



AMBIENTE E DIREITOS HUMANOS

Universidade de Aveiro · Portugal

8 > 10 MAIO'18



Conferência Internacional  
de Ambiente em Língua Portuguesa

XX Encontro REALP

XI CNA

Volume I

# **Ambiente e Direitos Humanos**

**Volume I**

## **Editores**

Ana Isabel Miranda, Myriam Lopes, Luís Tarelho, Filomena Martins, Peter Roebeling,  
Margarida Coelho, João Labrincha

Universidade de Aveiro

8 a 10 de maio de 2018

## **Ficha Técnica**

Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa,  
XX Encontro da Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa  
XI Conferência Nacional do Ambiente

ISBN: 978-972-789-540-3

### **Nota explicativa**

Esta publicação contém as comunicações apresentadas na Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa, XX Encontro da Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa e XI Conferência Nacional do Ambiente, que decorreu na Universidade de Aveiro, de 8 a 10 de maio de 2018.

### **Editores**

Ana Isabel Miranda, Myriam Lopes, Luís Tarelho, Filomena Martins, Peter Roebeling,  
Margarida Coelho, João Labrincha

### **Desenho da capa**

Joana Ivónia

### **Edição**

Departamento de Ambiente e Ordenamento  
Universidade de Aveiro

# O ESTUDO DO CLIMA À ESCALA URBANA E A SUA RELAÇÃO COM O PLANEAMENTO URBANO – O CASO DA CIDADE DE BRAGANÇA

Gabriella de Ornelas Menezes<sup>2</sup>, Artur Gonçalves<sup>1</sup>, António Castro Ribeiro<sup>1</sup>, Manuel Feliciano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigação da Montanha, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

<sup>2</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

*gabriella.ornelas@gmail.com, ajg@ipb.pt, msabenca@ipb.pt, antrib@ipb.pt*

## Resumo

*As alterações do contexto urbano levam frequentemente ao incremento da temperatura, acentuando diferenças entre as áreas urbanas e o meio rural envolvente, resultando no denominado Efeito de Ilha de Calor Urbano (EICU). A instalação de uma rede de monitorização da temperatura do ar na área urbana e na envolvente rural da cidade de Bragança permitiu, através da análise das diferenças de temperatura entre estes dois contextos territoriais, demonstrar a existência de um EICU. Verificou-se que o EICU é mais intenso no verão, antes do nascer do Sol. Foi ainda observada a ocorrência do efeito de Ilha de Frio, no período da manhã. Temperaturas mais altas foram registadas onde ocorre a maior intensidade do EICU e as mais baixas em pontos altos ou influenciados pela drenagem de ar frio, na envolvente do rio Fervença. No âmbito deste estudo, foram ainda sugeridas medidas mitigadoras do EICU, preservando ou integrando espaços verdes.*

## Introdução

A transformação do território, pelo avanço do espaço urbano, pode conduzir a diversas alterações ambientais devido, entre outros fatores, à introdução de superfícies de baixo albedo, ao aumento de emissões atmosféricas ou à maior liberação de calor de origem antropogénica<sup>1</sup>. Como resultado, o clima urbano assume peculiaridades que o tornam diferenciado de outros contextos climáticos.

O clima urbano resulta da interferência das estruturas urbanas no balanço térmico e radiativo devido à geometria dos edifícios, das características de superfícies, da poluição atmosférica, da emissão de calor, do tráfego e do metabolismo de seres vivos<sup>2</sup>. Como resultado destes fatores, regista-se o fenómeno mais representativo da interferência da cidade no clima, no denominado Efeito de Ilha de Calor Urbano (EICU), caracterizado pela ocorrência simultânea de temperaturas mais altas em áreas urbanas quando comparadas com áreas rurais envolventes<sup>2,3</sup>. Este fenómeno

torna-se mais evidente em zonas mais urbanizadas, motivado pela elevada rugosidade das estruturas urbanas que diminui a perda de calor por irradiação, convecção e transferência por vento. Assim, o EICU acaba por assumir maiores intensidades em zonas mais urbanizadas, onde ocorre um menor fator de visão de céu e predominam superfícies de baixo albedo<sup>2,3,4</sup>.

