

DESEMPENHO AMBIENTAL DE VIAS PÚBLICAS QUANTO AO CONFORTO TÉRMICO URBANO. ESTUDO DE CASO: TERSINA – PIAUÍ - BRASIL

C. F. e Silva e M. A. B. Romero

RESUMO

Este trabalho trata do desempenho ambiental de vias públicas quanto ao conforto térmico promovido por materiais urbanos e arborização. São destacadas, como objeto de estudo, três avenidas da cidade de Teresina – Piauí - Brasil, de clima tropical subúmido. O objetivo principal é contribuir com a produção de um espaço urbano mais confortável climaticamente. Para isso, discute-se os principais elementos influenciadores do microclima, como a topografia, o revestimento do solo e a vegetação. O estudo foca nas ruas, nas quais se percebe que a quantidade de superfície impermeável e a quantidade de superfície sombreada são determinantes para a criação de microclimas diferenciados. Análise aborda o método de simulações computacionais realizadas no software *ENVI-met*, especializado em simulações climáticas de áreas urbanas. Por fim, são apresentadas como alternativas algumas diretrizes gerais de desenho urbano bioclimático, visando a um melhor conforto térmico para o espaço público das vias urbanas. Palavras-chave: Arborização; Vias públicas, Simulação Computacional

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que grandes problemas urbanos se dão pelo contínuo tratamento desconexo entre a configuração, o clima e a vegetação urbanos. No entanto, entende-se que devem ser tratados de modo inter-relacionado, para que, combinados, possam contribuir para a melhoria do conforto ambiental do espaço público. Tratando-se da qualidade arquitetônica deste espaço público, esses três elementos, aqui representados pelas vias (símbolo da configuração urbana), microclima (contexto climático para a escala da rua) e arborização (principal estratégia bioclimática de vegetação urbana), são considerados, ao mesmo tempo, contexto e determinantes da configuração.

Toda a configuração urbana e, principalmente, sua conformação por materiais urbanos, contribuem na formação dos microclimas diferenciados no contexto da cidade. No meio urbanizado, por exemplo, quanto maior o índice de concreto, asfalto e pavimentação (materiais com maiores coeficientes de absorção e emissão de energia térmica), e menor a cobertura vegetal, maiores são os ganhos de calor da massa edificada e maior é, também, a emissividade desta para o espaço urbano, o que contribui para temperaturas mais elevadas, incremento de ilha de calor e, conseqüentemente, temperaturas mais

elevadas no espaço urbano causando um maior desconforto para o usuário dos espaços urbanos.

Observa-se, então, que a via é o principal contexto onde se estabelecem inúmeras relações e interferências ambientais, como a arborização e a criação de microclimas específicos. Para isso, torna-se necessária a conceituação deste elemento fundamental no tecido urbano, a via, que, para (Stanford, 1981, p. 297), constitui o espaço de acesso público e um subsistema organizativo da cidade. De modo amplo, a configuração urbana é resultado das relações estabelecidas pelo homem entre a morfologia da massa edificada e a morfologia dos espaços exteriores, e entre estas e o solo. Oliveira (1985) esclarece que características tais como rugosidade, porosidade, tamanho, (dimensões horizontal e vertical), ocupação do solo e orientação são as características da forma urbana que mais influem nas condições de conforto térmico e qualidade do ar.

A razão entre a caixa viária e as edificações (relação W/H) está diretamente ligada à quantidade de radiação absorvida pelas edificações, uma vez que o edifício armazena radiação de ondas curtas, aumentando a energia solar absorvida, devido às várias reflexões.

Um outro componente necessário para esse estudo se refere ao clima que, segundo os trabalhos de Romero (2000), se traduzem em: topo, meso e microclima, bioclimatismo, princípios de desenho adaptado ao clima e microclima urbano, além dos fatores climáticos locais entendidos como a vegetação, topografia e o revestimento do solo.

