



**Universidade Federal de Santa Maria – UFSM  
Educação a Distância da UFSM – EAD  
Universidade Aberta do Brasil – UAB**

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada  
aos Processos Produtivos**

**Polo: Vila Flores**

**CONTRIBUIÇÕES DA ARBORIZAÇÃO PARA O CONFORTO  
AMBIENTAL E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA URBANA**

DE ZORZI, Lizia De Moraes<sup>1</sup>

GRIGOLETTI, Giane de Campos<sup>2</sup>

**RESUMO**

Vivemos em um momento de crescente conscientização sobre a importância da sustentabilidade das cidades. Apesar disso, ainda há pouca evolução na busca por alternativas que promovam eficiência energética na escala urbana, tendo destaque, em nível nacional, apenas o Programa Reluz, que trata da substituição de sistemas de iluminação pública e semáforos. O aumento na temperatura dos espaços construídos e a crescente presença de ilhas de calor urbano chamam a atenção para a necessidade de estratégias para minimizar os danos causados pela urbanização e aumentar o conforto térmico de modo mais sustentável, reduzindo, assim, a necessidade de equipamentos para a climatização artificial e o consumo de energia elétrica. Este estudo tem por

---

<sup>1</sup> Arquiteta e Urbanista. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

<sup>2</sup> Dr<sup>a</sup>. Engenharia Civil. Professora Orientadora. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

objetivo identificar como a arborização urbana pode favorecer a eficiência energética das cidades e as contribuições dos principais estudos realizados sobre o tema. A metodologia adotada para tal baseou-se no estudo de revisão de literatura. O estudo apontou diversos benefícios da arborização na redução dos impactos resultantes da intensa urbanização, principalmente através da moderação climática e da conservação de energia. Nos casos apresentados foram constatadas diferenças de até 11,7°C e entre 10 e 12 horas de temperaturas do ar mais frias nas áreas arborizadas em comparação com áreas mais densificadas e, até 20°C de diferença de temperatura de superfície. Também foram observadas mudanças na velocidade dos ventos, com redução de até 46%, além de um aumento na quantidade e constância da umidade do ar. Estes dados confirmam o potencial da arborização como ferramenta para o planejamento urbano mais sustentável e chamam a atenção para a importância do seu conhecimento por parte dos planejadores para o melhor aproveitamento das potencialidades das espécies

**Palavras-chave:** Arborização urbana, ilha de calor urbana, eficiência energética.

#### **ABSTRACT**

Nowadays grow awareness of the importance of the sustainability of cities. Nevertheless, there is still little progress in the search for alternatives that promote energy efficiency in urban scale, with prominent, nationally, Reluz Program, which deals with the replacement of public lighting and traffic light systems. The increase in temperature of the built environment and the growing presence of urban heat islands, draw attention to the need for strategies to minimize the damage caused by urbanization and increase thermal comfort in a more sustainable manner, thereby reducing the need for equipment artificial cooling and electricity consumption. This study aims to identify how urban trees can assist energy efficiency of cities and the contribution of major studies on the topic. The methodology adopted for this study was based on a literature review. The study pointed out several benefits of afforestation in reducing impacts resulting from intense urbanization, mainly through climate moderation and energy conservation. In the cases presented differences of up to 11,7°C and

between 10 and 12 hours temperatures colder air in wooded areas compared with more densified areas and up to 20°C temperature difference of the surface were observed. Changes in wind speed, with a reduction of up to 46% were also observed in addition to an increase in the amount and consistency of humidity. These data confirm the potential of afforestation as a tool for more sustainable urban planning and call attention to the importance of their knowledge on the part of planners to better the potential use of the species.

**Keywords:** Urban tree, urban heat island, energy efficiency.

## 1 INTRODUÇÃO

No ano de 2009, de acordo com dados da publicação das Perspectivas de Urbanização do Mundo (UNITED NATIONS, 2010), pela primeira vez na história a população urbana ultrapassou a rural em níveis mundiais. No Brasil, aproximadamente 85% da população vive em áreas urbanas (IBGE, 2010). Esse padrão de desenvolvimento, com acelerada urbanização adotado no Brasil nas últimas décadas, tem mostrado resultados prejudiciais sobre a forma das cidades e consumo dos recursos naturais.

A cidade atual apresenta-se, muitas vezes, fragmentada, dispersa, desordenada, sem identidade, e com inúmeros problemas, físico-estruturais, ambientais, sociais e econômicos. Esta cidade emergente não segue o conceito de desenvolvimento sustentável criado nos anos 1980 baseado na consciencialização da importância das questões ambientais e ecológicas e da sua incompatibilidade com o caminho que a cidade já seguia (ALVES, 2009).

A Agenda 21 e a Agenda Habitat para municípios indicam que os atuais padrões de desenvolvimento degradam os recursos naturais, afetando as condições de vida da população nas cidades. O Estatuto da Cidade, nas suas diretrizes gerais do desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, ordena, no Art. 2º, inciso VIII, o seguinte:

VIII - adoção de padrões de produção e consumo de bens e serviços e de expansão urbana compatíveis com os limites da sustentabilidade ambiental, social e econômica do Município e do território sob sua área de influência (BRASIL, 2001).

Neste contexto de busca por sustentabilidade, torna-se importante adequar o ambiente construído ao clima local, criando espaços que permitam ao homem viver em conforto e reduzir o consumo dos recursos naturais. Compreender como o meio interage com clima é extremamente importante para o planejamento urbano. “Isto se deve à necessidade de se definir princípios apropriados à boa gestão do espaço construído, com vistas à produção de ambientes adequados ao conforto, sobretudo no que diz respeito às sensações térmicas” (BARBOSA, 2005, p.2).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Em 1987, a publicação *Our Common Future*, traduzido como *Nosso Futuro Comum*, definiu o desenvolvimento sustentável como aquele que deve responder às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer às suas (BRUNDTLAND, 1987). Em 1992, com a Agenda 21, os países comprometeram-se a responder às premissas do desenvolvimento sustentável (GAUZIN-MULLER, 2002). Desde então muitas reuniões sobre o tema têm acontecido como a de Kyoto em 1996, a de Haya em 2000, e Johannesburgo em 2002, por exemplo.

Apesar de alguns países terem colocado os seus próprios interesses econômicos em primeiro plano, houve grandes avanços na busca por sustentabilidade. Atualmente, muitos governos estão considerando esta como uma preocupação central para direcionar o seu desenvolvimento, definindo leis e incentivos para estimular o desenvolvimento sustentável (GOULART, 2011). De acordo com a autora, a sustentabilidade não deve ser vista como um objetivo a ser alcançado, mas sim como um processo, ou um caminho a ser percorrido. Os trabalhos realizados na área de sustentabilidade devem ser desenvolvidos a partir de intenções contínuas e progressivamente renovadas, buscando sempre a melhora nos resultados. Sendo assim, não existe uma única forma de se obter o desenvolvimento sustentável, e, em função disso, é mais correta a utilização da expressão **mais** sustentável.

Torresi, Pardini e Ferreira (2010) esclarecem que desenvolvimento sustentável não deve ser restrito a apenas a uma ação, como reduzir as

emissões de gases que causam o efeito estufa, por exemplo. A expressão desenvolvimento sustentável envolve um conjunto de paradigmas para o uso dos recursos naturais objetivando atender às necessidades humanas. De acordo com Sachs (1993), ela deve englobar a sustentabilidade ambiental, econômica e sociopolítica. Estes três aspectos, conhecidos como pilares da sustentabilidade, devem ser considerados juntamente, já que não existe sustentabilidade econômica e sócio-política sem a manutenção da sustentabilidade ambiental.

Nesse contexto de busca por sustentabilidade e redução no consumo dos recursos naturais, ganha importância a eficiência energética. Lamberts, Dutra e Pereira (2004, p.14) definem eficiência energética como "(...) a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia". É importante buscar a eficiência energética não só para evitar desperdícios, mas também para que não sejam necessários novos investimentos em obras de geração. Para a obtenção de uma maior sustentabilidade e eficiência energética nas cidades, são necessários cuidados tanto na escala da edificação quanto na escalar urbana e regional.

No Brasil, no ano de 1985, o governo federal criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) que tem por objetivo promover a eficiência energética através da racionalização do consumo de energia elétrica, do combate ao desperdício e da redução dos custos e dos investimentos setoriais (MMA, 2014). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, uma das soluções apontadas pelos especialistas para atender este déficit seria conter a demanda por meio de técnicas de conservação com a substituição das tecnologias de baixa por outras com maior eficiência energética e melhor custo financeiro e ambiental.

A adoção de normas para tornar as construções mais eficientes em seu consumo energético, com aproveitamento da luz solar e da ventilação natural, para reduzir e até dispensar a necessidade de sistemas de iluminação e climatização artificial vem sendo frequentemente discutida no âmbito do setor da construção civil. Observa-se que na escala urbana os avanços são menores e baseiam-se na troca de lâmpadas de iluminação pública e semáforos por sistemas mais eficientes, como prevê o Programa Nacional de Iluminação

Pública e Sinalização Semafórica Eficientes - Programa Reluz (PROCEL, 2014). Alternativas como o aproveitamento da arborização urbana para melhorar o conforto térmico e reduzir a demanda por equipamentos de condicionamento artificial em edificações, por exemplo, ainda são pouco utilizadas.