Os estudos do EICU são habitualmente realizados tendo por base o conceito de Zona Climática Local (ZCL), que permite uma aproximação às variações na alteração do clima nos diferentes espaços urbanos<sup>5,6</sup>. Para além das componentes urbanas, a presença de terrenos complexos, com fenómenos como transporte de massas de ar frio, rugosidade do terreno ou a ocorrência de brisas de montanha e de vale também contribuem para o perfil térmico urbano.

O objetivo deste estudo foi analisar o clima urbano da cidade de Bragança, para definir opções que devem ser incorporadas no planeamento (climático) urbano, contribuindo para a melhoria do conforto térmico exterior ou do desempenho energético dos edifícios.

## **Metodologia**

### **Caracterização da Área de Estudo**

Localizada no nordeste de Portugal, Bragança apresenta uma elevada complexidade orográfica, pois apesar da sua reduzida dimensão, apresenta uma variação altimétrica de 200 metros. A sua estrutura urbana caracteriza-se pela presença de um núcleo histórico e central denso, que contrasta com a grande diversidade de tipologias de construção e dispersão das últimas décadas. Na cidade persistem marcas de expansão recente, com diferentes níveis de consolidação, com amplos espaços de transição entre o urbano e o rural.

O contexto climático regional é marcado pela grande amplitude térmica, pois a cidade localiza-se num contexto climático de tipo Csb da classificação de Köppen, o que corresponde a um clima temperado com invernos suaves, verão seco e verão longo e fresco<sup>7</sup>.

### **Monitorização do Clima Urbano**

Bragança conta com uma rede de monitorização de 23 termo-higrómetros e uma estação meteorológica, nos quais são registados dados de modo contínuo desde 2012. Os sensores foram dispostos de maneira a alcançar uma distribuição equilibrada, considerando os diferentes contextos topográficos, além da

representatividade por ZCL, como proposta por Oke<sup>8</sup>, com a inclusão de uma nova categoria referente aos espaços verdes urbanos. Como resultado, os sensores encontram-se distribuídos para incluir três a quatro sensores por zona climática (Figura 1), considerando as seguintes tipologias:

**PMA** - Edificado moderno de altura média a alta, elevada densidade e predomínio de superfícies pavimentadas.

**BDT** - Núcleo antigo da cidade, com edificado de altura média-baixa, elevada densidade, edificado em pedra e tijolo.

**UMR** - Média densidade, ruas de habitações de baixa altura em banda ou isoladas.

**ZCS** - Comercial e industrial, densidade média a baixa, com edifícios baixos de grande envergadura com estacionamento pavimentado.

