

## **ESTUDOS DA DINÂMICA DA TEMPERATURA INTRA-URBANA: PETROPOLIS, RIO DE JANEIRO, BRASIL**

P. R. C. Drach<sup>123</sup>, G. S. Barbosa<sup>3</sup>, O. D. Corbella<sup>24</sup>, M. A. P. Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Arquitetura e Urbanismo, ESDI –UERJ

<sup>2</sup>Programa de Pós-graduação em Urbanismo, PROURB/UFRJ

<sup>3</sup>Programa de Engenharia Urbana, POLI – UFRJ

<sup>4</sup>Pesquisador CNPq

<sup>5</sup>Geografia, UFRJ

e-mail: [patricia.drach@uerj.br](mailto:patricia.drach@uerj.br)

*Recibido 10/08/16, aceptado 07/10/16*

**RESUMEN:** Estudios relacionados con las variaciones en la temperatura intra-urbana, sus causas y efectos son cada vez más el objeto de interés dada la necesidad de abordar las cuestiones relacionadas con el cambio climático. El objetivo principal de esta propuesta es presentar los resultados de la investigación sobre las diferencias en el microclima en varios lugares del centro histórico de Petrópolis, y más tarde, en futuras investigaciones, proponer estrategias de intervención en la morfología urbana que pueden conducir a mejoras en el confort ambiental. Para esta colección de datos de investigación se llevó a cabo mediante la aplicación del método de transectos móviles, que cubre toda la zona en un corto período de tiempo. Los principales resultados fueron el análisis de los mapas de temperatura de aire generada asociados con índice de confort UTCI. Además, se observó que los lugares con temperaturas más altas tienen mayor área de revestimiento artificial y menor capa de vegetación.

**Palabras clave:** Temperatura intra-urbana, Petrópolis, Índices de Confort.

### **INTRODUCAO**

Os estudos acerca da formação das ilhas de calor vêm tomando corpo nas diversas áreas de pesquisa que relacionam o ser humano ao clima, principalmente com a crescente preocupação relacionada a fenômenos de caráter ambiental. As ilhas de calor podem ser definidas como áreas no espaço urbano com temperaturas mais elevadas que nas regiões vizinhas e sua formação é resultado da interação de vários fatores, sendo que para seu estudo torna-se importante ter uma visão mais abrangente do problema.

O levantamento das variações da temperatura intra-urbana é fundamental para entender a dinâmica em uma determinada região e identificar os fatores que contribuem para esta variação. Sabe-se que são muitas as variáveis envolvidas no processo e é importante trabalhar de maneira que o maior número possível das mesmas seja levado em consideração. Desta forma uma abordagem multidisciplinar, focando métodos de análise variados utilizando tanto simulação computacional quanto experimental, pode ser capaz de contribuir de maneira relevante nesta linha de pesquisa.

Grandes concentrações de edifícios nas cidades associados à intensa cobertura do solo urbano, muitas vezes utilizando materiais inapropriados, significam de forma associada, uma quantidade muito grande de superfícies absorventes da radiação solar. Isto junto à possíveis bloqueios de ventilação propicia o surgimento das ilhas de calor, perceptíveis principalmente à noite, quando o material dos edifícios e do solo dissipa o calor armazenado durante o dia. Nas cidades, soma-se usualmente a este processo a presença da poluição, e devido à estagnação do ar, estas áreas acabam resultando em verdadeiros “bolsões” de temperaturas superiores àquelas observadas em seu entorno.

A formação das ilhas de calor tem reflexos negativos que vão desde o desconforto ambiental ao aumento do consumo de energia, que sabemos, tem um custo financeiro e ambiental elevado. Este aumento se deve à necessidade de utilização de equipamentos de refrigeração e de ar condicionado, para proporcionar aos usuários dos espaços construídos certo nível de conforto. A energia térmica vertida para o espaço externo pelos aparelhos retroalimenta o fenômeno produzindo por sua vez um maior consumo de energia elétrica.

O interesse teórico e prático neste assunto vem da necessidade de estabelecer qual intensidade de ventilação, associada à contenção da radiação solar, deve ser observada ou almejada, para uma região específica, de forma que esta seja suficiente para não induzir a formação de ilhas de calor. Ao serem estabelecidos os parâmetros tais como velocidade do vento e temperatura do ar para avaliação destas áreas, é possível trabalhar com a simulação buscando ao menos certo grau de predição das tendências para cada área estudada. Os estudos iniciais apontam a capacidade de interferir na circulação do ar através da alteração da posição, da forma, de materiais etc. Assim, através da introdução ou da retirada de elementos, por vezes simples alterações, em alguns casos, pode ser possível minimizar o problema das ilhas de calor. Por exemplo, a introdução de áreas verdes, tanto para produção como para usos estéticos, também pode melhorar e minimizar os efeitos negativos das ilhas de calor, e contribuir positivamente com a paisagem urbana.

Para essa pesquisa foi efetuado um levantamento de dados através da aplicação do método dos transectos móveis com a definição de duas rotas pré-determinadas percorridas a pé e de bicicleta para que uma área maior pudesse ser percorrida em um curto intervalo de tempo. A complementação da pesquisa inclui a coleta de dados com a utilização de estação meteorológica e concomitante aplicação de questionários acerca da sensação térmica, aplicados aos usuários de espaços abertos, também na cidade de Petrópolis. A produção deste banco de dados permite a análise da dinâmica da temperatura do ar e de outras variáveis ou comportamentos da população para a cidade de Petrópolis. Este trabalho de campo facilita, ou mesmo estimula que posteriores comparações com as respostas obtidas anteriormente, utilizando a mesma metodologia, para as cidades do Rio de Janeiro, Curitiba e Glasgow, todas com características climáticas, urbanísticas e em termos de população local, bastante distintas.

