

ANÁLISE DO AMBIENTE TÉRMICO EXTERNO DO PROJETO SOVALP / GENEVRA

**Flavia Osaku Minella⁽¹⁾; Eduardo Krüger⁽²⁾; Susan Honjo⁽³⁾; Stéphane Goyette⁽³⁾;
Alexandre Hedjazi⁽³⁾**

(1) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: flavia.osaku@gmail.com

(2) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: ekruger@utfpr.edu.br

(3) L'Institut des Sciences de l'Environnement (ISE) da l'Université de Genève, e-mails: susan.honjo1602@gmail.com; Stephane.Goyette@unige.ch; AlexandreBabak.Hedjazi@unige.ch

Resumo

Como forma de suprir o significativo déficit habitacional devido à política de desenvolvimento adotada nas últimas décadas; em Genebra, Suíça, foi desenvolvido o projeto Société Simple de Valorisation de Terrains à Genève (SOVALP), no qual é proposta a revitalização de uma antiga área industrial. A partir do projeto SOVALP é prevista a construção de um centro urbano de uso misto em torno de um pólo multimodal com uma área construída de cerca de 300.000 m². O presente estudo analisa os impactos nos níveis de conforto térmico decorrentes desta intervenção no ambiente urbano, utilizando para isso medição microclimática em campo e simulações computacionais. A coleta das variáveis climáticas in loco foi realizada simultaneamente em dois pontos de monitoramento em um período diurno de agosto de 2011 no entorno da estação ferroviária de Praille. Verificou-se que, as condições térmicas no verão apresentaram forte estresse térmico para o calor conforme o índice UTCI (Universal Thermal Climate Index). Com auxílio do programa ENVI-met são realizadas simulações microclimáticas para o novo cenário, sendo propostas melhorias no ambiente térmico as quais acarretam em redução de mais de 1,4 °C nos pontos monitorados e de 1,2 °C na área selecionada para análise.

Palavras-chave: SOVALP, análise microclimática, ENVI-met, UTCI.

Abstract

As a means of providing adequate housing within redevelopment policies during the last decades in Geneva, Switzerland, the project Société Simple de Valorisation de Terrains à Genève (SOVALP) was conceived, recovering an old industrial site. The SOVALP project is aimed at the construction of a mixed-use urban center around a multimodal hub with a built area around 300.000 m². The present study analyzes the impacts on outdoor thermal comfort from this intervention in the urban environment, based on microclimatic field measurements and computer simulations. The microclimatic variables were collected simultaneously at two monitoring points in a daytime period in August 2011, around the Praille Railway Station. The assessment of thermal conditions in the area of study with the European index UTCI (Universal Thermal Climate Index) showed strong thermal stress to heat. By means of the ENVI-met software microclimate simulations were run for the new urban setting, and improvements were proposed for the thermal environment, reaching reductions above 1.4 °C in the monitored points and 1.2 °C in the area selected for analysis.

Keywords: SOVALP, microclimate analysis, ENVI-met, UTCI.

1. INTRODUÇÃO

Em Genebra, devido à política de desenvolvimento das últimas décadas, foram poucos os incentivos para novas construções, acarretando em um significativo déficit habitacional. Genebra é considerada a segunda cidade mais populosa da Suíça; em 2009, a cidade contava com 457.600 habitantes e já possuía a menor taxa de habitações desocupadas do país, equivalente a 0,2 %, quando o satisfatório seria de pelo menos 2 % (OFFICE CANTONAL DE LA STATISTIQUE, 2010). Este fato justifica o grande número de habitantes que moram nas aglomerações urbanas localizadas na fronteira franco-suíça, mas que deslocam-se diariamente para trabalhar na metrópole suíça.

Visando ao desenvolvimento urbano de forma ordenada na cidade de Genebra, o escopo do projeto (em curso) de larga escala denominado Praille – Acacias – Vernets (PAV) prevê a construção anual de 2500 habitações, que representaria um aumento de cerca de 1,15 % ao ano. Este aumento embora não seja equivalente ao aumento populacional, representaria um crescimento bastante superior ao número de novas habitações ofertadas em 2011, ano no qual houve um decréscimo de 35 % no crescimento habitacional em relação ao ano de 2010 (OFFICE CANTONAL DE LA STATISTIQUE, 2012). O projeto PAV abrange uma área de 230 ha e engloba outros dois projetos em curso: *Cornavin – Eaux-Vives – Annemasse* (CEVA) e *Société Simple de Valorisation de Terrains à Genève* (SOVALP). Esta pesquisa foca nos aspectos microclimáticos deste último.

O projeto SOVALP faz parte da premissa de revitalização de três municípios: Praille – Acacias – Vernets, e está inserido no município de Grand-Lancy, junto à estação ferroviária de Praille, cuja área é de aproximadamente 97.000 m² e de propriedade da Rede Ferroviária Federal (*Chemins de fer fédéraux*, CFF). O projeto de implantação/setorização foi desenvolvido pelo escritório *Strata Architecture* e é resultado de um concurso realizado em 2005 e de estudos paralelos envolvendo equipes multidisciplinares. O projeto SOVALP está embasado em duas principais metas: mobilidade e desenvolvimento urbano. A mobilidade será assegurada pela nova ligação ferroviária, por meio de uma Rede Expressa Regional (RER) e promete servir mais de 750.000 habitantes, além de valorizar indiretamente as áreas próximas as regiões atendidas. O entorno da estação ferroviária de Praille era originalmente caracterizado por um parque industrial estrategicamente implantado. No entanto, nos últimos anos, devido à proximidade com o centro de Genebra, a identidade da região está ganhando novas feições com a implementação gradual de atividades terciárias, novas vias e da estação de trem elétrico de Lancy – Pont-Rouge. A setorização dos espaços está distribuída conforme a Tabela 1.