**EVU** - Espaços verdes urbanos, cobertura predominantemente verde com vegetação rasteira e arbórea.

**TUR** - Espaço de transição entre o meio urbano e rural, casas dispersas com envolvente agrícola e florestal.

**ZRE** - Áreas rurais isoladas nos subúrbios da cidade representativas das características da paisagem local.

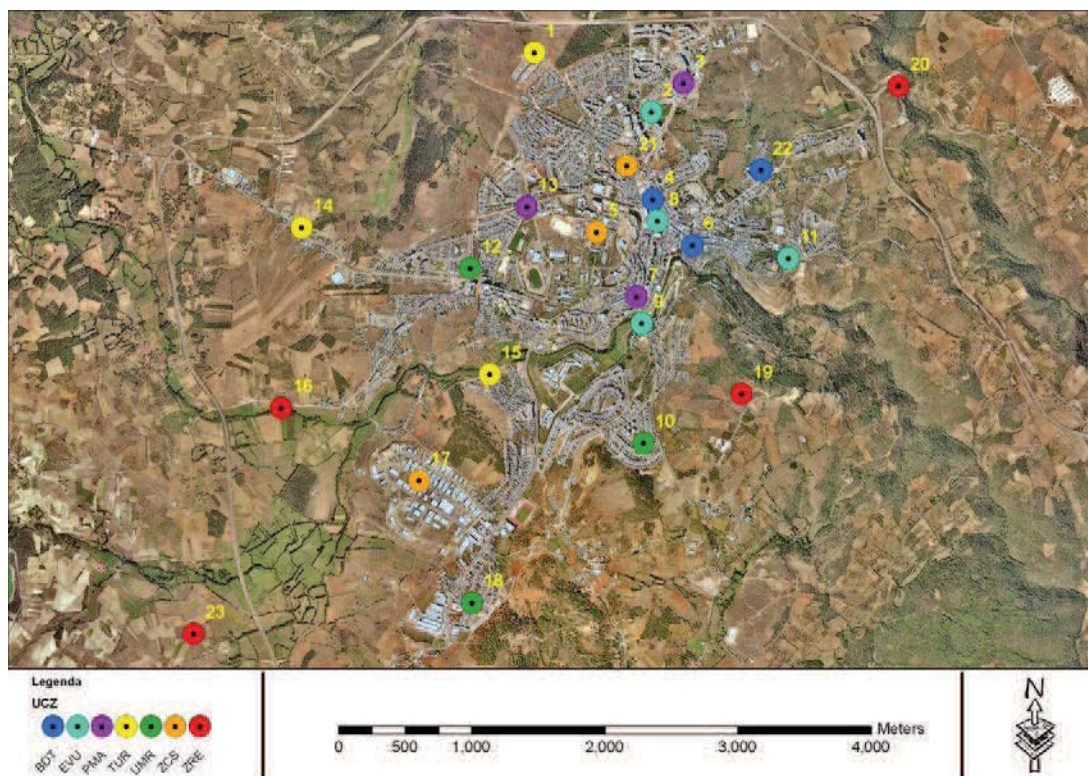


Figura 1: Localização dos sensores

Os sensores Termo-Higrômetros usados são do modelo TinyTag TGP4500, instalados em abrigos a 3 metros acima do solo, em postes de iluminação pública. Os dados obtidos foram convertidos para formato compatível e trabalhados de maneira a complementar a análise climática.

## Resultados e Discussão

A intensidade do EICU para o período em questão (2012-2016) foi avaliada tendo por base as diferenças de temperatura entre as ZCLs urbanas e as ZCLs rurais ( $\Delta_{\text{urbano-rural}}$ ).

A Figura 2 representa a variação da intensidade do EICU nas diferentes ZCLs, permitindo observar uma maior amplitude de valores na classe PMA (categoria de espaços mais densamente urbanizados), alcançadas no verão, com valores que variam entre  $-5^{\circ}\text{C}$  e  $7^{\circ}\text{C}$ . Uma grande amplitude, para o mesmo diferencial, também pode ser observada em EVU, devido ao efeito de sombra que ocorre nas estações mais quentes, associado à ausência de folhas no inverno, permitindo que a área receba mais radiação. Em contrapartida, os espaços de transição entre área urbana e rural (TUR), apresentaram os valores menos intensos para o EICU. A ocorrência de valores negativos na amplitude do EICU indica a presença de um outro efeito, o Efeito de Ilha de Frio Urbana.