## **BREVE HISTÓRIA DA CIDADE**

A cidade de Petrópolis está situada na Serra da Estrela. Ela está separada da cidade do Rio de Janeiro por uma gigantesca muralha de mais de 1000 m de altura. Este difícil acesso, de acordo com Taulois (2007), fez com que a região permanecesse praticamente desconhecida durante os primeiros 200 anos de colonização portuguesa.

“No dia 16 de março de 1843, o Imperador D. Pedro II, assinou o Decreto Imperial nº 155 que arrendava as terras da fazenda do Córrego Seco ao Major Köeler para a fundação da ‘Povoação-Palácio de Petrópolis’.” (Taulois, 2007)

Partindo de um plano inicial ideado pelo mordomo imperial Paulo Barbosa e seu colega de armas o Major Júlio Frederico Köeler, por eles denominado “Povoação-Palácio de Petrópolis”. Nasceu então a primeira semente de Petrópolis já com “a mentalidade de substituir o trabalho escravo pelo trabalho livre.” (Taulois, 2007). Neste decreto estavam incluídas as diretrizes de ocupação da região enumeradas por Taulois (2007):

“1- Projeto e construção do Palácio Imperial; 2- Urbanização de uma Vila Imperial com Quarteirões Imperiais; 3- Edificação de uma igreja em louvor a São Pedro de Alcântara; 4- Construção de um cemitério; 5- Cobrar foros imperiais dos colonos moradores; 6- Expulsar terceiros das terras ocupadas ilegalmente.”

Coube ao Major Köeler a elaboração da planta geral da povoação-palácio e do Palácio Imperial. A tarefa não foi trivial uma vez que seu plano urbanístico necessitou lidar com o fato de inserir uma cidade entre montanhas e aproveitar o trajeto dos rios que cortam a região.

“Ele inverteu o antigo estilo colonial português de construir as casas com o fundo para os rios que eram utilizados apenas como esgoto, como na maioria das nossas cidades. Passou a aproveitar os cursos de água para traçar pelas suas margens as avenidas e as ruas que davam acesso aos bairros. Outro aspecto relevante no plano foi a preocupação com a preservação da natureza determinada pelo seu código de posturas municipais.” (Taulois, 2007). Na Figura 1 pode ser observado o plano urbanístico desenhado pelo Major Köeler em 1846.

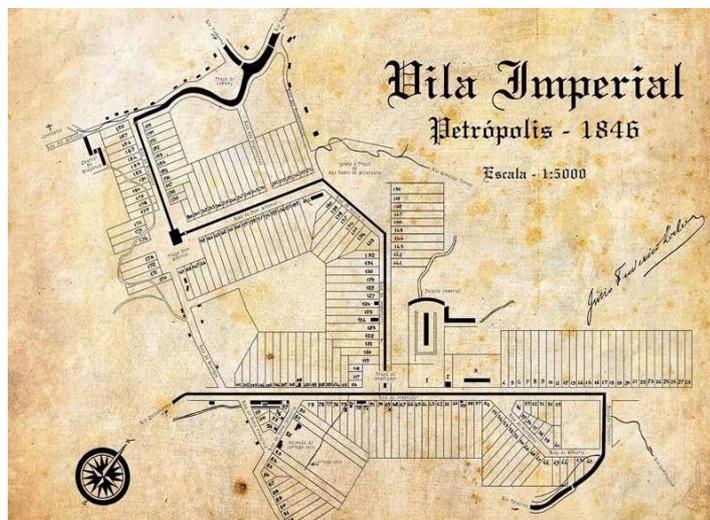


Figura 1: Plano urbanístico desenhado pelo Major Köeler - 1846. Biblioteca do Museu Imperial – Petrópolis, RJ.

A este projeto se segue, dez anos depois, o plano urbanístico de 1856 (Figura 2), agora mais detalhando e capaz de abarcar a região do entorno do Palácio Imperial. A ocupação se dava então fazendo o caminho dos rios que banham a região e abrindo espaço entre os morros da cidade.

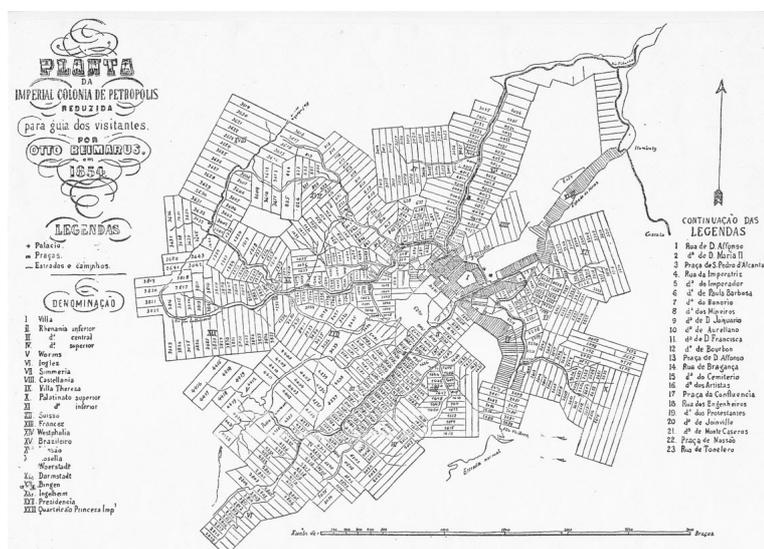


Figura 2: Plano urbanístico desenhado pelo Major Köeler - 1856. Biblioteca do Museu Imperial – Petrópolis, RJ.

O sistema de divisão de prazos, como eram denominados os lotes à época do major, determinado por Köeler, reproduzia a hierarquização observada no palácio. Segundo Morlei (2008), nesta hierarquização dos espaços via-se refletida a hierarquia social da época. As dimensões e localização destes prazos variavam de acordo com três classes estabelecidas por Köeler. Sua ocupação, que incluía casos de doação, buscou atender aos anseios do Imperador que pode delinear “uma vizinhança a seu gosto.” (Schwarz, 1998).

