

MICROCLIMA E PLANEJAMENTO: O CASO DA TAXA DE PERMEABILIDADE DO SOLO

**Miquelina Rodrigues Castro Cavalcante (1); Camila Araújo de Sirqueira Souza (2);
Gianna Melo Barbirato(3); André da Silva Maia(4)**

(1) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, FAU – UFAL,
miquelinacavalcante@gmail.com

(2) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, FAU – UFAL, milasirqueira@gmail.com

(3) Doutora, Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFAL, gmb@ctec.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas, Grupo de Estudos da Atmosfera Climática Urbana, Maceió–AL, Campus A. C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, Maceió - AL, Cep: 57072-970, Tel.: (82) 3214-1283

(4) Meteorologista; Graduando em Arquitetura e Urbanismo, FAU – UFAL, ands.maia@gmail.com

RESUMO

Nas cidades, a substituição do solo natural por revestimentos impermeáveis acontece de forma crescente, podendo interferir no condicionamento térmico urbano. Os materiais mais utilizados na impermeabilização do solo urbano são asfalto, em ruas e avenidas, revestimentos cimentícios e cerâmicos, em calçadas e áreas externas. A taxa de permeabilidade do solo é o parâmetro urbanístico que determina o percentual mínimo de área permeável em terrenos e lotes, para que todo o solo urbano não seja impermeabilizado, minimizando suas consequências. Esse trabalho objetivou analisar a influência do percentual de permeabilidade do solo na temperatura do ar em uma quadra, localizada no Condomínio Jardim do Horto I, Bairro Gruta de Lourdes, Maceió – AL. Foram identificadas e calculadas as áreas edificadas, revestidas com solo permeáveis e impermeáveis dos lotes em estudo, com o auxílio de imagens satélites de um programa computacional; definiu-se pontos fixos para análise a partir do revestimento do solo; foram feitas simulações com o programa computacional ENVI-met Basic V4.1.2 e análise dos dados obtidos. Verificou-se que a temperatura máxima do ar, às 14h, apresentou uma diferença de 1,5°C aproximadamente, entre os pontos FF (75% de área externa permeável) e II (25% de área externa permeável), sendo o ponto FF o que apresentou menor temperatura do ar.

Palavras-chave: Taxa de permeabilidade, temperatura do ar, simulação computacional.

ABSTRACT

In cities, the replacement of the natural soil by impermeable coatings happens in an increasing form, and can interfere in the urban thermal conditioning. The most used materials in the urban soil waterproofing are asphalt, in streets and avenues, cement and ceramic coverings, in sidewalks and external areas. The soil permeability rate is the urban parameter that determines the minimum percentage of permeable area in land and lots, so that all urban land is not waterproofed, minimizing its consequences. The objective of this work was to analyze the influence of the percentage of soil permeability on the air temperature in a block, located in the Garden Condominium of Horto I, Lourdes Grotto Ward, Maceió - AL. The built up areas, covered with permeable and impermeable soil of the lots under study, were identified and calculated with the aid of satellite images of a computational program; Fixed points were determined for analysis from the soil cover; Simulations were performed with the ENVI-met Basic V4.1.2 software and data analysis. It was verified that the maximum air temperature, at 14h, presented a difference of approximately 1.5 ° C between the points FF (75% of external permeable area) and II (25% of external permeable area), the point FF which presented lower air temperature.

Keywords: Permeability rate, air temperature, computational simulation

1. INTRODUÇÃO

O ambiente natural é modificado pelo homem para o desenvolvimento de suas atividades. O revestimento do solo é um dos primeiros elementos a serem alterados. Nas cidades, a substituição excessiva do solo natural por revestimentos impermeáveis pode interferir na condição climática local e comprometer a qualidade térmica dos espaços externos. Alagamentos, enchentes, inundações, erosões, diminuição da vazão dos mananciais, poluição de rios e mares, ampliação das cargas térmicas das edificações, incremento no consumo energético, redução da evapotranspiração e do escoamento subterrâneo são algumas dessas consequências (NUNES, 2011; COMISSÃO EUROPEIA, 2012).

A temperatura do ar é uma das variáveis climáticas mais importantes para o condicionamento térmico urbano. O calor produzido através da absorção da radiação solar pelos materiais é uma das principais causas no aumento da temperatura do ar. Nas cidades, devido a concentração de materiais impermeáveis absorptivos como asfalto e revestimentos cimentícios, esse efeito é observado com maior frequência em comparação com áreas rurais circundantes (OKE, 1996). Inúmeros estudos indicam a utilização de áreas vegetadas e de materiais frescos e com albedo elevado, para mitigação dos efeitos gerados pela impermeabilização excessiva (SHAHIDAN *et al.*, 2012; ZHANG *et al.*, 2014; CARNIELO; ZINZI, 2013).