Borges (2006) cita que é importante saber que os estudos científicos sobre o clima urbano tiveram início ainda no século XIX, na Europa, com o trabalho de Luke Howard sobre o clima da cidade de Londres, publicado pela primeira vez em 1818, no qual este observou que as temperaturas do ar são, freqüentemente, mais altas na cidade que na área rural a sua volta. Oliveira (1985) complementa que hoje, estas modificações são vistas como situadas em um contexto climático maior, variando quanto às dimensões do espaço geográfico/atmosférico e quanto ao dinamismo das atividades desenvolvidas pelo homem nas cidades. Silva (1999, p. 2) complementa, abordando que “o clima urbano é resultante da ação do homem sobre a organização do espaço urbano, ocasionando mudança na rugosidade, porosidade e permeabilidade do solo, alterando a cobertura vegetal e o relevo (supressões e/ou inserções ambientais)”.

No processo de urbanização, os materiais de construção utilizados possuem propriedades físicas distintas do solo natural, apresentando menor valor de albedo (coeficiente de refletância), maior capacidade calorífica e valor elevado de condutividade térmica. Tais características resultam na modificação do balanço da radiação, influenciando, sobretudo, no aumento da temperatura e na redução da umidade do ar, o que prejudica a qualidade bioclimática desses espaços.

Prova disso é o fato de que as maiores temperaturas no centro urbano ocorrem onde existe maior incidência de concreto, cimento e pavimentação asfáltica, compondo densas áreas. As propriedades físicas dos materiais constituintes da massa edificada, da vegetação e das superfícies, pavimentadas ou não, dentro da estrutura urbana - que influem na quantidade de energia térmica acumulada e irradiada para a sua atmosfera, contribuindo para aumentar as temperaturas urbanas - são expressas, principalmente, pelo albedo.

Dessa forma, vê-se que os efeitos positivos da vegetação passam a ser cada vez mais desejados no contexto urbano, pois, com o crescimento das cidades, os ambientes anteriormente naturais, ricos de vegetação, passam a ser compostos de materiais estritamente urbanos, reduzindo a presença da árvore neste cenário, em substituição ao asfalto e ao concreto, na maioria das vezes (Figura 1) (Quadro 1).

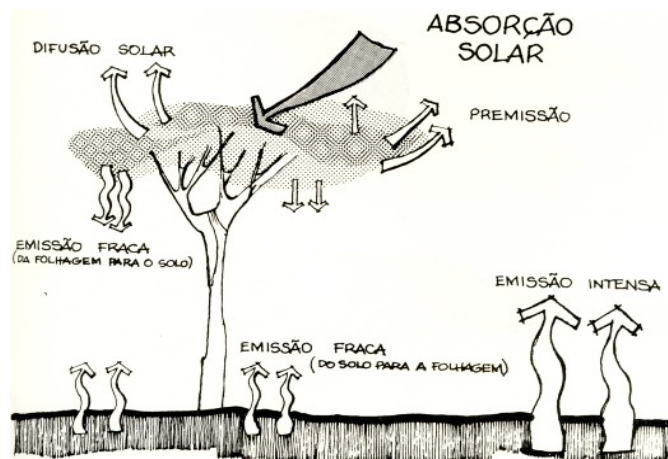


Figura 1 – A espécie arbórea e a radiação solar.
Adaptado de Romero, 2000.

Quadro 1 -Variações de temperatura sob vegetação em espaços abertos (°C)

Orientação	verão	outono	primavera	inverno
Árvores Isoladas	-3,7 a - 1,3			-8,0 a -1,0
Grupamentos heterogêneos	-4,4	-3,6 a -2,8	-	-5,0
Grupamentos Homogêneos	-4,7	-3,1	-3,7 a -3,2	-5,1

Quadro 1 - Variações de temperatura sob vegetação em espaços abertos (°C)
Adaptado de Mascaró (1996, p. 78)

Neste sentido, é premente a necessidade de quantificar os ganhos e perdas climáticos com a vegetação no espaço urbano, para que as cidades não sigam repetindo erros na produção do espaço urbano desconfortável climaticamente, e para que se possa potencializar a inserção da vegetação na cidade, conforme cita Franco (1997) em sua proposta de desenho ambiental urbano.

