

## Proposição metodológica para o estudo da Camada Limite Urbana utilizando VANT's

Rafael Gotardi Brússolo <sup>(a)</sup>, Gustavo Zen de Figueiredo Neves <sup>(a)</sup> Francisco Arthur da Silva Vecchia <sup>(b)</sup> Adriano Rogério Bruno Tech <sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental/Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, rgrussolo@usp.br

<sup>(a)</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental/Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, gustavozen@sc.usp.br

<sup>(b)</sup> Professor Associado/Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, fvecchia@sc.usp.br

<sup>(c)</sup> Professor Associado/Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, adriano.tech@usp.br

### Eixo: Climatologia em diferentes níveis escalares: mudanças e variabilidades

#### Resumo

O presente trabalho tem como objetivo propor uma metodologia para o estudo da Camada Limite Urbana (*Urban Boundary Layer*) proposto por Oke (1978). Tal metodologia pauta-se no uso de Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANT's) suspendendo um conjunto de instrumentos termo-higrométricos automáticos em alturas geométricas distintas, com o objetivo de caracterizar a variação termo-higrométrica em diferentes níveis verticais da atmosfera urbana. A outra proposta é acoplar câmeras termais nos VANT's para captar a temperatura de superfície e compará-las com as imagens orbitais.

**Palavras chave:** Clima Urbano. Proposta metodológica, VANT'S.

#### 1.Introdução

O processo acentuado de urbanização leva a ocupação desordenada do espaço urbano, substituindo os elementos naturais pelos materiais construtivos, alterando o balanço de energia nas cidades. A consequência é a diminuição do bem-estar da população causado pelo desconforto térmico, em resposta ao adensamento de materiais que absorvem mais energia calorífica.

Com isso evidencia-se que a ilha de calor é fruto da retirada da cobertura natural para a estruturação do espaço urbano, dando sustentação para possíveis alterações na temperatura, umidade relativa do ar e na direção dos ventos, sendo estes modificados pela morfologia urbana. Neste sentido,

(...) o geógrafo deve considerar a cidade como ambiente que revela um clima urbano como um produto da transformação de energia configurada entre o ar atmosférico e o ambiente urbano construído pelo homem. (SOUZA, 2007, p. 36).



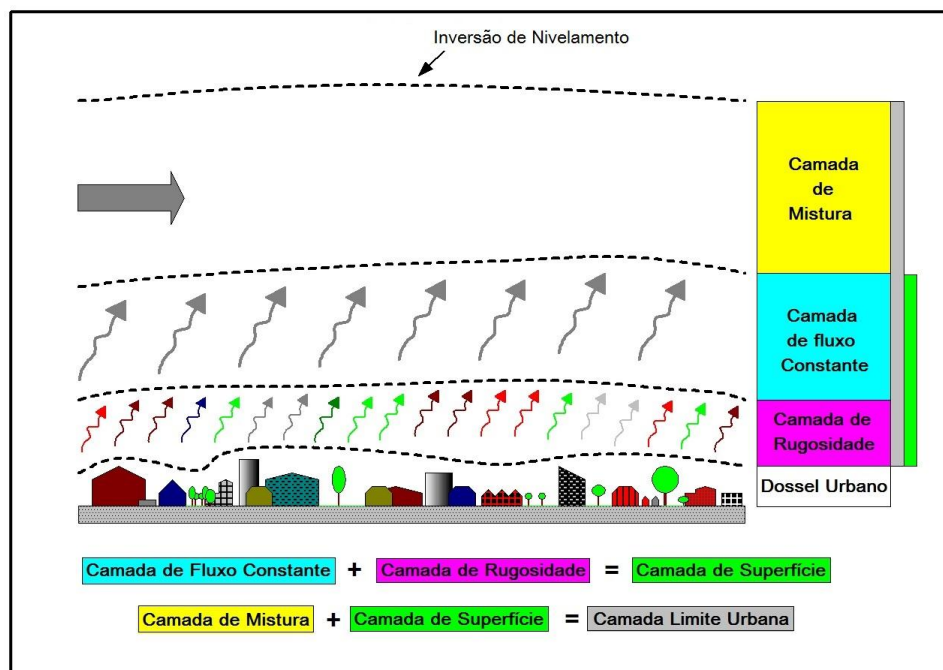
Vários estudos (HART e SAILOR, 2008; ALCOFORADO et al, 2009; HAMADA e OHTA, 2010; BRÚSSOLO, 2015; ALVES, 2016) apresentam diferentes metodologias que demonstram a influência do urbano nas condições climáticas locais.