O controle do revestimento do solo nas cidades acontece através da aplicação de leis, existentes nos instrumentos de planejamento, que definem parâmetros como a taxa de permeabilidade do solo. Ela permite que uma fração da área do lote de uma propriedade privada seja mantida em solo natural e dotado de vegetação (DE MARCO; ASSIS, 2003), podendo contribuir para o equilíbrio térmico microclimático e a absorção de água pelo solo. Em muitos estados brasileiros a taxa de permeabilidade mínima adotada é de vinte por cento, variando segundo as leis municipais e as zonas urbanas definidas por ela.

O Código de Urbanismo e Edificação do Município de Maceió – AL (MACEIÓ, 2015), vigente desde 2007, isenta os lotes ou terrenos, que possuem até 1200m², da taxa de permeabilidade, podendo colaborar com a ampliação da impermeabilização do solo urbano e suas consequências para o clima e drenagem local. Considerando que a grande maioria dos terrenos da cidade possuem área total inferior a 1200m², a permeabilidade do solo nos lotes dependerá do interesse do proprietário.

Tendo em visto o exposto, a temperatura do ar pode sofrer a interferência do percentual de área permeável que reveste o solo urbano, podendo contribuir para o planejamento das cidades e para a qualidade térmica dos espaços externos.

2. OBJETIVO

Analisar a influência do percentual de permeabilidade do solo na temperatura do ar em fração urbana da cidade de Maceió - AL, Brasil, relacionando o percentual de área permeável e o tipo de revestimento do solo com a variação de temperatura do ar.

3. MÉTODO

Foram desenvolvidas as seguintes etapas metodológicas:

- Definição da área de estudo;
- Cálculo do percentual de área permeável e impermeável da quadra analisada;
- Desenvolvimento de simulações computacionais da quadra estudada, com a utilização do programa ENVI-met Basic V4.1.2;
- Análise dos resultados.

3.1. Definição da área de estudo

Nessa etapa foi escolhida a área de estudo e elaborada uma análise descritiva dos revestimentos do solo da mesma. Para isso, foram verificadas as seguintes questões:

- Configuração urbana em forma de quadra margeada por ruas;
- Uso do solo residencial com edificações de até dois pavimentos;
- Área total do lote com no mínimo 400 m² no máximo 1200 m²;
- Diferentes revestimentos do solo urbano.

Nesse contexto foi escolhida uma quadra localizada no Condomínio Jardim do Horto I, no Bairro Gruta de Lourdes, em Maceió – AL, cidade do nordeste brasileiro (Figura 1 e 2). Pertencente a parte alta da cidade, a quadra encontra-se a 56 m de altitude em relação ao nível do mar, latitude 9°36'30.17"S e longitude 35°44'15.23"O. Os lotes existentes no interior da mesma variaram entre 450 m² e 1030 m² aproximadamente de área total. Pela orientação da quadra, os ventos nordeste e sudestes penetram no interior

dos lotes de forma transversal e longitudinal, respectivamente, permitindo a permeabilidade do vento entre as edificações. Além disso, a predominância de construções com até dois pavimentos permite que a ventilação circule no nível dos transeuntes.