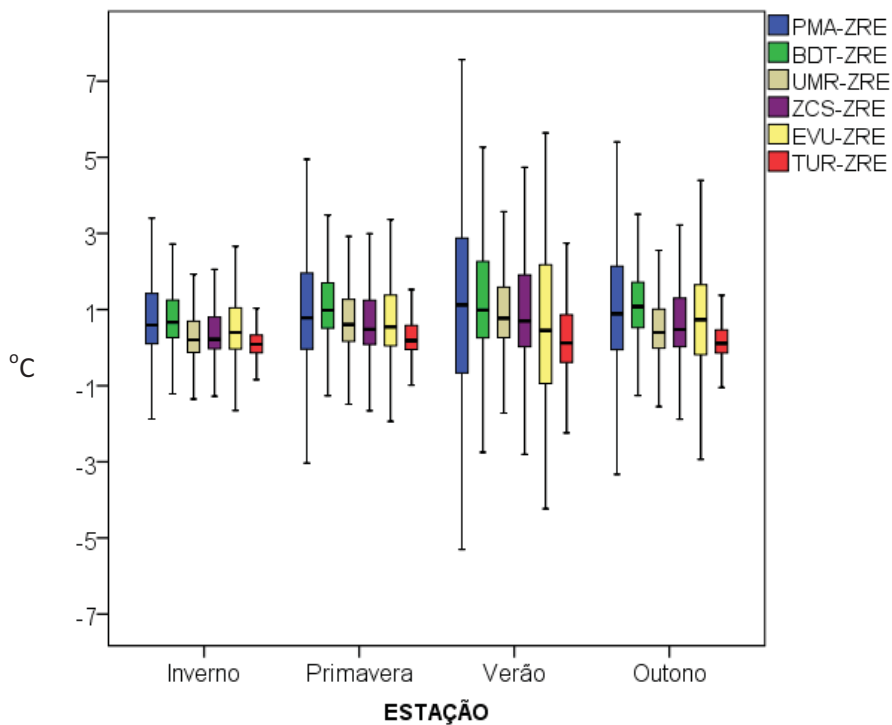


Figura 2: **Distribuição dos valores médios horários na diferença de temperaturas entre as zonas climáticas urbanas e rurais para as estações do ano (em °C)**

Segundo Lopes<sup>10</sup>, em países europeus é comum a ocorrência de valores de EICU superiores a 4°C em cidades de média dimensão (aproximadamente 100.000 habitantes). No caso de Bragança, ainda que a sua dimensão seja menor, verifica-se um comportamento idntico, constatando-se ainda a ocorrência deste efeito nos meses mais frios, ainda que com menor intensidade.

O comportamento médio registado, para o EICU, ao longo do dia e dos meses do ano nas zonas climáticas PMA, UMR e TUR está representado na Figura 3, onde é possível identificar um EICU diurno e outro noturno, que se diferenciam em intensidade. Estes dois fenómenos podem ser explicados pelas características do espaço urbano e pela presença de vegetação, que influenciam a ocorrência de processos localizados, que incluem a presença de ilhas de calor e de frio com variações ao longo do ano.<sup>11</sup>