Em cidades de clima tropical subúmido, a arborização urbana assume grande relevância bioclimática. Dessa forma, estudos que quantifiquem e qualifiquem a contribuição da vegetação no espaço público da cidade têm amplo significado social, cultural e científico. Assim sendo, este estudo volta-se para a quantificação dos ganhos em

conforto com o uso da arborização no sistema viário público (caixas viárias, canteiros centrais e calçadas laterais) e sua direta repercussão no espaço edificado. Para isso, as pesquisas focam em análises objetivas sobre a qualidade ambiental das cidades, o que representa importante subsídio norteador de futuras intervenções nos espaços públicos. E, ainda, serve de fundamentação teórica para nortear planos urbanos que objetivem, como ação prioritária, a arborização urbana adaptada à infra-estrutura - sistema viário - e às condições bioclimáticas de cada lugar.

2. OBJETIVO

O presente trabalho apresenta como objetivo geral a análise do desempenho ambiental de vias públicas da cidade de Teresina. Para isso, pretende-se analisar microclimaticamente o espaço das vias por três meios: sensorial, coletas de dados climáticos e por simulações computacionais. Além disso, pretende apresentar uma metodologia de estudos com o *software* de simulação ENVI-met.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De modo a esclarecer os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa, é esquematizado um pequeno roteiro no qual são seguidos alguns passos de análise organizados em três momentos e classificados para efeito didático: 1º - Apresentação da cidade estudo de caso e definição das vias; 2º - Caracterização sensorial e microclimática dos pontos estudados; 3º - Simulações e análises dos resultados.

3.1 – Apresentação da cidade estudo de caso e definição das vias

A cidade de Teresina localiza-se na Latitude 5,5º Sul e Longitude 42,5º com 345Km de territorialidade (Figura 2). São apresentadas as áreas de estudo, e definidos parâmetros de análise a partir de desenhos esquemáticos, que classificam as vias estudadas a partir dos fatores climáticos locais: vegetação, superfície do solo e topografia. Para este artigo, foram selecionadas as três vias que representam os contextos bastante divergentes quanto a quantidade de área arborizada, e, logo, representam situações diferenciadas em relação ao conforto ambiental: Avenida Santos Dumont (ponto 1), Avenida Frei Serafim (ponto 2) e Avenida João XXIII (ponto 3) (Figura 3).

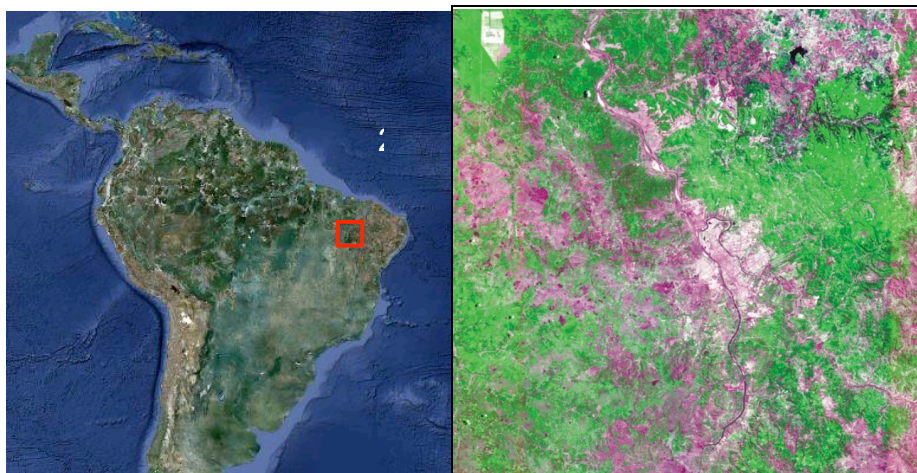


Figura 2 – Localização da Cidade de Teresina – Foco da área urbanizada.Fonte: Inpe, 2008 (Sensor: CCD/CBERS-2 Órbita_Ponto: m154_106 Composição: R3G4B2 Data: 27/07/2004