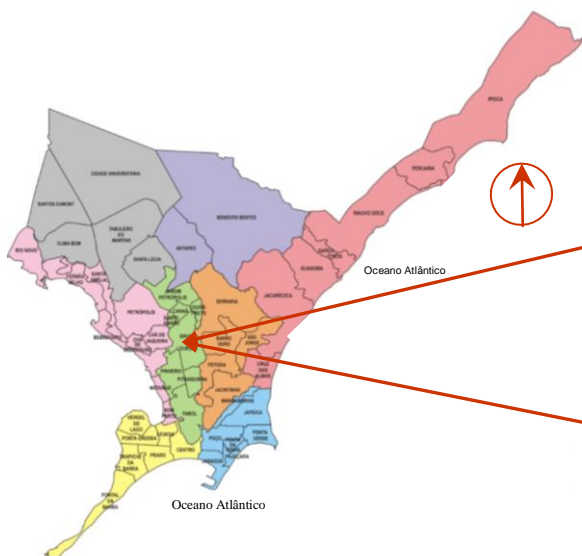


Figura 1 – Localização da quadra em Maceió – AL

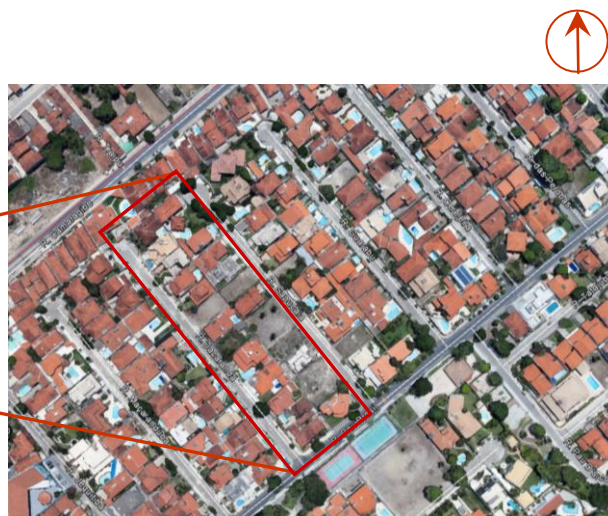


Figura 2 – Quadra definida como área de estudo

A identificação do revestimento do solo aconteceu com a utilização de imagens de satélites, referente ao mês de outubro de 2016, do programa computacional *Google Earth Pro*. Nas imagens foram observadas as edificações através da cobertura; áreas vegetadas; impermeabilizadas; com solo nu e corpos d'água existentes (Figura 3).



Figura 3 – Perspectiva da quadra com a indicação das edificações e cobertura do solo

No interior dos lotes foram encontrados os revestimentos: cimentício (impermeável), arenoso (solo nu) e gramado. As ruas longitudinais estavam revestidas com paralelepípedo e a rua transversal com asfalto. Alguns lotes não possuíam edificações, o que facilitou a modificação do revestimento do solo, no programa computacional ENVI-met 4.1.2, acrescentando-se o solo argiloso, para fins de simulação. A presença de corpos d'água e vegetação arbórea foram consideradas no arranjo urbano.

3.2. Cálculo do percentual de área permeável e impermeável

As imagens via satélite forneceram as informações necessárias, como dimensionamento e revestimento do solo, para o desenvolvimento do cálculo das áreas permeáveis e impermeáveis. Inicialmente foram calculadas as áreas totais dos lotes, denominados 1 a 25, indicados na Tabela 1. Em continuidade, elaborou-se o cálculo da área edificada, observada através da forma da cobertura das edificações. Subtraindo a área total pela edificada foi encontrada a área externa de cada lote, cujo percentual de solo permeável e impermeável foi definido pelo tipo de revestimento.

A tabela 1 resume todas as áreas calculadas. Os dados marcados em amarelo se referem aos lotes não ocupados, isto é, sem edificação ou muros e com predominância de solo nu. Desconsiderando as áreas dos lotes 5, 7, 8, 9, 11, 18, 20, que não possuem edificação, o total de área permeável da quadra reduz de 43,8% para 20,6%. Todos esses dados serviram de base para a etapa das simulações.

Tabela 1– Áreas dos lotes e suas características

Lote	Á. total (m ²)	Á. Edificada (m ²)	Á. externa (m ²)	Á. impermeável (%)	Á. permeável (%)
1	1030	374	656	25	75
2	450	217	233	100	0
3	450	224	226	100	0
4	450	217	233	75	25
5	450	-	450	0	100
6	450	306	144	75	25
7	450	-	450	0	100
8	450	-	450	0	100
9	450	-	450	0	100
10	450	250	200	100	0
11	900	-	900	0	100
12	690	395	400	25	75
13	580	325	255	100	0
14	450	320	130	100	0
15	450	250	200	75	25
16	450	284	166	100	0
17	450	250	200	25	75
18	450	-	450	0	100
19	450	336	114	100	0
20	450	-	450	0	100
21	675	468	207	100	0
22	675	385	290	75	25
23	450	312	138	75	25
24	450	225	225	75	25
25	690	424	266	75	25
Quadra	13340	5337	8003	56,25	43,75



3.3 Simulações computacionais da quadra estudada

As simulações foram realizadas com o programa computacional ENVI-met 4.1.2, na versão *Basic*. As análises anteriores contribuíram para a distribuição dos pontos a serem estudados, denominados pelo programa como receptores. Os resultados indicaram os valores das variáveis climáticas para cada ponto, ao longo do dia de simulação, sendo a temperatura do ar a principal variável analisada. As primeiras 27 horas simuladas foram descartadas, devido a necessidade do tempo de estabilização do sistema.