A urbanização descontrolada e a falta de planejamento adequado, bem como a alta densidade urbana e a falta de áreas verdes, causam uma série de alterações no microclima das cidades, comprometendo o conforto e a qualidade de vida da população. Dentre as alterações ambientais provocadas pela crescente urbanização pode-se destacar o aumento das temperaturas, mudanças nos ventos, redução da umidade do ar e da absorção de água pelo solo. Este contexto, acrescido do intenso uso de veículos, faz com que a temperatura do centro das grandes cidades seja de 4°C a 11°C mais alta que nos subúrbios (LÖTSCH, 1981 apud MINKE, 2005).

De acordo com Pivetta (2010), o aumento da temperatura nas áreas urbanas deve-se, principalmente, à grande impermeabilização do solo causada pelas construções e pela pavimentação, ao aumento da concentração de poluentes, e aos materiais de vedação, que contribuem para a formação das ilhas de calor, ou ilhotas térmicas. O descaso com a vegetação também está relacionado a este fato. A falta de arborização, ou a arborização inadequada provocam o desequilíbrio térmico nas aglomerações urbanas e, conseqüentemente, no interior das edificações (PIVETTA, 2010).

A arborização urbana auxilia na melhora do conforto nas cidades. Além de contribuir para a redução da temperatura, as árvores ajudam na purificação do ar, na elevação das taxas de umidade, na absorção de poeira e agentes poluentes, na qualidade dos aquíferos e na redução da poluição sonora, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população urbana (VELASCO, 2007). Ainda, com a redução na temperatura do ar e das superfícies, há a redução na necessidade de equipamentos de ar-condicionado para a obtenção do conforto, diminuindo o consumo de eletricidade e contribuindo para uma maior eficiência energética e sustentabilidade.

Ao encontro de Pivetta (2010) e Velasco (2007), Bueno (1998) afirma que a falta de vegetação aliada aos materiais utilizados na urbanização tem

alterado significativamente o clima das cidades. De acordo com a autora, a vegetação influencia na porção de radiação de onda curta absorvida. A sua falta faz com que grande parte dessa radiação de onda curta retorne ao meio externo sob a forma de radiação de onda longa, que tendo sua dissipação reduzida devido à poluição, transforma as cidades em verdadeiras estufas.

Esse fenômeno de aquecimento urbano tem feito com que o consumo de energia para o resfriamento de edificações aumente consideravelmente. Santamouris (2001) afirma que o aumento de temperatura em áreas urbanas eleva a demanda pelo resfriamento do ar, afetando dramaticamente os custos de energia elétrica, como demonstrou posteriormente em pesquisa realizada nos Estados Unidos. O resultado de tal pesquisa realizada no ano de 2007 apontou um aumento de 1,5 a 2,0% na demanda de resfriamento a cada 0,6°C de aumento de temperatura (VELASCO et al., 2011).

Conforme visto, o aquecimento de áreas urbanas e o consumo de energia para resfriar ambientes no verão e para aquecê-los no inverno está aumentando significativamente nos últimos anos. Em função disso, é crescente o número de estudos que buscam aproveitar os recursos naturais para proporcionar um maior conforto, principalmente térmico, reduzindo a necessidade de sistemas artificiais. De acordo com Mascaró (2006) a arborização é frequentemente mencionada como um dos métodos disponíveis mais eficientes para reduzir a demanda urbana por energia elétrica.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Apresentar e discutir a contribuição da arborização urbana para a eficiência energética das cidades.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- a) Identificar a maneira como a arborização urbana interfere no conforto térmico e, conseqüentemente, na eficiência energética das cidades.

- b) Apresentar e discutir as contribuições dos principais estudos realizados na última década sobre a influência da vegetação no microclima urbano.

## **4 METODOLOGIA**

Inicialmente será apresentada uma revisão sobre as ilhas de calor urbano e a influência da arborização sobre elas. Posteriormente serão apresentados os principais estudos que observaram diferenças nas condições de conforto térmico de áreas mais densificadas e áreas mais arborizadas. Para isso foram pesquisados os estudos mais relevantes realizados no período entre 2004 e 2014 em nível internacional no portal de periódico da CAPES/MEC e as principais dissertações e teses desenvolvidas no Brasil sobre o assunto.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Ilhas de Calor Urbano**

É conhecido o fato de que a expansão de áreas urbanas e o excesso de atividades humanas impactam no clima (ICHINOSE; SHIMODOZONO; HANAKI, 1999). A rápida expansão das cidades tem modificado o espaço geográfico, sobretudo quando se trata de qualidade ambiental. O grande aumento demográfico e a concentração das atividades comercial, financeira, institucional e industrial, têm gerado uma valorização do espaço urbano, que contribui para o crescimento e adensamento das áreas edificadas (CASTRO, 2000).

Monteiro (1976) destaca que, no estudo de clima urbano, podem ser consideradas três linhas de pesquisa ligadas às alterações da atmosfera urbana: o conforto térmico, impactos meteóricos e qualidade do ar. O conforto térmico está relacionado com o balanço de energia, sendo evidenciado pela geração das ilhas de calor de urbano (ICU). As ICU são anomalias térmicas



caracterizadas pela elevação da temperatura em determinadas áreas quando comparadas a outras (WENG; LARSON, 2005).

“O fenômeno da ilha de calor é o efeito mais evidente e também o mais bem estudado sobre a alteração climática induzida pela urbanização” (BORGES; DUMMER; COLLISCHONN, 2010, p.75). O termo ilha de calor foi utilizado pela primeira vez numa publicação científica no ano de 1958 para designar o fato de as cidades serem mais quentes que o meio rural ou meio menos urbanizado do seu entorno (García, 1990). Posteriormente, García (1995) define as ilhas de calor em função da sua magnitude: fracas, quando a diferença de temperatura for de até 2°C; médias, com diferença entre 2° e 4°C; fortes, com diferenças entre 4° e 6°C; e muito fortes, quando as diferenças forem superiores a 6°C. Este fenômeno se registra mais claramente sob tempo anticiclônico, quando há alta pressão, céu limpo e sem vento, no final da tarde e durante a noite (BORGES; DUMMER; COLLISCHONN, 2010).

O fenômeno das ilhas de calor pode ser observado em várias escalas e geralmente é mais evidenciado pela diferença de temperatura entre as áreas urbanas e rurais (PEREZ; SÁNCHEZ; BARRADAS, 2001). As áreas verdes, tanto da área urbana quanto das áreas circunvizinhas às cidades, exercem enorme influência no clima local, regional e global. Conforme apontado por Coltri (2006), diversas são as pesquisas que apontam a importância da vegetação na atenuação dos efeitos causados pela alteração do clima urbano. Uma das características marcantes da vegetação é o fato de amenizar a temperatura local e, como consequência, diminuir os efeitos das ICU (LOMBARDO, 1985; PEREZ; SÁNCHEZ; BARRADAS, 2001). De acordo com Gomez (1993), os parques urbanos se convertem em pequenas ilhas mais frescas e úmidas que seus arredores e produzem um mosaico urbano de microclimas, dentro de um ambiente mais quente e seco.

Conforme Lucena (2013), a ilha de calor caracteriza-se por três aspectos principais: forma, intensidade e localização do seu núcleo mais quente. Esses aspectos são distintos em cada cidade em função do momento do dia e da época do ano, do tempo atmosférico, da localização geográfica, incluindo sua morfologia natural, como morros, corpos hídricos e áreas verdes, e das propriedades térmicas dos materiais que compõem a superfície urbana,

conforme pode ser observado nas figuras a seguir. Na Figura 1 aparecem as seções transversais de temperaturas do ar, medidas na camada do dossel urbano, e as temperaturas de superfície (i) à noite e de dia (ii). Já na Figura 2 é apresentado um modelo que representa os padrões de temperatura do ar que compõe a ilha de calor urbana. Pode-se observar que no centro da imagem, correspondente ao centro da cidade, tem-se a maior isoterma, com 6°C, enquanto nas franjas e no parque as isotermas declinam 1° e 2°C, respectivamente.

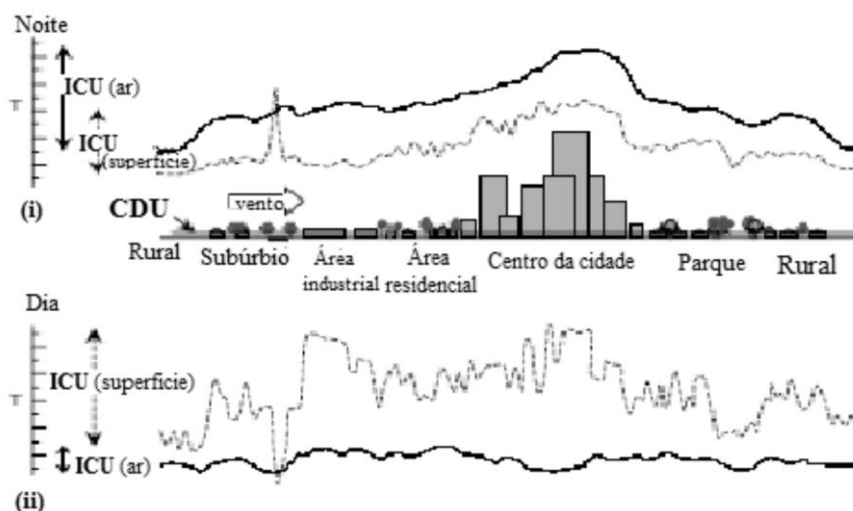


Figura 1: Esquema explicativo da configuração vertical da ilha de calor urbana.  
Fonte: VOOGT (2002) *apud* LUCENA (2013).