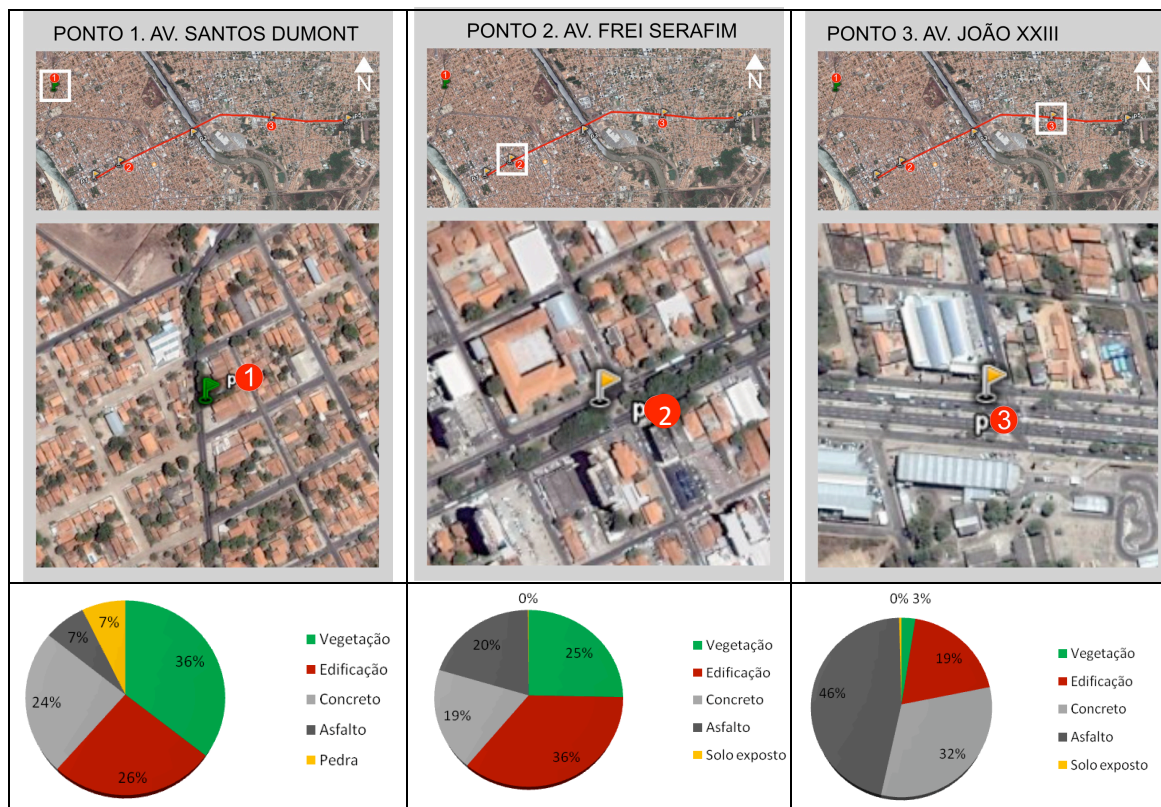


Figura 3 – Avenidas Santos Dumont (ponto 1), Frei Serafim (ponto 2) e João XXIII (ponto 3) e distribuição dos materiais urbanos.

3.2 - Simulações e análises dos resultados

De modo a validar a situação microclimática de cada área de estudo, simulações computacionais foram desenvolvidas em *software* especializado em análise ambiental e bioclimática, o *ENVI-Met*¹, cuja modelagem é baseada nas leis fundamentais da dinâmica de fluidos e da termodinâmica, além deste, é utilizado o *software* Leonardo 3.75, como aporte para a representação dos resultados obtidos. Para isso, baseia-se nas metodologias de Duarte et al (2007), o qual utiliza simulações paramétricas explorando as diferentes formas de distribuição verde no espaço e seu impacto em diferentes configurações urbanas, a fim de verificar as reduções da temperatura e o aumento da umidade do ar.

Para a finalidade deste trabalho, foram realizadas simulações com diferenciados ordenamentos, quantidades e tipos de vegetação nos pontos estudados, como também com diversos materiais de revestimento de solo, em diferentes proporções e índices de permeabilidade. Para isso, será seguida a metodologia de Duarte et al (2007), em que usa simulações paramétricas explorando as diferentes formas de distribuição verde no espaço e seu impacto em diferentes configurações urbanas, a fim de verificar as reduções da temperatura e o aumento da umidade do ar, como também a de Silveira (2005) que estuda o desempenho da ventilação no espaço livre.

