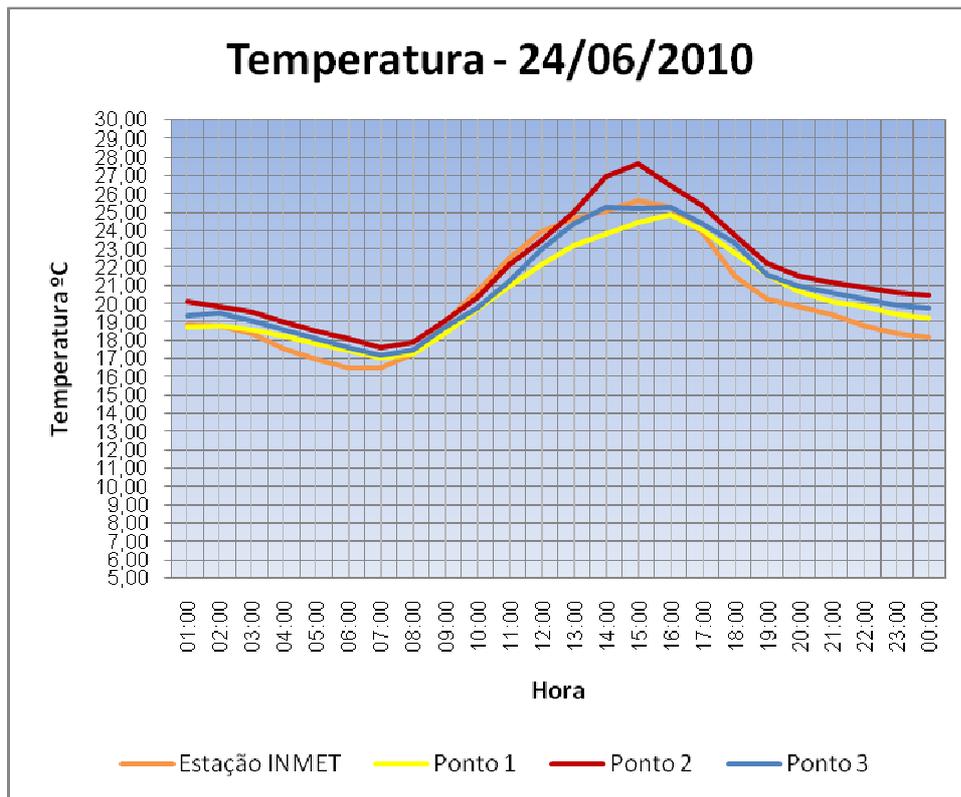


Figura 24. 24/06/2010

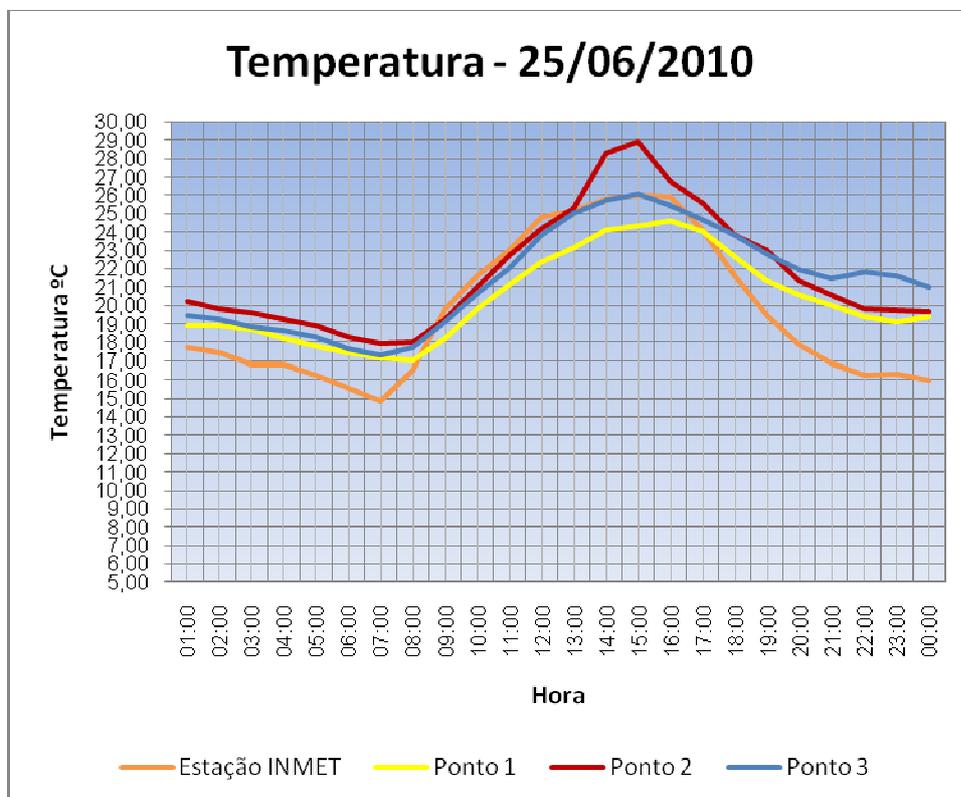


Figura 25. 25/06/2010

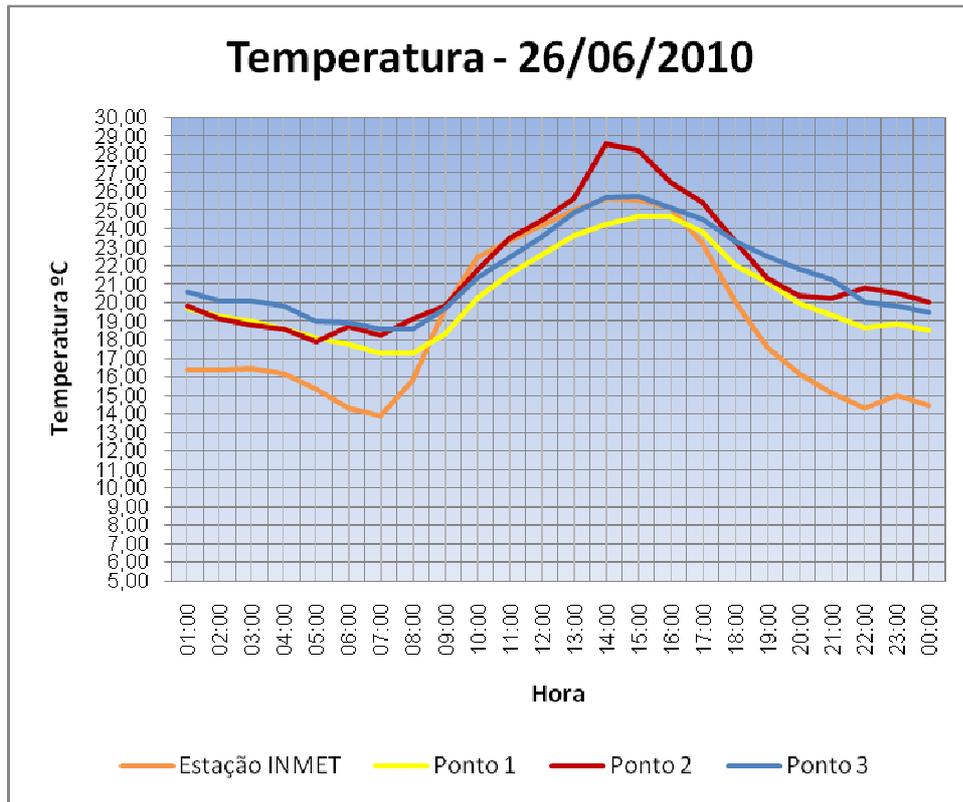


Figura 26. 26/06/2010

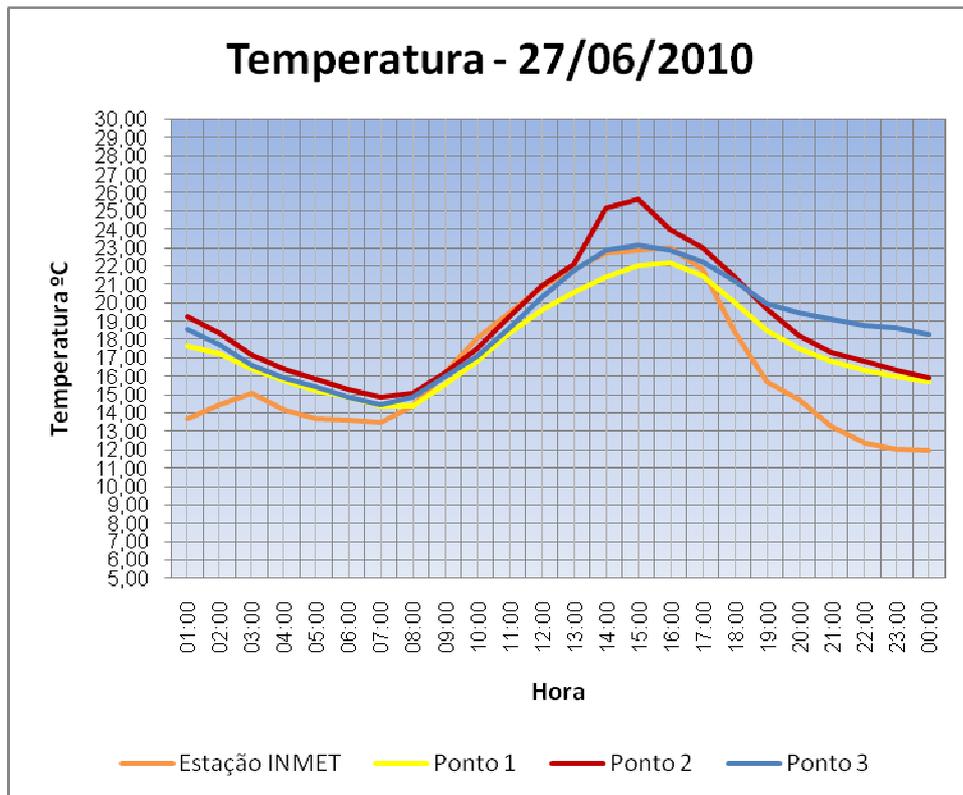


Figura 27. 27/06/2010

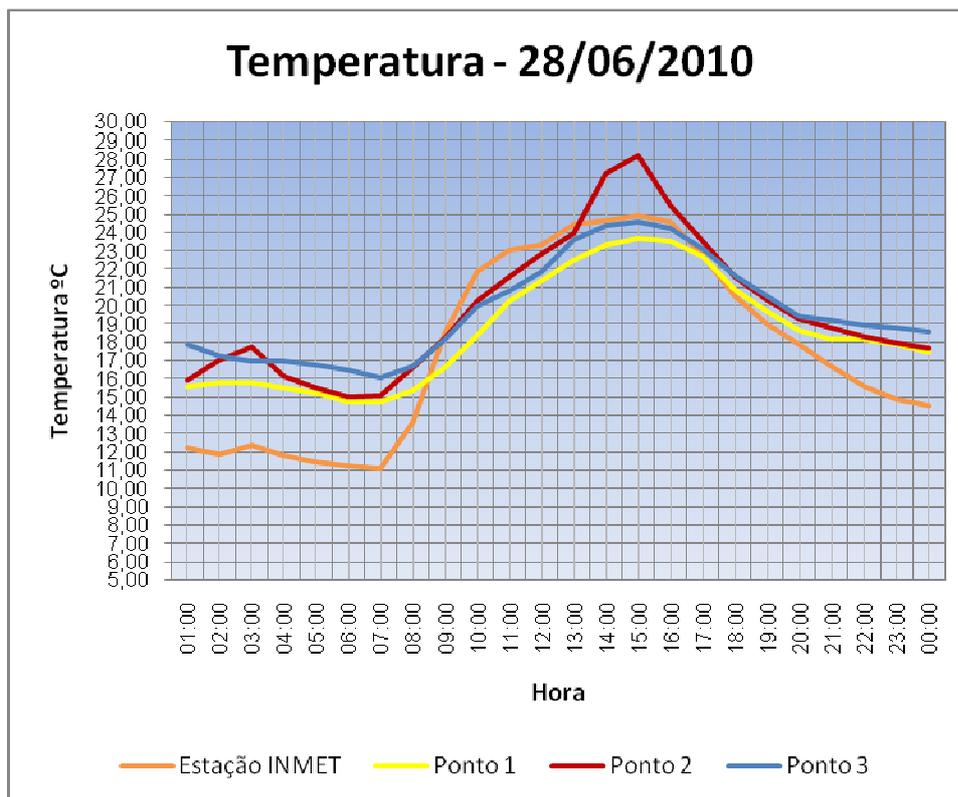


Figura 28. 28/06/2010

- Máximas: o ponto 2 apresentou o maior valor de máxima, em todas as datas; e o ponto 1 as menores máximas;
- Mínimas: o ponto 3 apresentou o maior valor nas mínimas, exceto para os dias 27, 25 e 26/06/2010, quando os maiores valores ocorreram para o ponto 2. O INMET apresentou as menores mínimas;
- Amplitude: no INMET ocorreu, em maior parte dos casos, a maior amplitude, com exceção para os dias 22 e 24/06/2010, que ocorreu no ponto 2. O ponto 1 apresentou a maioria dos casos de menor amplitude, menos nos dia 22/06/2010, que ocorreu no ponto 3;
- Média: a maior média ocorreu no ponto 2. O INMET apresentou as menores médias;
- Horário: para os pontos 1, 2 e 3 variaram entre 14 e 16 horas, assim como para a estação do INMET. As mínimas variaram das 05 às 08 horas. A estação do INMET apresentou uma variação de mínimas entre 05 e 07 horas, no caso das mínimas houve no dia 22/06/2010, um valor de mínima também às 00 horas para todos os pontos.

### 3.2. Estudo da Meso-escala

#### 3.2.1. Temperatura Radiométrica

A imagem termal foi obtida a partir da ferramenta Termal do IDRISI 3.2 na banda 6 do Landsat 7.

O resultado é apresentado na Figura 29.

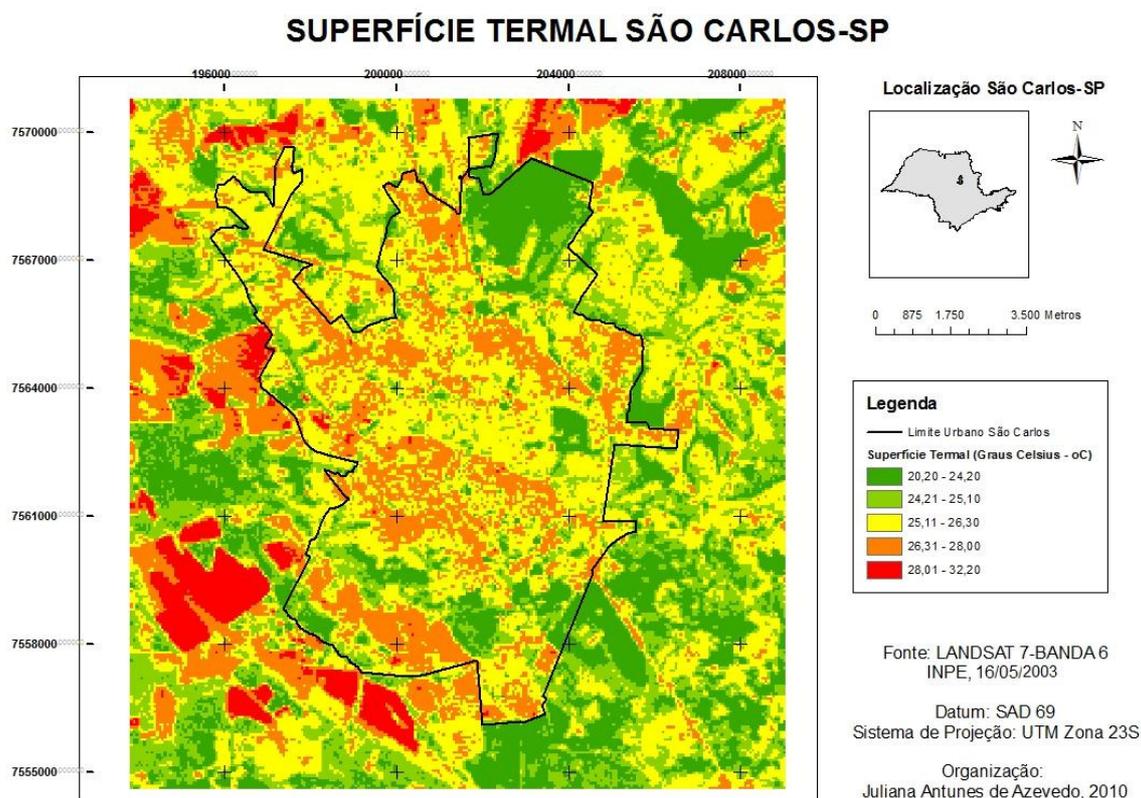


Figura 29. Imagem Termal – Landsat 7 – Banda 6

Observam-se nesta imagem algumas áreas em vermelho (classe mais alta) fora da área urbana, esta área é um local de solo exposto, logo por isso apresenta comportamento de alta temperatura de superfície, apesar de estarem na área rural.