| Área | Setor |
|------------------------|------------------------------------|
| 122.000 m ² | atividades terciárias |
| 57.000 m ² | habitações (cerca de 550 unidades) |
| 5.000 m ² | equipamentos públicos diversos |
| 119.000 m ² | área de negócios |

Tabela 1: Distribuição das áreas conforme os diferentes setores

No presente estudo, foram utilizadas as imagens ilustrativas que fazem parte da síntese do projeto SOVALP apresentada em *Republic et Canton de Genève* (2008). Na Figura 1, a área de negócios corresponde aos edifícios na cor amarela, o edifício em vermelho será de uso misto, enquanto os edifícios em azul são reservados para habitações, câmara municipal e escola. A área de negócios (Figura 2) é caracterizada por sua alta densidade, com edifícios de 7 a 16 pavimentos. Para esta atribuição, serão destinados 119.000 m², o que significa cerca de 4.600 novos postos de trabalho. Para atender aos usuários destes espaços estão previstos restaurantes, lojas, áreas de recreação, hotel, equipamentos públicos, favorecendo, assim, espaços de socialização e entretenimento. Espaços públicos que ligam as edificações ao

transporte público e privado, estão destinados apenas ao transporte não motorizado. Ao longo da encosta de Lancy está localizado o setor habitacional, cuja área útil será de 57.000 m², correspondente a 550 unidades habitacionais agrupadas em edifícios de 21 a 27 pavimentos. Entre os edifícios haverá áreas comuns e espaços arborizados. Junto ao setor habitacional estará localizado o complexo escolar e a câmara municipal (Figura 3). De forma a atender a potencial demanda e independência do local, serão implementados outros equipamentos urbanos, como creche e moradia estudantil.

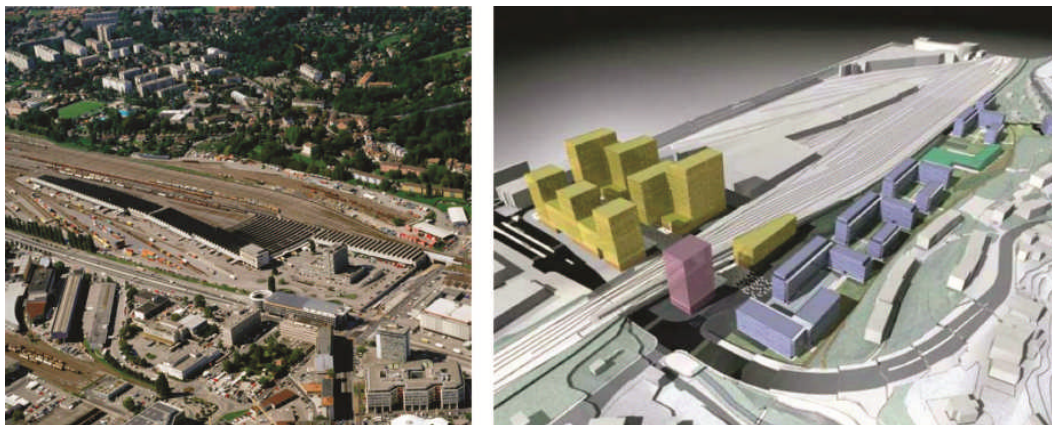


Figura 1: área de estudo: antes e depois da implementação do projeto SOVALP, respectivamente



Figura 2: Vista do setor de negócios a partir da rua externa e da rua interna



Figura 3: Setor habitacional e complexo escolar

2. OBJETIVO

Esta pesquisa busca analisar, por meio de simulação computacional, os impactos microclimáticos em condições de verão, decorrentes da implantação efetiva do projeto SOVALP, comparativamente à situação anterior a esta implantação, cujos dados foram levantados a partir de medições em campo.

3. METODOLOGIA

A cidade de Genebra está localizada na parte oeste da Suíça (latitude 46° 12' N, longitude 6° 9' E, 391 m acima do mar) na região banhada pelo Lago Léman e na fronteira com a França. O clima segundo a classificação de Köppen-Geiger é do tipo clima temperado úmido (Cfb). O perímetro de Praille – Acacias – Vernets está situado cerca de 2 km do centro de Genebra e é delimitado por dois obstáculos naturais: ao norte, pelo rio Arve; ao oeste e ao sul pelas montanhas glaciais (Alpes suíços). A leste, o perímetro é limitado pelo bairro histórico de Carouge. O presente estudo está baseado em coleta de dados em campo e em simulação computacional.

3.1. Obtenção das variáveis microclimáticas

A coleta simultânea de dados ocorreu em dois pontos localizados na área abrangida pelo projeto SOVALP no dia 11 de agosto de 2011, no período das 14h00 até às 17h00. A condição daquele dia era de céu claro, sem nuvens. Cada estação meteorológica estava equipada com os seguintes instrumentos: sensor de temperatura e umidade do ar (Rotronic, HC2-S3), termômetro de globo (MIS0102) e piranômetro (Kipp&Zonen); todos localizados a 1,30 m do solo. O sensor de direção e velocidade do vento (Windsonic Gill Instruments) foi posicionado a 1,90 m do solo. O datalogger utilizado foi o da marca Campbell (CR10X). Os dados foram gravados a cada 10 segundos e as médias extraídas a cada minuto. As faixas de precisão desses instrumentos satisfazem as recomendações da norma ISO 7726 (1998), que dispõe sobre os instrumentos para a medição de variáveis físicas. A T_{rm} foi calculada pela fórmula para convecção forçada, definida pela ISO 7726 (1998). Os dois pontos de monitoramento são chamados de P1, ponto localizado a leste e ponto P6, localizado a oeste (Figura 5), escolhidos em função da diferença de morfologia urbana.