Os pontos para análise foram escolhidos a partir do tipo de revestimento do solo e do percentual de solo permeável existente no lote, indicados na Tabela 2.

Tabela 2: Porcentagens das tipologias de revestimento de solo pela localização dos receptores.

Pontos	Revestimento do solo	Percentual de área revestida
AA BB	Impermeável - Concreto	100%
CC	Permeável - Grama	100%
DD	Permeável - Argila	100%
EE	Permeável - Areia	100%
FF GG HH	Permeável - Grama	75%
II JJ KK	Permeável - Grama	25%

As Figuras 4 a) e b) mostram os revestimentos do solo utilizados nas simulações. A área foi modificada para ser realizada uma comparação de dados entre o atual e um cenário hipotético, desse modo possibilitando uma variação do percentual e dos tipos de revestimento de solo. Na modificação, para todos os lotes foi destinada uma área externa revestida com vegetação gramínea, com o percentual de 50%. A figura 4 c) indica a locação dos receptores (pontos simulados) no interior dos lotes.

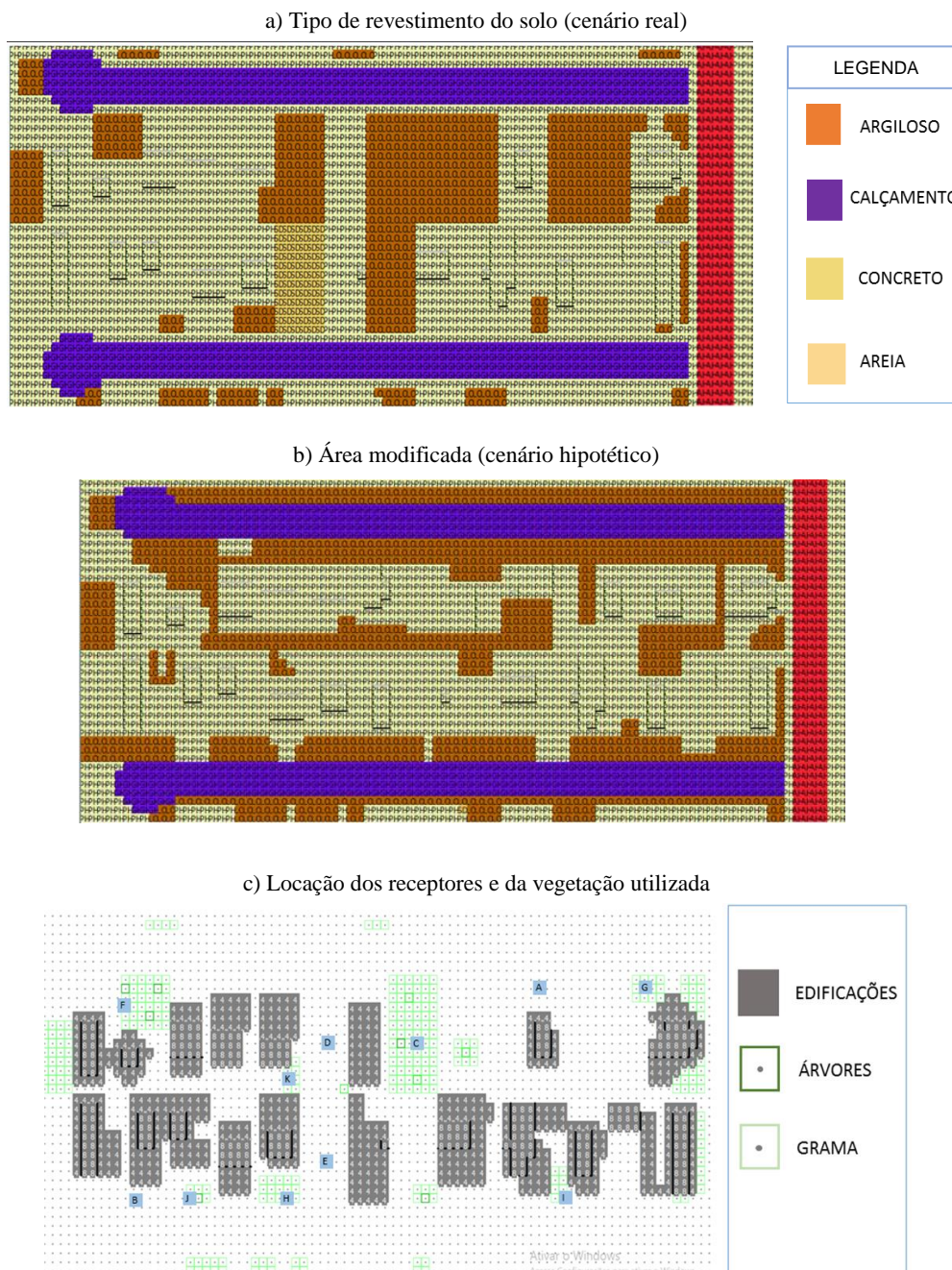


Figura 4 – Localização e caracterização dos pontos (foi adotada unicamente a primeira letra); e tipologia de solo e revestimentos do solo