Esta ocupação abrangendo as regiões mais distantes do núcleo do povoado, os “subúrbios”, ao longo dos rios, caracterizava-se pela racionalização das vias de comunicação, almejada por Köeler. Segundo Choay (1965), uma nova ordem na qual há a racionalização das vias de comunicação e dos setores urbanos com o deslocamento das classes média e operária para os subúrbios. A cidade passa a se adaptar à sociedade que a habita.

Com o crescimento da população e a conseqüente necessidade de expansão da sua área urbana observa-se que ocorre uma intensa ocupação de “áreas mais problemáticas do que as planejadas pelo Major Köeler” (Silva et al., 2012). Sila et al. (2012) apontam que as áreas no topo de morros e nos fundos de vale são ocupadas, resultando em um maior desmatamento trazendo conseqüências, como por exemplo, o aumento dos processos de assoreamento dos rios da região.

É interessante observar a partir do exposto na breve história da cidade, que sua trajetória desde a pequena Vila da Serra da Estrela de 1845 até seus primeiros passos com a cidade de Petrópolis, que havia um cuidado e preocupação em preservar os recursos naturais e beleza da região.

## DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Esta pesquisa é parte do projeto “Relação entre Adensamento Urbano e Formação de Ilhas de Calor: Cidade de Petrópolis, Rio de Janeiro” (MCTI/CNPq N ° 14/2012) financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, e envolve, conforme dito anteriormente, a região do Centro Histórico da Cidade de Petrópolis e seu entorno.

A cidade de Petrópolis está localizada na Serra da Estrela, no Estado do Rio de Janeiro, região sudeste do Brasil. A cidade apresenta um clima tropical de altitude com uma pluviosidade significativa ao longo de todo o ano. Pode-se dizer que mesmo no mês mais seco apresenta expressiva pluviosidade. O clima é classificado como Cfb de acordo com a Köppen e Geiger. Petrópolis tem uma temperatura média de 18.4 °C com o valor da pluviosidade média anual de 1929 mm. A Tabela 1 e a Figura 3 apresentam informações acerca da população, densidade e área ocupada pelo município de Petrópolis.

População estimada 2015 (1)	298.142
População 2010	295.917
Área da unidade territorial 2015 (km²)	795,799
Densidade demográfica 2010 (hab/km²)	371,85
Código do Município	3303906
Gentílico	petropolitano

<http://cod.ibge.gov.br/2334M> - IDHM: Fonte: Atlas Brasil 2013 Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

*Tabela 1: cidade de Petrópolis, Rio de Janeiro.*



*Figura 3: Área da cidade de Petrópolis (IBGE).*

Estas informações permitem traçar um panorama geral da cidade que pode ser apontada como uma cidade de porte médio de acordo com a classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. De acordo com o mesmo Instituto (IBGE, 2010), as cidades de porte médio, com populações inferiores a 500 mil habitantes, são as que vem apresentando o maior crescimento demográfico. Apontam ainda que este crescimento se deve em grande parte ao movimento migratório dentro do próprio país. Este importante deslocamento da população acaba alterando de forma expressiva a dinâmica da cidade, influenciando entre outros fatores a expansão da mancha urbana, que acaba ocorrendo muitas vezes de forma desordenada e sem planejamento, o mapa de uso do solo e o clima local. Em tempo de mudanças climáticas estas alterações podem representar o incremento de situações de intenso desconforto para a população. Pesquisas no sentido de indicar meios de mitigar ou mesmo solucionar problemas relacionados à intensa ocupação das áreas urbana representam aliados na tentativa de desenvolver espaços de conforto e permanência no meio urbano.

### Localização dos pontos a serem monitorados

Todos os 23 (vinte e três) pontos selecionados, para medições na cidade de Petrópolis estão inseridos no centro histórico e seu entorno. A seleção de sua localização levou em conta a necessidade de escolher cenários que sejam capazes de representar o que é observado em termos de malha urbana nesta cidade. Assim, foram localizados 23 pontos de coleta de dados: em ruas estreitas e largas; em ruas com e sem vegetação; em praças; nas proximidades dos rios; em pontes sobre o rio; em pontos elevados e confinados do centro histórico etc. Na Figura 4 está indicada a distribuição dos 23 pontos na malha do centro histórico da cidade.

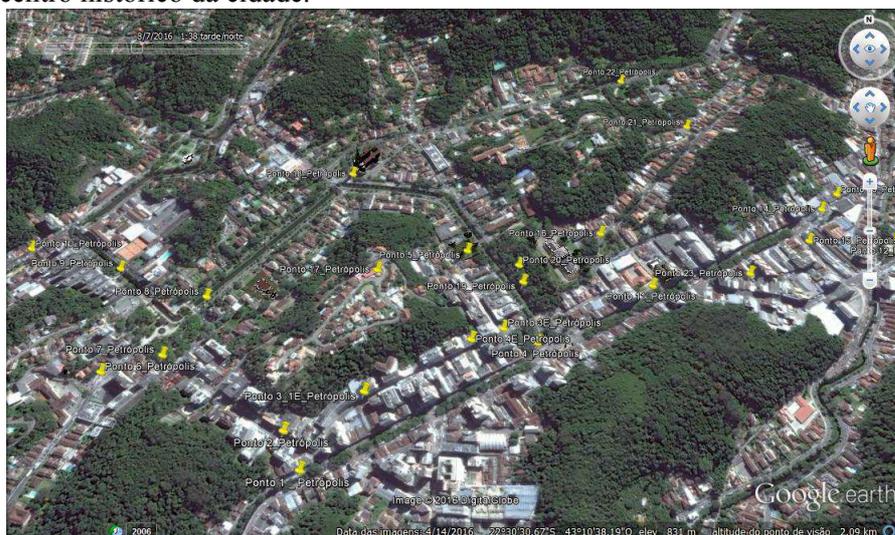


Figura 4: Pontos de medição no Centro Histórico e entorno (GoogleEarth 2016).