O sistema clima urbano, segundo a escola Okeana, possui uma diferença térmica e turbulenta entre a Camada Limite Urbana e a Camada do Dossel Urbano. Os processos microclimáticos no ambiente urbano são derivados dessas interações.

A camada limite evolui em resposta ao ciclo diário de aquecimento e resfriamento da atmosfera. As alterações mais significativas nesses perfis ocorrem na parte superior da Camada de Mistura, onde uma inversão de nivelamento interrompe o transporte ascendente dos efeitos da superfície. Os principais agentes de transporte e mistura são térmicos.

As zonas urbanas têm uma estrutura complexa tridimensional que inclui a superfície vertical, como paredes, bem como superfícies horizontais (telhados, estradas, asfaltos, copas das árvores, solo exposto). A atmosfera urbana, que se situa dentro do dossel da camada urbana, é, portanto, condicionada por temperaturas tanto de superfícies horizontais e verticais. A contribuição de cada uma se torna importante com o incremento da superfície, principalmente em zonas centrais das cidades.

A Camada Limite Urbana possui três subdivisões: Cama da de Mistura; Camada de Superfície – nessa camada fazem parte a Camada de Rugosidade e Camada de Fluxo Constante ou Camada Inercial (**Figura 1**).



**Figura 1:** Divisões da Camada Limite Urbana. Fonte: Adaptado de Arnfield (2006).



Mendonça (1994) estudou o clima urbano da cidade de Londrina (PR). A cidade possuía na época 380.000 habitantes. Para a pesquisa, o autor gerou os seguintes mapas: hipsometria, declividade, orientação de vertentes, direção e velocidade dos ventos de superfície, uso do solo (fotointerpretação) por meio de imagem do satélite. A cidade foi subdividida em quinze setores para a coleta de dados e também foram utilizados pontos fixos e móveis. O pesquisador diagnosticou a presença de ilhas de calor urbanas no inverno e no verão, com valores superiores a 10°C. Concluiu que as diferenças térmicas mais acentuadas entre o urbano e o rural foram em áreas com menor umidade do ar e que a posição geográfica como a topografia e exposição das vertentes foi decisiva na temperatura, sendo as áreas mais elevadas e com vertentes leste, norte e oeste mais quentes e as áreas de menor elevação e com vertentes voltadas para o sul, menos quentes.

Ugeda (2011) estudou o clima urbano e o planejamento na cidade de Jales (SP) por meio de pontos fixos, transecto móvel e sensoriamento remoto, e constatou diferenças na temperatura e umidade relativa do ar entre a cidade e o campo, além dos gradientes intraurbanos. O uso e ocupação do solo, o tamanho dos lotes e, conseqüentemente, a densidade de material antropogênico foram os principais fatores para a composição do clima urbano dessa cidade.

Brússolo (2015) estudou as ilhas de calor na cidade de Assis (SP) utilizando-se de mini-estações meteorológicas automáticas (pontos fixos) programadas para coletar dados de temperatura e umidade relativa do ar em diferentes tipos de uso e ocupação do solo urbano. O autor constatou magnitudes da ilha de calor de até 8°C em áreas densamente construídas em relação às áreas verdes intraurbanas e rurais. Destacou também a importância da arborização de grande porte e em abundância nas áreas urbanas para a diminuição da incidência direta da radiação solar na superfície e também pelo aumento da umidade relativa do ar.

Alves (2016) estudou as influências geourbanas no clima urbano de Iporá (GO). O autor utilizou termohigrômetros e imagens multiespectrais do satélite Landsat 5 e 8. Nas análises dos dados foram utilizadas regressões lineares simples e múltiplas, modelagem, simulações e foi proposto um índice (InGe) para quantificar a influência da urbanização na formação de ilhas de calor da cidade.