A área verde extensa dentro da área urbana corresponde a uma área densamente vegetada apresentando uma área de baixa temperatura de superfície.

No contexto geral da área urbana é possível visualizar no seu centro predominam áreas em laranja, e ao distanciar do centro começam a predominar as áreas amarelas e verdes. Na área rural, começam a predominar as áreas em tons de verde (menores temperaturas de superfície).

### **3.2.2. Índice de Vegetação**

O Índice de Vegetação foi calculado através do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), no software IDRISI 3.2. Este índice é uma transformação linear da reflectância de duas bandas do espectro eletromagnético, que pode ser obtido através de soma, diferença ou razão (RVI – Ration Vegetation Index) de banda. Estes índices caracterizam áreas em termos de densidade de vegetação, sendo a principal finalidade ressaltar o comportamento espectral em relação ao solo e outros alvos de superfície terrestre.

Para o cálculo do Índice de Vegetação foi utilizada a imagem Landsat 7 nas bandas 3 (vermelho) e 4 (Infravermelho). Sua escala vai de -1 a 1.

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R),$$

Onde:

NIR = infravermelho

R = vermelho

O resultado é apresentado na Figura 30.

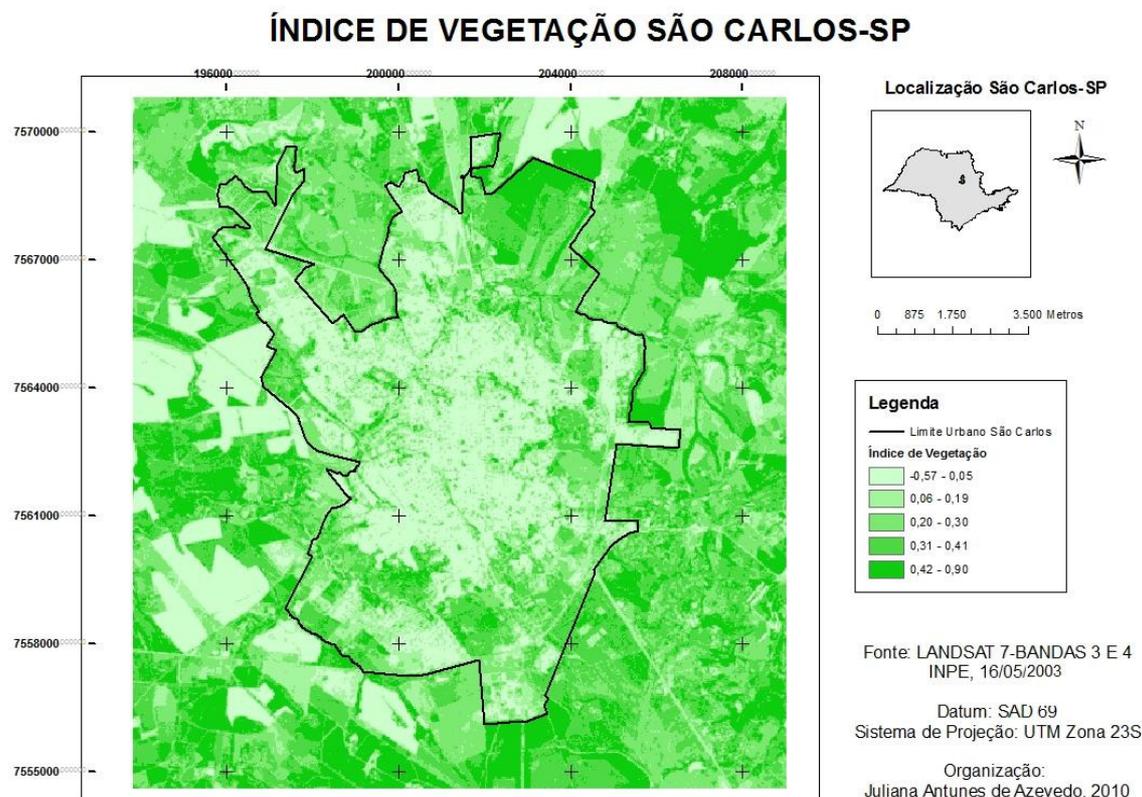


Figura 30. Índice de Vegetação - Landsat 7 – Bandas 3 e 4

Nesta imagem é possível observar que na região central da área urbana a imagem apresenta-se mais clara (classes de baixo índice de vegetação), e ao afastar-se em direção a área rural e na área rural, começam a predominar as áreas mais verdes (classes de alto índice de vegetação).