Cabe aqui acrescentar que os pontos, em geral, possuem também uma paisagem do entorno agradável, não tendo sido detectadas situações que despertassem, por si só, uma pré-disposição ao desconforto. Pelo mapa da Figura 4 é possível observar que a distribuição dos 23 pontos procurou efetivamente abarcar o Centro Histórico da cidade.

### Documentação dos pontos selecionados

O processo de determinação dos pontos tem início com a utilização de um mapa, para marcação das áreas de interesse. A seguir o lugar é percorrido a pé para observar se as escolhas são pertinentes e representativas da morfologia urbana local. Para identificação do entorno de cada ponto de medição, as imagens fotográficas do entorno de cada ponto e para registrar as variações da morfologia urbana incluindo os diferentes materiais de revestimento urbano. Na sequência os locais dos pontos são fotografados para identificação do local e com lentes olho de peixe para geração das máscaras em preto e branco.

Foram feitas também exposições voltadas para o céu, para determinação do fator de visão do céu. Para cada ponto, três imagens foram tomadas (bracketing) visando obter um ponto otimizado de exposição –

permitindo assim a posterior seleção da imagem mais adequada ao cálculo de fator de visão do céu. Além da bússola, foram utilizados uma trena e um nível de bolha para ajuste preciso do equipamento. A objetiva Fisheye utilizada foi uma lente SIGMA 4.5mm f 2.8 EX (número 1004723) e, a seguir o fator de visão do céu e o “solar path” foram calculados com a utilização da ferramenta RayMan Pro (Matzarakis et al., 2010).

Uma vez calculado o fator de visão do céu (FVC) uma pré-seleção é efetuada. Os pontos são revisitados e as seleções confirmadas ou descartadas. Para Petrópolis foram selecionados 23 pontos para medições, eles estão descritos na Tabela 2 e o mapa da Figura 4 permite observar sua distribuição no Centro Histórico. A Figura 5 mostra o processo efetuado para captura das imagens utilizando as lentes “olho de peixe”.

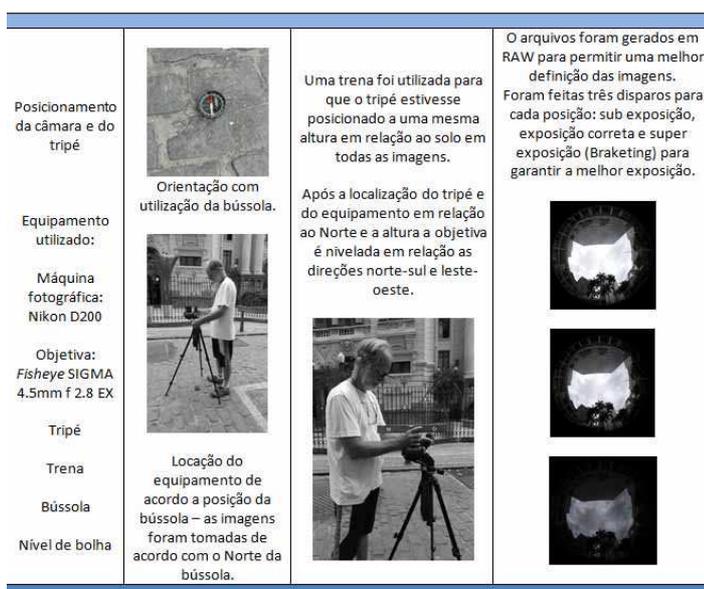


Figura 5: Captura da imagem para o cálculo do Fator de Visão do Céu (FVC). Fotos: Patricia Drach

PONTOS	
O Ponto 1	Petrópolis - Rua Washington Luís / Latitude e longitude: 22°30'44.09"S/43°10'47.87"O
O Ponto 2	Petrópolis - Rua Dr Nelson de Sá Earp / Latitude e longitude: 22°30'41.86"S/ 43°10'49.03"O
O Ponto 3	Petrópolis - Rua 16 de Março com Rua Alencar Lima / Latitude e longitude: 22°30'35.26"S/ 43°10'35.27"O
O Ponto 4	Petrópolis - Praça D. Pedro com Rua do Imperador / Latitude e longitude: 22°30'36.31"S/ 43°10'33.12"O
O Ponto 5	Petrópolis fica na Praça da Câmara de Vereadores / Latitude e longitude: 22°30'35.29"S/ 43°10'33.00"O
O Ponto 6	Petrópolis - Em frente à UCP. / Latitude e longitude: 22°30'37.75"S/ 43°11'1.16"O
O Ponto 7	Petrópolis na Praça da Liberdade. / Latitude e longitude: 22°30'36.59"S/ 43°10'57.54"O
O Ponto 8	Petrópolis - Avenida Koeller com Praça da Liberdade / Latitude e longitude: 22°30'32.26"S/ 43°10'55.50"O
O Ponto 9	Petrópolis - Ponte sobre o Rio Piabanha em frente ao Clube Petropolitano. Latitude e longitude: 22°30'29.98"S/ 43°11'1.90"O
O Ponto 10	Petrópolis - Rua 7 de Abril, em frente à Leitaria Brasil. Latitude e longitude: 22°30'28.23"S/ 43°11'8.65"O
O Ponto 11	Petrópolis - Avenida do Imperador, em frente ao CENIP. Latitude e longitude: 22°30'32.33"S/ 43°10'24.78"O
O Ponto 12	Petrópolis - Praça de skate em frente à UCP. / Latitude e longitude: 22°30'29.09"S/ 43°10'6.69"O
O Ponto 13	Petrópolis - Rua Marechal Floriano Peixoto em frente à JK Ferragens. Latitude e longitude: 22°30'24.90"S/ 43°10'9.46"O
O Ponto 14	Petrópolis - Praça do antigo Mercado Municipal. Praça com Espelho d'água. Latitude e longitude: 22°30'26.20"S/43°10'11.02"O
O Ponto 15	Petrópolis - Rua da Padaria Comércio - número 68 / Latitude e longitude: 22°30'28.85"S/ 43°10'12.76"O
O Ponto 16	Petrópolis - Praça D. Pedro - Corpo d'água e vegetação / Latitude e longitude: 22°30'27.91"S/43°10'27.73"O
O Ponto 17	Petrópolis - Morro dos Milionários - condomínio. / Latitude e longitude: 22°30'31.37"S/ 43°10'43.68"O
O Ponto 18	Petrópolis - Catedral / Latitude e longitude: 22°30'21.99"S/ 43°10'46.03"O
O Ponto 19	Petrópolis - Rua da Imperatriz em frente ao Museu. / Latitude e longitude: 22°30'31.76"S/ 43°10'33.67"O
O Ponto 20	Petrópolis - Jardim do Museu. / Latitude e longitude: 22°30'30.38"S/ 43°10'33.85"O
O Ponto 21	Petrópolis - Pracinha no alto da rua D Pedro. / Latitude e longitude: 22°30'18.61"S/ 43°10'19.62"O
O Ponto 22	Petrópolis - Rua Ipiranga em frente ao Bordeaux. / Latitude e longitude: 22°30'13.13"S/ 43°10'23.94"O
O Ponto 23	Petrópolis - Camelódromo - Rua Paulo Barbosa. / Latitude e longitude: 22°30'31.53"S/ 43°10'17.79"O