Muitos estudos de climatologia urbana (YAGUE et al, 1991; VOOGT e OKE, 2003; WENG, 2009; TAN, 2010; UGEDA, 2011) trabalham com o *Canopy Layer* (Camada Intra-urbana) também proposto por Oke (1978), sendo esta camada estratificada abaixo do nível do telhado. Dessa forma, a proposta deste trabalho é avaliar os parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar em diferentes níveis verticais da atmosfera urbana tendo como referência os diferentes tipos de uso e ocupação do solo urbano com o intuito de



descobrir qual a camada de influência do *Urban Boundary Layer*. A proposição metodológica no presente trabalho é a utilização de câmera termal e outros sensores acoplados nos VANT's (Veículos Aéreos Não-Tripulados) para medir a temperatura de superfície e compará-la com os sensores orbitais e observação terrestre.

Nessa perspectiva, as perguntas centrais deste estudo são:

1- Até qual ponto vertical da atmosfera as cidades conseguem exercer influência no padrão da temperatura de superfície e do ar?

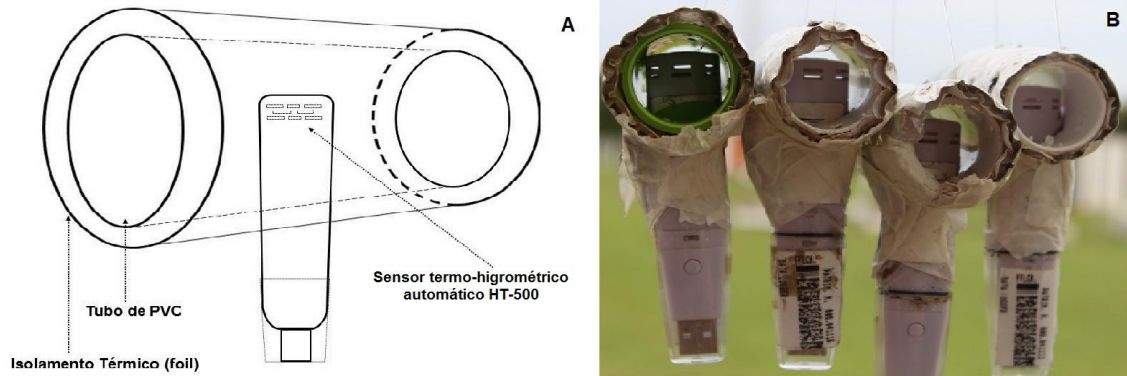
2-O uso de câmeras termais pode melhorar os resultados de temperatura de superfície, haja visto que não sofre com os mesmos problemas do sensoriamento remoto (baixo nível de detalhamento, dificuldades de captação da temperatura dos objetos por causa de nebulosidade, sombras etc?)

3-Os Veículos Aéreos Não-Tripulados podem ser uma ferramenta metodológica alternativa capaz de estabelecer padrão de voo contínuo e acurada aquisição de dados na Camada Limite Urbana?

## 2. Materiais e Métodos

A pesquisa ora proposta parte das ideias trabalhadas em estudo preliminar publicado por Neves *et al* (2015) cujo o objetivo foi avaliar os parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar dentro do substrato da Camada Limite Atmosférica (CLA), nas proximidades de uma região lacustre artificial, em situações sinóticas distintas, utilizando veículos aéreos não tripulados (VANT's) e balões cativos, comparando esses resultados com os dados da estação meteorológica de superfície. Os resultados demonstraram que a umidade relativa do ar apresentou superioridade nos valores quando comparados à estação meteorológica de superfície. O VANT estabeleceu altura e posicionamento praticamente inerte, efetuando as medições com mais uniformidade que o balão cativo. Assim, os autores afirmam que é possível utilizar Veículos Aéreos Não-Tripulados como metodologia alternativa nos estudos de radiossondagem.

Conforme sugerido pelos autores, para a realização do voo podem ser utilizados os instrumentos de medição automática do tipo termo-higrômetro (*Highmed*® HT-500), devidamente protegidos da radiação solar direta por meio de material isolante do tipo *durafoil*® prateado e tubos PVC. Sua precisão de temperatura do ar é de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Possui interface *USB* para descarregar dados diretamente no computador (**Figura 2**).