Os receptores posicionados entre as edificações possuem a exposição diferenciada, porém aqueles que apresentaram dados mais significativos para análise, como, por exemplo, o receptor II, possuíam a mesma exposição dos demais.

A calibração foi baseada em SIQUEIRA (2014) a qual utilizou a metodologia da Alluce, que possibilita a obtenção de dados horários por meio de cálculos das médias das Normais Climatológicas (BRASIL, 1992). Foram usadas também algumas informações de estação meteorológica local. Para a umidade específica do ar a 2500m de altura, dado exigido pelo programa, foi utilizado o valor de Natal/RN

como referência, obtido pelo site da Universidade do Wyoming¹, por esta ser uma região próxima e com características climáticas semelhantes. As observações referentes aos lotes da quadra em estudo, como área edificada e revestimento do solo, foram obtidas por imagens via satélite do ano de 2016. Os dados inseridos para a simulação estão apresentados na tabela 03:

Tabela 3 – Dados utilizados nas simulações

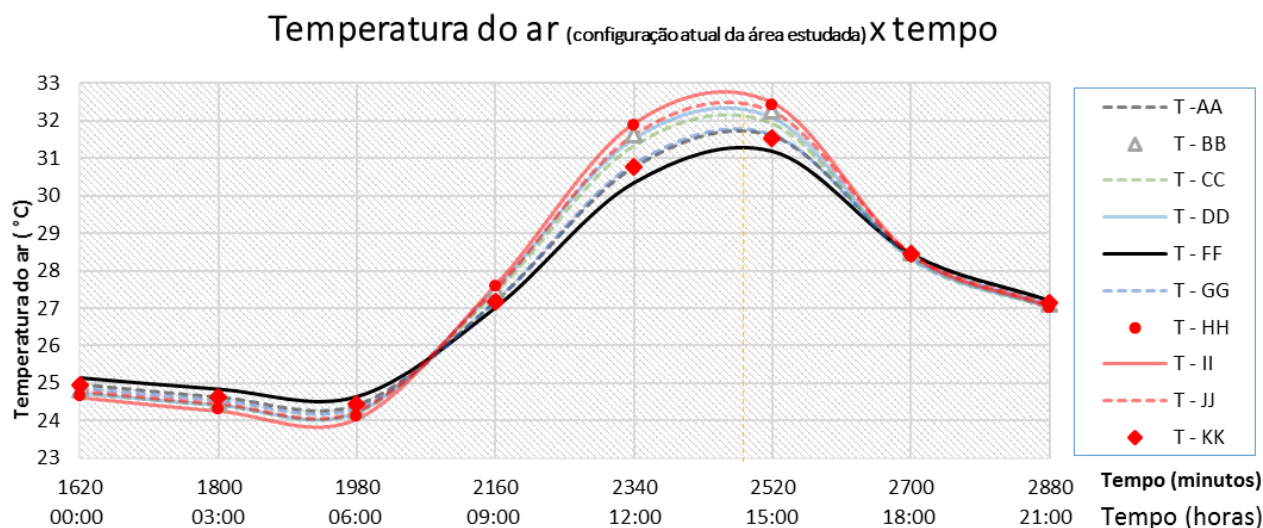
Cidade	Maceió	Temperatura do ar	26.32°C		
Tamanho da quadra	63 m x 215 m	Umidade relativa	76.6		
Elevação em relação ao mar	56 m	Umidade específica	5.3		
Latitude	9°36'30"S	Nebulosidade	4.8		
Longitude	- 35°44' 14"O	GMT	-3		
Referencial de Longitude	- 35	Área total da simulação	113 x 265 m		
Dia de início	01/02/2016 (dia hipotético)	Model área	X Grid	Y Grid	Z Grid
Hora de início	21 h		90	40	20
Total de tempo de simulação	72 h	Nesting grid	3		
Velocidade do vento	5.0	Material de parede	Tijolo		
Direção do vento	135	Material de piso	Terracota		