¹ O *software* ENVI-met e o seu aplicativo Leonardo 3.75 foram projetados por Michael Bruse e equipe, pesquisador do Departamento de Geografia da Universidade de Bochum – Alemanha. A versão utilizada para a simulação foi 3.1, disponível desde 2004. Mais informações disponíveis em: www.envi-met.com.

O mês de março é escolhido para as simulações, tendo em vista que é esse mês que é considerado para a coleta de dados *in loco*, por representar a época úmida, e, logo, por representar a época com que as imagens aéreas são coletadas, e, por seqüência, são utilizadas na representação dos dados para a entrada no programa de simulação.

Os horários em que são gerados os mapas de simulação são os mesmos horários em que são feitas as coletas de dados *in loco*, ou seja, 9 h, 15 h e 21 h.

Cria-se um arquivo com configurações básicas para a cidade de Teresina. Para os dados não obtidos da estação climatológica de referencia da cidade, são utilizados dados oficiais disponibilizados nos aeroportos do mundo inteiro, utiliza-se como referência dados do aeroporto de Natal – RN², uma vez que aquela cidade situa-se em latitude muito próxima à cidade de Teresina, e, dentre as disponíveis, era também a cidade mais próxima geograficamente.

A seguir, é representado o procedimento metodológico de transformação dos dados reais, partindo de imagem de satélite tirada no primeiro semestre do ano, para dados digitais, convertidos, inicialmente, em *pixels* no programa *AutoCAD*, em seguida, convertidos em arquivos Bitmap para a inserção na interface do programa *ENVI-met*. Torna-se importante salientar que cada área representada é de 10.000 m² (100 m x 100 m), e, para melhor desempenho da simulação, são convertidas em tramas de 40 *pixels* x 40 *pixels*, logo, são construídas grades com dimensão de 2,5 m x 2,5 m (Figura 4).