### **3.3.3 Análise Multicritério**

A análise multicritério é um processo de decisão entre diferentes variáveis, neste caso, entre temperatura de superfície e índice de vegetação. Deve-se definir a importância das variáveis, multiplicá-las, somá-las ou subtraí-las, obtendo um resultado final que é a relação entre as classes.

Neste caso atribuiu-se que, tanto o índice de vegetação, quanto a temperatura de superfície são igualmente importantes na configuração do campo térmico, e conseqüentemente nas áreas mais ou menos tendenciosas ao consumo de energia elétrica.

Optou-se então por realizar uma soma das classes existentes de índice de vegetação e temperatura de superfície, na ferramenta raster calculator do ArcGIS 9.2., resultando em uma combinação de classes.

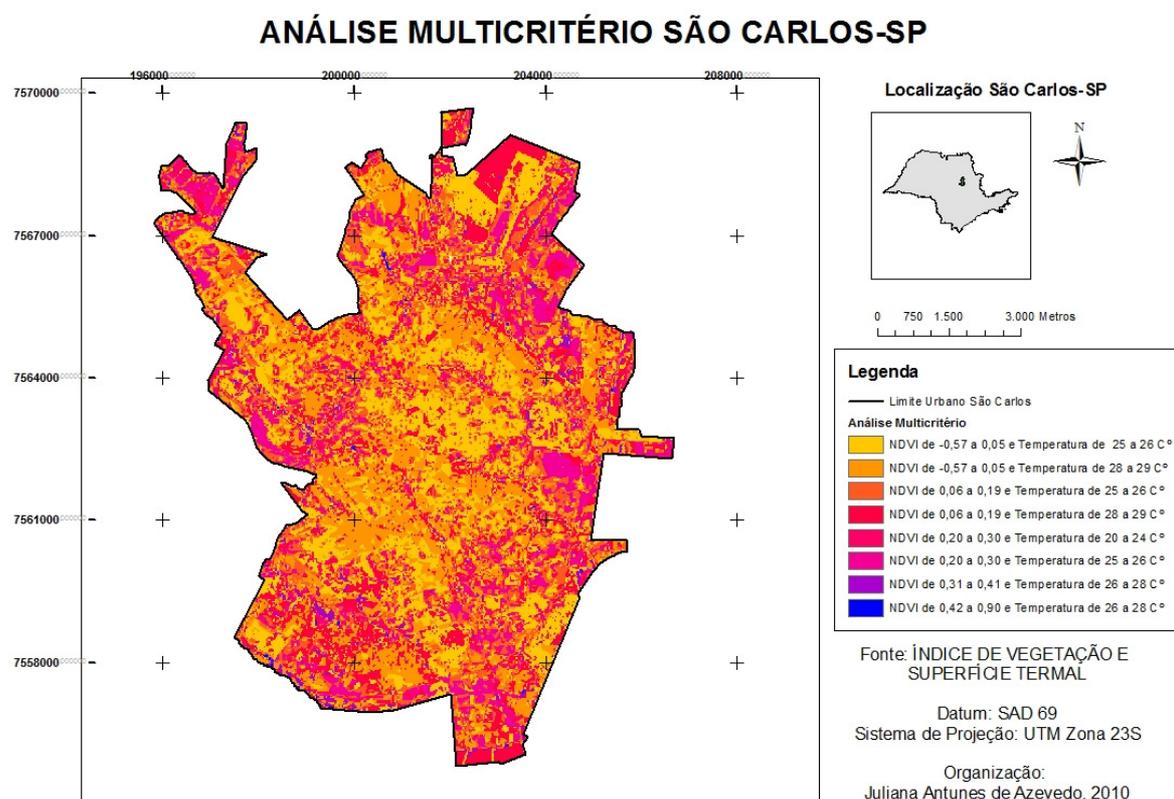


Figura 31. Análise Multicritério

Tem-se na Figura 31, o resultado da análise multicritério, tendo sido identificadas 8 classes. A imagem não representa intensidade mais soma de classes. Essas foram posteriormente divididas em 5 ou 3 classes, de acordo com sua tendência ao consumo de energia elétrica. Por exemplo, as classes onde houve o encontro de baixa temperatura de superfície e alto índice de vegetação foram posteriormente classificadas em classe de baixa tendência ao consumo de energia elétrica, e aquelas classes que apresentaram o encontro de baixo índice de vegetação e alta temperatura de superfície foram posteriormente classificadas como classe de alta tendência ao consumo de energia elétrica.

### 3.3. Estudo Consumo Energético

#### 3.3.1. Distribuição do Consumo de Energia Elétrica – Método de Krigagem

Os dados de consumo de energia elétrica foram cedidos por Rodrigues da Silva (2008), a partir dos resultados de sua pesquisa Origem-Destino para São Carlos. Aquela pesquisa permitiu identificar dados referentes a consumo médio em reais de energia elétrica.

Para a análise dos dados, estes foram inseridos como tabela georreferenciada no ArcGIS 9.2., e junto se inseriu a planta cadastral urbana para visualização dos dados pelas quadras municipais (Figura 32).

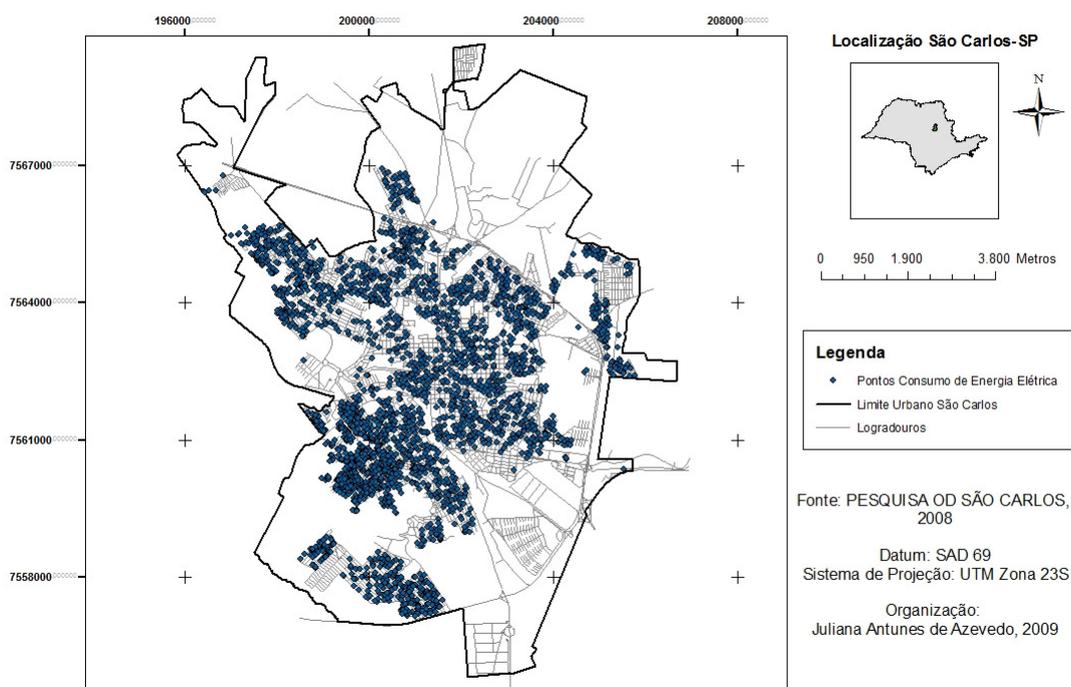


Figura 32. Pontos de Análise de Consumo de Energia Elétrica Residencial, 2008

Para a distribuição do consumo de energia elétrica foi utilizada a geoestatística, sendo escolhidas as técnicas de interpolação.

A geoestatística é uma técnica fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, segundo a qual um dado grupo de valores está de alguma forma relacionado à sua distribuição espacial, logo, as observações tomadas à curta distância apresentam-se mais semelhantes do que aquelas tomadas a distâncias maiores.

Uma das ferramentas da geoestatística são os interpoladores, sendo um deles a krigagem, que utiliza o semivariograma em sua modelagem, sendo um dos principais interpoladores utilizados nas análises de dependência espacial.

A Figura 33 apresenta o resultado com base no interpolador Krigagem.

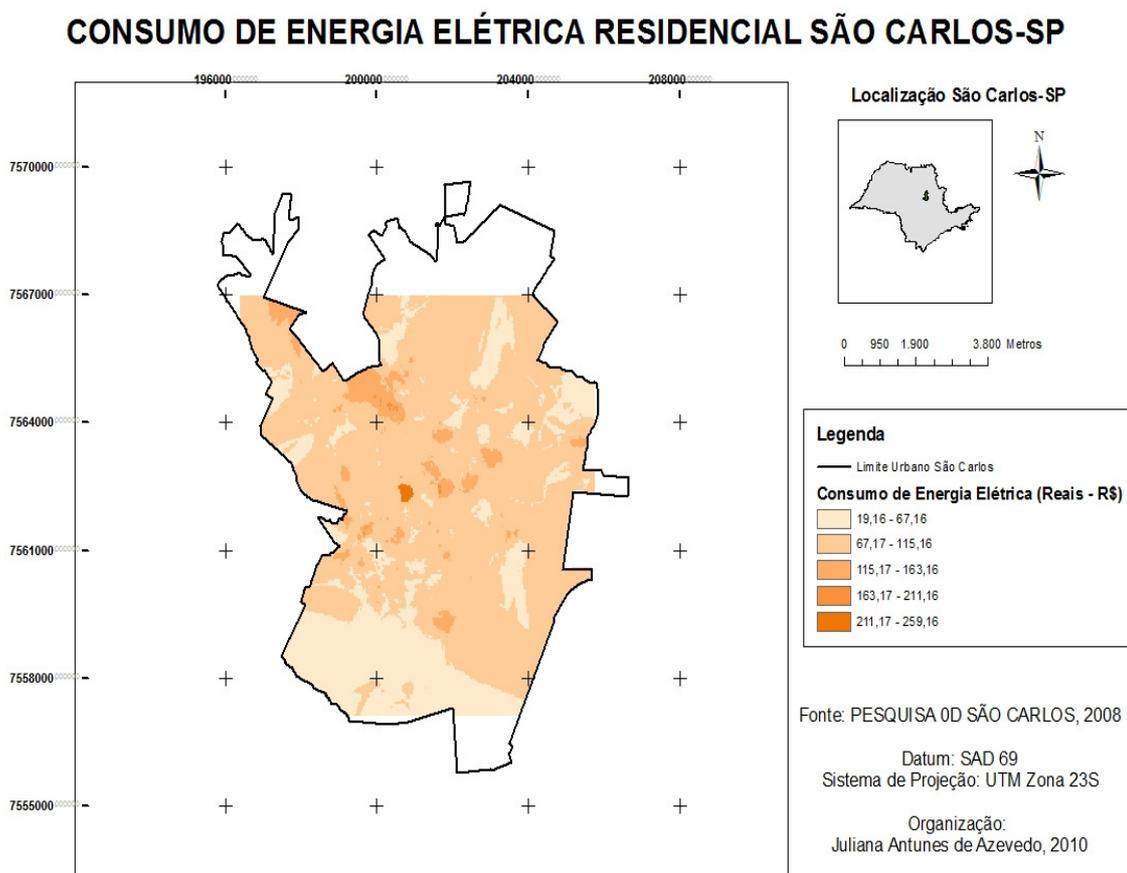


Figura 33. Distribuição do Consumo de Energia Elétrica – Método Krigagem

Sendo que a Krigagem parte do pressuposto de que a superfície gerada apresenta uma homogeneidade espacial do fenômeno estudado, isso significa que a superfície gerada depende das relações espaciais existentes entre o ponto a estimar e as amostras utilizadas

para isso. Logo, neste caso pode-se observar locais que ficaram em branco, isso é justificado por não haver amostra para se estimar o consumo nestes pontos.