**Figura 2:** Esquema do abrigo meteorológico e sensores termo-higrométrico (A); Disposição dos sensores(B).

Fonte: Adaptado de Neves *et al* (2015).

Os VANT's serão do estilo quadricóptero (quatro hélices) e serão desenvolvidos pelo Laboratório de Física Aplicada e Computacional (LAFAC) da Universidade de São Paulo, campus de Pirassununga. Os VANT's são prototipados por meio de impressora 3D, reduzindo o custo médio de sua aquisição em torno de 80%. Possui piloto automático que o controla por meio da fusão dos dados dos sensores de Unidade de Medida Inercial (IMU) e Sistema de Posicionamento Global (GPS).

As orientações e programações de voo serão coordenadas pelo referido com o auxílio da equipe da Academia da Força Aérea (AFA) e seguirão todas as normativas junto a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) (**Figura 3**).



**Figura 3:** Exemplo do VANT (A), VANT em voo (B) e imagem aérea do Campus 1 da USP de São Carlos (C).

Fonte: Adaptado de Neves *et al* (2015).

Os voos serão simultâneos, ou seja, os VANT's levantarão voo ao mesmo tempo em diferentes áreas da cidade, distintos tipos de uso e ocupação do solo. Para essa caracterização dos diferentes padrões de uso e ocupação do solo urbano serão utilizadas as recomendações de Stewart e Oke (2012), quando os autores elaboraram uma proposta metodológica para a definição de zonas climáticas locais para estudos de





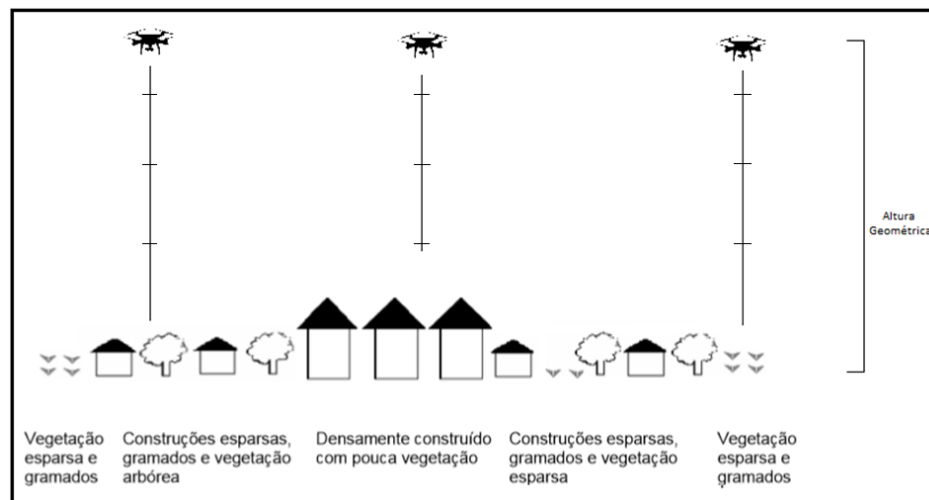
temperatura urbana. Nessa proposta, os autores definiram formalmente zonas climáticas locais como regiões de cobertura superficial uniforme, estrutura, material e atividade humana que abrangem centenas de metros a vários quilômetros em escala horizontal. Cada zona climática tem um regime característico do padrão da temperatura que é mais aparente sobre superfícies secas, em noites calmas e claras e em áreas de relevo de planície.

Os sensores termo-higrométricos serão suspensos por cabos de *nylon*®, instalados em diferentes alturas (níveis verticais da atmosfera), e também cada VANT terá uma câmera termal acoplada em sua base inferior, conforme ilustram as **Figura 3**.

Para a coleta de dados o VANT permanecerá em voo por tempo compatível para “ambientalização” dos termo-higrômetros e câmera termal (em virtude do rendimento da bateria do drone o tempo máximo para a realização do voo é de 12 minutos). Dessa forma, serão coletados dados de 1 em 1 minuto para verificar quanto tempo os sensores ficarão estáveis.

Antes da realização da pesquisa será estudado qual o tempo necessário para que os aparelhos possam se estabilizar, como também as melhores condições sinóticas para operacionalização de voo.