Tabela 2: Pontos com localização

A Tabela 3 apresenta o exemplo da ficha de localização dos Pontos 1 e 2. Para cada ponto de medição foram coletadas as informações e foi construída a ficha de informações. Nela existem informações acerca do lugar de forma a permitir que seja possível retornar ao local quando necessário para coleta de novos dados. Constam desta ficha de informação para cada ponto: localização; imagem capturada pela lente “olho de peixe”; imagens geradas pelo software RayMan Pro (Matzarakis et al., 2010) para o cálculo do FVC e também o “solar path”.

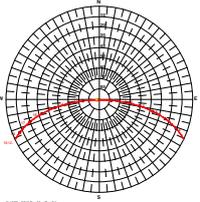
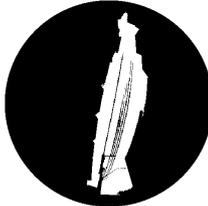
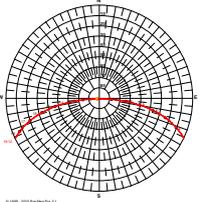
<p><b>O Ponto 1_</b> Petrópolis Rua Washington Luís Latitude e longitude: 22°30'44.09"S/43°10'47.87"O A região apresenta uma situação parcialmente protegida. A região faz fronteira com a Rua Washington Luís, extremamente movimentada, e uma outra parte dessa mesma rua, mas sem saída, portanto, com fluxo muito baixo de veículos. O Ponto 1 está localizado ao lado do rio Quitandinha que se encontra com o rio Palatino na altura do Obelisco (ponto central da Avenida do Imperador) e a partir daí os dois passam a correr juntos. Uma ponte une as duas partes da rua nessa região.</p>	 <p>O mais famoso rio da região, o rio Piabanha, não banha a rua do Imperador. Ele mistura suas águas com as do rio Palatino, o antigo Córrego Seco, e segue em direção aos distritos para juntar-se com o Paraíba do Sul, na cidade de Três Rios.</p> 	 <p>UTC -3.0 h horizon limitation: 60.9% sky view factor (RayMan): 0.391</p>
<p><b>O Ponto 2_</b> Petrópolis Rua Dr Nelson de Sá Earp Latitude e longitude: 22°30'41.86"S/ 43°10'49.03"O Apesar de pequena, a antiga Rua João Pessoa é extremamente movimentada e responsável por intenso fluxo de saída do centro da cidade.</p>	 	 <p>horizon limitation: 85.8% sky view factor (RayMan): 0.142</p>

Tabela 3: Exemplo da ficha de informações dos pontos – Pontos 1 e 2.

Para cada ponto também foram tomados dados relacionados aos materiais utilizados no revestimento urbano, mobiliário e vegetação. O espaço urbano é aqui analisado considerando as características do “lugar” Romero (2001), portanto, levando em conta não somente seus elementos ambientais e climáticos, bem como os aspectos culturais, históricos e tecnológicos. Para o ponto de partida da avaliação da região foi utilizada a metodologia analítica proposta por Romero (2001) que envolve a concepção bioclimática do espaço público. Assim, o observador deve estar atento aos aspectos da urbanização capazes de alterar o ambiente físico, dentre eles: a poluição do ar, que pode intensificar a radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera, promovida pela maior absorção das ondas curtas recebidas e radiação de ondas longas emitidas pelos poluentes (materiais particulados); o percentual de superfícies impermeáveis, que é fator acelerador do escoamento da água, reduzindo ou eliminando a parcela desta disponível para evaporação. Resultando na rápida absorção e conversão da radiação solar em calor, elevando a temperatura local e, por conseguinte, a de seu entorno.

Para o preenchimento das fichas bioclimáticas foram avaliados de forma perceptiva: o uso do solo; a descrição do tipo de espaço; o percentual de solo permeável da região (percentual de área verde); a rugosidade; as condições de conforto acústico, térmico e lumínico; os efeitos aerodinâmicos do vento;

a qualidade do ar (Obter informações acerca deste quesito, uma vez que está não será monitorada); definir os atributos da fronteira através dos atributos do edifício (adossamento, assentamento, compactidade e esbeltez) (Romero, 2001).