Figura 5: Localização dos pontos de monitoramento
Fonte: Google Earth e autoria própria

3.1.1 Resultado da obtenção das variáveis microclimáticas

As médias horárias das variáveis climáticas medidas para os P1 e P6 constam da Tabela 2. A velocidade (v) e a direção do vento (dir) nos pontos foram semelhantes, com média de 1,1 m/s e sentido sul. Os valores de temperatura do ar (T_a) e temperatura radiante média (T_{rm}) foram um pouco mais altos no ponto P6, por este estar localizado em um ponto mais aberto, livre de

qualquer obstrução, no qual incide maior quantidade de radiação solar global. Neste ponto, a umidade relativa do ar (UR) também foi ligeiramente mais alta, devido, provavelmente, à proximidade com a área vegetada na porção oeste.

| Ponto | Hora | Ig (W/m ²) | Ta (°C) | RH (%) | Tg(°C) | v (m/s) | dir (°) | Trm |
|-------|--------------|------------------------|-------------|-----------|-------------|------------|------------|-------------|
| P1 | 14h00 | 808 | 27,1 | 32 | 33,4 | 0,9 | 194 | 51,0 |
| | 15h00 | 717 | 28,1 | 29 | 33,3 | 1,1 | 186 | 50,0 |
| | 16h00 | 607 | 28,8 | 22 | 33,9 | 1,3 | 171 | 51,3 |
| | 17h00 | 487 | 29,0 | 21 | 33,8 | 1,2 | 173 | 50,3 |
| | Média | 655 | 28,2 | 26 | 33,6 | 1,1 | 181 | 50,6 |
| P6 | 14h00 | 825 | 27,2 | 31 | 33,3 | 1,1 | 169 | 52,4 |
| | 15h00 | 756 | 28,6 | 27 | 33,9 | 1,2 | 173 | 51,9 |
| | 16h00 | 650 | 29,1 | 30 | 34,7 | 1,1 | 175 | 52,4 |
| | 17h00 | 497 | 29,3 | 34 | 34,5 | 1,1 | 186 | 50,7 |
| | Média | 682 | 28,5 | 31 | 34,1 | 1,1 | 176 | 51,8 |

Tabela 2: Variáveis climáticas obtidas nas medições in loco

3.2. Modelo de simulação adotado no programa ENVI-met

O programa utilizado para simular as estratégias de melhoria do ambiente urbano sob o ponto de vista do conforto térmico é o ENVI-met, software livre desenvolvido por Bruse e Fleer (1998), com base nas leis fundamentais da dinâmica dos fluidos e da termodinâmica, de modo a simular as interações microclimáticas no ambiente urbano nas três dimensões, com resolução padrão de 0,5 m até 10 m no espaço e de 10 segundos no tempo (BRUSE; FLEER, 1998). O modelo inclui a simulação do processo de trocas térmicas entre superfícies, do fluxo de ar entre as edificações e turbulências, bem como da dispersão de particulados. A versão mais atual do programa e utilizada neste estudo é o ENVI-met 3.1 Beta 5. Para a visualização dos dados em imagens termais, foi utilizada a extensão Leonardo 3 do ENVI-met.

Para a simulação do ambiente urbano são necessários dois arquivos: a área de interesse modelada e os dados de configuração iniciais. Para a modelagem da área de estudo conforme a situação atual foram utilizados dados de altura das edificações cedidos pela Prefeitura de Genebra e imagens de satélite do programa Google Earth. Para a modelagem do cenário futuro, foram acrescentadas edificações e vegetações baseadas nas imagens ilustrativas do projeto SOVALP (REPUBLIC ET CANTON DE GENÈVE, 2008). No modelo inicial, a área considerada corresponde a aproximadamente 380 m × 715 m. A dimensão da grade estabelecida foi de 5×5, resultando em um modelo de 76 grades no eixo x e de 143 grades no eixo y. Para a borda do modelo foram consideradas 3 grades. Neste modelo, o prédio de maior altura é de 24 m, sendo de 7 m a média das alturas das edificações. Foi estabelecido o solo em concreto tanto para o modelo como para a borda do modelo. Em relação à vegetação, foram inseridas áreas gramadas e as árvores existentes foram consideradas como árvores de copa estreita de 15 m de altura.

Uma característica bastante distinta deste modelo é o grande número de grades vazias, isto é, espaços vazios em decorrência da própria morfologia do entorno da estação ferroviária. Nos testes iniciais com este modelo, foi notado que, em decorrência desta característica particular, após o primeiro ciclo de horas simuladas havia uma perda significativa da capacidade do modelo em manter a amplitude térmica diária. De forma a diminuir este efeito, a área inicial modelada foi reduzida, mantendo-se a dimensão no eixo x e considerando-se o recorte de 230 metros no eixo y, conforme as Figuras 6 e 7.