Pode-se observar que existem, no centro, áreas com maiores consumos (classes mais altas de consumo) e que ao afastar-se do centro as áreas possuem menores consumos.

Observar-se na Figura 34 os locais que efetivamente havia informações e as que foram interpoladas. Em alguns casos o software pode agir realizando uma interpolação de extremos, na qual a informação pode ser menos precisa.

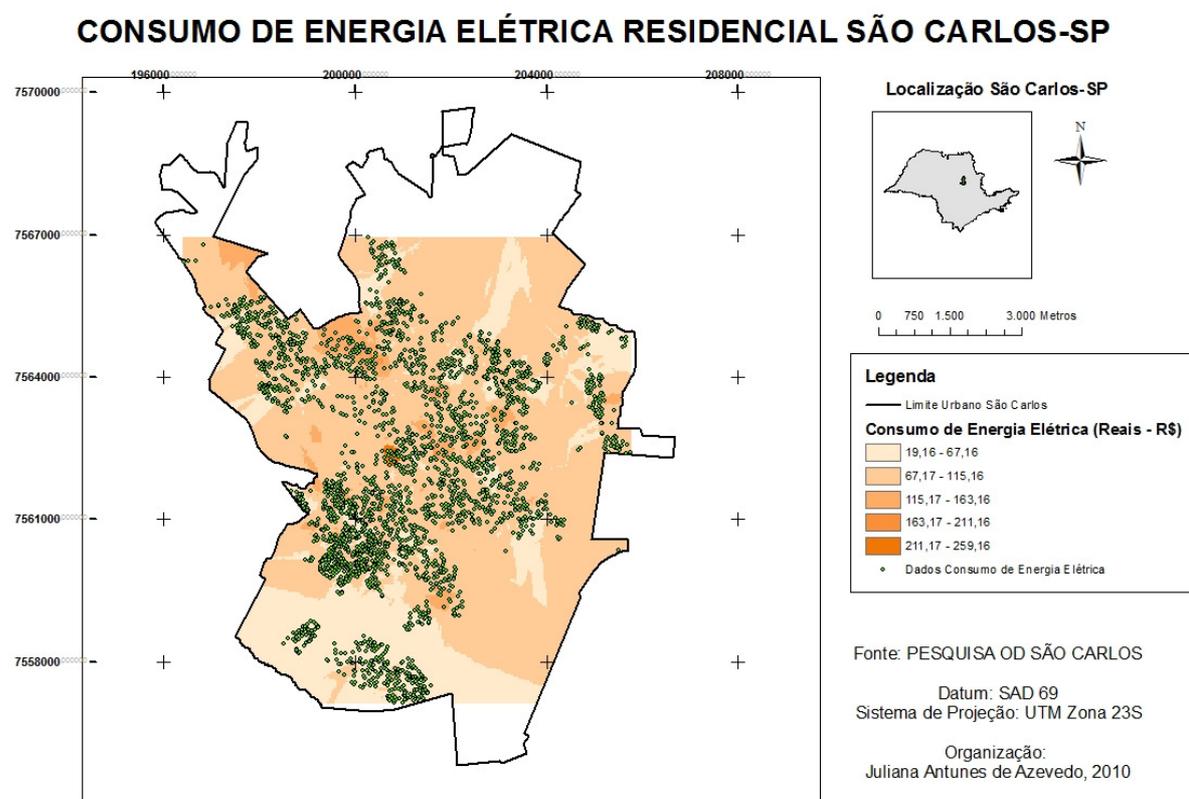


Figura 34. Krigagem e Distribuição de Pontos de Coleta

## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1. *Análise micro-escala: dados climáticos e morfologia urbana*

Dos dados coletados em campo, pode-se observar na medição 1 que a maior amplitude se deu no ponto 2, seguido pela estação do INMET, e as menores amplitudes no ponto 1, seguido pelo ponto 3.

Os horários de máximas e mínimas variam dentro de uma faixa de horários. Para o ponto 1, 2 e 3 as máximas variaram entre 14 e 17 horas, e as mínimas entre 04 e 07 horas. Já para a estação do INMET as máximas ocorreram entre 13 e 15 horas, e as mínimas entre 00 e 07 horas. No dia 02/05/2010 existe uma exceção que é, em todos os pontos a mínima ocorreu às 04 horas e na estação do INMET às 02 horas. A princípio observa-se que as máximas e mínimas ocorrem antes na estação do INMET.

O ponto 2 apresentou os maiores valores de máxima e média, seguido pelo ponto 3, indicando um campo térmico mais aquecido nestes pontos, e conseqüentemente mais propensos a formação da ilha de calor.

As menores médias ocorreram na estação do INMET, seguido do ponto 1, sendo que as menores máximas ocorreram também no ponto 1. Isto indica que o campo térmico nestes locais tende a temperaturas mais baixas, e baixa propensão de formação de ilha de calor.

No primeiro período analisado, no decorrer do dia, o ponto 1 apresentou temperaturas inferiores aos pontos 2 e 3. Sendo que o ponto 2 apresentou temperaturas superiores ao ponto 1, atingindo até 4°C a mais. O ponto 3 em relação ao ponto 1, apresentou temperaturas superiores ao ponto 1, em até 2°C.

Em relação ao ponto 3, o ponto 2, apresentou até 1°C a menos no período entre 18 horas e 09 horas, no restante do dia apresentou temperaturas maiores em até 3°C.

A estação do INMET apresentou, durante o período entre 08 e 16 horas, temperaturas maiores que os pontos. Em relação ao ponto 1 apresentou até 2°C a mais, em relação ao ponto 2 até 1,5°C a mais, e em relação ao ponto 3, até 5°C a mais.

No período que compreende das 17 horas às 07 horas, horário no qual o sol se põe e nasce as temperaturas dos pontos foram superiores. O ponto 1, apresentou temperaturas maiores em até 4°C, o ponto 2 apresentou temperaturas maiores em até 4,5°C, e o ponto 3 em até 5°C.

Considerando a descrição da ilha de calor noturna, na qual as temperaturas da área urbana, após o por do sol, se tornam mais altas que da área rural, e se dissipam após o nascer do sol, pode-se averiguar aqui que todos os pontos apresentaram ilhas de calor noturnas, em intensidades variadas.

Com base na segunda medição constatou-se que a amplitude manteve máxima e mínima para os mesmos locais, mas com uma inversão. Desta vez a estação do INMET apresentou a maior amplitude e não o ponto 2, e o ponto 3 apresentou a menor amplitude e não o ponto 1.

Para o ponto 1, 2 e 3 as máximas variaram entre 14 e 16 horas, e as mínimas entre 05 e 08 horas. Na estação do INMET as máximas ocorreram entre 14 e 15 horas, e as mínimas entre 02 e 05 horas. No dia 11/06/2010 em todos os pontos e na estação do INMET a mínima ocorreu às 00 horas.

O ponto 2 manteve os maiores valores de máxima e média, seguido pelo ponto 3, indicando novamente um campo térmico mais aquecido nestes pontos, e conseqüentemente mais propensos à formação da ilha de calor.

As menores médias se inverteram entre INMET e ponto 1, já que desta vez ocorreram no ponto 1, seguido pela estação do INMET. As menores máximas novamente ocorreram também no ponto 1. Igualmente a medição anterior, isso indica que o campo térmico nestes locais tende a temperaturas mais baixas, e baixa propensão de formação de ilha de calor.

No decorrer dos dias analisados, o ponto 1 apresentou temperaturas inferiores ao ponto 2 e 3. O ponto 2 teve temperaturas superiores em até 6°C e o ponto 3 até 3°C.

O ponto 2 em relação ao ponto 3 apresentou, no período entre 18 e 09 horas, temperaturas inferiores em até 3°C.

Em relação à estação do INMET, os pontos apresentaram temperaturas superiores no período entre 18 e 08 horas. O ponto 1 apresentou temperaturas superiores em até 3,5°C, o ponto 2 em até 3,5°C, e o ponto 3 em até 6°C.

No período que compreende das 09 às 17 horas, as temperaturas da estação do INMET, foram superiores a dos pontos. Superior em 4°C no ponto 1, 2°C no ponto 2, e 2°C no ponto 3.

Mais uma vez se observa a configuração da ilha de calor noturna, sendo esta mais intensa no ponto 3.

No período de 22/06/2010 a 28/06/2010, foi realizada a terceira e última medição, nesta a amplitude máxima se manteve para a estação do INMET e menor amplitude para o ponto 1.

Para o ponto 1, 2 e 3 as máximas variaram entre 14 e 16 horas, e as mínimas entre 05 e 08 horas. Já para a estação do INMET, as máximas ocorreram entre 14 e 16 horas, e as mínimas entre 05 e 07 horas. Exceção foi observada para o dia 22/06/2010, no qual, em todos os pontos e na estação do INMET, a mínima ocorreu às 00 horas.

O ponto 2 manteve os maiores valores de máxima e média, seguido pelo ponto 3, indicando pela terceira vez um campo térmico mais aquecido nestes pontos, e conseqüentemente mais propensos a formação da ilha de calor.

As menores médias ocorreram similarmente à primeira medição, ocorrendo a menor média no INMET, seguida pelo ponto 1. As menores mínimas ocorrem na estação do INMET, confirmando as medições anteriores. Isso indica que o campo térmico nestes locais tende a temperaturas mais baixas e baixa propensão de formação de ilha de calor.

Confirmando as medições anteriores, constata-se a configuração da ilha de calor noturna nos pontos 1, 2 e 3, observado devido a suas temperaturas mais altas na área urbana em relação a área rural, no período noturno.

Os ponto 2 e 3 apresentaram temperaturas superiores ao ponto 1 no período analisado, sendo até 5°C superior no ponto 2, e 2,5°C superior no ponto 3.

O ponto 2 apresentou temperaturas inferiores ao ponto 3 no período entre 18 e 08 horas em até 2°C.