Outros aspectos que alteram o ambiente urbano, apontados anteriormente, e que são também relevantes e importantes podem ser apontados como, por exemplo, as propriedades térmicas dos materiais utilizados nas superfícies urbanas, o calor antropogênico (gerado pelo homem e suas atividades), a geometria das superfícies (Oke, 1981) uma vez que as edificações bloqueiam grande parte da radiação solar interferindo na quantidade de radiação solar, capaz de atingir as superfícies da estrutura urbana. Sendo assim, quanto mais altas e mais compactas as edificações, menor é o acesso do entorno à radiação solar.

### **Campanhas de coleta de dados: Transectos**

As campanhas de coleta de dados foram efetuadas durante o verão de 2014 e 2015. Para que a coleta de dados fosse capaz de abranger todo o centro da cidade de Petrópolis num curto intervalo de tempo, uma hora, foi adotado o método de "transectos pedonais". Para tal foram definidas duas rotas pré-determinadas percorridas a pé e de bicicleta: 'Meteobike', apresentada em Drach e Drach (2014), Figura 6. A bicicleta tornou-se uma importante ferramenta de apoio.



*Figura 6: Meteobike: Bicicleta Zöhrer, modelo Cicloturismo. Foto: Henrique Drach.*

Antes de iniciar as medições os sensores de temperatura e umidade são colocados ao ar livre por 20 minutos. Em cada ponto de medição são efetuadas paragens de 2 minutos. Os medidores foram programados para efetuarem registros em intervalo de 2 segundos. As quatro primeiras medidas de cada ponto são desprezadas para garantir que o registrador esteja estabilizado. Conta-se, portanto, com oito medições para calcular a média para cada ponto. O intervalo de uma hora foi estabelecido para que as variações de temperatura observadas pudessem ser atribuídas apenas às variações da morfologia urbana.

O procedimento metodológico para o desenvolvimento dos "transectos" ou "travessia" (complementando a pesquisa feita no centro do Rio de Janeiro com a aplicação de questionários) envolve a utilização de um data logger (TinyTag) capaz de medir temperatura e umidade. Para este estudo são definidos caminhos a serem percorridos com um intervalo preferencial total de 1 hora e não muito mais que isso para que as diferenças observadas nas temperaturas medidas possam ser atribuídas às diferentes configurações da morfologia urbana. É necessário ser rápido e atento para não perder os pontos. É interessante variar o percurso para que em dias diferentes não haja a tendência de estar no mesmo ponto em horário semelhante ao de uma campanha anterior ou posterior. Assim, mais uma vez pode-se tentar atribuir as alterações observadas apenas às alterações na morfologia urbana. Foi efetuada uma campanha noturna (2013/2014), duas horas após o pôr do sol para observar o comportamento da temperatura do ar a partir da radiação acumulada ao longo do dia e assim avaliar a possibilidade de formação de ilhas de calor. Mesmo em Petrópolis a coleta de dados à noite foi abandonada dadas as questões de segurança. Assim, no verão de 2014/2015 as campanhas ocorreram no horário diurno.

A “Meteobike” havia sido equipada para as atividades noturnas com mini prancheta e luz focada para que fosse possível anotar os horários de parada em cada ponto. No final, traça-se um mapa de isotermas para as diferenças encontradas entre temperatura em cada local e aquela da estação de referência. O trajeto pode ser feito a pé ou com a utilização da bicicleta, ou ainda de carro. Em ambos os casos é importante proteger o equipamento da radiação solar direta e indireta, uma vez que se pretende registrar a temperatura do ar. Para o caso dos “transectos” uma caixinha pintada de branco com abertura que permitem a ventilação foi utilizada. No caso da bicicleta foi desenvolvido um equipamento baseado no utilizado pelo Prof Eduardo Leite Krüger. Este equipamento consiste num pequeno tubo revestido com material reflexivo no qual o equipamento é fixado. Para evitar o aquecimento um mini-fan é posicionado numa das extremidades do tubo para que a troca de ar entre o interior do tubo e o ambiente externo seja possível. Esses ventiladores (minis) não produzem vento suficiente e não ficam próximos o suficiente para promover o resfriamento do equipamento, mas outras proteções também estão sendo testadas.

### **Índices de conforto aplicados ao estudo**

Para o cálculo dos índices de conforto com a utilização da ferramenta RayMan Pro (Matzarakis et al., 2010) foram utilizados os valores medidos em cada ponto. Os índices selecionados para pesquisa foram àqueles considerados apropriados para avaliações no meio urbano: PET (Physiological Equivalent Temperature) e UTCI (Universal Thermal Climate Index).

O PET (Physiological Equivalent Temperature) é um índice baseado no Munich Energy-balance Model for Individuals (MEMI), desenvolvido por Höppe (1999) e frequentemente adotado para estudos de conforto em espaços abertos. Höppe definiu a temperatura equivalente fisiológica (PET) de um dado ambiente como sendo a temperatura equivalente a temperatura do ar, no qual, num dado ambiente de referência, o equilíbrio térmico e as temperaturas da pele e do núcleo são os mesmos de que a encontrada no ambiente determinado.