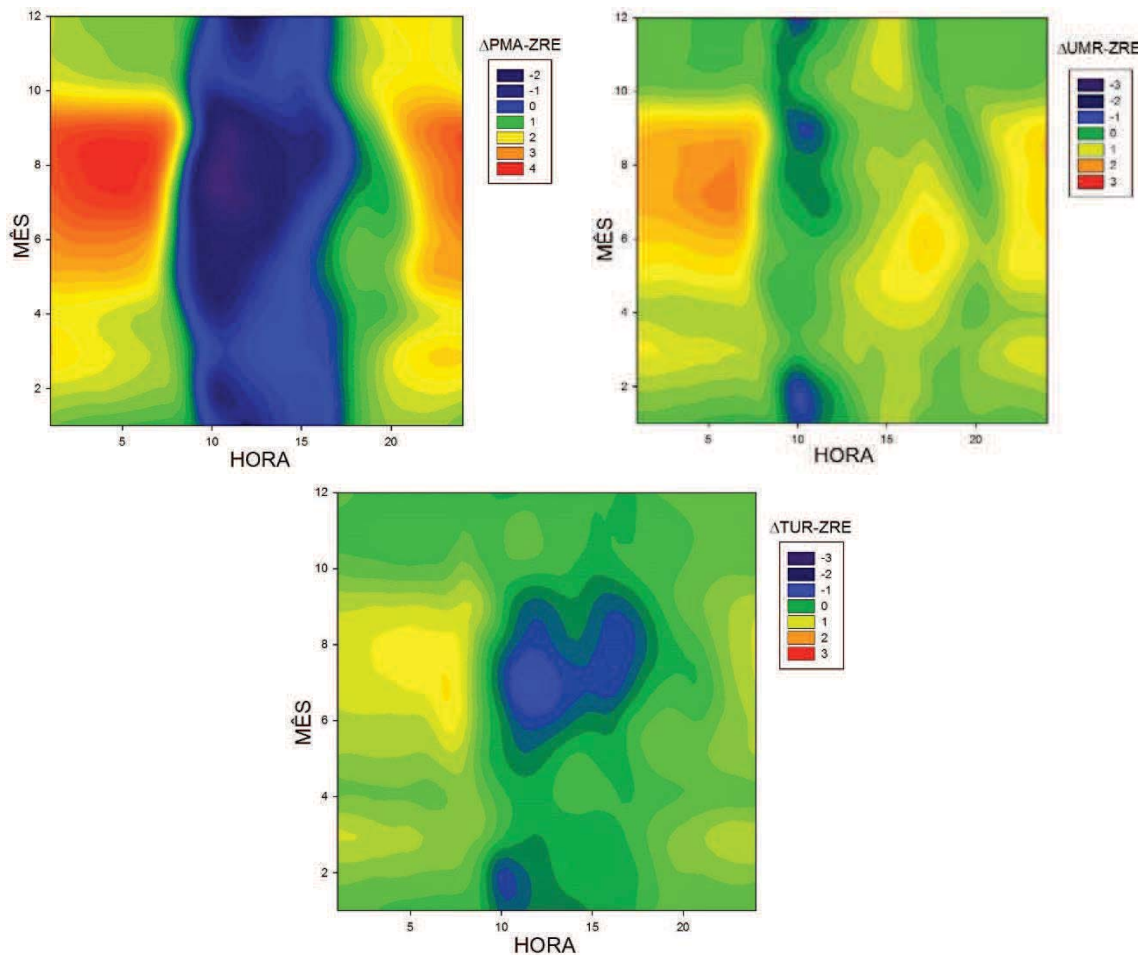


Figura 3: Variação ao longo do dia e do ano para o efeito de EICU em três das ZCLs, em °C.

O Efeito de Ilha de Frio, observado com maior intensidade na zona climática PMA, resulta do aquecimento mais rápido na zona rural nas primeiras horas da manhã. Nestes locais, a baixa elevação do sol no início da manhã cria áreas de sombra urbanas, que impedem a incidência direta de radiação de pequeno comprimento de onda. A inércia térmica superior e a baixa taxa de evapotranspiração levam ao aumento das temperaturas no decorrer do dia, com o incremento da incidência da radiação solar, até que a diferença de temperaturas se torna favorável às ZCLs urbanas. Começa então a formar-se o EICU, com um considerável aumento depois do pôr-do-sol e ainda mais significativo antes do nascer do sol.

O incremento e a diminuição da intensidade do EICU podem também ser explicados pela diferença na taxa de aquecimento/arrefecimento entre áreas urbanas e rurais, que é representada na Figura 4. Os dados confirmam uma maior taxa de aquecimento matinal na área rural (ZRE), com maior amplitude no verão, apresentando uma diferença máxima de aproximadamente 2°C/h face à ZCL mais

urbanizada (PMA), próximo das 8h da manhã. A zona PMA, por sua vez, armazena calor por mais tempo durante a manhã e pela noite apresenta valores mais baixos de arrefecimento, corroborando com o que foi observado por Lopes<sup>10</sup>.