Em relação ao INMET as temperaturas dos pontos foram inferiores no período entre 09 e 16 horas. No ponto 1 foi 2,5°C inferior, no ponto 2 1,5°C e no ponto 3 2°C. No período entre 17 e 08 horas as temperaturas foram superiores a estação do INMET. No ponto 1 foi até 5°C superior, no ponto 2 até 7,5°C superior, e no ponto 3 até 7°C superior.

As medições anteriores foram realizadas na estação de outono, esta última no inverno. Reforçando o conceito de ilha de calor noturna, essa tende a ser mais intensa no

período de inverno, o que pode foi observado neste caso, e na qual a variação da temperatura no período noturno foi maior.

Para efeito de comparação, em relação ao comportamento dos parâmetros e suas influências no clima, é descrito resumidamente na Tabela 7 o que havia sido verificado na literatura revisada.

<b>Tabela 7. Teórica</b>					
	<b>Índice de Aproveitamento</b>	<b>Taxa de Ocupação</b>	<b>Fator de Visão do Céu</b>	<b>Índice de Vegetação</b>	<b>Altura Média</b>
<b>Maior Amplitude</b>	Menor	Menor	Maior	Menor	Menor
<b>Menor Amplitude</b>	Maior	Maior	Menor	Maior	Maior
<b>Maior Média</b>	Maior	Maior	Menor	Menor	Maior
<b>Menor Média</b>	Menor	Menor	Maior	Maior	Menor

No caso dos resultados aqui alcançados, algumas diferenças entre a literatura e as observações realizadas são descritas nas Tabelas 8 e 9.

<b>Tabela 8. Resumo dados e parâmetros observados</b>			
	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>
<b>Índice de Aproveitamento</b>	Menor	Intermediário	Maior
<b>Fator de Visão do Céu</b>	Maior	Menor	Intermediário
<b>Taxa de Ocupação</b>	Maior	Menor	Intermediária
<b>Altura Média da Quadra</b>	Menor	Intermediária	Maior
<b>Índice de Vegetação</b>	Intermediário	Maior	Menor

<b>Tabela 9. Resumo dados climáticos observados</b>			
	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>
<b>Amplitude</b>	Menor Amplitude	Maior Amplitude	Amplitude Intermediária
<b>Média</b>	Menor Média	Maior Média	Média Intermediária
<b>Máxima</b>	Menor Máxima	Maior Máxima	Máxima Intermediária
<b>Mínima</b>	Menor Mínima	Mínima Intermediária	Maior Mínima

Quando comparados apenas os pontos na área urbana, a relação dos parâmetros avaliados e campo térmico dos pontos, pode-se observar que o índice de vegetação não se mostrou como técnica adequada a micro-escala, mas sim à meso e à macro-escala, pois essa influencia suas áreas arredores.

Maior taxa de ocupação indicou maior densidade de construção daquele ponto, logo menor velocidade de trocas de radiação, portanto, uma menor amplitude de temperatura, o que foi constatado (ponto 1). A média em relação à taxa de ocupação não condiz neste caso com o descrito pela bibliografia, já que a maior taxa de ocupação não correspondeu a maior média e sim a menor média. A menor taxa de ocupação (ponto 2) apresentou maior amplitude e média de temperatura, reforçando a afirmação para a maior taxa de ocupação.

Quanto ao fator de visão do céu, quanto mais próximo de 100%, menor foi sua amplitude e menor foi sua média. Em relação à média, isso confirma o descrito pela bibliografia consultada, mas não em relação a amplitude. Quanto maior a área visível (fator de visão do céu), mais rápido são os processos de troca, resultando em trocas mais rápidas, e logo maior amplitude, entretanto isso não é demonstrado nos dados desta medição, que indicam uma menor amplitude.

Em relação ao índice de aproveitamento e à altura média da quadra, obteve-se que o menor índice de aproveitamento e altura média não indicaram uma maior amplitude, devido a troca mais rápida de energia. A média segue o descrito pela bibliografia, pois menor índice de aproveitamento e altura média resultaram em menor média.

A análise revela que, no caso de São Carlos-SP, a teoria não pode ser 100% comprovada para a micro-escala nos pontos avaliados, principalmente, em relação a sua influência sobre a amplitude. Exceção é destacada para o caso da taxa de ocupação, que apresentou a influência prevista sobre a amplitude, mas não sobre a média.

#### ***4.2. Análise da meso-escala: temperatura radiométrica, índice de vegetação e análise multicritério***

A média resolução da imagem não permite dados precisos da temperatura de superfície de um quarteirão, no entanto, permite observar os locais com temperatura de superfície mais alta e mais baixa, permitindo visualizar os locais de maior ou menor probabilidade de ocorrência da ilha de calor, já que a temperatura de superfície é um importante indicativo de locais de provável ocorrência da ilha de calor (Figura 35).

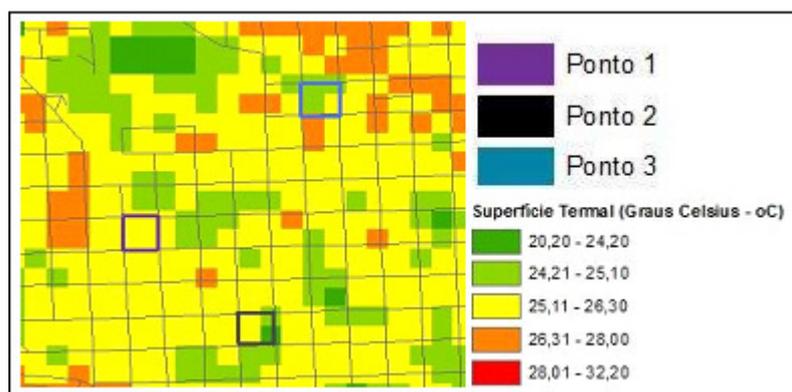


Figura 35. Imagem Térmica – Landsat 7 – Banda 6 – Pontos de controle (legenda)

Através da Figura 35 pode-se observar, de acordo com as informações do pixel, que o ponto 1 está em uma faixa de 25,11 a 26,30 °C, mas seus arredores possuem temperatura predominante de 24,21 a 25,10 °C. E o mesmo equivale para o ponto 2, representado pelo contorno preto.

O ponto 3 apesar de possuir uma parcela de faixa entre 24,21 a 25,10 °C possui seus arredores em temperatura predominante de 26,31 a 28,00 °C.

Considerando as áreas dos arredores, para fins de análise é possível classificar o ponto 1 como o de menor temperatura superficial, o ponto 2 como intermediário e o ponto 3 como o de maior temperatura superficial.

No resultado obtido no índice de vegetação, pode-se constatar o menor índice de vegetação nas regiões mais próximas ao centro e o maior índice nos bairros residências e na região rural do município.

Devido à resolução média da imagem, não se pode constatar com alto grau de precisão, o índice de vegetação de um quarteirão, no entanto, é possível uma visualização do panorama geral de distribuição de vegetação pela área municipal, e principalmente a diferença entre a zona rural e a zona urbana.

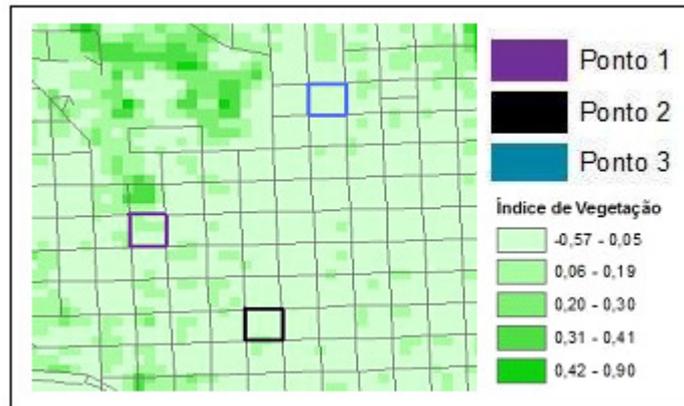


Figura 36. NDVI – Landsat 7 – Bandas 3 e 4 – Pontos de controle

Na Figura 36, pode-se constatar as características de cada quarteirão e de seu entorno. O ponto 1, possui alguns pixels com maior índice de vegetação (0,06-0,19) e está próximo a uma área de maior índice de vegetação (0,20-0,30 e 0,31-0,41).

No ponto 2, seu índice de vegetação é -0,57 a 0,05, sendo o mesmo índice para seus arredores.

O ponto 3, assim como o ponto 2, apresenta seu índice de vegetação de -0,57 a 0,05, entretanto ao contrário do ponto 2, seu arredor está mais próximo a uma área densamente vegetada (0,20 a 0,30 e 0,31 a 0,41), mas também não tão próximo a esta área como o ponto 1.

A partir disto poderia ser classificado para fins de análise, o ponto 1 como mais vegetado, ponto 2 como menos vegetado e ponto 3 como ponto intermediário.

Na micro-escala, o ponto 1 possui vegetação intermediária de acordo com o índice, e em meso-escala, possui uma área densamente vegetada a seu redor, e obteve as menores máximas, mínimas e médias. Pode-se assim avaliar que a vegetação, para este estudo, configurou-se como o parâmetro que em meso-escala mais interfere na temperatura média do ambiente.

Sabendo-se que a presença de vegetação e temperatura de superfície são importantes fatores de influência no campo térmico da cidade, e conseqüentemente no consumo de energia elétrica, foi realizada uma análise multicritério para elaborar um cenário, simulando os locais de menor e maior gasto energético.

Este cenário pode ser utilizado como uma ferramenta prática para o planejamento da cidade, pois indicam locais com maior necessidade de arborização, locais com necessidade de maior ou menor suprimento de energia elétrica, locais onde há necessidade de políticas de restrição de uso de certos tipos de materiais, entre outros.

A análise multicritério, indica o resultado do encontro das classes de temperatura de superfície e índice de vegetação e suas combinações possíveis. Esse é um prognóstico das áreas mais e menos tendenciosas ao consumo de energia elétrica de acordo com os fatores em meso-escala (índice de vegetação e temperatura de superfície).