O Universal Thermal Climate Index – UTCI, foi elaborado com base no modelo termorregulatório multinodal desenvolvido por Fiala et al. (2011) e, de forma semelhante a outros índices utilizados para a avaliação das condições térmicas exteriores, como por exemplo o PET, adota o conceito de uma temperatura equivalente. Para o cálculo do UTCI foram necessários os dados de temperatura do ar ( $T_a$ ), a diferença entre a temperatura média radiante ( $T_{mrt}$ ) e  $T_a$ , umidade relativa (RH) e velocidade do vento ( $v$ ). O desenvolvimento desse índice tem como premissa atender os seguintes requisitos: “termofisicamente significativo em toda a gama de troca de calor, válido em todos os climas, estações e escalas, úteis como aplicações chave em Biometeorologia humana (por exemplo, previsões diárias, avisos regionais e mapeamento bioclimático mundial, estudos epidemiológicos e pesquisas de impacto climático), independente da pessoa e de características (idade, sexo, atividades específicas e roupas etc.)” (<http://www.utci.org/index.php>). Seu cálculo pode ser feito online através do UTCI website (<http://www.utci.org/utci/utci.php>). Tanto o PET, como o UTCI, foram calculados para cada ponto de medição, mas aqui optamos por apresentar os resultados obtidos para o UTCI.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A geração dos mapas de temperatura do ar, bem como de outras variáveis de interesse, provenientes de estudos acerca das variações da temperatura intra-urbana representam uma documentação importante para determinação dos fatores que influenciam estas variações. Sua identificação possibilita o planejamento de ações capazes de interferir nesta dinâmica mitigando ou mesmo eliminando espaços de desconforto nos centros urbanos. Intervenções focadas em materiais de revestimento urbano, equipamentos urbanos e inserção de espaços e pavimentos com vegetação são alguns dos exemplos de alterações propostas para melhoria do conforto nos espaços urbanos.

Os mapas de resultados foram gerados inicialmente utilizando o programa 3DField e em seguida o ArcMap do ArcGis. A partir deste último é possível plotar de forma combinada um maior número de

variáveis e desenvolver análises comparativas. A imagem da Figura 7 traz a visualização de resultados parciais para temperatura do ar (°C) média dos dias monitorados em janeiro de 2015, obtidos para o Centro Histórico utilizando a ferramenta 3D Field.

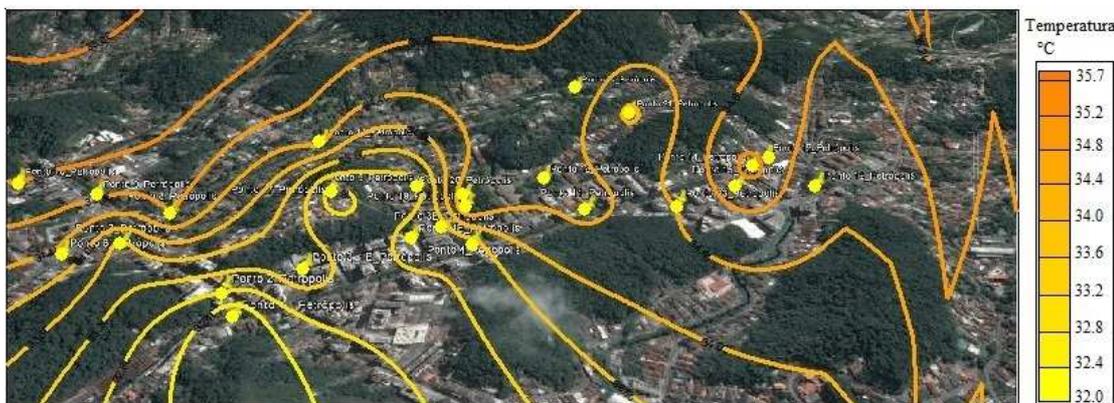


Figura 7: Variação da temperatura intra-urbana no Centro Histórico – verão, média dos dias monitorados em janeiro de 2015 – 3DField.

Os resultados apresentados com as linhas de contorno de temperatura apontam a tendência de temperaturas menos elevadas na região arborizada e nas proximidades dos Rio Quitandinha, Piabanha e Palatinato, que atravessam a cidade.

Os mapas gerados utilizando o ArcMap, do pacote do ArcGis permitem a visualização dos resultados e sua apresentação de forma conjugada. Na Figura 8 pode ser observada a variação do Fator de Visão do Céu (0,108 – 0,558) ao longo do Centro Histórico.



Figura 8: Variação do FVC no Centro Histórico – ArcGis.

A partir das categorias de estresse térmico por calor para o índice UTCI (Tabela 4), dadas por Bröde et al. (2012), observa-se que na cidade de Petrópolis, no verão, os transeuntes experimentam desconforto térmico, localizando-se na faixa de “estresse térmico muito forte” em diversos pontos da cidade.

Valor de UTCI	Categoria de estresse térmico
9°C	ausência de estresse térmico
26°C	estresse térmico moderado
32°C	estresse térmico forte
38°C	estresse térmico muito forte
46°C	estresse térmico extremo

Tabela 4: Categorias de estresse térmico por calor pelo índice UTCI - Bröde et al. (2012).

O mapa de temperatura do ar associado aos resultados para o índice de conforto UTCI é apresentado na Figura 9, com os índices de conforto UTCI variando de 38,6 até 42,1°C.

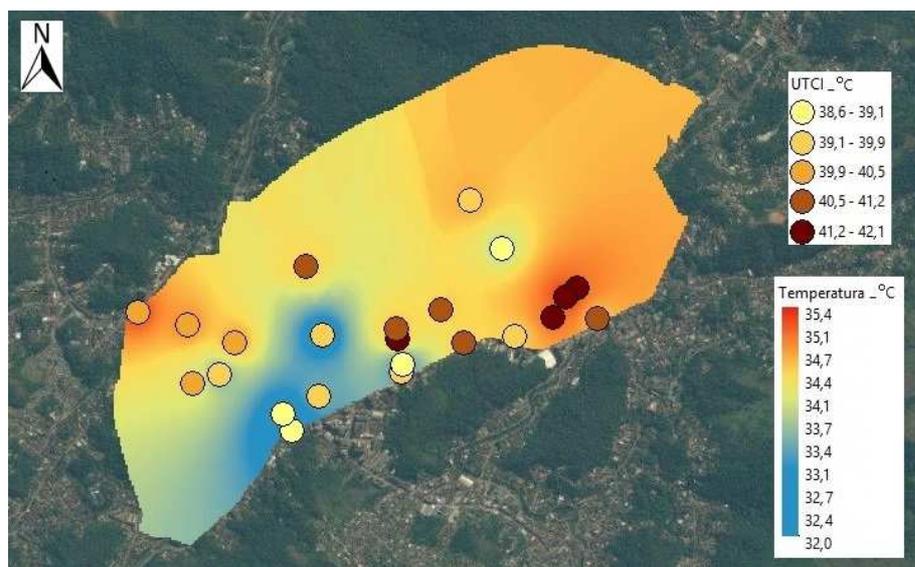


Figura 9: Mapa de temperatura do ar associado aos resultados para o índice de conforto UTCI – ArcGis.