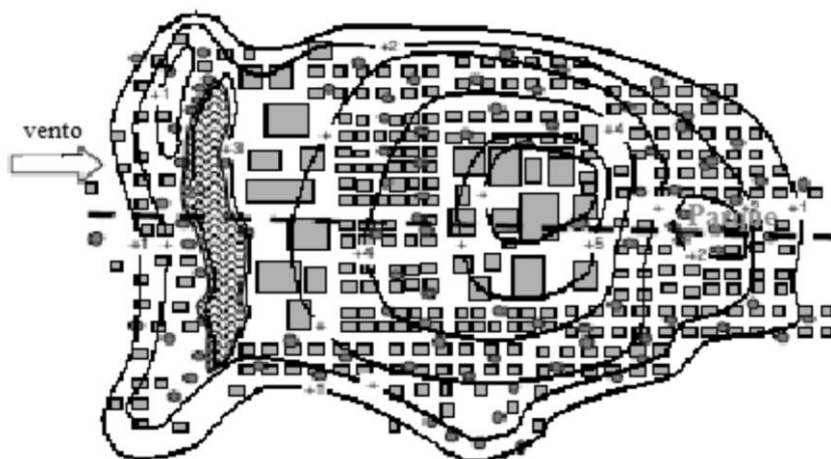


Figura 2: Esquema explicativo da configuração espacial da ilha de calor urbana.  
Fonte: VOOGT (2002) *apud* LUCENA (2013).

De acordo com Oke (1987), vários fatores contribuem para o desenvolvimento de uma ICU. Um deles é a grande concentração de fontes de calor nas cidades. Outro é com relação às propriedades térmicas dos materiais

das construções urbanas, que facilitam a condução de calor mais rapidamente que o solo e a vegetação das áreas rurais, contribuindo para um aumento no contraste de temperatura entre essas regiões. Ainda, de acordo com o autor, a perda de calor durante a noite, por radiação infravermelha para a atmosfera e para o espaço, é parcialmente compensada nas cidades pela liberação de calor das fontes antropogênicas.

Assim, a formação do fenômeno das ilhas de calor urbano está relacionada com as atividades desempenhadas pelos seres humanos e com a intensidade dos materiais e equipamentos empregados na expansão das malhas urbanas e, como estes absorvem e conservam o calor proveniente da radiação solar que costuma não sendo utilizado para nenhum outro processo contribuindo para o aumento da temperatura do ar sobre as cidades (SANTOS, 2011).

Os efeitos da ilha de calor são diversos e a maioria negativos, implicando em perdas no conforto e na saúde humana (VOOGT; OKE, 2003). Conforme Lucena (2013), a principal consequência é o aumento da temperatura urbana, impactando o meio-ambiente direta e indiretamente, e favorecendo o aumento no consumo de energia para fins de refrigeração, a elevação no nível de ozônio na troposfera e até mesmo o aumento nas taxas de mortalidade. Tratam-se de impactos de alto custo ambiental com elevada pegada ecológica (SANTAMOURIS et al., 2007).

Segundo Mascaró e Mascaró (2005, p.11), vegetação urbana “é aquela que permite que o espaço construído se integre com o jardim e o parque” para construir a paisagem de uma determinada cidade. Paisagem esta que se caracteriza pela forma do território e pela ação do homem e de sua cultura. A falta de planejamento no desenvolvimento dos centros urbanos e em como eles se originam, crescem, produzem os bens, concentram os serviços, geram oportunidades, etc., favorece ao desenvolvimento de espaços contraditórios à qualidade de vida. Nessas paisagens, a cada dia mais deterioradas, elementos naturais como a vegetação poderiam ser protagonistas na recuperação ambiental.

## 5.2 Contribuições da Arborização Urbana

A arborização viária, as áreas verdes e as áreas livres são fundamentais para a melhoria das características do ambiente urbano e, conseqüentemente, da qualidade de vida da população que o habita (LOIS; LABAKI, 2001). A vegetação, conforme apontado por Giacomeli (2013), reduz os impactos resultantes do intenso processo de urbanização através da moderação climática, conservação de energia, controle do escoamento superficial e inundação, etc. Além disso, as árvores melhoram a composição atmosférica, fixando poeira, resíduos em suspensão, gases tóxicos, bactérias e outros microorganismos, e reciclando gases pelo processo da fotossíntese, reduzindo o gás carbônico (GIACOMELI, 2013).

Com relação à influência da vegetação no microclima urbano, esta promove um melhor equilíbrio entre o solo, o clima e a vegetação, reduzindo a radiação solar nas estações de calor, alterando a temperatura e umidade do ar dos ambientes com a redução da carga térmica recebida em função do sombreamento, conservando a umidade, a permeabilidade e a fertilidade do solo, alterando a velocidade e direção dos ventos, reduzindo a poluição sonora com o amortecimento dos sons, influenciando o balanço hídrico e, conseqüentemente, a frequência das precipitações, reduzindo a poluição do ar através da fotossíntese e da respiração, e etc. (MASCARÓ; MASCARÓ, 2005).

Lois e Labaki (2001) apontam ainda que a vegetação contribui para a redução das despesas com o condicionamento térmico dos edifícios, melhora as condições de conforto acústico e visual, aumenta a diversidade e quantidade de fauna, qualifica ambiental e paisagisticamente os imóveis agregando valor econômico, além de ser uma opção de lazer e recreação nas áreas públicas, principalmente para a população menos abastada.

Segundo Mascaró e Mascaró (2005, p.26), as árvores plantadas isoladas têm potencial para amenizar o desconforto do microclima urbano, porém os “efeitos de sombreamento, diminuição da temperatura e elevação da umidade relativa do ar serão sentidos somente sob sua copa”. Giacomeli (2013) explica que em grupos ou isoladas, como citado acima, a redução da temperatura é atingida principalmente através da atenuação da radiação solar incidente direta e indiretamente.

“De maneira direta, o sombreamento reduz a conversão de energia radiante em calor sensível, conseqüentemente diminuindo as temperaturas do ar e superficiais dos materiais de construção. Indiretamente, consumindo energia na evapotranspiração, retirando calor do ambiente” (GIACOMELI, 2013, p.34).

A autora completa ainda que a influência da vegetação na temperatura do ar está relacionada ao controle da radiação solar, da ventilação e da umidade relativa do ar.

Segundo Falcòn (2007), a umidade relativa do ar entre ruas arborizadas e não arborizadas pode variar até 10%. Este aumento ocorre pela transpiração das árvores que, ao mesmo tempo em que geram umidade, absorvem calor. O autor estima que o efeito refrescante de uma árvore adulta, que transpira 450 litros por dia através de suas folhas, equivalha ao efeito de um equipamento de ar condicionado funcionando aproximadamente vinte horas diárias em cinco habitações de porte médio.

De encontro com Falcòn (2007), Leão (2007) afirma que o processo de evapotranspiração é um importante regulador climático, pois os parâmetros meteorológicos (temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, insolação e precipitação) interagem com elementos do meio, estimulando a transpiração vegetal e a evaporação do solo. No processo de transpiração da vegetação, a água é retirada do solo e depositada no ar através dos estômatos das folhas para que haja a troca com o meio, umidificando do ar. Já no processo de fotossíntese, as plantas contribuem para a renovação do ar retirando o gás carbônico da atmosfera e devolvendo oxigênio. Em ambos os processos, a planta necessita de energia (radiação solar líquida) disponível no meio. Ainda, de acordo com Sucomine (2009), durante a noite o seu metabolismo libera calor proporcionando redução da amplitude térmica nos espaços.

A morfologia e as características físicas da vegetação são os fatores responsáveis pela reflexão da radiação solar, principalmente quanto ao albedo da superfície foliar equivalente até a 30% da superfície total (GIACOMELI, 2013). De acordo com Mascaró (2004), a radiação solar de onda curta incide sobre as folhas e é parcialmente transmitida como radiação difusa, já que a folha não é opaca á radiação solar e a radiação refletida também é difusa, e a radiação absorvida é transformada em calor físico e em energia química.

Assim, a radiação solar transmitida depende da transparência, cor e espessura das folhas, da distribuição e adensamento dos troncos, dos ramos e do ângulo de incidência dos raios solares. A associação destas características determina o efeito da vegetação no controle da radiação solar, ou seja, se a planta bloqueará a radiação, em função da sua absorção, ou filtrará a radiação incidente e refletida. A interação destes elementos relacionados às características das diferentes espécies determina o quanto à vegetação influencia nas características climáticas do ambiente construído.

Para Robinette (1972), a escolha de espécies de folhagem mais densa permite uma maior absorção da radiação solar e resfriamento do ar. Esta absorção, determinada principalmente pela pigmentação das folhas, corresponde à aproximadamente 50% da radiação de onda curta e 95% da radiação de onda longa. De acordo com Mascaró (2004), a iluminância é composta por radiação difusa e por uma parcela variável de radiação solar e também pode ser determinada e modificada em função da morfologia e das características físicas da vegetação.