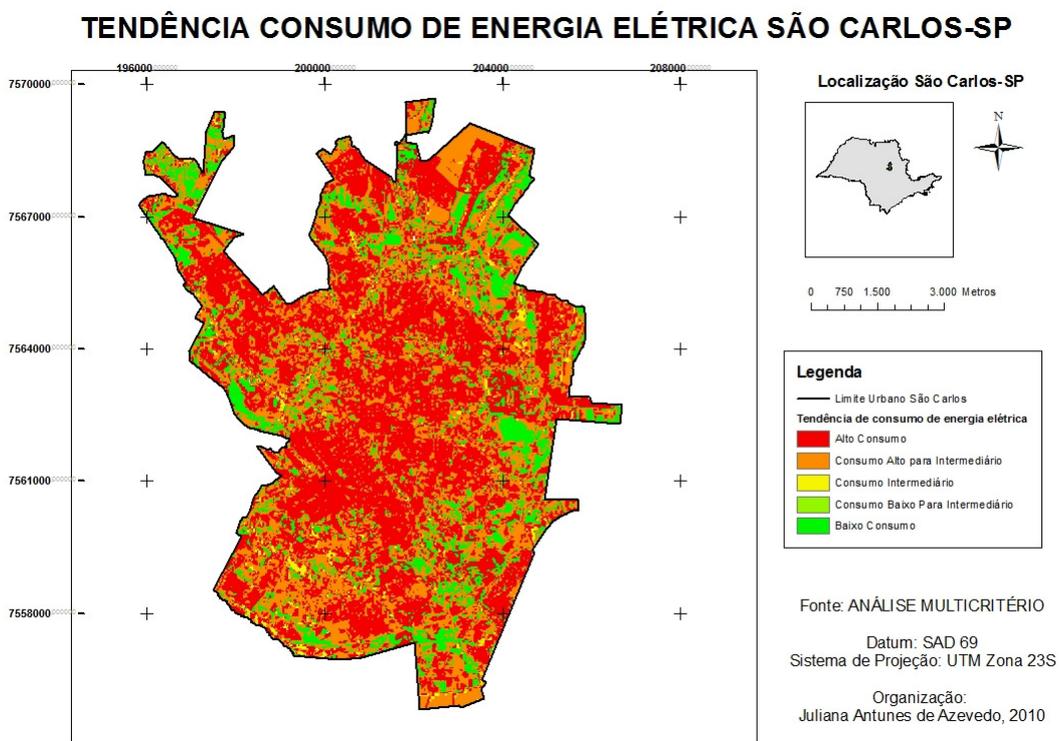


Figura 37. Mapeamento da tendência de consumo de energia elétrica, em 5 classes

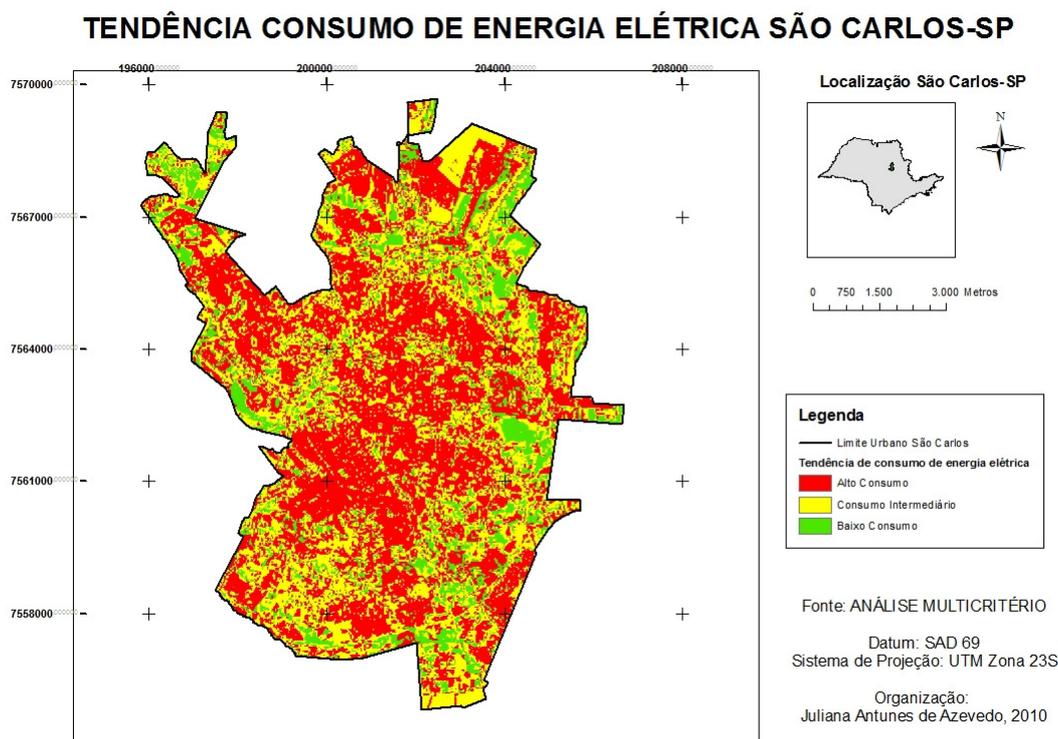


Figura 38. Mapeamento da tendência de consumo de energia elétrica, em 3 classes

A Figura 37 é uma interpretação das classes resultantes da análise multicritério em uma divisão de cinco classes de trabalho para o planejamento. Entretanto, por não ter apresentado um resultado prático, foi realizada uma segunda interpretação (Figura 38) em três classes de trabalho.

Esta segunda interpretação fornece um resultado visual mais claro dos locais mais e menos tendenciosos ao consumo, considerando apenas os fatores ambientais em meso-escala.

Observa-se que ao se afastar do centro da área urbana, as áreas de baixo consumo e consumo intermediário aumentam, assim como no centro é predominante a classe de alto consumo.

Devido às particularidades do consumo relativas ao padrão de renda dos indivíduos, esta carta de tendência ao consumo de energia elétrica, é um prognóstico de caráter ambiental, sendo necessária uma análise que também avalie a classe, seja ela de renda ou sócio econômica, para se tornar uma ferramenta ainda mais eficaz ao planejamento urbano.

### 4.3. Análise consumo energético

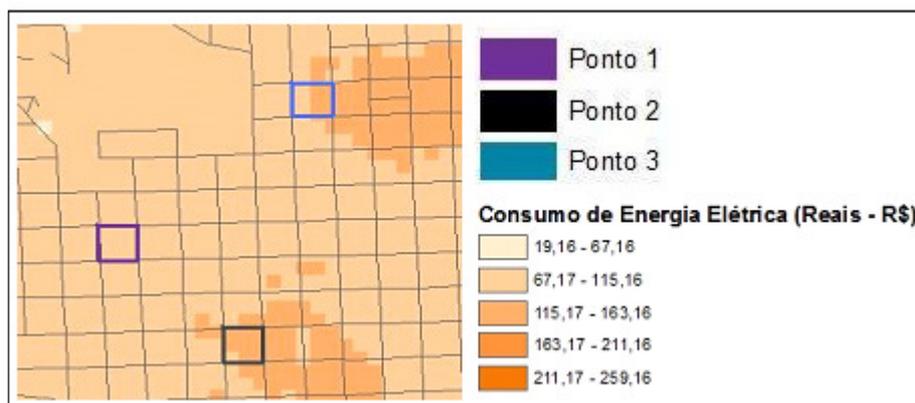


Figura 39. Distribuição Consumo de Energia Elétrica – Método Krigagem – Pontos de controle

Dentre os interpoladores testados para análise da distribuição do consumo de energia elétrica (Krigagem, Vizinho mais próximo e IDW) para essa pesquisa, a Krigagem apresentou os resultados visuais mais satisfatórios, permitindo que, através das informações disponíveis pelas amostras, sejam previstos valores para áreas não amostradas. É importante ressaltar que em técnicas de estatística espacial, quanto menor o número de pontos, menor é a confiabilidade dos dados, já que começa a se calcular através da interpolação de extremos.

A Figura 39 permite observar que o ponto 1 está em uma área homogênea, tendo uma faixa de gasto de R\$ 67,17 a R\$115,16. O ponto 2 possui uma predominância no valor de R\$115,17 a R\$163,16 e está próximo a um ponto de gasto alto de R\$ 211,17 a R\$259,16. E por fim o ponto 3, está em uma área bem dividida entre R\$ 67,17 a R\$115,16 e R\$ 115,17 a R\$163,16.

É importante destacar que quando se trata de consumo de energia elétrica residencial, o consumo também varia de acordo com a classe do indivíduo, principalmente se a divisão adotada for a da ABEP que define o acesso ao consumo de acordo com classes.

Uma mesma classe de renda tende a ter um consumo parecido, entretanto dentro de uma mesma classe de renda pode haver consumos diferenciados. Por exemplo, uma mesma classe de renda, é composta por diferentes faixas etárias, uma classe alta com predomínio de indivíduos de mais de 60 anos será diferente da mesma classe com predomínio entre 18 e 24 anos, assim como, uma mesma faixa etária pode ter acesso a

diferentes produtos de acordo com suas prioridades. Logo, quando possível, deve-se considerar a classe econômica definida pela ABEP.

Entretanto a renda não deixa de ser fator de classificação e pode indicar explicações para a variação de consumo entre os bairros no município de São Carlos-SP.

Através classificação entre as regiões da cidade, indicando quais as regiões predominantemente de classes altas ou classes mais baixas, compara-se o consumo com o predomínio de classes. Predomínio de classes aqui deve ser entendido de forma que existe uma maioria de bairros com certo status, entretanto, podem haver outros que não sigam o padrão da maioria, como o caso de alguns bairros localizados na região oeste e noroeste, mas que, no entanto, são bairros de classe baixa nos arredores de bairros de classe média.

Para exemplificar melhor esta tendência ao consumo, considerando apenas a classificação de renda, tem-se que a região oeste e noroeste de São Carlos-SP são regiões classificadas pela Prefeitura Municipal como predominantemente de classe média alta e classe alta. No entanto pode ser constatado de forma generalizada pela carta temática da Figura 40 que tal região possui um consumo acima de outras regiões residenciais.

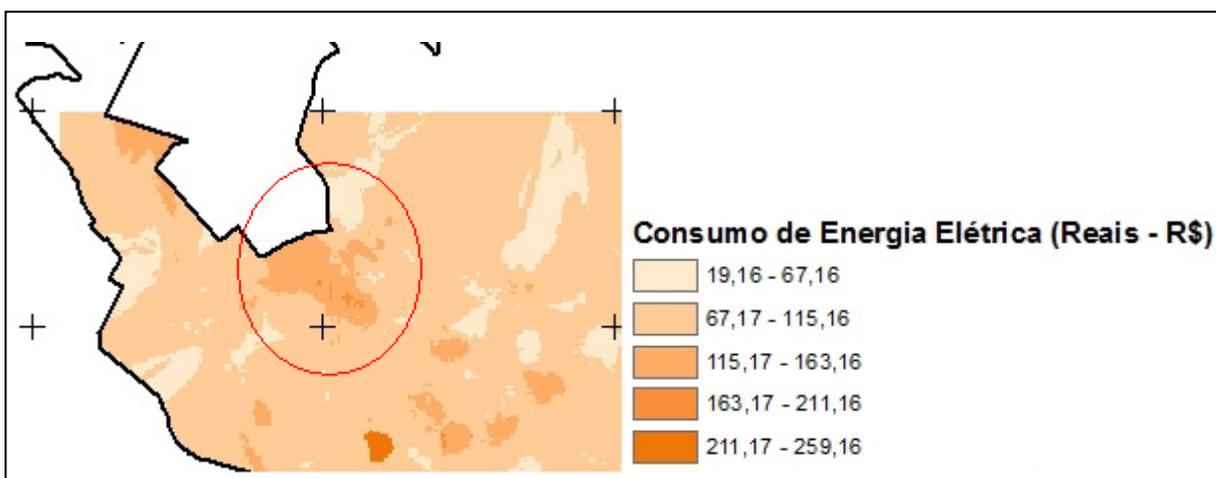


Figura 40. Região oeste e noroeste de São Carlos-SP: Bairros predominantemente de classe média alta e classe alta. Parque Santa Marta e condomínios

Ou ainda pode-se utilizar o exemplo da região sul de predominância de classe média e uma favela nas proximidades, onde pode ser constatado pela carta temática que tal região possui um consumo menor do que outras regiões residenciais (Figura 41).