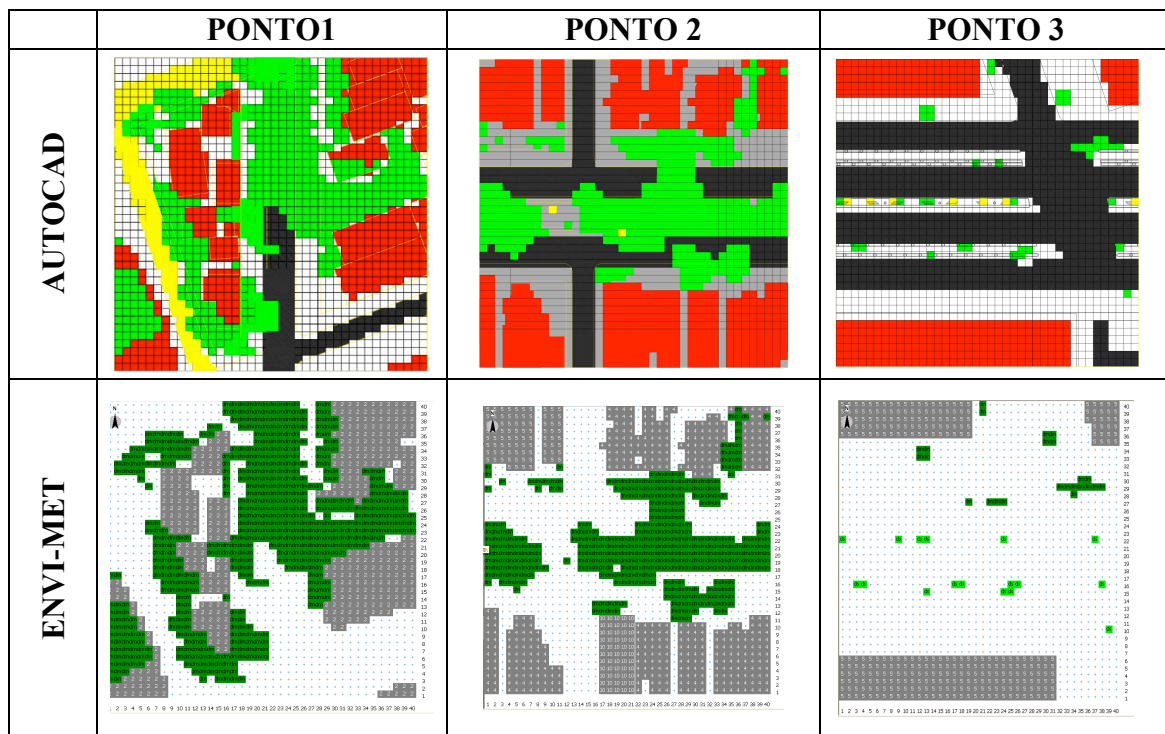


Figura 4 - Entrada de dados do AutoCAD para o ENVI-met

² Natal – RN tem clima quente úmido que é equivalente ao clima do mês de março na cidade de Teresina - PI. Dessa forma, as simulações foram geradas para o mês de março.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A pesquisa apresenta os resultados derivados das simulações computacionais realizadas por meio do programa *ENVI-met*. Bruse (2008) descreve que este programa é baseado em diversos projetos de investigação científica e está, portanto, sob constante desenvolvimento. Sua proposta baseia-se no prognóstico das leis fundamentais da dinâmica de fluidos e da termodinâmica. O modelo inclui a simulação de: enchente ao redor e entre edifícios troca de processos de calor e vapor na superfície do solo e nas paredes turbulência troca de vegetação e parâmetros de vegetação; bioclimatologia; dispersão de partículas.

A aplicação do *ENVI-met* se dá nas áreas da climatologia urbana, arquitetura, design de prédios ou planejamento ambiental, entre outras correlatas. *ENVI-met* vem junto com um *software* adicional (Leonardo) que abarca editores e ferramentas de visualização gráfica para a modelagem dos resultados.

4.1 Simulação das Áreas 1, 2 e 3

A Avenida Frei Serafim, é aqui representada pela área 2. Nessa área, para o período da manhã (9 h), a variação registrada é de 1,59 °C, entre o local mais quente e o menos quente. A variação torna-se considerável quando se atenta para o tamanho reduzido da área, de apenas 100 m x 100 m.

A imagem gerada pela simulação desta área representa, assim como na área 1, uma grande parte de área livre de edificação em tons frios (75 %), que, segundo a representação da simulação, é referente aos valores mais baixos de temperatura e os tons quentes (25 %) da área livre de edificação são referentes aos valores elevados de temperatura do ar.

A área 2, embora não represente a área com uma maior arborização, é a que apresenta o valor mais baixo de temperatura dentre as três áreas simuladas que é de 23,21°C. Este resultado demonstra que a orientação da Avenida Frei Serafim (área 2), favorável à ventilação, garante a esta área os mais baixos valores de temperatura, uma vez que esta simulação levou em consideração a época úmida da cidade de Teresina, em que a ventilação contribui para a redução de temperatura (Figura 4).

A Avenida João XXIII, representada pela área 3. Nesta área, para o período da manhã (9 h), a variação registrada é de 1,41 °C entre o local mais quente (25,7 °C) e o menos quente (24,29 °C).

Nessa área, é visível grande parte da área livre de edificação em tons quentes, cerca de 88 %, que, segundo a legenda, representam os maiores valores de temperatura. As manchas em magenta representam exatamente as faixas de asfalto da via, local em que a temperatura é extrema. Já as poucas áreas em tons frios, representam aproximadamente, 12 % da área livre de edificação (Figura 5).