O ajuste da radiação foi realizado a partir dos dados das normais juntamente ao programa, utilizando a nebulosidade (4.8) e a radiação (996 W/m²) e com fator de ajuste (1.1) o que possibilitou a calibração mais aproximada para o mês fevereiro.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Como resultados obtidos através das simulações, foi verificado que a temperatura máxima do ar apresentou uma diferença de 1,5°C aproximadamente, entre os pontos FF e II, como observado no Gráfico 1. Os dois pontos estão sujeitos à influência do vento sudeste da mesma forma, ventilação local predominante. Entretanto, o ponto FF está a barlavento para os ventos nordeste e leste, ainda muito influentes no mês de fevereiro, e o ponto II está a sotavento dos mesmos.

Gráfico 1: Gráfico referente a temperatura do ar obtida a 1,5m de altura do solo, com apresentação da área de estudo em sua estrutura urbana real.



O ponto FF foi locado em uma área com grande extensão de solo permeável – 75% da área do terreno não ocupada por edificação; sendo a maior parte revestida com gramado e vegetação arbórea, e outra parcela menor revestida com solo nu argiloso. O percentual de área gramada, a ventilação do ar e o sombreamento gerado pelas árvores são fatores que podem ter contribuído para a redução do valor da temperatura nesse

¹ <weather.uwyo.edu/upperair/sounding. Htm> Acesso: em janeiro de 2016.

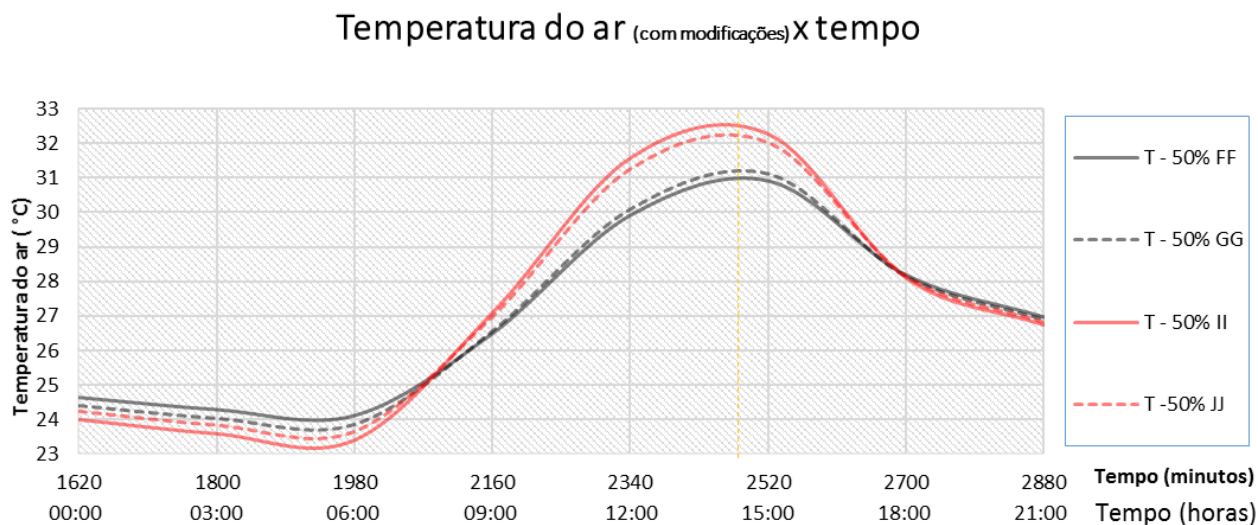
ponto. O ponto II está localizado em uma área gramada, cujo percentual de revestimento permeável encontrado foi 25%, e com materiais impermeáveis em seu entorno, como concreto e asfalto. A proximidade com o envoltório edificado, assim como os materiais impermeáveis de revestimento do solo podem ter colaborado com o aumento do valor da temperatura do ar nesse local.

Os pontos GG, AA e KK apresentaram resultados aproximados quanto a variação diária de temperatura. Esses pontos encontram-se localizados próximos a áreas com revestimento do solo argiloso. Ao se observar os pontos AA e BB, que está localizado em uma área revestida com solo impermeável – concreto - notou-se que as temperaturas do ar nas áreas com ausência total de permeabilidade são influenciadas por seu entorno, estando o ponto BB com maior área impermeável ao seu redor.