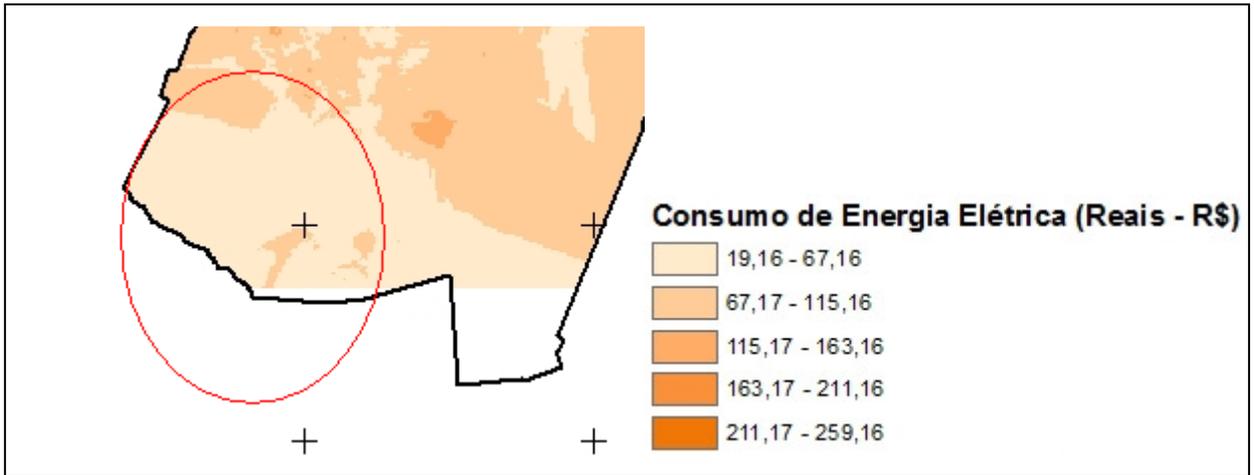


Figura 41. Região Sul de São Carlos-SP: Bairros predominantemente de classe média. Vila Prado, Vila Boa Vista, Jardim Cruzeiro do Sul

Ao se comparar o mapeamento da tendência de consumo de São Carlos-SP, e a distribuição do consumo de energia elétrica, pode-se observar na Figura 42 que existe uma relação de classes, já que os pontos onde a classe de baixo consumo apareceu (verde) são locais onde o consumo de energia esteve entre as menores classes (R\$19,16 e R\$67,17-115,16).

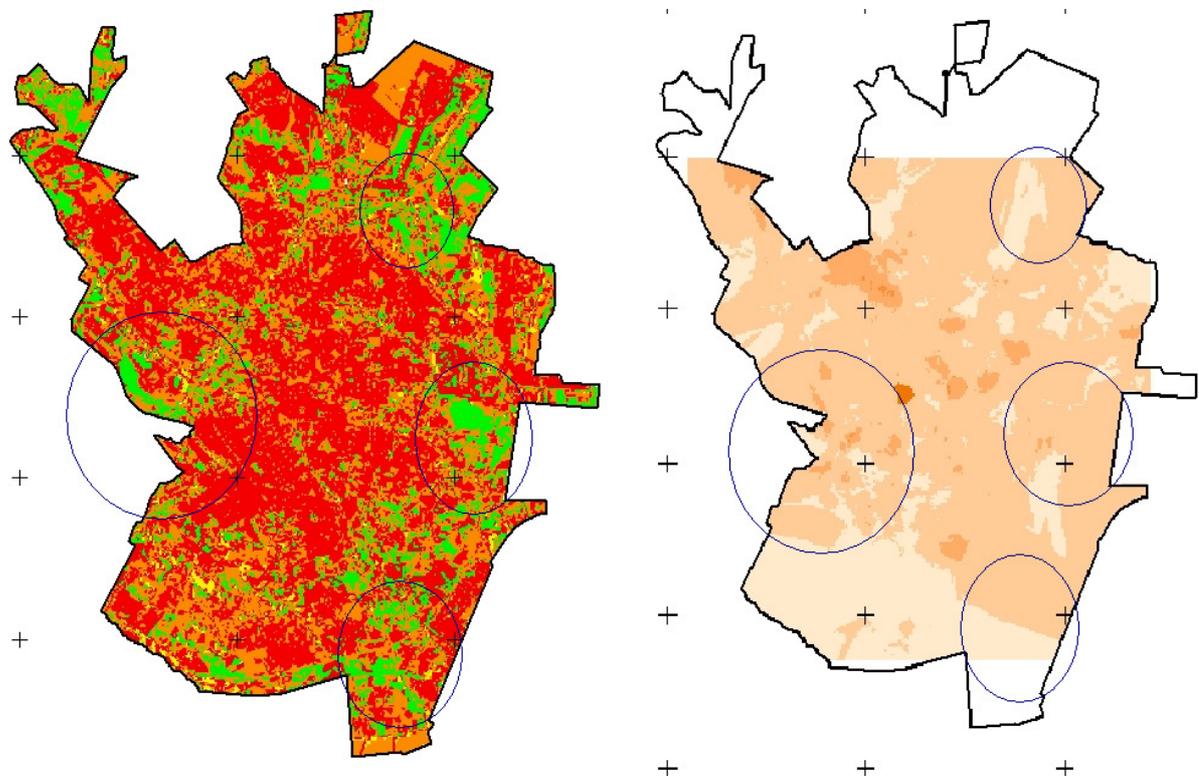


Figura 42. Relação das classes de consumo de energia elétrica e de tendência ao consumo

## 5. CONCLUSÕES

A pesquisa corroborou as hipóteses de que existem características morfológicas na cidade que interferem diretamente no clima, sendo algumas condicionantes de ilhas térmicas, em meso-escala e/ou micro-escala; e de que as diferenciações no campo térmico geram maior consumo de energia elétrica residencial. Assim foram estabelecidas relações entre o campo térmico e consumo de energia elétrica residencial na cidade de São Carlos-SP, para diferentes escalas de abordagem e em função de alguns parâmetros da morfologia urbana.

Em relação aos fatores e parâmetros e suas influências nas escalas e clima urbano, concluiu-se que a vegetação é um fator de importante influência em meso-escala.

A taxa de ocupação apresentou o comportamento previsto em bibliografia para amplitude, mas não para as médias, mínimas e máximas. Identificou-se que quanto maior a taxa de ocupação, menor amplitude e, quanto menor a taxa de ocupação, maior a amplitude. Sua relação foi com a micro-escala do clima.

Ainda em relação aos parâmetros e fatores, pode-se concluir que o fator de visão do céu, índice de aproveitamento e altura média das edificações na quadra, apresentaram os resultados para as médias, mínimas e máximas que confirmam a literatura, mas não para a amplitude. Quanto maior o índice de aproveitamento e a altura média, maiores foram as médias de temperatura, máximas e mínimas, e, quanto menor o índice de aproveitamento e altura média, menores foram as médias de temperatura, máximas e mínimas. Sua relação foi com a micro-escala do clima, assim como a taxa de ocupação.

Foi constatada a ocorrência de ilha de calor noturna nos três pontos, em diferentes graus de intensidade, sendo mais intensas nos pontos 2 e 3, e menos intensa no ponto 1. Nos pontos 2 e 3, devido às características do fator de visão do céu, índice de aproveitamento, altura média da quadra na micro-escala e índice de vegetação, quando avaliado em meso-escala, o campo térmico foi mais propenso à formação das ilhas de calor mais intensas.

A limitação apresentada neste ponto da investigação é o fato de serem necessários estudos com maior número de pontos para verificar a possibilidade de comprovação da literatura quanto à amplitude no caso de São Carlos-SP, assim como a avaliação de outros parâmetros como topográfica, largura das vias, entre outros, para avaliar também a influência destes.

Nas relações estabelecidas entre consumo de energia elétrica residencial, clima e escalas, observou-se que o consumo de energia elétrica residencial apresentou uma distribuição coerente ao apresentado pela carta de tendência ao consumo de energia elétrica e com a temperatura de superfície e o índice de vegetação, que avalia a meso-escala.

Uma limitação observada em relação ao estudo do consumo de energia elétrica realizado, é que não foi considerada uma avaliação sócio-econômica dos pontos de controle, pois, algumas classes, apesar de residirem em bairros residências com melhores condições dos parâmetros urbanos, tendem a consumir mais, devido à maior renda ou ao maior acesso ao consumo, e conseqüente maior facilidade para aquisição de aparelhos eletrodomésticos e eletroeletrônicos.

Um estudo que considere o comportamento sócio-econômico (ABEP), ou mesmo a classe de renda (IBGE) é de bastante valia para estudos de consumo de energia elétrica, já que o consumo da energia elétrica está relacionado ao consumo da classe.

Em relação ao potencial das técnicas de geoprocessamento (análise multicritério, algoritmos e krigagem) para estudos desse gênero, foi verificada a sua potencialidade em relação ao índice de vegetação aplicado as imagens. É uma técnica simples de ser executada, entretanto, apesar de apresentar resultados úteis para meso-escala, na micro-escala ela não apresentou os resultados esperados, tendo sua utilização limitada.

O algoritmo utilizado nas imagens para obtenção da temperatura termal foi útil para avaliar a temperatura de superfície, tendo indicado os locais mais propensos à formação de ilhas de calor (constatado nas medições), mas mais uma vez foi interessante para avaliação em meso escala.

A krigagem, dentre os interpoladores geoestatísticos testados, permitiu a confecção de uma carta temática útil para avaliar os locais de maior uso de energia elétrica, indicando sempre as regiões centrais como as de maior consumo, e as periféricas, regiões com menor altura média, maior índice de vegetação, maior fator de visão do céu, com consumos menores. Entretanto, dentre os outros interpoladores (Vizinho mais próximo e IDW), não apresentaram resultados passíveis de utilização.

A análise multicritério foi considerada bastante aplicável a projetos de planejamento urbano, já que permitiu indicar locais mais suscetíveis ao alto e baixo consumo de energia elétrica. Com esse prognóstico podem ser elaboradas políticas adequadas ao controle do

consumo de energia elétrica, ao se avaliarem parâmetros ambientais. Assim, por exemplo, locais que indicaram alta tendência de consumo podem ter legislações específicas de incentivo a arborização e altura média da construção.