A vantagem do uso do VANT é a sua capacidade de se manter estável em meio a agitação turbulenta dos ventos.



**Figura 3** - Uso do VANT com os termo-higrômetros acoplados em fio de nylon e câmera termal. Fonte: Autores

Os procedimentos adotados para o ensaio experimental, tratados por Neves et al (2015) estão descritos a seguir:

1. Aquisição dos materiais: 4 baterias LIPO 3S para quadrotor; 6 baterias AA para controle remoto, 300m linhas de *nylon*®; câmera digital fotográfica; fita adesiva; tubos PVC 30mm; material



- isolante tipo *durafoil*®; 1 *tablet*; 1 prancheta para folha de observações dos horários iniciais e finais do VANT;
2. Calibração dos sensores por meio de avaliação estatística com a EMS CRHEA/USP, dias antes do ensaio experimental;
  3. Escolha do período de medição representativo e situação atmosférica (local e regional). Com recomendações de situação atmosférica pós-frontal, estabilidade atmosférica e ausência de ventos fortes;
  4. Determinação da sala de operação para montagem dos sensores no VANT;
  5. Metragem e sinalização com fita adesiva das linhas de *nylon*® a cada 5m;
  6. Determinação da área de lançamento do voo com o VANT;
  7. Determinação da altura geométrica do VANT e dos sensores suspensos a 20m e 40m de altura;
  8. Programação dos *dataloggers* em *software* específico para medir a temperatura e umidade do ar em intervalos de tempo definido pelo operador do ensaio (determinou-se intervalos de 2s);
  9. Determinação do horário padrão a ser utilizado em todos os *dataloggers* compatíveis com o horário do relógio do observador/operador da área de lançamento e EMS;
  10. Identificação e instalação dos *dataloggers* nos abrigos meteorológicos no VANT;
  11. Acionamento dos *dataloggers* para o início da coleta de dados termo higrométricos;
  12. Lançamento do VANT até o alcance da altura máxima estabelecida;
  13. Marcação na folha de observações do tempo inicial de voo do VANT quando alcançar a altura máxima estabelecida;
  14. Ao soar do alarme do término da bateria do VANT, realizar marcação do tempo final do voo na folha de observações e procedimento de descida do VANT até a superfície da área de lançamento;
  15. Realizar troca de bateria do VANT pelo operador;
  16. Reprodução dos procedimentos a partir do item 12.

### 3. Considerações Finais

Muitas outras ideias surgem nessa etapa de elaboração de hipóteses e questionamentos. O uso do VANT será o primeiro teste previsto, porém outra proposta para estudar o clima das cidades brasileiras é a produção de estações meteorológicas automáticas trabalhadas sobre a plataforma de prototipagem eletrônica de *software* livre Arduíno. Dessa forma, a intenção é diminuir os custos com a aquisição de aparelhagem (uso de impressora 3D para a produção dos equipamentos de coleta de dados) e ao mesmo tempo qualificar e quantificar a coleta de dados.

Ademais, há a necessidade de se observar a regulamentação para o uso de VANT's. No Brasil, existem diversas normativas dedicadas à operação, como a Portaria N° 207 do Departamento de Aviação Civil (BRASIL, 1999), estabelecendo o limite máximo de voo a 400 pés (121,92m) sem a necessidade de autorização. Há também regulamentações por parte do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) subordinado à Força Aérea Brasileira (FAB) e Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), sobre o tráfego aéreo de VANTs no país (BRASIL, N°210/2010 e BRASIL, IS N°21/2012). O uso de VANT's em áreas urbanas está atualmente passando por discussões políticas e jurídicas.

Assim, o trabalho proposto visa contribuir operacionalmente para os estudos de climatologia urbana fornecendo subsídios teóricos e metodológicos para o aprimoramento e desenvolvimento das pesquisas em climatologia urbana em níveis escalares verticais e horizontais.

## 5. Referências Bibliográficas

ALCOFORADO, M.J. et al. Application of climatic guidelines to urban planning. **Landscape and Urban Planning**, v.90, 2009.