Segundo Souza (2009), é possível maximizar os benefícios ambientais da vegetação através das características das espécies. Sendo assim, sempre que possível, é preferível optar por espécies arbóreas de porte médio ou alto, optar por copa densa, de folhas pequenas, com a folhagem verde escura e de alto grau de pubescência para fornecer mais sombra e absorver maior quantidade de radiação solar. Ainda assim, a pesquisadora destaca a importância de se observar as características climáticas locais para a escolha das espécies mais adequadas. Em regiões tropicais, por exemplo, deve-se optar por espécies perenes de porte alto e folhas grandes, já em regiões subtropicais e temperadas deve-se optar por espécies decíduas, que permitam o aproveitamento da insolação durante o inverno e sombreando durante o verão, já em locais muito quentes é interessante optar por vegetações próximas às superfícies refletoras (SOUZA, 2009).

A radiação solar afeta tanto positiva quanto negativamente o conforto humano. A radiação solar infravermelha aquece o corpo humano ao incidir diretamente com a pele ou com as roupas e indiretamente quando refletida ou irradiada dos objetos e materiais de construção. Quando projetada

adequadamente, a vegetação pode servir como ferramenta para interceptação da radiação solar, evitando o aquecimento excessivo, ou não interferindo, dependendo do objetivo, como visto anteriormente (MILLER, 1997).

Outra contribuição citada por Sousa (2009) é com relação à prevenção do aquecimento global, já que as plantas realizam o sequestro de gás carbônico durante a fotossíntese. De acordo com o autor, um brasileiro emite, em média, 1,7 toneladas de CO<sub>2</sub>, enquanto uma árvore remove da atmosfera aproximadamente 20 kg de CO<sub>2</sub> por ano. Segundo Falcòn (2007), em uma cidade com uma densidade de áreas verdes normal, a vegetação produz cerca de 10% do oxigênio consumido pelos seus habitantes. Uma árvore de grande porte, com aproximadamente 24 metros de altura e 15 metros de diâmetro de copa produz o oxigênio equivalente ao necessário para a respiração de 10 pessoas.

A vegetação das áreas verdes urbanas também serve para fixar as partículas de poeira e gases poluentes que estão suspensos na atmosfera. Segundo Falcòn (2007), uma área arborizada pode filtrar mais de 86% das partículas suspensas no ar. Quanto maior for o volume e a área ocupada por plantas em um espaço, mais eficiente é esta retenção, embora a morfologia das folhas também influencie neste aspecto já que folhas com superfícies ásperas são mais eficazes. No caso de espécies decíduas, o percentual é reduzido em aproximadamente 40%. Outras plantas com grande superfície foliar, como as trepadeiras, por exemplo, também são eficazes na remoção de poeira e contaminantes em geral (GIACOMELI, 2013).

Com relação à ventilação, Mascaró e Mascaró (2005) afirmam que dentre os fatores que determinam o desempenho da vegetação destacam-se as características locais, como a permeabilidade, o perfil do ambiente, a orientação segundo os ventos predominantes, a densidade de ocupação do solo, o gabarito das vias e edificações, e as características das espécies, como porte, idade, forma, permeabilidade, período de desfolhamento, dentre outras. Para os autores quatro são os efeitos básicos da vegetação na ventilação:

“a canalização do vento (quando o ambiente urbano caracteriza-se como um corredor bem definido e relativamente estreito); a deflexão do vento (a posição e a distância da vegetação em relação ao edifício ou espaço aberto a ser ventilado ou protegido influenciam de modo significativo na trajetória do vento, redirecionando-o); a obstrução (uma barreira de vegetação pode bloquear a passagem do vento,

reduzindo sua velocidade e atenuando seus efeitos no microclima); e a filtragem (as barreiras vegetais têm a capacidade de reduzir a velocidade do vento e de barrar os resíduos transportados por ele)” (MASCARÓ; MASCARÓ, 2005 *apud* GIACOMELI, 2013, p.38).

Assim sendo, a vegetação urbana constitui-se em uma importante ferramenta capaz de melhorar o conforto ambiental nas cidades e, desta forma, reduzir a demanda por condicionamento artificial, contribuindo para a sustentabilidade das cidades.

### 5.3 Principais Estudos Realizados

Os primeiros estudos sobre o clima urbano datam do início do século XIX, na Europa. Um dos primeiros trabalhos publicados referiu-se ao clima de Londres, observando as diferenças de temperatura entre a cidade e o meio rural (PEZZUTO, 2007). Ainda neste século, observou-se um grande crescimento nos estudos referentes ao clima urbano, principalmente na França e Alemanha, motivados pela expansão da rede de observação meteorológica.

Durante a II Guerra Mundial, a América do Norte e o Japão também desenvolveram diversos estudos sobre o clima, sendo a temperatura do ar a principal variável de estudo (ASSIS, 2000). Em 1958, Manley denominou pela primeira vez o gradiente térmico mais elevado encontrado nas cidades como ilha de calor. Também foram marcantes neste período os estudos de Landsberg (1956) e Chandler (1965) para a cidade de Londres (ASSIS, 2000).

Landsberg (1956) comparou o centro urbano de Londres com as áreas do seu entorno e observou médias térmicas anuais superiores na cidade, principalmente no que diz respeito à temperatura mínima, além de mais chuvas e nevoeiro. Com relação à umidade relativa e à velocidade do vento Landsberg observou decréscimos de 6% e 25%, respectivamente. Já Chandler (1965) monitorou a ilha de calor urbana e encontrou diferenças de até 2°C na área central, no verão, em relação ao seu entorno (ASSIS, 2000).

No transcorrer do século XX e do atual, diversos estudos em ilhas de calor foram desenvolvidos. À medida que os estudos sobre o clima urbano foram avançando ao longo da história, ficou demonstrado o caráter fundamental da cidade como local de uma contínua, cumulativa e acentuada



“descrição antropométrica” do ambiente (MASCARÓ, 2004, p.32). Estando a obtenção de conforto ambiental condicionada à necessidade de consumo energético, esta problemática não é apenas decorrente da condição climática e sim, na maioria das vezes, do desconforto gerado pela organização espacial urbana incompatível com o meio (GIACOMELI, 2013).

### **5.3.1 Principais Estudos Realizados Recentemente no Mundo**

No ano de 2009, Hamada e Ohta (2009) investigaram a diferença de temperatura do ar em área urbana, área de pastagem e área de florestas na cidade de Nagoia, no Japão. As maiores diferenças de temperaturas observadas aconteceram durante o dia no verão (1,9°C), nos meses de junho e agosto, e as menores durante a noite no inverno (0,3°C). Durante a noite, o efeito de arrefecimento da área verde avançou entre 200 e 300m em direção à área urbana. Durante o dia, o efeito de resfriamento entre agosto e outubro ultrapassou 300m e variou bastante, apesar de não haver correlação além de 500m, destacando a importância da proximidade das áreas densificadas de áreas verdes.

Susca, Gaffin, e Dell'Oso (2011) estudaram os efeitos positivos da vegetação com uma abordagem multiescala: escala urbana e um edifício. Na escala urbana, os pesquisadores acompanharam ilhas de calor em quatro áreas da cidade de Nova Iorque e encontraram, em média, 2°C diferença nas temperaturas entre os locais mais arborizados e os mais densificados. Na microescala, foi avaliado o efeito do albedo das superfícies sobre o clima através da utilização de um modelo climatológico. Também foi utilizado o CO<sub>2</sub> equivalente como indicador do impacto sobre o clima. Na escala do edifício, foi comparado o albedo da superfície de um telhado preto, um branco e um verde, e as análises mostraram que o branco e o verde contribuem mais positivamente para o conforto térmico local. O telhado verde ainda apresenta como vantagens a evapotranspiração e a elevada resistência térmica. A ampla substituição dos telhados escuros por verdes mostrou ser uma alternativa positiva tanto na escala da edificação, reduzindo a necessidade de condicionamento artificial quanto da cidade, reduzindo a ICU, além de melhorar

a gestão de águas pluviais, a qualidade do ar e a biodiversidade urbana. Na Argentina, Correa et al (2012) investigaram o conforto proporcionado por corredores verdes urbanos de 16m, 20m e 30m de largura na área metropolitana da cidade de Mendoza. Esta cidade sofre com desconforto térmico em 62% do tempo, de acordo com a avaliação. A metodologia do estudo baseou-se na seleção dos casos, observação experimental e avaliação da condição de conforto térmico através da aplicação do método COMFA, de Análise Qualitativa dos Campos Moleculares. A avaliação mostrou que a área com *Platanus acerifolia* apresentou um desempenho superior ao da *Morus alba* e da *Fraxinus excelsior* independentemente da largura. Além disso, a estrutura da floresta combinada com o aumento da rugosidade do solo da morfologia urbana reduz o arrefecimento por convecção. Assim, é importante incentivar as combinações adequadas de estruturas verdes e morfologias urbanas para reduzir a ilha de calor.