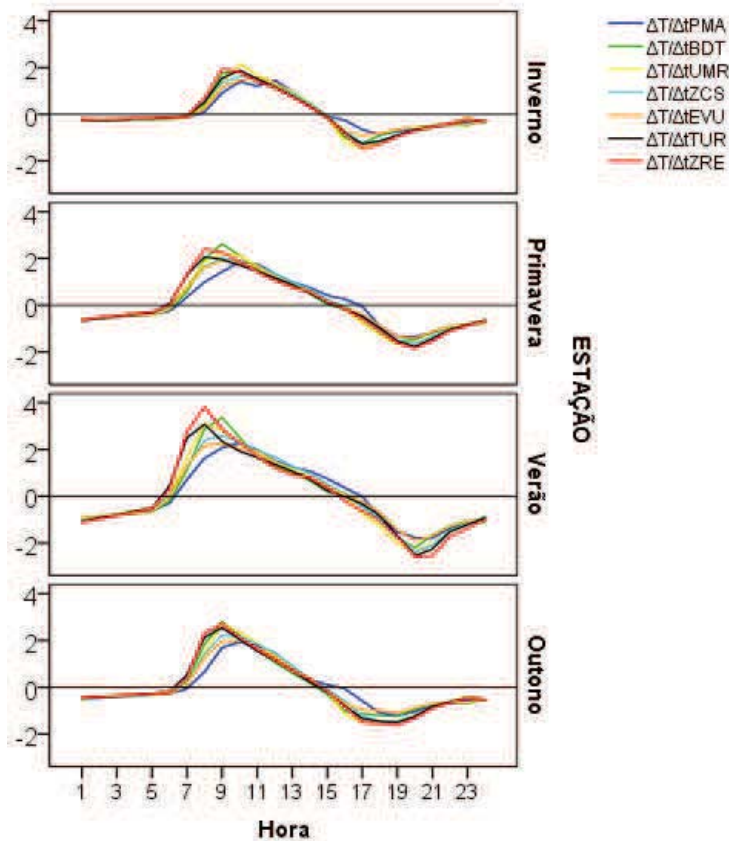


Figura 4: Taxa média sazonal de aquecimento e arrefecimento por hora para cada zona climática (°C/h)

A análise das temperaturas mínimas permitiu identificar valores mais baixos, no contexto peri-urbano de vales e zonas de cotas mais baixas, como mostram as Figuras 5a e 5b, resultantes da drenagem de ar frio para esses pontos mais baixos dos vales e pelas condições de ventilação/estagnação térmica nesses locais. As temperaturas mínimas mais elevadas ocorreram em áreas com maior intensidade de EICU, correspondendo aos pontos onde há maior quantidade de solos impermeabilizados e construções com maior volume. Os dados demonstram ainda um aumento da temperatura mínima nos pontos mais altos da cidade, como resultado de processos de inversão térmica noturna.

