

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

*Lizia de Moraes De Zorzi*

Mestre em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS);  
Docente no Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Caxias do Sul (UCS).  
E-mail: <liziadz@gmail.com>.

*Giane de Campos Grigoletti*

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS);  
Docente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).  
E-mail: <ggrigoletti@gmail.com>.

## 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 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 urbano. Eficiência energética.

## 1 INTRODUÇÃO

No ano de 2009, de acordo com as Perspectivas de Urbanização do Mundo, pela primeira vez na história a população urbana ultrapassou a rural

em níveis mundiais (UNITED NATIONS, 2010). No Brasil, aproximadamente 85% da população vive em áreas urbanas (IBGE, 2010). Esse padrão de desenvolvimento, com acelerada urbanização tem mostrado resultados prejudiciais sobre a forma das cidades e consumo dos recursos naturais.

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).

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).

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 (2003) 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 edi-

ficações 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.

## 2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar e discutir a contribuição da arborização urbana para a eficiência energética das cidades. Dentre os objetivos específicos são: Identificar a maneira como a arborização urbana interfere no conforto térmico e, conseqüentemente, na eficiência energética das cidades. E, ainda, apresentar e discutir as contribuições dos principais estudos realizados na última década sobre a influência da vegetação no microclima urbano.

## 3 JUSTIFICATIVA

Na busca por sustentabilidade e redução no consumo dos recursos naturais, ganha importância a eficiência energética. 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). Na construção civil 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 amplamente discutida. Na escala urbana, entretanto, 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). Al-

ternativas 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.

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, justificando este estudo de revisão de literatura.

## 4 MÉTODO EMPREGADO

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 OBTIDOS

### 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 e do clima urbano. Monteiro (1976) destaca que, no estudo de clima urbano são três as 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). Esta denominação foi utilizada pela primeira vez numa publicação científica em 1958 para designar o fato de as cidades serem mais quentes que o meio rural ou meio menos urbanizado do seu entorno (GARCÍA, 1990).

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, segundo 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.

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; PARAPONIARIS; MIHALAKAKOU, 2007).

### 5.2 CONTRIBUIÇÕES DA ARBORIZAÇÃO URBANA

As áreas verdes, tanto da área urbana quanto das áreas circunvizinhas às cidades, exercem enorme influência no clima local, regional e global. Uma das características marcantes da vegetação é o fato de amenizar a temperatura local e, como consequência, diminuir os efeitos das ICU (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.

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. Giacomeli (2013) explica que a influência da vegetação na temperatura do ar está relacionada ao controle da ventilação, da umidade relativa do ar e, principalmente, através da atenuação da radiação solar incidente direta e indiretamente.

Segundo Falcón (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 Falcón (2007), Leão (2007) explica que 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 disponível no meio. Ainda, de acordo com Sucomine (2009), durante a noite o seu metabolismo libera calor proporcionando redução da amplitude térmica nos espaços.

Outra contribuição é com relação à prevenção do aquecimento global, já que as plantas realizam o sequestro de gás carbônico durante a fotossíntese (SOUZA, 2009). 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 (SOUZA, 2009). Segundo Falcón (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.

### 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). Foram marcantes neste período os estudos de Landsberg (1956) e Chandler (1965) para a cidade de Londres (ASSIS, 2000). O primeiro 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. Já o segundo 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 acen-

tuada “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 A NÍVEL INTERNACIONAL

No ano de 2010, Hamada e Ohta (2010) 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.

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 avaliação mostrou que a área com *Platanus acerifolia* apresentou um desempenho superior ao da *Morus alba* e da *Fraxinus excelsior* independentemente da largura, destacando a importância da escolha da espécie mais adequada.

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. Em comparação com as condições existentes, a sombra das espécies xerófitas, como o cactus, por exemplo, têm 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 aproxima-

damente 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 de dez parques na redução da temperatura urbana através de imagens de satélite. Os resultados mostram que há um aumento de temperatura superficial de, em média, 1,74°C nas áreas sem vegetação. 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 consideraram 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).

Com outro enfoque mas 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 ICU's, ele confirma outro importante efeito da arborização urbana no conforto ambiental.

Na Eslovênia, Vidrih e Medved (2013) estudaram o efeito dos parques urbanos na mitigação do efeito de ICU. 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 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 locais. Considera-se este valor de 130m 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 medindo 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. 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 mais eficaz.

### 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. O pesquisador constatou que as áreas verdes condicionam a criação de ambientes termicamente favoráveis à saúde, habitabilidade e uso dos espaços urbanos. 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. O autor recomenda que a cidade de clima subtropical úmido seja 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.

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.

Quatro anos depois 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 refrige-

ração 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.

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.

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. 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.

## 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 apresentadas 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.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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 and 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.
- 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.
- GARCÍA, M. C. *Estudio del clima urbano de Barcelona: la “isla de calor”*. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia Física e Análises Geográficas Regionais, Barcelona: Univesidad de Barcelona, 1990.
- 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.
- 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.
- 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.; HANAKI, K. Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. *Atmospheric Environment*, n. 33, p. 3897-3909, 1999.
- 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, 2007.
- 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.



- LUCENA, A. J. Notas conceituais e metodológicas em clima urbano e ilhas de calor. *Revista Continentes (UFRRJ)*, Rio de Janeiro, 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, Centro Científico Conhecer*, Goiânia, 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: PROPARG 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.
- MILLWARD, A. A.; TORCHIA, M.; LAURSEN, A. E.; 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, 2010.
- PROCEL. *Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes*. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID6C524BD8642240E-CAD7DEF8CD7A8C0D9PTBRIE.htm>>. Acesso em: out. 2014.
- 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.
- 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.
- 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. *Revista Árvore*, Viçosa, 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.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, Oxford, 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*. Springer, New York, 2005. p. 91-111.

## *Contributions from afforestation for environmental comfort and urban energy efficiency*

### **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.