Chow e Brazel (2012) estudaram alternativas para atenuar, através de métodos sustentáveis, a ilha de calor urbano da área metropolitana de Phoenix, nos Estados Unidos. Neste estudo, foi utilizado um modelo no software ENVI-met de simulação do clima urbano em microescala para gerar cenários em duas áreas residenciais, com diferentes coberturas vegetais existentes. Posteriormente, foram analisados os impactos em temperaturas próximas da superfície e o conforto térmico ao ar livre ao longo de diferentes escalas espaciais e temporais. Em comparação com as condições existentes, a sombra das espécies xerófitas, como o cactus, por exemplo, têm forte potencial de mitigação das ilhas de calor urbanas em áreas residenciais. Observou-se que o resfriamento é mais significativo em microescalas, onde há diferenças de até -2,5°C, do que em escalas locais, onde as diferenças são de aproximadamente 1°C. Entretanto estas plantas consomem muita água e não contribuem significativamente com a umidade do ar, já que a sua evapotranspiração é reduzida, gerando maior desconforto térmico em todas as escalas espaciais e períodos temporais. Estes resultados demonstram a importância do estudo das variáveis quando se deseja utilizar a arborização para obtenção de conforto térmico.

Em Cantão, no sul da China, Chen et al (2012) analisaram os efeitos da dez parques na redução da temperatura urbana. Para isso foram utilizados os dados obtidos em imagens de satélite. Os resultados mostram que há um aumento de temperatura superficial de, em média, 1,74°C nas áreas sem vegetação. A relação não linear entre a distância média de arrefecimento de parques e áreas verdes foi simulada utilizando uma curva logarítmica ( $R^2 > 0,93$ ). Quando as áreas verdes de parques são menores do que 10.566m<sup>2</sup>, os parques apresentam poucos efeitos sobre a temperatura de seus ambientes circundantes. Em parques com mais de 740.000m<sup>2</sup>, a distância de influência aumenta em um metro para cada 10.000m<sup>2</sup> de área verde. Assim, os autores consideram como ideal que os parques tenham entre 10.566m<sup>2</sup> e 740.000m<sup>2</sup>. Os autores complementam que parques com mais de 128.889m<sup>2</sup> de superfície de água apresentam efeitos mais significativos, e que parques com grandes áreas verdes, maiores do que 37.163m<sup>2</sup>, ou grandes superfícies de água, apresentam efeitos mais significativos no mês de junho (verão) do que em outubro (verão). Apesar de os autores apontarem o estudo como um modelo de método de estudo para outras cidades no mundo, eles ressaltam que os resultados obtidos não podem ser generalizados, devendo os parâmetros serem ajustados às realidades locais.

Também na China, Hong et al (2012) investigaram o efeito da vegetação no clima de uma área residencial de Pequim através de medições *in loco* e simulação numérica. Os estudos demonstraram que a vegetação reduziu a velocidade do vento em 46%, e que as simulações serviram para ajustar o arranjo e tipos de vegetação para reduzir a velocidade do vento quando excessivamente alta no nível do pedestre. Apesar de este estudo não medir diferenças de temperatura, principal característica das ilhas de calor, ele confirma outro importante efeito da arborização urbana no conforto ambiental, a redução da velocidade do vento.

Na Eslovênia, Vidrih e Medved (2013) estudaram o efeito dos parques urbanos na mitigação do efeito de ilha de calor urbana. Para o estudo foi modelada tridimensionalmente uma área de 140m x 140m com as áreas de um parque e do seu entorno construído levando em conta a transferência de calor sensível e latente e as propriedades geométricas, e térmicas de elementos do

parque. O método foi validado com base na comparação das temperaturas do ar medidas e numericamente determinadas nas copas das árvores. O estudo constatou que com até 45 árvores por hectare o efeito de resfriamento do parque é de até 4,8°C. Verificou-se também que o tamanho do parque influi no seu arrefecimento, sendo considerado o ideal o parque com 130m de diâmetro, o que corresponde há 17.671m<sup>2</sup>. Este valor encontra-se próximo do limite inferior do estimado por Chen et al (2012), de 10.566m<sup>2</sup> e 740.000m<sup>2</sup>, apesar das diferenças climáticas. Acredita-se que este valor de 130m seja interessante por proporcionar benefícios bastante significativos e viabilizar um maior número de áreas verdes distribuídas na área urbana.

Millward et al (2014) analisaram como a vegetação urbana pode atenuar os aumentos na temperatura do ar de verão, reduzindo o ganho solar recebido por edifícios em Toronto, no Canadá. Foram investigados os benefícios de moderar a temperatura de árvores solitárias, grupos de árvores e trepadeiras perenes através de medições realizadas com sensores em áreas com e sem vegetação de seis edificações. Durante um período de alta intensidade solar, foi observada uma diferença de 11,7°C e entre 10 e 12 horas de temperaturas mais frias nas superfícies construídas, sendo o maior benefício observado no final da tarde. O estudo também demonstrou que as árvores em grupo apresentam um desempenho melhor do que as isoladas, e que as videiras perenes apresentaram desempenho tão bom quanto as árvores tradicionais, sendo uma alternativa interessante quando há limitação espacial.

No Reino Unido, Armson, Stringer e Ennos (2014) analisaram o papel das árvores e da grama na redução temperaturas regionais e locais durante o verão dentro da paisagem urbana de Manchester. Para isso foram medidas as temperaturas de superfície de pequenas parcelas compostas de concreto e grama na presença e na ausência de sombreamento arbóreo, e as temperaturas de globo medidas acima de cada uma das superfícies. As mesmas medições também foram realizadas ao meio-dia em grandes extensões de asfalto e grama em um parque urbano. Os pesquisadores observaram que a temperatura de superfície foi afetada tanto pelo material da superfície quanto a presença de sombra. A vegetação reduziu as temperaturas

máximas de superfície em até 24°C. Já a composição da superfície teve pouco efeito sobre as temperaturas de globo, enquanto o sombreamento reduziu-as entre 5 e 7°C. Estes resultados mostram que tanto a grama quanto as árvores podem contribuir para o resfriamento regional, contribuindo para a redução da ilha de calor urbana em climas quentes. Observou-se também que a grama tem pouco efeito sobre a temperatura do ar local, influenciando pouco sobre o conforto humano, enquanto a sombra de árvores pode fornecer refrigeração local eficaz.

O quadro a seguir apresenta uma síntese dos estudos apresentados.

(continua)

Ano	Autor	Local	Objetivos	Método	Resultados
2009	HAMADA; OHTA	Nagoia, Japão	Avaliar diferença de temperatura do ar em área urbana, área de pastagem e área de florestas.	Medição de temperatura do ar em área urbana, área de pastagem e área de florestas.	Constatadas diferenças de temperatura de 1,9°C durante o dia no verão e 0,3°C durante a noite no inverno. Observada influencia significativa das áreas verdes na temperatura a distâncias de até 300m.
2011	SUSCA; GAFFIN; DELL' OSSO	Nova Iorque, EUA	Avaliar os efeitos positivos da vegetação na escala urbana e na do edifício.	Medição de temperatura do ar em quatro áreas da cidade, simulação computacional para medição de efeito do albedo de superfície e indicador impacto sobre o clima com CO <sub>2</sub> equivalente.	Na macroescala foram observadas diferenças médias de 2°C entre as áreas mais densificadas e as mais arborizadas da cidade. Na microescala verificou-se que o telhado branco e os telhados verdes são menos impactantes e que a resistência térmica, a atividade biológica das plantas e o albedo da superfície desempenha um papel crucial no conforto térmico local.
2012	CORREA et al.	Mendonza, Argentina	Investigar o conforto proporcionado por corredores verdes urbanos com 16m, 20m e 30m de largura, com três espécies vegetais típicas do local.	Observação experimental e avaliação da condição de conforto térmico através da aplicação do método COMFA.	Os autores observaram que a cidade, apresenta desconforto térmico em 62% do tempo, e que os corredores verdes, principalmente os de <i>Platanus acerifolia</i> , contribuem, junto com a morfologia urbana, para a redução das ilhas de calor.

(continuação)

Ano	Autor	Local	Objetivos	Método	Resultados
2012	CHOW; BAZEL	Phoenix, EUA	Investigar alternativas para atenuar, através de métodos sustentáveis, a ilha de calor urbano da área metropolitana.	Simulação computacional do clima urbano em microescala em áreas residenciais com diferentes coberturas vegetais existentes.	Observou-se que as plantas xerófitas reduziram a temperatura em até 2,5°C na microescala e 1°C na escala local. Entretanto este tipo de vegetação gera desconforto para os usuários em função de não melhorar significativamente a umidade relativa do ar.
2012	CHEN ET AL	Cantão, China	Analisaram os efeitos de dez parques urbanos na redução da temperatura da cidade.	Estudo das temperaturas através de imagens de satélite. Simulação com logarítmica para análise da relação entre distância e arrefecimento.	As áreas sem vegetação apresentaram temperaturas, em média, 1,74°C mais altas. Foram observados benefícios significativos mesmo nos parques com menos de 10.566m <sup>2</sup> . Em parques com mais de 740.000m <sup>2</sup> , a distância de influência aumenta em um metro para cada 10.000m <sup>2</sup> de área verde. Foi considerado como ideal que os parques tenham entre 10.566m <sup>2</sup> e 740.000m <sup>2</sup> .
2012	HONG ET AL.	Pequim, China	Investigaram o efeito da vegetação no clima de uma área residencial.	Medições de velocidade do vento <i>in loco</i> e simulação numérica.	A vegetação reduziu em 46% a velocidade do vento.
2013	VIDRIH; MEDVED	Luiblia- na, Eslovê- nia	Estudo do efeito dos parques urbanos na mitigação do efeito de ilha de calor urbana.	Modelagem tridimensional	O estudo constatou que com até 45 árvores por hectare o efeito de resfriamento do parque é de até 4,8°C. Verificou-se também que o tamanho do parque influi no seu arrefecimento, sendo considerado o ideal o parque com 130m de diâmetro (17.671m <sup>2</sup> ).