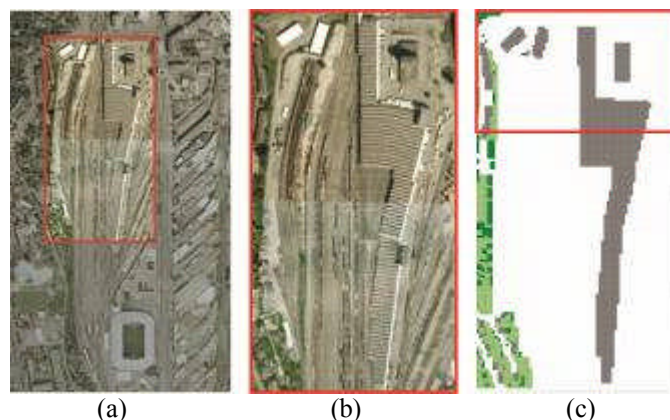


Figura 6: (a) limite da área de estudo inicial no perímetro PAV – (b) área de estudo inicial – (c) área modelada e recorte considerado para análise

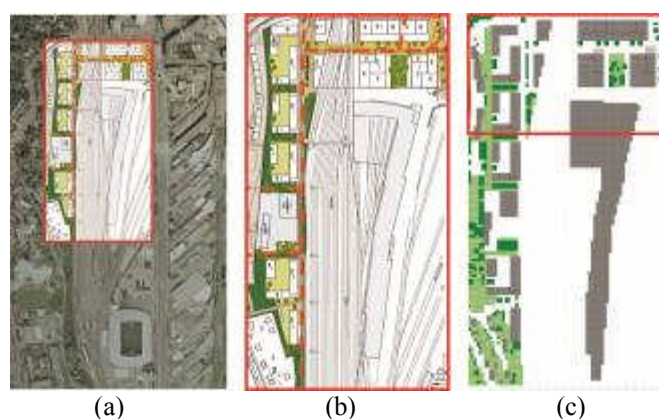


Figura 7: (a) limite da área de estudo inicial no perímetro PAV com a sobreposição do projeto SOVALP – (b) projeto SOVALP – (c) área modelada do projeto SOVALP e recorte considerado para análise

Verificou-se, ainda na etapa de calibração, que para a obtenção de um padrão de curva simulada semelhante ao padrão de curva de temperatura do ar medida, era necessário iniciar a simulação em um horário próximo ao início do período de comparação, neste caso, às 13h00. Ressalta-se que essas não são as condições ideais sugeridas pelo manual do programa ENVI-met, que, por se tratar de um programa de simulação numérica, exige um determinado número de horas para estabilização dos dados, além de ser recomendado que o início das simulações seja às 6 horas da manhã ou das 6 horas da tarde (BRUSE, 2012). No entanto, considerando as particularidades da configuração urbana local, e os resultados satisfatórios dos testes estatísticos aplicados (apresentados adiante), foi decidido considerar o primeiro ciclo de horas simuladas. Os dados de configuração do modelo constam da Tabela 3.

| | |
|-----------------------------|---------------|
| Velocidade do vento | 1,3m/s |
| Direção do vento | 227° (SW) |
| Temperatura do ar | 302K (28,9°C) |
| Umidade específica a 2500m | 5g/kg |
| Umidade relativa do ar a 2m | 61% |

Tabela 3: Dados de configuração do modelo

Em relação aos dados de v e T_a , verificou-se que a partir dos valores de entrada, os dados simulados no período de análise pouco se alteravam, decidindo-se por utilizar um valor próximo ao dado medido. Para a direção do vento e UR foram utilizados valores médios diários. O dado de umidade específica a 2500 m de altura foi obtido no site referente a sondagens atmosféricas da Universidade de Wyoming (disponível em <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>). A fração de nuvens baixas foi considerada

como uma oitava e para o ajuste solar de ondas curtas foi adotado o valor de 0,6. Este último se refere a um dado de entrada requisitado pelo programa e que permite ajustar a radiação solar direta em relação à opção original, variando de 0,5 até 1,5.

O modelo foi ajustado a partir dados horários de temperatura do ar. Em relação às variáveis de velocidade e direção do vento, radiação solar global e temperatura radiante média, procurou-se obter valores médios próximos àqueles medidos. Para garantir a fidedignidade dos resultados simulados em relação aos dados medidos foram aplicados os seguintes testes: o erro médio quadrático (*Root Mean Squared Error*, RMSE), o índice de concordância de Willmott (*Willmott index of agreement*) e o teste t-Student. O RMSE e o índice de concordância de Willmott (d) indicam a exatidão do método, isto é, o afastamento entre os valores preditos e os medidos. No RSME, o valor ideal é o mais próximo de zero. O índice de concordância de Willmott varia de zero a 1, sendo esta última a concordância ideal. As equações 1 e 2 descrevem esses testes, respectivamente.

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n}} \quad [\text{Eq. 01}]$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|y_i - x_i| + |x_i - x_i|)^2} \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde:

y_i = é a temperatura predita

x_i = é a temperatura medida

N= número de observações

O teste t-Student é utilizado quando o objetivo da análise é verificar a existência de diferença significativa entre duas séries de dados; no caso, o nível de significância adotado foi de 5%.