Ao longo do dia foram observadas diferenças de temperatura do ar em todos os pontos, com maiores valores às 14 horas, e seus menores valores às 5 horas da manhã. O ponto FF apresentou a menor amplitude térmica. A extensão de área gramada e a presença de vegetação arbórea podem auxiliar na variação das temperaturas do ar diurnas, dificultando a perda de calor no período noturno e contribuindo para a redução da temperatura do ar nos horários de incidência da radiação solar devido ao sombreamento e o aproveitamento da radiação solar para o desenvolvimento de suas funções vitais (ZHANG *et al.*, 2014).

A área estudada foi modificada, onde 50% da área externa de todos os lotes foi revestida com grama, e alguns pontos foram analisados para comparação com a configuração urbana atual (gráfico 2 e 3). No gráfico 2, os pontos FF e GG apresentam menores valores de temperatura máxima do ar. Esses pontos possuem semelhanças quanto a sua localização, pois ambos estão à sotavento dos ventos Nordeste e Leste e encontram-se mais afastados do envoltório edificado, recebendo menos influência dos materiais impermeabilizados do entorno.

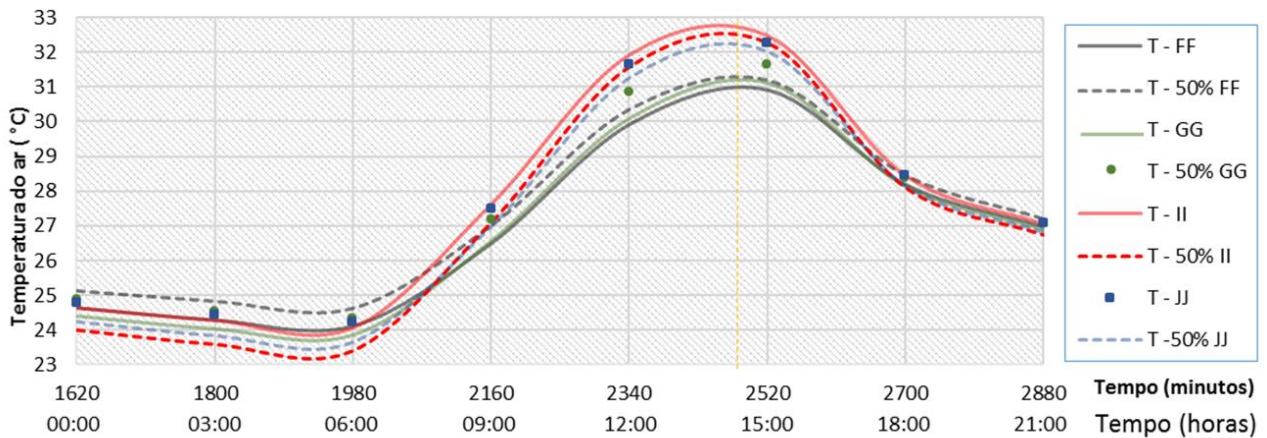
Gráfico 2: Gráfico referente a temperatura do ar obtida a 1,5m de altura do solo, com apresentação da área de estudo em sua estrutura urbana modificada nos receptores F, G, I e J.



O gráfico 3 faz uma comparação entre os pontos localizados nas áreas modificadas, com 50% da área revestida com grama, e os mesmos pontos na estrutura urbana real (FF e GG possuem 75% de área externa gramada e os pontos II e JJ possuem 25% desta).

Gráfico 3: Gráfico referente a temperatura do ar obtida a 1,5m de altura do solo, com apresentação da área de estudo em sua estrutura urbana modificada nos receptores F, G, I e J, em comparação com a estrutura real.

Temperatura do ar (com modificações) x tempo



Comparando os valores das temperaturas do ar nos pontos, onde o revestimento do solo foi modificado com a configuração urbana existente, foi observado que os pontos localizados nas áreas com maior percentual de permeabilidade do solo apresentaram menores valores de temperatura do ar, sendo o receptor GG o que obteve maior variação de temperatura do ar no período das 14 horas, chegando a 0,8°C de variação aproximadamente. Verificou-se, portanto, que o aumento do percentual de área externa revestida com solo permeável, principalmente com vegetação gramínea e arbórea, foi favorável à redução da temperatura do ar nas áreas estudadas.

5. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados mostraram que o percentual de área revestida com solo permeável pode interferir na temperatura do ar de um determinado local, visto que o aumento desse percentual proporcionou uma redução no valor da temperatura do ar em alguns pontos estudados. Isso comprova a necessidade de se aplicar uma taxa de permeabilidade mínima para qualquer tamanho de lote. Na quadra estudada, dos 25 lotes identificados, apenas três apresentaram área externa com 75% de revestimento permeável; e 7 lotes com 25% de área permeável. Além disso, a distribuição sequenciada de espaços vegetados atua de forma direta no microclima local, diferente de uma distribuição espaçada da mesma. Entretanto, inúmeros outros fatores devem ser levados em consideração, como os materiais que compõem o entorno edificado; os tipos de revestimentos empregados no solo e a existência de outras variáveis importantes como a ventilação.

Existe uma grande variedade de matérias que são considerados permeáveis, porém este artigo utilizou apenas três como referência: solo com vegetação gramínea, solo nu arenoso e solo argiloso. Destes, as áreas revestidas com vegetação gramínea apresentaram menores valores de temperatura do ar, principalmente nos pontos localizados nos lotes que possuíam 75% de área externa gramada. Além disso, os espaços gramados possibilitam a associação de outros elementos vegetados como arbustos e árvores. Esses elementos contribuem para o condicionamento térmico dos espaços externos através do sombreamento e do aproveitamento de parte da radiação solar incidente no desenvolvimento de suas funções vitais. Nesse estudo, o ponto FF, por exemplo, apresentou essa combinação com melhores resultados de condicionamento térmico.

Apesar de os resultados mostrarem que a área destinada ao uso de revestimentos permeáveis nos lotes tem sua importância na variação da temperatura do ar, a influência de outros fatores, como do entorno edificado, também se mostrou presente. O ponto II, locado numa área como 25% de solo gramado, apresentou os maiores valores de temperatura do ar, devido à influência dos materiais que compõem a edificação do entorno imediato e da orientação do lote e da edificação em relação aos ventos dominantes. Isso mostra que para o planejamento urbano, além do percentual de solo permeável, definida pela Taxa de Permeabilidade, os demais condicionantes devem estar contemplados nas normas em vigência.

Por fim, vale salientar que as modificações apresentadas na segunda simulação (cenário hipotético) foram de um único tipo de revestimento do solo, vegetação gramínea, o que possibilita outros desdobramentos e assim, apresentar outras possibilidades para demonstração de materiais permeáveis

inseridos ao contexto urbano e sua relação direta com a diminuição da temperatura do ar de um determinado lugar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Normais Climatológicas. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Dep. Nac. de Meteorologia. **Normais Climatológicas 1961-1990**. Brasília, DNMET, 1992. 84p.
- CARNIELO, E.; ZINZI, M. Optical and thermal characterization of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand. **Building and Environment**. N° 60, p. 56-65, 2013.
- COMISSÃO EUROPEIA. **Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos**. Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2012. 62 p., 21x29,7 cm. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_pt.pdf> Acesso em: abril de 2015.
- DE MARCO, Júlio; ASSIS, Eleonora Sad de. Requisitos de desenvolvimento sustentável na legislação urbanística de Belo Horizonte – o caso da Taxa de Permeabilidade. In: XII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. **Anais**. Brasília - DF, Brasil, 2013.
- MACEIÓ, Prefeitura de. **Código de Urbanismo e Edificações de Maceió**. 2007. Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br/wp-content/uploads/admin/documento/2013/11/Lei-Municipal-5.593-de-08-de-Fevereiro-de-2007-C%C3%93DIGO-DE-URBANISMO-E-EDIFICA%C3%87%C3%95ES-DO-MUNIC%C3%8DPIO-DE-MACEI%C3%93.pdf>>. Acesso em: abril de 2015.
- NUNES, Fabrizia Gioppo. Uso da técnica de fotogrametria digital na análise temporal da impermeabilização do solo em bacias hidrográficas urbanas. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, **Anais...** Curitiba-PR, Brasil, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0213.pdf>> Acesso em: 14/09/2015.
- OKE, T.R. **Boundary layer climates**. 2. ed. New York. Taylor & Francis, 1996. 435 p.
- SHAHIDAN, M. F.; JONES, P. J.; GWILLIAM, J.; SALLEH, E. An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials. **Building and Environment**, N° 58, p. 245 – 257, 2012.
- SIRQUEIRA, C. A. Estudo Microclimático de Recortes Urbanos Vegetados em Belo Horizonte - MG, através de modelagem microclimática. Belo Horizonte. 2014. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
- ZHANG *et al.* The cooling effect of urban green spaces as a contribution to energy-saving and emission-reduction: A case study in Beijing, China. **Building and Environment**, N° 76, p. 37 – 43, 2014.