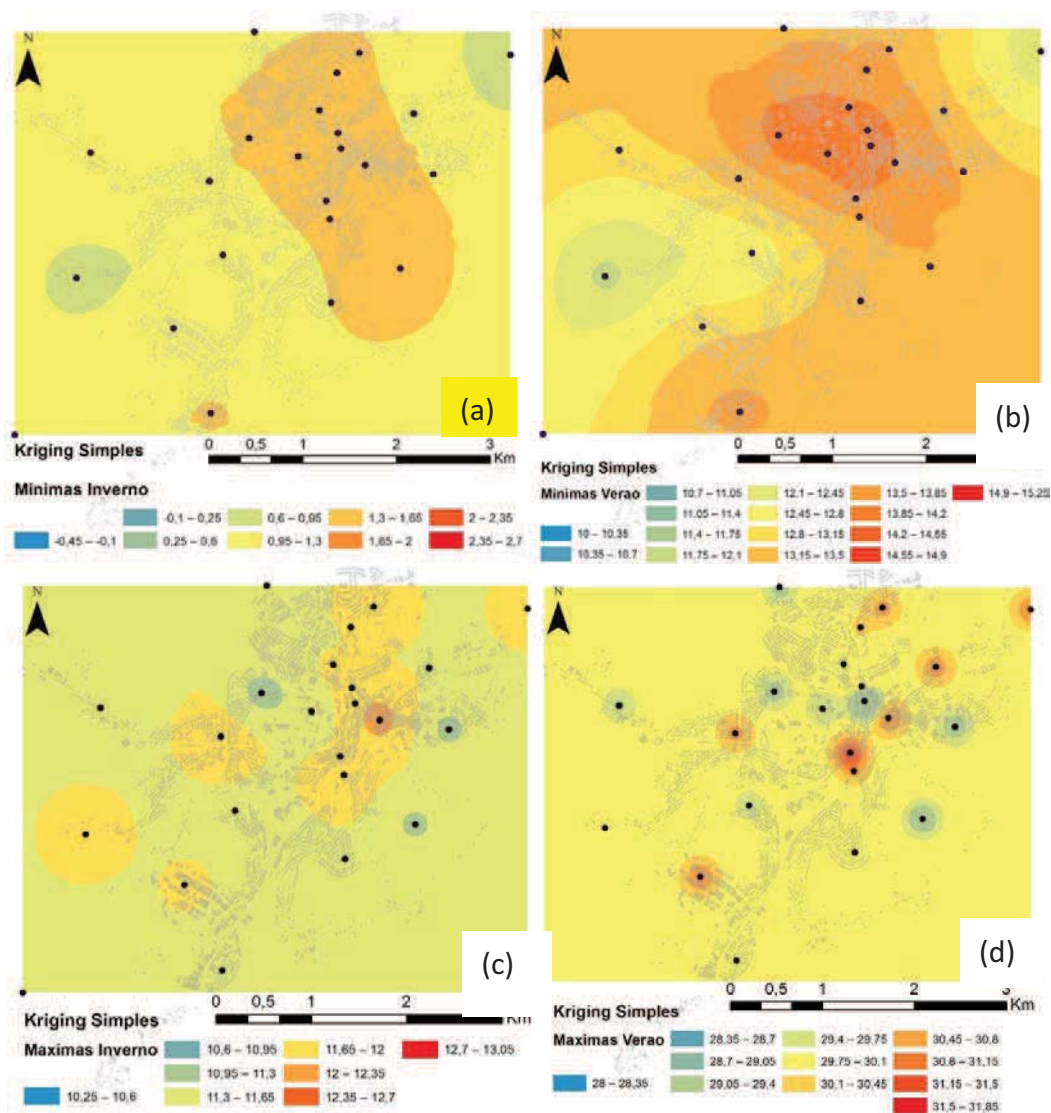


Figura 5: Isolinhas da média das temperaturas máximas (°C)

Já a interpretação das temperaturas máximas é mais complexa, como pode ser observado nas Figuras 5c e 5d, uma vez que este parâmetro é condicionado pelo comportamento radiativo, no qual intervêm processos de microescala, como pelo efeito de sombra em alguns dos pontos de monitorização. Esses processos microclimáticos são responsáveis por um padrão que não é totalmente coerente com a classificação de ZCL, uma vez que se registaram variações de temperaturas em pontos muito próximos, como é perceptível na Figura 5d. As temperaturas máximas mais elevadas foram registadas nos locais de maior urbanização. As temperaturas máximas mais baixas ocorreram em pontos mais elevados.

A variedade de condições térmicas registadas ao longo do ano dificulta a identificação de uma única estratégia para o espaço urbano, o que remete para a necessidade de definição de diferentes estratégias para os diferentes contextos, que contribuam para melhorar as condições climáticas locais.

Com o predomínio de baixas temperaturas em grande parte do ano e no período mais quente, com valores acima do nível de conforto, como é característico do clima Csb, devem-se manter os espaços verdes e as zonas mais permeáveis, uma vez que constituem zonas mais frescas. Já em períodos mais frios, a ausência de folhas das espécies de folha caduca permite que a radiação solar atinja a superfície, com benefícios para o conforto térmico dos utilizadores desses espaços.

As áreas mais urbanizadas, onde o EICU apresenta maior intensidade, precisam de ser melhor planeadas, particularmente no que diz respeito ao desenho das estruturas urbanas bem como à relação deste com os fatores meteorológicos (e.g. vento), a vegetação e os materiais de construção.

No caso das zonas industriais, onde ocorre emissão de calor antrópico, é relevante que se mantenham distantes do contexto residencial e, preferencialmente, sejam rodeados por espaços verdes, que podem atenuar o EICU, além de servirem como filtro para reter o pó e contribuir na reoxigenação do ar.

Uma vez inserida num contexto de montanha, as zonas mais altas são normalmente mais expostas a ventos e, assim, deve evitar-se a construção de edifícios residenciais nessas áreas, uma vez que, incidindo sobre os edifícios, o vento pode acentuar as perdas térmicas e aumentar a necessidade de climatização nesses locais, particularmente em épocas mais frias. No caso dos pontos mais baixos de vales de montanha, onde ocorre no período noturno a drenagem e acumulação de ar frio, estes devem ser evitados como espaços de urbanização, assumindo especial importância a manutenção/introdução de áreas verdes.