3.2.1 Resultados do ajuste do modelo de simulação no programa ENVI-met

Para a utilização do modelo inicial é necessário ajustá-lo para depois simulá-lo de acordo com o projeto futuro. Nesta pesquisa, o modelo foi ajustado segundo a temperatura do ar. Para as demais variáveis climáticas procurou-se obter valores médios próximos (Tabela 4).

| Ponto | Hora | Ig (W/m ²) | Ta (°C) | v (m/s) | Dir (°) | Trm |
|-------|---------------|------------------------|---------|---------|---------|------|
| P1 | Média medida | 655 | 28,2 | 1,1 | 181 | 50,6 |
| | Média predita | 547 | 28,4 | 1,3 | 226 | 53,6 |
| P6 | Média medida | 682 | 28,5 | 1,1 | 176 | 51,8 |
| | Média predita | 547 | 28,5 | 1,2 | 221 | 53,6 |

Tabela 4: Valores médios medidos e preditos

Os resultados estatísticos apontaram para uma correlação significativa nos três testes estatísticos aplicados, especialmente em relação ao ponto P6, situação na qual o teste de concordância de Willmott atinge a correlação perfeita. O teste t-Student apresentou melhor resultado para o ponto P1 comparado ao P6, embora ambos os pontos revelaram não haver diferença significativa entre as duas séries ($p > 0.05$, conforme Tabela 5).

Conforme o Gráfico 1, nota-se que no ponto P1, às 15h00, a Ta predita não segue o padrão da Ta medida. Esse fato está relacionado a uma queda no valor de Tg, conforme pode ser observado na Tabela 2. Caso não houvesse essa queda, a concordância no ponto P1 teria sido perfeita como no caso do ponto P6. De qualquer forma, consideram-se satisfatórios os resultados para ambos os pontos, servindo estes dados como base para comparação dos cenários futuros.

| Ponto | P1 | P6 |
|------------------------------|-------|-------|
| Ta média medida | 28,2 | 28,3 |
| Ta média predita | 28,4 | 28,5 |
| Erro médio (medida-predita) | -0,12 | -0,17 |
| Desvio padrão da Ta medida | 0,84 | 0,95 |
| Desvio padrão da Ta simulada | 0,82 | 0,92 |
| Erro médio absoluto | 0,12 | 0,06 |
| RMSE | 0,16 | 0,07 |
| Willmott index of agreement | 0,99 | 1,00 |
| Teste t-Student | 0,15 | 0,12 |

Tabela 5: resultado dos testes estatísticos

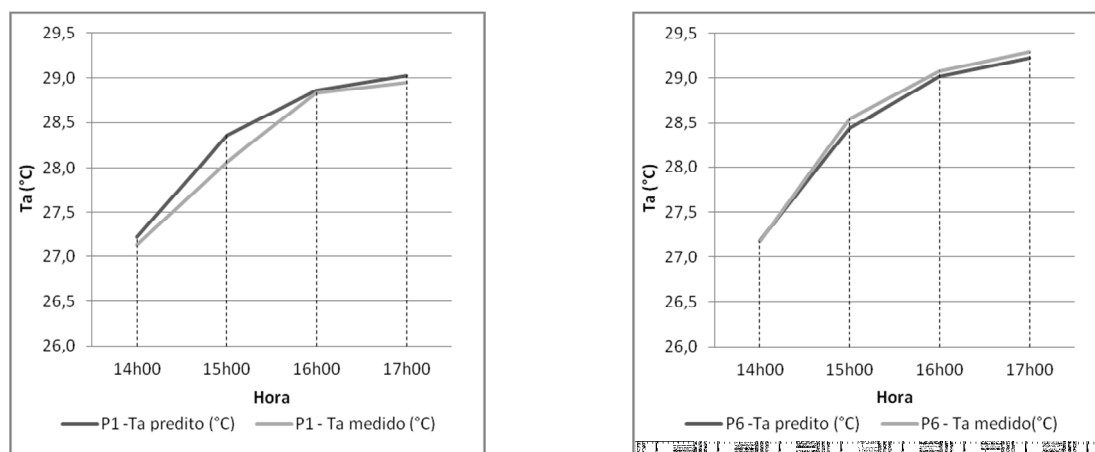


Gráfico 1: dados horários de temperatura do ar predita e medida

3.3. Conforto térmico

Para análise do nível de estresse térmico em cada ponto analisado é utilizado o Índice Térmico Universal (Universal Thermal Climate Index, UTCI), desenvolvido pela *ISB Commission 6 - International Society of Biometeorology*, de forma a ser aplicável em qualquer clima e escala espacial. O UTCI leva em consideração as trocas de fluxos de calor, bem como a termorregulação do indivíduo, sendo independente das características pessoais deste. O UTCI segue o conceito da temperatura equivalente e apresenta para o ambiente de referência as seguintes definições: 50% de umidade relativa (com pressão de vapor não excedendo 20 hPa); temperatura do ar (T_a) igual à temperatura radiante média (T_{rm}); e velocidade do vento de 0,5 m/s a 10 m de altura. As variáveis de entrada para o cálculo do UTCI, realizado on line (<http://www.utci.org/utcineu/utcineu.php>), são as seguintes: v a 10 m de altura (m/s), T_a (°C), UR (%) e $T_{rm} - T_a$ (°C). A taxa metabólica é assumida como constante e igual a 150 W/m² ou 2,6 met (pessoa caminhando a 4 km/h em terreno plano), e o grau de isolamento térmico da vestimenta é atribuído a partir da T_a com base em observações empíricas em estudos de campo europeus (INTERNATIONAL..., 2001). As faixas de estresse térmico são dadas na Tabela 6.