(conclusão)

Ano	Autor	Local	Objetivos	Método	Resultados
2014	MILLWARD et al.	Toronto, Canadá	Análise de como a vegetação urbana pode atenuar os aumentos na temperatura do ar de verão, e reduzir o ganho solar recebido por edifícios.	Foram realizadas medições <i>in loco</i> com sensores em áreas com e sem vegetação (árvores solitárias, em grupo e trepadeiras perenes) de seis edificações.	Foram observadas diferenças de até 11,7°C e entre 10 e 12 horas de temperaturas mais frias nas superfícies construídas. O estudo também demonstrou que as árvores em grupo apresentam um desempenho melhor do que as isoladas, e que as videiras perenes apresentaram desempenho tão bom quanto às árvores tradicionais.
2014	ARMSON; STRINGER; ENNOS	Manchester, Inglaterra	Análise dos efeitos das árvores e da grama na redução das temperaturas regionais e locais nas áreas urbanas durante o verão.	Medições de temperaturas de superfície de pequenas parcelas compostas de concreto e grama na presença e na ausência de sombreamento arbóreo, e as temperaturas de globo medidas acima de cada uma das superfícies.	A temperatura de superfície foi afetada tanto pelo material que a constitui quanto a presença de sombra. A vegetação reduziu as temperaturas máximas de superfície em até 24°C. A composição da superfície teve pouco efeito sobre as temperaturas do globo, enquanto o sombreamento reduziu-os entre 5 e 7°C.

Quadro 1: Principais estudos realizados recentemente relacionando vegetação e ilha de calor urbano

### 5.3.2 Estudos Realizados no Brasil

No Brasil, os estudos climatológicos surgiram a partir da década de 1960, mas foi durante a década de 1990 que estes estudos difundiram-se por todo o território nacional, impulsionados pela preocupação com a queda da qualidade ambiental das grandes cidades (LUCENA, 2013). Nos diversos estudos realizados nas últimas décadas sobre a arborização urbana, vários

foram os enfoques, métodos e benefícios observados para o conforto nas cidades.

Barbosa (2005) estudou nove unidades amostrais urbanas em Maceió, no estado de Alagoas. A análise foi realizada no período de inverno, em escala microclimática, no qual foram tomados três dias típicos experimentais, identificados por meio da abordagem dinâmica do comportamento climático. O pesquisador constatou que as áreas verdes condicionam a criação de ambientes termicamente favoráveis à saúde, habitabilidade e uso dos espaços urbanos. Foram observadas variáveis de qualidade ambiental, expressos por meio dos resultados de temperatura e umidade do ar. Durante o dia foram observadas diferenças de até 3,3°C na temperatura. Já à noite as diferenças não foram tão significativas. Além disso, arborização também contribuiu para uma maior constância na umidade do ar.

Mascaró (2006) estudou o significado ambiental-energético da arborização urbana baseado, principalmente, nas medições realizadas por Mascaró (2002) em Porto Alegre. De acordo com o autor a principal função da arborização no meio urbano, principalmente no clima subtropical úmido, é de sombreamento.

“Quando a rua tem árvores de grande porte que se igualam com a altura dos edifícios, o sombreamento da vegetação é mais significativo, reduzindo a importância dos efeitos da geometria e da orientação do recinto urbano, diminuindo a assimetria das sombras decorrentes da orientação do eixo da rua. Devido ao baixo valor do albedo, a energia que gasta nos processos fisiológicos e a quantidade de vapor de água que produz, a vegetação constitui o material ideal para ser utilizado como sombreamento de verão da cidade” (MASCARÓ, 2006, p.8-9).

Mascaró (2006) ainda faz recomendações para melhorar o conforto ambiental de cidade de clima subtropical úmido utilizando a arborização. A cidade deve ser 2/3 sombreada durante o período quente; possuir um fator de visão de céu de 45° ou maior para o bom desenvolvimento da vegetação urbana; e, as árvores devem ser, preferencialmente, de folha caduca e de espécies nativas. Sobre a seleção das espécies, o autor apresenta os seguintes pontos a se considerar. A altura total da árvore e a do início da copa; a largura e a forma da copa, para prever o sombreamento; a densidade da folhagem; a densidade dos ramos à penetração da radiação solar no inverno, sendo 20% o percentual mínimo; densidade à passagem de vento, sendo



recomendado um percentual de 50% para o verão; a taxa de crescimento sendo preferíveis as espécies com maior taxa no início e menor no fim do seu desenvolvimento; menor necessidade de poda; e, as raízes em função de sua localização em relação à edificação e à infra-estrutura urbana.

Na cidade de São Paulo, Velasco (2007) estudou o potencial da arborização urbana na redução do consumo de energia elétrica em três pontos da área urbana, através de medições de temperatura e estimativa de Graus-Hora de calor. Foram observadas diferenças de até 2,14°C. A relação entre o número de Graus-hora de calor e a quantidade de vegetação foi negativa e a componente “*construção + vegetação – asfalto*” foi positiva. Apesar de os dados observados indicarem menor necessidade de condicionamento artificial nas áreas mais arborizadas, a quantidade de aparelhos de ar condicionado não diferiu.

Abreu e Labaki (2010) avaliaram comparativamente o conforto térmico proporcionado por indivíduos arbóreos isolados de diferentes espécies a diferentes distâncias na cidade de Campinas/SP, de clima tropical de altitude. A metodologia consistiu principalmente na escolha de espécies arbóreas e medições de temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa do ar, em quatro posições fixas no entorno das árvores: à sombra, a uma distância de 2,5m do tronco, e ao sol com distâncias de 10m, 25m e 50m do tronco. O estudo constatou que as árvores influenciam principalmente na temperatura e na umidade relativa do ar ao longo do ano, numa escala microclimática. As espécies decíduas, como a *Tabebuia chrysotricha*, conhecida como ipê-amarelo, proporcionam boas condições de conforto em diferentes distâncias durante o ano.

De encontro com o apontado por outros autores como Mascaró (2006), Correa et al (2012) e Chow e Brazel (2012), Abreu e Labaki (2010) destacam a importância do conhecimento do comportamento das espécies em relação ao conforto térmico no microclima para que os planejadores e pesquisadores do ambiente construído possam incorporar os indivíduos arbóreos no planejamento ou intervenções dos espaços abertos, aproveitando-se com inteligência os benefícios das diferentes espécies, visando à melhoria da qualidade de vida das pessoas.

Também no estado de São Paulo, Costa, Silva e Peres (2010) estudaram as variações térmicas na área urbana do município de Ilha Solteira. A metodologia consistiu na análise de imagens de satélite a partir das quais foram obtidos valores de temperatura de superfície. Os autores observaram que as áreas mais densificadas apresentaram temperaturas mais altas. Nas áreas mais vegetadas, como o zoológico, por exemplo, foram observadas temperaturas entre 21°C e 23°C. Já nas áreas mais urbanizadas foram observadas temperaturas entre 41°C e 44°C. Estas diferenças observadas caracterizam o fenômeno de ilhas de calor e confirmam a importância das áreas verdes na cidade.

Pivetta (2010) estudou a influência de elementos paisagísticos no desempenho térmico de edificação térrea na cidade de Londrina/PR. Para a análise, a autora realizou medições de temperatura e umidade relativa do ar e simulações realizadas a partir do programa Analysis Bio, com as quais foi possível melhor entender e comparar resultados de situações com e sem espécies arbóreas próximas da edificação. O estudo demonstrou que, em geral, as temperaturas do ar no interior da edificação são menores quando a edificação é sombreada por árvores. Concluiu-se, então, que o sombreamento com vegetação pode trazer uma contribuição climática significativa para o interior de ambientes construídos, o que teoricamente afeta a necessidade por equipamento de condicional artificial.

Velasco et al. (2011) avaliaram a relação entre a arborização viária na cidade de São Paulo, a temperatura, o consumo de energia elétrica e o uso de aparelhos de refrigeração em residências. Foram escolhidas três áreas que diferissem em termos de quantidade de vegetação e 100 residências em cada uma destas áreas. Foram realizadas medições, aplicados questionários, analisadas as contas de energia elétrica de cada uma das 300 residências. Os pesquisadores constataram uma diferença de 2,14°C entre as áreas mais e as menos arborizadas. Sob o aspecto de redução das temperaturas máximas diárias, conclui-se que a área com maior percentual de cobertura vegetal apresentou menor necessidade de refrigeração artificial. Apesar disso, não foram encontradas relações entre estes resultados e os observados nos questionários, pois o consumo de energia elétrica diferiu entre as áreas, não

sendo possível isolar o efeito dos aparelhos de ar condicionado no valor total do consumo de energia elétrica, já que tal consumo variou nas três áreas, mas a quantidade e o uso não diferiram.