Ao plotar os valores de forma conjunta é interessante observar que apesar no mapa de temperatura do ar, para diferentes valores de temperatura, são observados valores semelhantes para o índice UTCI. Cabe, portanto, lembrar que para sua construção outras variáveis, além da temperatura do ar, são levadas em conta, conforme falado anteriormente.

## CONCLUSÕES

A pesquisa e, portanto, a coleta de dados para a cidade de Petrópolis ainda não está finalizada. Necessita-se de mais dados ao longo de mais invernos e verões para que se possa contar com uma base mais consistente para análise. Questões como a associação do FVC às temperaturas não se mostraram, até o momento suficientes para que fossem tecidas observações.

Conforme esperado, nas imagens das Figuras 7 e 9 observa-se que os pontos de calor aparecem nas regiões menos vegetadas e com maior revestimento urbano artificial. Essas regiões possuem uma morfologia mais adensada.

As pesquisas na cidade de Petrópolis foram desenvolvidas em áreas de significado cultural e histórico para a cidade. O levantamento de dados urbanos realizado para o Centro Histórico da cidade de Petrópolis foi bastante minucioso e, com base nele, foi possível construir uma planilha bioclimática para cada ponto de observação. Estas planilhas terão agora seu conteúdo explorado e analisado em pesquisas futuras que buscarão correlacionar os questionários realizados com a população local juntamente com os dados climáticos dos pontos coletados.

A partir de observações do comportamento dos pedestres, através das respostas relacionadas à sensação térmica, às questões pessoais (peso, altura, idade e sexo) associadas às condições microclimáticas observadas, acredita-se ser possível delinear estratégias de sombreamento, uso adequado de vegetação ou de outros elementos urbanos etc. de forma a aprimorar as qualidades das vias estudadas, de modo a minimizar o desconforto externo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento brasileiras: FAPERJ, CNPq e CAPES.

## REFERENCIAS

- Bröde, P. & Fiala, D., Błażejczyk, K. & Holmér, I. & Jendritzky, G. & Kampmann, B. & Tinz, B. & Havenith, G. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56 (3), pp. 481-494.
- Choay, F. O. (1965). *Urbanismo*. São Paulo. Estudos: ED Perspectiva.
- Drach, P. R. C. & Drach, H. (2014). Mobile Meteorological Survey Station: Applying Measurement Tools on a bike to create the Meteobike In: 8th Windsor Conference 2014, 2014, Windsor, Reino Unido. Windsor Conference - Counting the cost of comfort in a changing world. Londres: Network for Comfort and Energy Use in Buildings - NCEUB, 1, pp. 1250 – 1257.
- Fiala, D. & Havenith, G. & Bröde, P. & Kampmann, B. & Jendritzky, G. (2011). UTCI-Fiala Multi-Node Model of Human Heat Transfer and Temperature Regulation. *International Journal of Biometeorology*, 56 (3), pp. 429-441.
- Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, v. 43 (2), pp. 71-75.
- Matzarakis, A. & Rutz, F. & Mayer, H. (2010). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 54, pp. 131-139.
- Morlei, E. J. (2008). A forma da utopia: o Plano Köeler e a implantação da Vila Imperial. In: *Oficina de Estudos da Preservação / Coletânea I*. Org Maria Rosa Correia. Rio de Janeiro: IPHAN.
- Oke, T. R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations, *Journal of Climatology*, 1, pp. 237-254.
- Romero, M.A.B. (2001). *Arquitetura Bioclimática do Espaço Público*. Brasília: Editora UnB.
- Schwarcz, L. M. (2012). *As Barbas do Imperador*. São Paulo: Companhia das Letras.
- Silva, L. H. A. & Mello, E. V. & Barbosa, D. R. (2012). Risco ambiental de enchentes nos rios formadores da bacia do rio Piabanha (região serrana fluminense). *Anuário do Instituto de Geociências*, 35, (2). Rio de Janeiro. [http://dx.doi.org/10.11137/2012\\_2\\_78\\_83](http://dx.doi.org/10.11137/2012_2_78_83).
- Solar Software: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações — LabEEE, Departamento de Engenharia Civil (ECV) — Universidade de Santa Catarina (UFSC), 2013.
- Taulois, A. E. (2007). *História de Petrópolis*. Universidade Católica de Petrópolis e Instituto Histórico de Petrópolis. Rio de Janeiro.

**ABSTRACT:** Studies related to variations in the intra-urban temperature, its causes and effects are increasingly the object of interest given the need to address issues related to climate change. The main objective of this proposal is to study, in general, differences in microclimate in various locations in the historic center of Petrópolis, and later, in future research, propose intervention strategies in urban morphology that can lead to improvements in comfort environmental. Therefore, a systematic collection of data was performed by applying the mobile transects method, covering the entire area in a short period of time. The main results were the generation of air temperature maps associated with UTCI comfort index. It was also noted that places with higher temperatures have more artificial coating area and less vegetated area.

**Key words:** Intra-urban temperature, Petrópolis, Comfort index.