| UTCI | Nível de estresse térmico |
|-------------|-------------------------------|
| > 46°C | extremo estresse ao calor |
| 38°C a 46°C | muito forte estresse ao calor |
| 32°C a 38°C | forte estresse ao calor |
| 26°C a 32°C | moderado estresse ao calor |
| 9°C a 26°C | sem estresse térmico |

Tabela 6: Sensação humana e nível de estresse térmico
Fonte: Universal Thermal Climate Index, website (2012)

3.4. Cenários futuros analisados

No cenário original foram consideradas grama (sigla xx) e árvores de copa estreita (sigla l1). Os três cenários futuros foram configurados da seguinte maneira (Figura 8):

- cenário 1: foram inseridas as modificações previstas na síntese do projeto SOVALP (REPUBLIC ET CANTON DE GENEVE, 2008), sendo adicionadas árvores de copa estreita de 15 m de altura (sigla l1);
- cenário 2: foram incluídas áreas gramadas ao cenário 1 (sigla xx) e realizada uma mudança na implantação das árvores (sigla l1) na praça do setor comercial;
- cenário 3: foram consideradas árvores densas de 15 m de altura (sigla T2) em substituição as árvores de copa estreita e realizada uma mudança na implantação das árvores na praça do setor comercial.

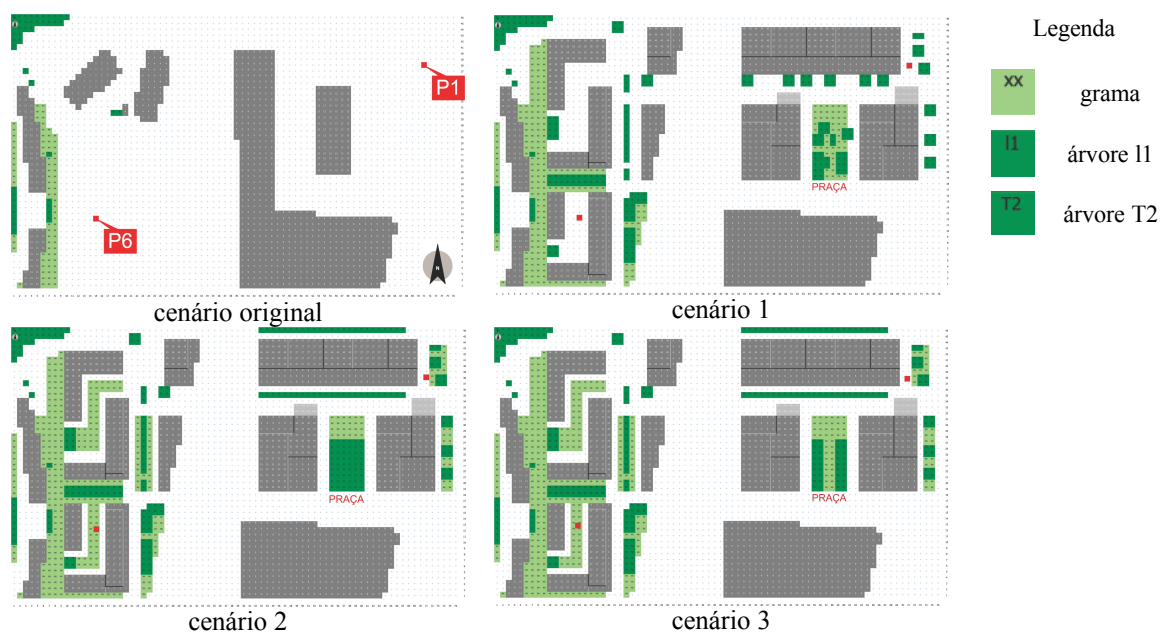


Figura 8: Configuração dos cenários simulados

4. RESULTADOS

Originalmente, o ponto P1 está localizado em local aberto, com fator de visao do céu (FVC) próximo a 1,0. No projeto SOVALP está prevista a construção de edifícios de diferentes alturas no lado oeste e a inserção de árvores no lado oposto, sendo esta a configuração do cenário 1. Nesse caso, haveria uma redução média de 0,7 °C na temperatura do ar naquele ponto (Tabela 7).

No cenário 2, foram consideradas as características gerais do cenário 1, mas com a adição de área gramada; havendo uma redução média na temperatura do ar de 0,6 °C. Considerando a T_a , a adição de área gramada não teve influência significativa, apresentando o mesmo valor médio de 27,7 °C que o cenário 1. Já a redução no índice UTCI foi maior no cenário 2 comparado ao cenário anterior, conforme esperado. Para a configuração do cenário 3 levou-se em conta o cenário 2, mas substituindo-se as árvores de copa estreita de 15 m de altura por árvores de copa densa de 15m de altura. Nesse último cenário, houve uma redução de 1,4 °C na temperatura do ar. Apesar de haver uma redução de 0,8 °C no índice UTCI, ainda assim o nível de estresse térmico no ponto P1 seria forte estresse ao calor. A redução no nível de estresse térmico mais significativa (para moderado estresse ao calor) ocorreria às 17h00 no cenário 3, com uma diferença de 2,1 °C.