Mediante aos resultados obtidos e algumas limitações que foram encontradas no estudo, ficam como sugestões técnicas, que estudos futuros sejam realizados com maior número de pontos de controle para entendimento da influência da taxa de ocupação e comportamento da amplitude, assim como a investigação de outras variáveis que não foram aqui avaliadas (como: largura das vias, topografia, orientação das vias, entre outras).

A utilização de uma carta de vegetação ao invés do índice de vegetação tende a melhorar as avaliações em relação à influência da vegetação em micro-escala. Assim como, a utilização de uma imagem de maior resolução para melhor avaliação da temperatura de superfície.

E por fim, além do já citado estudo da classe social, sugere-se também a inserção dos resultados na análise de multicritério, em forma de camada de dados, sendo uma referente à classe de renda (IBGE) e outra referente à classificação sócio-econômica (ABEP) das regiões.

## BIBLIOGRAFIAS DE REFERÊNCIA

ABEP - [http://www.abep.org.br/usuario/GerenciaNavegacao.php?caderno\\_id=&nivel=0](http://www.abep.org.br/usuario/GerenciaNavegacao.php?caderno_id=&nivel=0)  
Acessado em 23/08/2010, às 08:40 horas.

ACHÃO, C. C. L. – **Análise da estrutura de consumo de energia elétrica pelo setor residencial brasileiro**. Tese de doutoramento. UFRJ: Rio de Janeiro, 2003.

AMORIM, M. C. C. T. – **A geração de ilhas de calor em ambientes construídos**. *PLURIS*, Braga, 2006.

AMORIM, M. C. C. T. – **A geração do clima urbano em cidades do oeste do Estado de São Paulo/Brasil**. *EGAL*, Montevideú, 2009.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H; SANT'ANA NETO, J. L. – **Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França)**. *Confins*, 2009.

ARAUJO, V. M. D.; ARAUJO, E. H. S. – **Medição de parâmetros microclimáticos para estudos de clima urbano: controle de qualidade dos dados e tratamento estatístico**. *Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável*, Belo Horizonte, 2010.

ASSIS, E. S. – **Impacto da forma urbana na mudança climática: método para previsão do comportamento térmico e melhoria do desempenho do ambiente urbano**. Tese de doutoramento. São Paulo: USP, 2000.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. – **Clima e cidade: A abordagem climática como para estudos urbanos**. UFAL, Maceió, 2007.

BARBOSA, R. V. R. – **Estudo do campo térmico urbano de São Carlos (SP): análise da intensidade da ilha de calor urbana em episódio climático de verão**. Tese de doutoramento. São Carlos: USP, 2010.

BORTOLUCCI, A. A. – **Caracterização geológica-geotécnica da região urbana de São Carlos-SP, a partir de sondagens de simples reconhecimento**. Dissertação de mestrado. São Carlos: USP, 1983.

BRANDÃO, R. S. – **As Interações Espaciais Urbanas e o Clima: incorporação das análises térmicas e energéticas no planejamento urbano**. Tese de doutoramento. São Paulo: USP, 2009.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estatísticas do século XX**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

CAJAZEIR, A. A.; ZANELLA, M. E. – **Contribuição aos estudos do clima nas cidades: o caso de Maracanaú-CE**. ENG, Porto Alegre, 2010.

COLTRI, P. P. – **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto**. Dissertação de Mestrado. Piracicaba: USP, 2006.

CORSEUIL, C. W.; CAMPOS, S. – **Geoprocessamento aplicado na adequação do uso de terras**. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo - CBCS 2007, Gramado - RS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Gramado, 2007.

CPFL - <http://www.cpfl.com.br/SeuConsumo/CálculodeConsumo/tabid/1090/language/pt-BR/Default.aspx> Acessado em 22/08/2010, às 15:07 horas.

DUARTE, D. H. S. – **Variáveis urbanísticas e microclimas urbanas – Modelo empírico e proposta de um indicador**. *Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável*, Belo Horizonte, 2010.

FREITAS, M. K.; CAPORUSSO, D.; LOMBARDO, M. – **O uso da imagem termal para identificar o fenômeno de ilha de calor na área urbana da cidade de Ribeirão Preto – SP, Brasil**. PLURIS, Braga, 2006.

FREITAS, M. K.; LOMBARDO, M. – **Uso do sensoriamento remoto para estudo de conforto térmico urbano como subsídio ao planejamento urbano**. PLURIS, Braga, 2006.

FREITAS, M. K.; LOMBARDO, M. – **Geoindicadores para avaliação das condições ambientais de conforto térmico no espaço urbano como subsídio ao planejamento urbano**. PLURIS, Santos, 2008.

GIVONI, B. – **Climate considerations in Buildings and urban Design**. John Wiley & Sons, Inc., 1998.

INMET - <http://www.inmet.gov.br/> Acessos diversos no período de estudo.

KATZSCHNER, L. – **Avaliação de conforto térmico para o planejamento urbano sob a consideração da mudança climática global.** *Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável*, Belo Horizonte, 2010.

LEME, F. T.; PEDROTTI, F. S.; SOUZA, L. C. L – **Desempenho térmico urbano em função da geometria gerada pelas edificações.** *PLURIS*, São Carlos, 2005.

LANDSBERG, H. E. – **The urban climate.** Academic Press, New York, 1981.

LOMBARDO, M. A. – **A ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo.** Hucitec, São Paulo, 1985.

LOMBARDO, M. A.; FREITAS, M. K. – **O uso de imagens de alta resolução – IKONOS II para o estudo de conforto térmico urbano como subsídio ao planejamento urbano.** *PLURIS*, Braga, 2006. (c)

MASCARÓ, L. R. – **Ambiência Urbana - Urban environment.** Porto Alegre: Sagra: DCluzzatto, 1996.

MATIAS, L. F.; CAPORUSSO, D. – **Áreas verdes urbanas: avaliação conceitual e metodológica a partir do estudo de caso na cidade de Paulínia – São Paulo, Brasil.** *EGAL*, Montevideu, 2009.

MELO, D. H. C. T. B. – **Uso de dados IKONOS II na análise urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo.** Dissertação de Mestrado, São José dos Campos: INPE, 2002.

MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. F. – **Clima urbano.** São Paulo: Contexto, 2003.

MENESES, P. R. e NETTO, J. S. M. – **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais.** DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

MONTEIRO, C. A. F – **Teoria e Clima Urbano.** Tese de Doutorado. São Paulo: IGEO/USP, 1976.

MONTEIRO, C. A. F. – **A cidade como processo derivador ambiental e geração de um clima urbano.** *Geosul*, nº9, Ano V, p. 80 – 112, 1990.

MOREIRA, M. A. – **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** Viçosa: UFV, 2005.

- OKE, T. R. – **Boundary Layer Climates**. London: Routledge, 1981.
- OKE, T. R. – **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. World Meteorological Organization (WMO) Report, 2004.
- OLIVEIRA; C. H. – **Planejamento ambiental na cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e nas áreas verdes: diagnóstico e propostas**. Dissertação de Mestrado. São Carlos: UFSCar, 1996.
- OLIVEIRA, A. P.; SOUZA, L. C. L. – **Ilha de calor e consumo de energia elétrica**. *ENCAC* 2007. Maceió, 2007.
- PEDROTTI, F. S.; LEME, F. T.; SOUZA, L. C. L. – **Orientação de vias e temperatura urbana como condicionantes do consumo de energia elétrica**. *PLURIS*, São Carlos, 2005.
- PEREIRA, G. – **Análise das mudanças no uso e ocupação do solo através de dados de satélites e suas implicações na alteração do campo térmico do Bairro Kobrasol, São José/SC**. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. Anais XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006.
- RIBEIRO, C. A. M. – **Aplicação de técnicas de geoprocessamento para análises das relações entre o fator de visão do céu e as diferentes orientações da malha urbana**. Trabalho de conclusão de curso: João Pessoa: IFPB, 2009.
- ROMERO, M. A. B. – **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. 1.ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.
- ROSSETTI, A. I. N.; PELLEGRINO, P. R. M.; TAVARES, A. R. – **As árvores e suas interfaces no ambiente urbano**. *REVSBAU*, v.5, n.1, p.1-24, Piracicaba, 2010.
- SANT'ANNA NETO, J. L. - **Clima urbano e segregação sócio-espacial em cidades tropicais de médio porte**. *EGAL*, Montevideu, 2009.
- SORANO, E. C. – **Ergonomia de quadras urbanas: condição térmica do pedestre**. Bauru: UNESP, 2009.
- SOUZA, L. C. L. – **Mapeamento térmico e acústico de um bairro residencial para fins de planejamento urbano**. *PLURIS*, Braga, 2006.

SOUZA, L. C. L.; YAMAGUTI, M. L. – **Orientation, Building Height and Sky View Factor as Energy Efficiency Design Parameters.** *PLEA*, Singapura, 2007.

SOUZA, L. C. L.; NAKATA, C. M.; POSTIGO, C. P.; SORANO, E. C. – **Ambiente Térmico do Pedestre.** *PLURIS*, Santos, 2008.

SOUZA, L. C. L.; POSTIGO, C. P.; OLIVEIRA, A. P.; NAKATA, C. M. – **Urban heat island and electrical energy consumption.** *International Journal of Sustainable energy*. Vol. 27, nº 4, dez, 2008, 1-9.

SOUZA, L. C. L. – **Relações entre ilhas de calor, geometria urbana e consumo de energia elétrica.** *Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável*, Belo Horizonte, 2010.

SOUZA, J. L. – **Análise do campo térmico de cidades de médio porte: estudo de caso no pólo textil de Americana-SP.** Dissertação de Mestrado. Rio Claro: UNESP, 2007.

SOUZA, J. L.; POLIZEL, J. L.; VELASCO, G. D.; ALVARES, C. A.; SILVA FILHO, D. F.; LOMBARDO, M. A. – **O uso de sensoriamento remoto na análise da qualidade ambiental em áreas urbanas.** *PLURIS*, Braga, 2006.

TAVARES, A. C. – **O clima local de Campinas (introdução ao estudo de clima urbano).** Dissertação de Mestrado. São Paulo: USP, 1974.

UFSCAR - [www.dep.ufscar.br/localizacao.php](http://www.dep.ufscar.br/localizacao.php) Acessado em 06/08/2010, às 12:46 horas.

VELASCO; G. D. – **Potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica: definições de três áreas na cidade de São Paulo – SP, aplicação de questionários, levantamento de fatores ambientais e estimativa de Graus – Hora de Calor.** Tese de Doutorado. Piracicaba: USP, 2007.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. – **Thermal Remote Sensing of urban Climates.** *Remote Sensing of Environment*, vol. 86, p. 370-384, 2003.