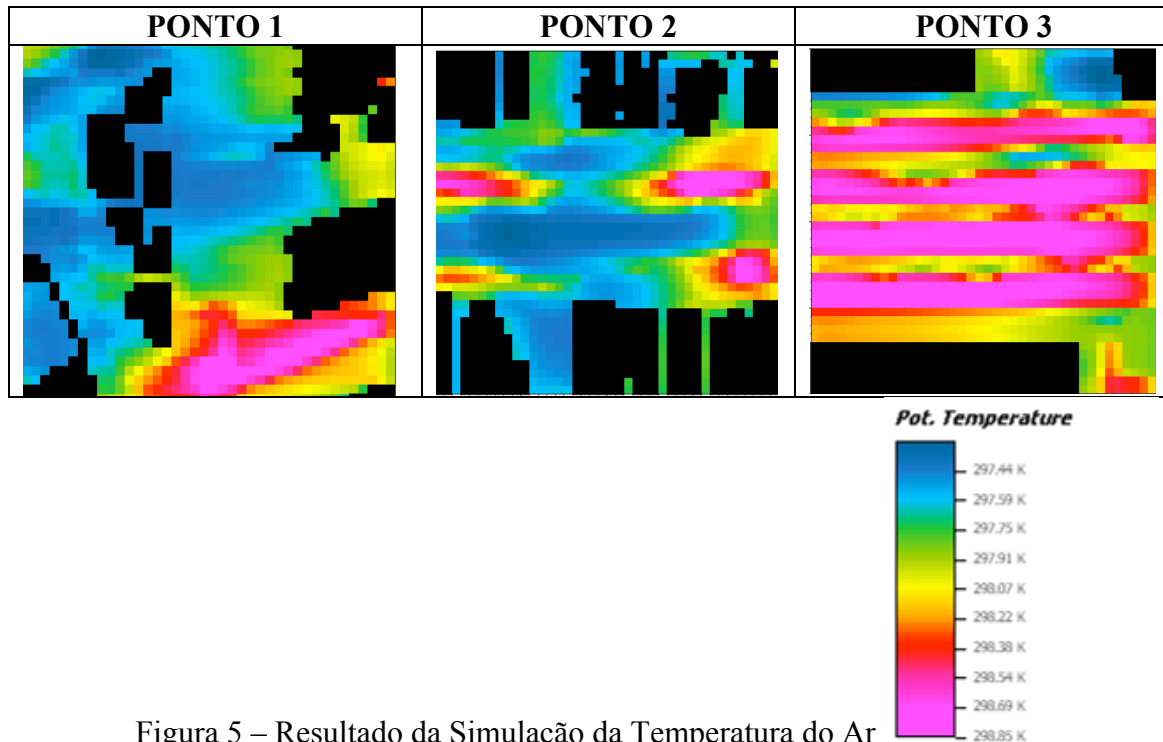


Figura 5 – Resultado da Simulação da Temperatura do Ar

5. CONCLUSÕES

As análises efetuadas sobre as simulações computacionais realizadas se mostram coerentes, pois permitem que correlações entre as características climáticas da cidade e os resultados extraídos do programa, quanto a parâmetros de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e temperatura superficial das calçadas, evidenciando os diferentes microclimas a partir da proporção de vegetação em cada via estudada.

Nesse sentido, conclui-se que a contribuição da vegetação é efetiva para o conforto ambiental do espaço público, o que repercute diretamente na qualidade ambiental do espaço construído, uma vez que são registradas diferenças de temperatura, entre áreas pouco arborizadas e áreas densamente arborizadas, de até 5 °C nas medições *in loco* e de até 3,11 °C nas simulações computacionais. Conclui-se também que a contribuição da vegetação tem peso exponencial em relação a temperaturas menores que 30 graus, conforme mostra gráfico (Gráfico 1).

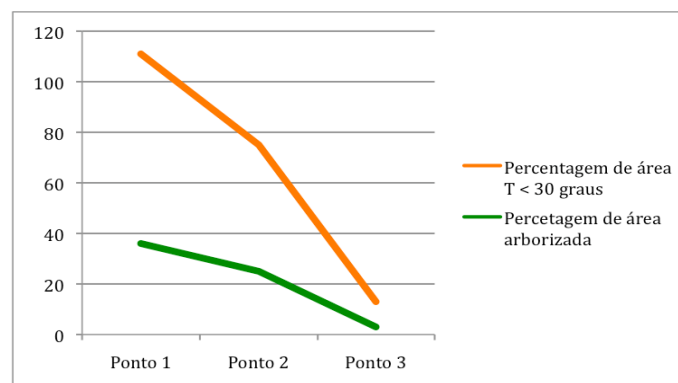


Gráfico 1 – Correlação entre porcentagem de área arborizada e áreas com temperaturas inferiores a 30 graus.