| | cenário original | cenário 1 | cenário 2 | cenário 3 | | | | |
|--|------------------|-----------|-----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
| P1 | | | | | | | | |
| FVC | 1,0 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | | | | |
| HORA | T (°C) | UTCI (°C) | T (°C) | UTCI (°C) | T (°C) | UTCI (°C) | T (°C) | UTCI (°C) |
| 14h00 | 27,2 | 32,9 | 26,4 | 32,7 | 26,4 | 32,7 | 25,7 | 32,6 |
| 15h00 | 28,4 | 34,1 | 27,7 | 34,4 | 27,8 | 34,0 | 27,0 | 33,0 |
| 16h00 | 28,9 | 34,4 | 28,3 | 34,9 | 28,3 | 34,1 | 27,5 | 34,7 |
| 17h00 | 29,0 | 33,9 | 28,4 | 32,1 | 28,5 | 32,2 | 27,6 | 31,8 |
| Média | 28,4 | 33,8 | 27,7 | 33,5 | 27,7 | 33,3 | 27,0 | 33,0 |
| Redução de T em relação ao cenário original (°C) | | 0,7 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 1,4 | 0,8 | |

Tabela 7: Resultados dos diferentes cenários para o ponto P1

O ponto P6, antes localizado em espaço aberto, passa a ser influenciado pela configuração de três edifícios, sendo um deles disposto em formato de “L”, um conjunto de árvores no lado oeste e outro ao norte. A redução de temperatura do ar no cenário 1 seria de 0,7 °C, passando a uma redução de 0,9 °C com a inserção de área gramada no cenário 2. Já no cenário 3, substituindo-se o conjunto de árvores de copa estreita por árvores de copa densa de mesma altura, a redução de T_a chegaria a 1,4 °C. Em relação ao índice de conforto UTCI, já no primeiro cenário proposto haveria uma alteração no nível de forte estresse térmico ao calor para estresse moderado ao calor (Tabela 8). A redução mais significativa no índice UTCI ocorreria às 16h00, com uma diferença de 7,9 °C.

| | cenário original | cenário 1 | cenário 2 | cenário 3 | | | | |
|--|------------------|-----------|-----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
| P6 | | | | | | | | |
| FVC | 1,0 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | | | | |
| HORA | T (°C) | UTCI (°C) | T (°C) | UTCI (°C) | T (°C) | UTCI (°C) | T (°C) | UTCI (°C) |
| 14h00 | 27,2 | 33,0 | 26,3 | 33,1 | 26,1 | 30,3 | 25,7 | 30,2 |
| 15h00 | 28,4 | 34,4 | 27,8 | 27,1 | 27,6 | 26,9 | 27,1 | 26,7 |
| 16h00 | 29,0 | 34,8 | 28,4 | 27,4 | 28,2 | 27,2 | 27,6 | 26,9 |
| 17h00 | 29,2 | 34,4 | 28,6 | 27,2 | 28,4 | 27,0 | 27,8 | 26,7 |
| Média | 28,5 | 34,2 | 27,7 | 28,7 | 27,5 | 27,9 | 2,0 | 27,6 |
| Redução de T em relação ao cenário original (°C) | | 0,7 | 5,5 | 0,9 | 6,3 | 1,4 | 6,5 | |

Tabela 8: Resultados dos diferentes cenários para o ponto P6

Para uma análise abrangente da área de estudo, foram selecionados os dados de temperatura do ar às 16 horas por haver uma significativa proximidade entre o dado medido e o simulado em ambos os pontos (P1 e P6) na etapa de ajuste/calibração de dados, conforme observado no Gráfico 1. No cenário original, a temperatura do ar média para toda a área de estudo era de 28,5 °C. No cenário 1 houve uma redução média de 0,6 °C. Com a inserção de área gramada a redução média de temperatura do ar foi de 0,7 °C, demonstrando que para a área como um todo, a inserção de área gramada reduz de forma sutil a temperatura do ar. No cenário 3, ao substituir as árvores leves de 15 m de altura por árvores de mesma altura, mas de copa densa, a redução média na temperatura do ar foi de 1,2 °C; havendo uma alteração de todo o campo térmico da área selecionada (Figura 9). De forma geral, nota-se que o aumento de área vegetada e a redução dos valores de fator de visão do céu contribuem para a redução dos valores de temperatura do ar.