No estado do Rio Grande do Sul, Collischonn (2012) avaliou o efeito do horto florestal da Região Metropolitana de Porto Alegre comparando resultados de cartografia térmica de superfície obtida no processamento de imagem de satélite, fotografias aéreas e dados de estações meteorológicas. A pesquisadora observou que em um dia de verão as temperaturas nas áreas industriais eram até 8°C maiores do que no Horto Florestal do seu entorno. Apesar de a autora não apresentar dados com relação à arborização urbana, ela mostra o quanto a densificação da cidade interfere drasticamente no seu clima.

Em 2013 Martini, Biondi e Batista compararam dados (velocidade do vento; temperatura do ar; umidade relativa do ar; razão de mistura; ponto de orvalho; temperatura do bulbo úmido; pressão atmosférica e altitude) medidos em três ruas de Curitiba, no estado do Paraná, com trechos arborizados e outros não arborizados. As medições foram realizadas em dois horários (9h e 15h) durante o inverno e a primavera de 2011. A análise dos padrões periódicos dos elementos meteorológicos permitiu constatar que a arborização de ruas proporciona um microclima urbano mais ameno durante a maior parte do dia. As ruas arborizadas apresentaram menores temperaturas do ar durante todo o período de monitoramento. De maneira inversa, a umidade relativa do ar nas ruas arborizadas foi maior durante esse período nas áreas arborizadas. Já os resultados encontrados para a velocidade do vento não permitem identificar tendência, uma vez que a interferência da cobertura arbórea nessa variável é menos significativa do que a de outros elementos urbanos, como as edificações.

O quadro a seguir (2) apresenta uma síntese dos estudos brasileiros apresentados.

(continua)

Ano	Autor	Local	Objetivos	Método	Resultados
2005	BARBOSA	Maceió, AL	Avaliar como as áreas verdes influenciam na criação de ambientes termicamente favoráveis à saúde, habitabilidade e uso dos espaços urbanos.	Medições de temperatura e umidade do ar em nove áreas da cidade em três dias típicos de inverno.	Durante o dia foram observadas diferenças de até 3,3°C na temperatura. Já à noite as diferenças não foram tão significativas. Além disso, arborização também contribuiu para uma maior constância na umidade do ar.
2006	MASCARÓ	Porto Alegre, RS	Estudo do significado ambiental-energético da arborização urbana.	Análise dos resultados das medições realizadas por Mascará (2002) em 18 pontos da cidade de Porto Alegre.	Aponta a importância do sombreamento não só para o resfriamento da cidade como também para o seu não aquecimento.
2007	VELASCO	São Paulo, SP	Estudo do potencial da arborização urbana na redução do consumo de energia elétrica.	Medições de temperatura e estimativa de Graus-Hora de calor em três pontos da área urbana de São Paulo.	Foram observadas diferenças nas temperaturas de até 2,14°C, em áreas arborizadas. A relação entre o número de Graus-hora de calor e a quantidade de vegetação foi negativa e a componente “construção + vegetação – asfalto” foi positiva. Apesar de os dados observados indicarem menor necessidade de condicionamento artificial nas áreas mais arborizadas, a quantidade de equipamentos não diferiu.
2010	ABREU; LABAKI	Campinas, SP	Avaliar comparativamente e o conforto térmico proporcionado por indivíduos arbóreos isolados de diferentes espécies a diferentes distâncias.	Medições de temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa do ar, em quatro posições fixas no entorno das árvores: à sombra, a uma distância de 2,5m do tronco, e ao sol com distâncias de 10m, 25m e 50m do tronco.	As árvores influenciam principalmente na temperatura e na umidade relativa do ar ao longo do ano, numa escala microclimática. As espécies decíduas proporcionam boas condições de conforto em diferentes distâncias durante o ano.

(continuação)

Ano	Autor	Local	Objetivos	Método	Resultados
2010	COSTA; SILVA; PERES	Ilha Solteira, SP	Estudo das variações térmicas na área urbana do município de Ilha Solteira.	Análise de imagens de satélite a partir das quais foram obtidos valores de temperatura de superfície.	Nas áreas mais vegetadas foram observadas temperaturas entre 21°C e 23°C, enquanto nas áreas mais urbanizadas foram identificadas temperaturas entre 41°C e 44°C.
2010	PIVETTA	Londrina, PR	Estudo sobre a influência de elementos paisagísticos no desempenho térmico de edificação térrea.	Medições de temperatura e umidade relativa do ar <i>in loco</i> e simulações computacionais com o software Analysis Bio.	Identificou que o sombreamento da edificação com vegetação pode trazer uma contribuição climática significativa para o interior de ambientes construídos.
2011	VELASCO et al.	São Paulo, SP	Avaliar a relação entre a arborização viária, temperatura, consumo de energia elétrica e uso de aparelhos de refrigeração em residências.	Foram escolhidas três áreas que diferissem em termos de quantidade de vegetação e 100 residências em cada uma destas áreas, aonde foram realizadas medições, aplicados questionários e analisadas as contas de energia elétrica das residências.	Foi constatada uma diferença de 2,14°C entre as áreas mais e as menos arborizadas. Com a redução das temperaturas máximas diárias houve menor necessidade de refrigeração artificial. Apesar disso, não foram encontradas relações entre estes resultados e os observados nos questionários, já que o consumo de energia elétrica variou nas três áreas, mas a quantidade e o uso dos equipamentos não.
2012	COLLIS-CHONN	Região Metropolitana de Porto Alegre, RS	Avaliar o efeito do horto florestal na temperatura da Região Metropolitana de Porto Alegre	Comparando dados de cartografia térmica de superfície obtida no processamento de imagem de satélite, fotografias aéreas e dados de estações meteorológicas.	A pesquisadora observou que em um dia de verão as temperaturas nas áreas industriais eram até 8°C maiores do que no horto florestal do seu entorno.

(conclusão)

Ano	Autor	Local	Objetivos	Método	Resultados
2013	MARTINI et al.	Curitiba, PR	Comparar as condições microclimáticas em ruas com diferentes características de arborização.	Medições de velocidade do vento; temperatura do ar; umidade relativa do ar; razão de mistura; ponto de orvalho; temperatura do bulbo úmido; pressão atmosférica e altitude em três ruas de Curitiba, com trechos arborizados e outros não arborizados.	A arborização das ruas proporcionou um microclima urbano mais ameno durante a maior parte do dia. As ruas arborizadas apresentaram menores valores de temperatura e maiores valores de umidade relativa do ar. Não foi possível identificar relação com as velocidades dos ventos já que a interferência da cobertura arbórea neste caso é menos significativa do que a de outros elementos urbanos, como as edificações.

Quadro 2: Principais estudos realizados no Brasil recentemente relacionando vegetação e ilha de calor urbano

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo destacou a importância da busca por maior sustentabilidade e eficiência energética no ambiente construído e o potencial da arborização urbana como ferramenta para tal. Conforme visto, as árvores e as áreas verdes podem contribuir com a qualidade das cidades em vários aspectos como com relação à qualidade do ar e a absorção da água das chuvas, por exemplo. O principal benefício da arborização analisado nesta pesquisa é com relação ao potencial de proporcionar conforto térmico, reduzindo os efeitos das ilhas de calor urbanas e, conseqüentemente, a necessidade de equipamentos de climatização e o consumo de energia elétrica.

Nas pesquisas apresentados foram encontradas diferenças de até 11,7°C e entre 10 e 12 horas de temperaturas do ar mais frias nas áreas arborizadas em relação às áreas mais densificadas e até 20°C de diferença na temperatura de superfície. Também foram observadas mudanças na velocidade dos ventos,

com redução de até 46%, aumento na quantidade e constância da umidade do ar, que contribuem para o conforto.

Também foram contribuições importantes do estudo as sugestões de tamanhos para os parques verdes e a área de influência destes na temperatura do entorno e o destaque dado para a especificidade das características dos indivíduos arbóreos. Conforme estudado, é de extrema importância o conhecimento das particularidades das espécies arbóreas para que possa aproveitar ao máximo os seus benefícios de acordo com as características do clima local.

## 7 REFERÊNCIAS

ABREU, L.V. e LABAKI, L.C. **Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas**: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. Ambiente Cosntruído (Online), v.10, n.4, Porto Alegre: out./dez., 2010.

ALVES, T. M. **A estrutura ecológica urbana no modelo da rede estruturante da cidade**. Tese (Mestrado em Planeamento do Território - Ordenamento da Cidade), Aveiro: Universidade de Aveiro, 2009.

ARMSON, D.; STRINGER, P.; ENNOS, A. R. **The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area**. Environmental Management, 26 mar. 2014.

ASSIS, E. S. **Impactos da forma urbana na mudança climática**: Método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo: Universidade de São Paulo, 2000.

BARBOSA, R. V. **Áreas verdes e qualidade térmica em ambientes urbanos: estudo em microclimas de Maceió (AL)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Hidráulica e Saneamento. São Carlos: Universidade de São Carlos, 2005.

BORGES, C. F.; DUMMER, J.; COLLISCHONN, E. **O campo térmico na área central da cidade de Pelotas–RS em situação de tempo anticiclônico**. Anais do VI SEUR e III Colóquio Internacional Sobre as Cidades do Prata, p. 73-78, 2010.

BRASIL. **Estatuto da cidade para compreender...** Rio de Janeiro: BAM/DUMA, 2001.

BRUNDTLAND, Gro Harlem — **“Our Common Future – The World Commission on Environment and Development”** – Oxford University, Oxford University Press, 1987.