ALVES, E.D.L. **Análise das influências geourbanas no clima urbano de Iporá-Goiás**. 2016. 146p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ARNFIELD, A. J. How to do Urban Climatology: a Personal View of the Legacy of Professor Tim Oke. In: **6th International Conference on Urban Climate**. Göteborg, Sweden, 2006. Disponível em <http://blogs.ubc.ca/toke/files/2015/12/Arnfield-2006.pdf>. Acesso em 14 jul 2014.

BRASIL. Ministério da Defesa. Força Aérea Brasileira. **Circular de Informações Aeronáuticas N°21, de 23 de setembro de 2010**. Dispõe sobre Veículos Aéreos Não Tripulados. Rio de Janeiro, RJ. 2010. Disponível em <http://publicacoes.decea.gov.br/index.cfm>. Acesso em 14 de Out. de 2015.

BRASIL. Ministério da Defesa. Força Aérea Brasileira. Departamento de Aviação Civil. **Portaria N° 207/STE, de 7 de abril de 1999**. Estabelece as Regras para a Operação do Aeromodelismo no Brasil. Brasília-DF. Diário Oficial da União, 1999.

BRASIL. Secretaria de Aviação Civil da Presidência da República. Agência Nacional de Aviação Civil. **Portaria n° 2.031/SAR, de 4 de outubro de 2012**. Instrução Suplementar N°21-002, Revisão A. Dispõe sobre a emissão de Certificação de Voo Experimental para Veículos Aéreos Não Tripulados - VANT. Brasília-DF. Diário Oficial da União, 2012.

BRÚSSOLO, R.G. **O clima e a cidade: Ilhas de calor em Assis (SP)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina. 168p, 2015.

HAMADA, S.; OHTA, T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. **Urban Forestry & Urban Greening**, v.9, n.1, 2010.

HART, M.A; SAILOR, D.J. Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island. **Theoretical and Applied Climatology**, v.95, n. 3-4, p. 397-406, 7 maio 2008.

HEIDORN, K. Balloons Sample the Weather. **The Weather Doctor's Weather**, July, 2005. Disponível em: <http://www.islandnet.com/~see/weather/almanac/arc2005/alm05jul.htm> Acesso em 07 de Ago. de 2015

MENDONÇA, F. de A. **O clima e o planejamento urbano de cidade de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e aplicação à cidade de Londrina, PR**. 1994. 322p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.





NEVES, G.Z.F; et al. Avaliação termo higrométrica de sub-altitude utilizando balão cativo e quadrotor: um ensaio experimental. IN: XIV Simpósio do Curso de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. 2015 **Anais**. São Carlos. Universidade de São Paulo, p. 96-106.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen & Ltd. A.Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978, 372p.

SANCHES, F.; FISCH, G. As possíveis alterações microclimáticas devido a formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí-PA. **Acta Amazônica**. Vol. 35 n.1 Manaus, 2005.

SOUZA, J. L. de. **Análise do campo Térmico de Cidades de Médio Porte**: Estudo de caso no Pólo Têxtil de Americana-SP. Rio Claro, 2007. p.30-48. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

STEWART, I. D; OKE, T.R. Local climate zones for urban temperature studies. **American Meteorological Society**, 2012 p.1-22.

TAN, J. et al. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. **International Journal of Biometeorology**, v.54, n.1, p. 75-84, jan.2010.

TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. “The Lobo-Broa: Ecosystem Research”, in J. G. Tundisi; C. E. M. Bicudo; T. Matsumura-Tundisi (eds.). *Limnology in Brazil*. Brazilian Academy of Sciences, **Brazilian Limnological Society**, 1995, pp. 219-243.

UGEDA, J.C. **Clima e Planejamento na cidade de Jales-SP**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n.3, p. 370-384, 2003.

WENG, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications and trends. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 4, p. 335-344, jul. 2009.

YAGUE, C.; ZURITA, E.; MARTINEZ, A. Statistical analysis of the Madrid urban heat island. **Atmospheric Environment**, v 25B, n. 3, p. 327-332, 1991.

## Agradecimentos

À Direção do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA/USP), ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São Carlos, ao Laboratório de Física Aplicada e Computacional (LAFAC) da USP Pirassununga e a Academia da Força Aérea (AFA) pelas condições estruturais favoráveis para a realização da pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.