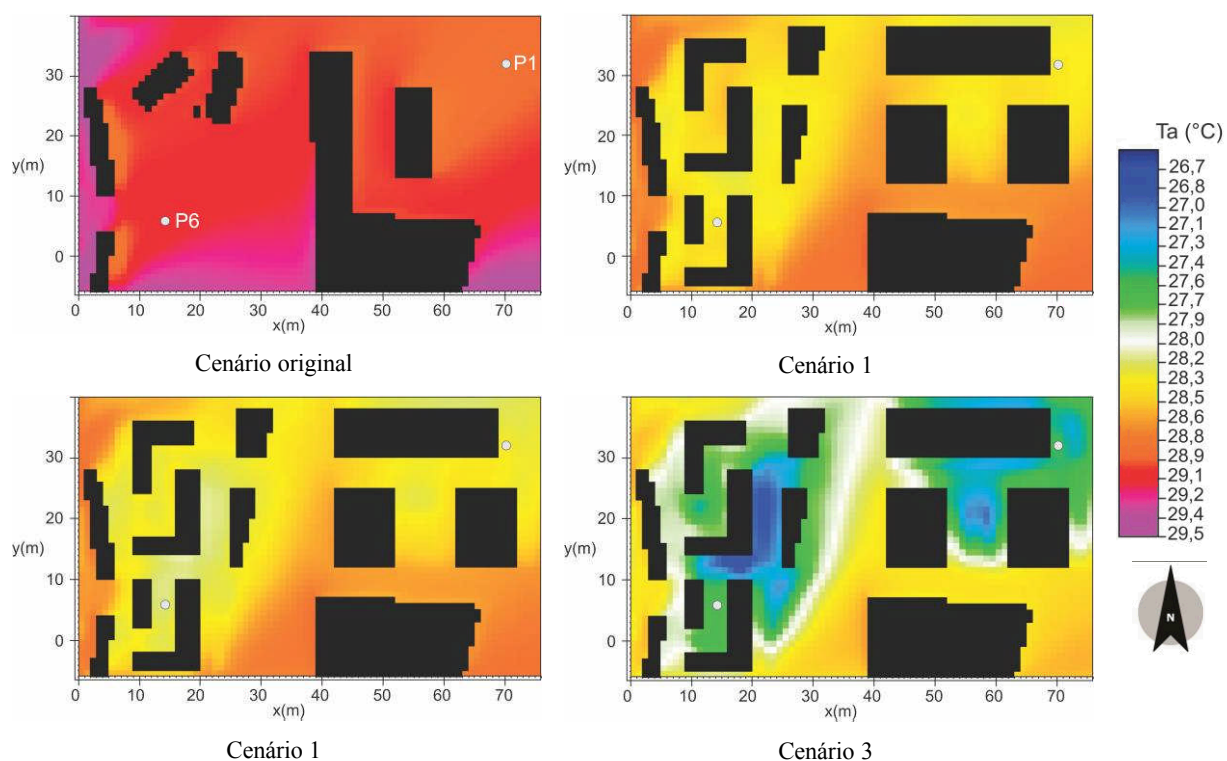


Figura 9: Imagem termal dos cenários original, 1, 2 e 3

5. CONCLUSÃO

As duas grandes premissas do projeto SOVALP são: melhorar o funcionamento da interface para o transporte público multimodal e a revitalização urbana de uma área subutilizada. Neste estudo, analisou-se o impacto da transformação urbana sob o ponto de vista microclimático com o uso do programa de simulação computacional ENVI-met.

O entorno da estação de Praille, no período de verão, encontra-se atualmente em desconforto térmico, com estresse térmico moderado ao calor. Esta situação decorre do espaço não possuir sombreamento. A partir dos diferentes cenários propostos e utilizando-se de vegetação, pode-se chegar a níveis mais próximos da neutralidade térmica, com redução de 1,2 °C no campo térmico da área de estudo. Para o ponto P1 ressalta-se a necessidade de outros elementos estratégicos além da arborização para a redução do nível de estresse térmico. Recomenda-se a opção por árvores “caducas” no cenário 3, sem que haja prejuízos na acessibilidade solar no período frio.

Quanto à etapa de ajuste do programa ENVI-met para a região de estudo, embora não tenha sido possível adequá-lo a todas as recomendações propostas pelo manual do programa, foram obtidos resultados satisfatórios nos testes estatísticos aplicados bem como nas curvas de temperatura do ar (medida versus predita). Considerando os possíveis cenários futuros a partir da síntese do projeto SOVALP de 2008, ressalta-se a importância da arborização para obter níveis mais satisfatórios de conforto térmico em espaços abertos.

REFERÊNCIAS

- BRUSE, M. **ENVI-met website**. [http:// www.envi-met.com](http://www.envi-met.com), 2012.
- BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating Surface-Plant-Air Interactions Inside Urban Environments with a Three Dimensional Numerical Model, **Environmental Software and Modelling** 13, 373-384, 1998.
- HÖPPE, P. The Physiological Equivalent Temperature: a index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **Intern. J. of Biometeorology**. n.43. p. 71-75, 1999.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**: Ergonomics of the Thermal Environment: Instruments of measuring physical quantities. ISO, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8996**: Ergonomics of the Thermal Environment: Determination of metabolic rate. Suíça: ISO, 2004.
- INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY. **Commission 6 for the Development of a Universal Thermal Climate Index (UTCI)**. Meeting Report, Freiburg, Germany, June 7-8, 2001. Freiburg: ISB Commission, 2001.
- MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. **Int J Biometeorol** . v. 51, p. 323-334, 2007.
- MAYER, H.; MATZARAKIS, A. **Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component**. In: Japanese-German Meetings “Klimaanalyse für die Stadtplanung”, 2. Toward Reconstruction in Kobe. Report of Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, Special Report, n.1, p. 155-168. 1998.
- OFFICE CANTONAL DE LA STATISTIQUE . OCSTAT. **La construction dans le canton de Genève en 2011**. 2012. Disponível em: http://www.ge.ch/statistique/tel/comprime/2012/geneve_cp_2012_04.pdf. Acesso em 10 de maio de 2012.
- OFFICE CANTONAL DE LA STATISTIQUE . OCSTAT. **Les logements inoccupés et les surfaces d'activités vacantes à Genève en 2010**. 2010. Disponível em: <http://www.ge.ch/statistique/tel/publications/2010/resultats/dg-rs-2010-12.pdf>. Acesso 10 de maio de 2012.
- REPUBLIC ET CANTON DE GENEVE. **Synthèse du projet. 2008**. Disponível em: http://etat.geneve.ch/dt/SilverpeasWebFileServer/SOVALP_synthese.pdf?ComponentId=kmelia723&SourceFile=1226398090001.pdf&MimeType=application/pdf&Directory=Attachment/Images/. Acesso 10 de maio de 2012.
- UNIVERSAL THERMAL CLIMATE INDEX. **Website**. Disponível em: http://www.utci.org/utci_doku.php. Acesso 01 de janeiro de 2012.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de Genebra e a CAPES pela concessão da bolsa de Doutorado.