Observa-se então, a partir das simulações realizadas, que é no horário da tarde que se dão as diferenças mais extremas. Essas diferenças podem ser observadas tanto entre pontos da mesma área, apresentando valor médio de 2,25 °C sendo, em alguns casos, superiores a 3 °C.

Verifica-se ainda que o comportamento do revestimento do solo da via, em relação à temperatura e à umidade do ar, é diferente nos dois semestres, em função não só do clima da região, que se alterna entre quente e seco e quente e úmido, mas, também, devido às características de cada material que reveste a área analisada. Observa-se que vias muito arborizadas mantêm temperatura amena e boa umidade relativa do ar, mesmo na época quente e seca, comprovando o poder da arborização na manutenção da umidade, enquanto a via pouco arborizada tem umidade baixa e temperaturas extremas, repercutindo diretamente no conforto térmico do usuário.

Os materiais urbanos existentes nas avenidas como asfalto, cimento, e quantidade restrita de vegetação uniformizam as características ambientais, mantendo o espaço urbano com características ambientais quase que inalteradas. Vê-se que os resultados mostram que os espaços não são planejados visando a uma compatibilidade entre o edificado, as infra-estruturas urbanas e a vegetação.

Observa-se que, no caso da formação da ilha de calor, no horário noturno, quando o acúmulo de calor recebido durante o dia é devolvido para a atmosfera, um local densamente arborizado (áreas 1 e 2) apresenta-se como um cenário negativo para as trocas térmicas, conforme é demonstrado nas simulações no o horário noturno.

Prova disso, destaca-se o caso da arborização da Avenida Frei Serafim (área 2) que não possui fechamento da copa das árvores, como ocorre na Avenida Santos Dumont (área 1). Esse fato garante uma melhor circulação dos ventos, fazendo a área 2 acumular uma menor quantidade de calor, quando comparada à área 1 conforme demonstrado nas simulações.

6. REFERÊNCIAS

Borges, Marcus, (2006). **Influência da vegetação no conforto térmico em ambientes urbanos**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

Bruse, M. **ENVI-met 3.1 Software, (2008). On-line Manual**. Disponível em: <http://www.envi-met.com>. acesso em: 20/12/2008. 2008.

Duarte, Denise Helena Silva; Serra, Geraldo Gomes (2003). **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de indicador**. In: Ambiente Construído. V.3, n.2, p7-20, abr. / jun. Porto Alegre, 2003.

Duarte, D. H. S; Spangenberg, J. ; Johansson, E. ; Shinzato, Paula, (2008). Simulation of the influence of Vegetation on Microclimate and Thermal Comfort in The city of São Paulo. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 3, p. 1-19.

Franco, Maria A R. (1997). **Desenho Ambiental**. Annablume Editora. São Paulo.



GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. Elsevier Publishing Company Limited: Amsterdam – London – New York, 1969.

Mendonça, Francisco; Monteiro, Carlos Augusto de Figueiredo (orgs). (2003). **Clima urbano**. Editora Contexto. São Paulo.

Oliveira, Paulo Marcos Paiva de, (1985). **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Dissertação de Mestrado. Editora UnB. Brasília.

Romero, Marta Adriana Bustos, (2000). **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. São Paulo, ProEditores.

Silva, Caio Frederico, (2009). **Caminhos Bioclimáticos: Desempenho Ambiental de Vias públicas da cidade de Teresina – PI**. Dissertação de Mestrado. Brasília, 2009. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília.

Silva, Francisco de Assis Gonçalves da. (1999). **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído: Uma aplicação ao nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo – FAU-USP, São Paulo.

Silveira, Ana Lúcia Ribeiro Camilo da. (2007). **Parâmetros Bioclimáticos para Avaliação de Empreendimentos Habitacionais Multifamiliares da Região Tropical Sub-úmida do Brasil**”. Tese de Doutorado. FAU – UnB, Brasília.

Stanford, Anderson, (1981). **Calles. Problemas de estructura y diseño**. *On Streets* (título original). Editora Gustavo Gili. Barcelona, 1981.