Deve-se ainda considerar que diversos fatores contribuem para modificação da temperatura superficial de pavimentos e coberturas. Assim, uma das maneiras de mitigar o EICU passa por aplicar materiais de elevado albedo em superfícies (verticais e horizontais), que podem reduzir a quantidade de radiação solar absorvida nas suas superfícies e diminuir o aquecimento das mesmas. Esta opção contribui para a redução da emissão de radiação de grande comprimento de onda, contribuindo para ocorrência de menores temperaturas do ar, através da redução do fluxo de calor convectivo, por superfícies mais frias<sup>12,13</sup>.

## Conclusão

O estudo do Clima Urbano é particularmente complexo porque se encontra dependente de um conjunto de fatores dependentes tanto do contexto meso-climático como das características do contexto urbano. Por esse motivo, foi necessário integrar na cidade de Bragança uma rede que permitisse medir parâmetros meteorológicos numa ampla diversidade de contextos urbanos, respondendo à necessária representatividade por ZCLs e por contextos topográficos. Os dados de caracterização do clima urbano da cidade de Bragança, no período de 2012 a 2016, permitem constatar que, mesmo no caso de uma cidade de pequena dimensão, verifica-se a existência de um clima urbano particular determinado por processos e fenómenos resultantes da sua localização numa região montanhosa e das características do seu espaço urbano.

Os dados obtidos demonstram a ocorrência do Efeito de Ilha de Calor Urbano no período de análise. Para além deste efeito, a ocorrência de um segundo fenómeno, o de Ilha de Frio Urbano, ambos relacionados à interferência do ambiente urbano no clima. Complementarmente, o relevo está igualmente associado a diferentes processos com influência no clima urbano, como seja a drenagem de ar frio ou os efeitos da variação da altitude.

Este estudo constitui-se como um instrumento para recomendações de planeamento urbano que podem ser incorporadas para a melhoria do ambiente urbano, na sua componente climática.

## Referências

1. C. Grimmond et al., "Climate and more sustainable cities: Climate information for improved planning and management of cities (Producers/Capabilities Perspective)," *Procedia Environ. Sci.*, **1** (1) 247–274 (2010).
2. T. R. Oke, *Boundary layer climates*. 2nd ed. Routledge, 1987.
3. A. M. Rizwan, L. Y. C. Dennis, and C. Liu, "A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island," *J. Environ. Sci.*, **20** (1) 120–128 (2008).
4. J. F. He, J. Y. Liu, D. F. Zhuang, W. Zhang, and M. L. Liu, "Assessing the effect of land use/land cover change on the change of urban heat island intensity," *Theor. Appl. Climatol.*, **90**, (3–4) 217–226 (2007).
5. I. D. Stewart and T. R. Oke, "Local climate zones for urban temperature studies," *Am. Meteorol. Soc.*, 1879–1900 (2012).
6. B. Givoni, *Climate Considerations in Building and Urban Design*. John Wiley & Sons, Canadá, 1998.
7. A. Gonçalves, A. C. Ribeiro, F. Maia, and M. Feliciano, "Análise do Clima Urbano de Bragança." Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2014

8. T. R. Oke, "Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites," *World Meteorol. Organ.*, **81**, 2006.
9. F. M. da C. Maia, "Caracterização da ilha de calor urbano de Bragança." Universidade de Aveiro, Aveiro, 2013.
10. A. Lopes, "O sobreaquecimento das cidades. Causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa," *Territorium*, **15** 39–52 (2006).
11. E. Collischonn, "O fator de visão do céu e sua influência sobre as características térmico-higrométricas intraurbanas em pelotas/RS, BRASIL," *Geogr. Merid.*, **1** (1) 160–178 (2015).
12. H. Takebayashi and M. Moriyama, "Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island," *Build. Environ.*, **42** (8) 2971–2979 (2007).
13. H. Taha, "Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat," *Energy Build.*, **25** 99–103 (1997).