BUENO, C. L. **A Influência da Vegetação no Conforto Térmico Urbano e no Ambiente Construído**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Campinas: Universidade de Campinas - UNICAMP, 2003.

CASTRO, A. W. S. **Clima urbano e saúde: as patologias do aparelho respiratório associadas aos tipos de tempo no inverno, em Rio Claro – SP**. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2000.

CHANDLER, T. J., **The climate of London**. London, Hutchinson e Co. Publishers LTD, 1965.

Chen, X.; SU, Y.; LI, D.;HUANNGB, G.; CHEN, W.; CHEN, S. **Study on the cooling effects of urban parks on surrounding environments using Landsat TM data: a case study in Guangzhou, southern China**. International Journal of Remote Sensing, v. 33, n.18, 2012.

CHOW, W. T. L.; BRAZEL, A. J. **Assessing xeriscaping as a sustainable heat island mitigation approach for a desert city**. Building and Environment, v. 47(1), jan. 2012, p.170-181, 2012.

COLLISCHONN, E. **Área verde como oásis térmico na região metropolitana de Porto Alegre/RS**. ACTA Geográfica, Boa Vista: Ed. Esp. Climatologia Geográfica, p.165-183, 2012.

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 (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2006.

CORREA, E.; RUIZ, M. A.; CANTON, A.; LESINO, G. **Thermal comfort in forested urban canyons of low building density**. An assessment for the city of Mendoza, Argentina. Building And Environment, v. 58, p. 219-230, 2012.

COSTA, D. F.; SILVA, H. R.; PERES, L. F. **Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias**. Jaboticabal: Eng. Agríc., v.30, n.5, set/out, 2010.



FALCÓN, A. **Espacios Verdes para una Ciudad Sostenible**. Barcelona: GG. 2007.

GARCÍA, F. S. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente e planificación**. Madrid: Síntesis, 1995.

GARCÍA, M. C. **Estudio del clima urbano de Barcelona: la "isla de calor"**. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia Física e Análises Geográfico Regional, Barcelona: Univesidad de Barcelona, 1990.

GAUZIN-MÜLLER, D. **Arquitectura ecológica**. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

GIACOMELI, C. D. **Caracterização da Arborização Viária e sua Influência no Microclima Urbano na Escala do Pedestre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2013.

GOMEZ, A.L. **El clima de la ciudades españolas**. Madrid: Editora Cátedra, 1993.

GOULART, S. **Sustentabilidade nas edificações e no espaço urbano**. Apostila da Disciplina Desempenho Térmico em edificações. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: [www.labee.ufsc.br/graduação/ecv\\_5161](http://www.labee.ufsc.br/graduação/ecv_5161). Acesso em: out. 2014.

HAMADA, S.; OHTA T.; **Seasonal variations in the cooling effect of urban green area on surrounding urban areas**. Urban Forestry & Urban Greening 9, p. 15-24, 2010.

HONG, B ; LIN, BR ; WANG, B ; LI, SH. **Optimal design of vegetation in residential district with numerical simulation and field experiment**. Journal Of Central South University Of Technology, v. 19(3), p.688-695, 2012.

IBGE – FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 Out. 2014.

ICHINOSE, T., SHIMODOZONO, K. AND HANAKI, K. **Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo**, Atmospheric Environment, n. 33, p. 3897-3909, 1999.

LAMBERTS, R; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 2 ed. São Paulo: ProLivros, 2004.

LANDSBERG, H. E. The Climate of towns. Ed. Thomas, W. E., **Man`s role in changing the face of the earth**. Pub. for the Wenner Grem Foud, Antropological Research and the National and Cience Found, University of Chicago Press, 1956.

LEÃO, E. F. T. B. **Carta Bioclimática de Cuiabá – Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente, Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2004.

LOIS, E.; LABAKI, L. C. **Conforto térmico em espaços externos**: uma revisão. In: Encontro Nacional de Conforto No Ambiente Construído, 6., 2001, São Pedro/SP. Anais... São Pedro (SP): ANTAC, 2001.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.

LUCENA, A. J. **Notas conceituais e metodológicas em clima urbano e ilhas de calor**. Rio de Janeiro: Revista Continentes (UFRRJ), ano 2, n.2, p. 28-59, 2013.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. **Influência da arborização de ruas na atenuação dos extremos meteorológicos no microclima urbano**. Enciclopédia Biosfera, Goiânia: Centro Científico Conhecer, v.9, n.17, p. 1685-1695, 2013.

MASCARÓ, J. J. **Significado ambiental-energético da arborização urbana**. Revista de Urbanismo e Arquitetura, v. 7, n. 1, p. 32-37, 2006.

MASCARÓ, L. et al. **PREAMBE**, Preservação do maio ambiente pelo uso racional de energia. Relatório de Pesquisa, Porto Alegre: PROPAR UFRGS MCT FINEP, 2002.

MASCARÓ, L. R. **Ambiência Urbana**. 2 ed. Porto Alegre: +4 Editora, 2004.

MASCARÓ, L; MASCARÓ, J. **Vegetação urbana**. 2 ed. Porto Alegre: + 4 Editora, 2005.

MILLER, R. W. **Urban forestry**: planning and managing urban greenspaces. Ed. 2, New Jersey: Prentice Hall, 1997.

MILLWARD, AA ; TORCHIA, M ; LAURSEN, AE ; ROTHMAN, LD. **Vegetation Placement for Summer Built Surface Temperature Moderation in an Urban Microclimate** . Environmental Management, v.53(6), p.1043-1057, 2014.

MINKE, G. **Techos Verdes**. Espanha: EcoHabitar, 2005.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Eficiência Energética e Conservação de Energia**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/clima/energia/eficiencia-energetica>>. Acesso em: jun. 2014.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG – USP, 1976.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. United Kingdom: Routledge, 2 ed., 1987.

PEREZ, J.C.; SÁNCHEZ, M. A. V.; BARRADAS, V.L. **Clima, urbanización y uso del suelo en ciudades tropicales de Mexico**. Red Nacional de Investigación Urbana, Puebla, México, Ciudades 51, jul.-set. 2001.

PEZZUTO, C. C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de caso em Campinas, SP**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2007.

PIVETTA, J. **Influência de Elementos Paisagísticos no Desempenho Térmico de Edificação Térrea**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento), Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2009.

PROCEL. **Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID6C524BD8642240ECAD7DEF8CD7A8C0D9PTBRIE.htm>, Acesso em: out. 2014.

ROBINETTE, G. O. **Plants/People/and Environmental Quality**. USDI-Natl. Park Serv, 1972.

SACHS, I. **Estratégia de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Studio Nobel, 1993.

SANTAMOURIS, M. On the built environment – the urban influence. In: SANTAMOURIS, M. **Energy and climate in the urban built environment**. Greece: James & James, p.3-18, 2001.

SANTAMOURIS, M.; PARAPONIARIS, K.; MIHALAKAKOU, G. **Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece**, Climatic Change, v. 80, p. 265–276, 2007.

SANTOS, T. O. **Identificação de ilhas de calor em Recife-PE por meio de sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

SOUZA, L. C. L. **Relationships among urban heat islands, urban geometry and electrical energy consumption.** *Clima Urbano e Planejamento das Cidades*, v. 3, n. 2, 2010.

SOUZA, M. A. L. B. Maximização das funções ecológicas, ambientais e estéticas das árvores no planejamento da arborização urbana. In.: **Workshop sobre Arborização Urbana Vale do Ribeira**, n. 1, São Paulo: Universidade Estadual de São Paulo - UNESP, 2009.

SUCOMINE, N. M. **Caracterização e análise do patrimônio arbóreo da malha viária urbana central do município de São Carlos – SP.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2009.

SUSCA, T.; GAFFIN, S. R.; DELL'OSSO, G. R. **Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs.** *Environmental Pollution*, v.159 (8-9), Ago. 2011, p. 2119-2126, 2011.

TORRESI, S. I. C.; PARDINI, V. L.; FERREIRA, V. F. **O que é sustentabilidade?** São Paulo: Química Nova, v.33, n.1, 2010.

UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects.** The 2009 Revision. New York: United Nations, 2010.

VELASCO, G. D. N.; LIMA, A. M. L. P.; COUTO, H. T. Z. C.; FILHO, D. F. S.; POLIZEL, J. L. **Avaliação de método de questionário para estudo da relação entre presença e uso de aparelhos de refrigeração, arborização viária e consumo de energia elétrica.** Viçosa: *Revista Árvore*, v. 35, n.3, Mai-Jun., 2011.

VELASCO, G. D.N. **Potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica: definição de três áreas na cidade de São Paulo – SP, aplicação de questionários, levantamento de fatores ambientais e estimativa de Graus-Hora de Calor.** Tese (Doutorado em Agronomia), São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007.

VIDRIH, B.; MEDVED, S. **Multiparametric model of urban park cooling island.** *Urban Forestry & Urban Greening*, v.12 (2), p. 220-229, 2013.

VOOGT, J. A., **Urban Heat Island, Causes and consequences of global environmental change,** *Encyclopedia of Global Environmental Change*, v. 3, p. 660-666, 2002.

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

WENG, Q.; LARSON, R. C. **Satellite remote sensing of urban heat islands: current practice and prospects.** In: JENSEN, R. R.; GATRELL, J. D.; McLEAN, D. D. *Geo-spatial Technologies in Urban Environments.* New York: Springer, 2005. p. 91-111.