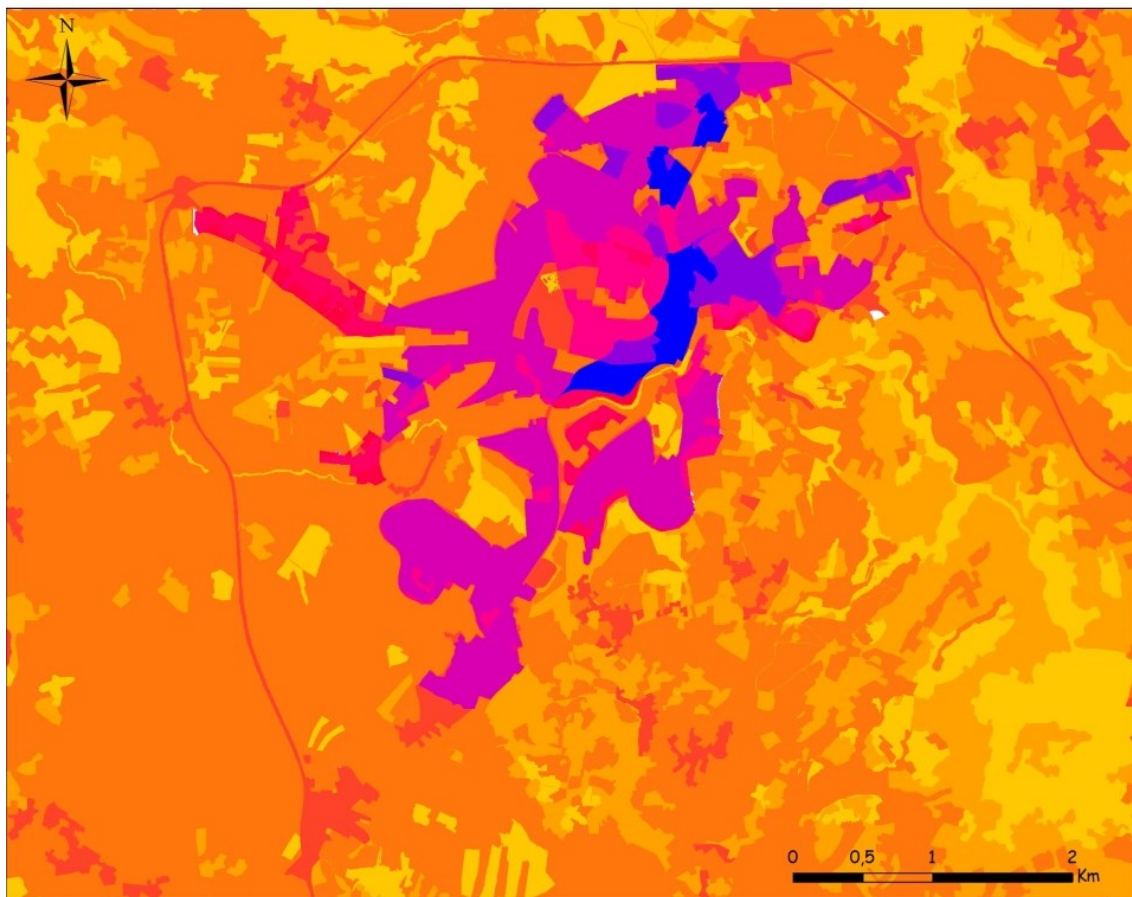




Clima Urbano de Bragança



Ficha Técnica

Análise do Clima Urbano da Cidade de Bragança

Projeto “BIOURB”/POCTEP-UE; Parceiros: CMB, CIDAUT, EREN, ICCL, IPB, AT e CMM

EDIÇÃO ONLINE

Instituto Politécnico de Bragança

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Artur Gonçalves (Instituto Politécnico de Bragança e Centro de Investigação da Montanha)

AUTORES

Artur Gonçalves, António Castro Ribeiro, Filipe Maia e Manuel Feliciano

APOIO TÉCNICO

Arsénio Araújo e Miguel Vaz Pinto

ISBN

XXXX

2014

*Projeto “**BIOURB** – Diversidade bioconstrutiva transfronteiriça, edificação bioclimática e a sua adaptação à arquitetura e urbanismo moderno.”*

Este projeto enquadra-se no Programa de Cooperação Transfronteiriça Espanha - Portugal que se desenvolve com o apoio da UE e com o financiamento comunitário pelos programas FEDER e POCTEP.

Índice Geral

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABELAS	6
1 A CIDADE DE BRAGANÇA E O SEU CONTEXTO CLIMÁTICO	7
1.1 Contexto Climático	9
1.1.1 O ambiente térmico	9
1.1.2 Distribuição da precipitação	11
1.1.3 Radiação solar e insolação	12
1.1.4 Regime do vento	13
1.1.5 Balanço hídrico do solo	15
1.1.6 Classificação climática	16
2 MONITORIZAÇÃO CLIMÁTICA	17
2.1 Rede de Monitorização Meteorológica	17
2.1.1 Rede de Estações Meteorológicas Automáticas	17
2.1.2 Rede de medição da temperatura, humidade relativa do ar, velocidade e direção do vento. ..	17
2.2 Caracterização dos locais de monitorização	20
3 RESULTADOS	22
3.1 Análise dos dados	22
3.2 Efeito de Ilha de Calor	23
3.3 Análise da Velocidade e Direção do Vento	26
3.4 Mapas de Isolinhas	29
3.4.1 Isolinhas de Temperatura	29
3.4.2 Isolinhas de Humidade Relativa	32
4 MAPEAMENTO DO CLIMA URBANO	35
4.1 Carga Térmica Potencial	36
4.1.1 Fração do solo ocupada por Superfícies Artificiais	36
4.1.2 Volumetria do Edificado	37
4.1.3 Áreas Verdes (Potencial de Arrefecimento)	38
4.1.4 Mapa de Síntese	39

4.2	Fatores Dinâmicos Potenciais	40
4.2.1	Análise topográfica	40
4.2.2	Rugosidade.....	42
4.2.3	Representação do Vento.....	42
4.2.4	Mapa de Síntese.....	43
4.3	Mapa de Síntese Climática	44
4.4	Definição de Estratégias de Intervenção.....	46
4.4.1	Medidas sobre os Efeitos Dinâmicos	47
4.4.2	Comportamento térmico do espaço urbano	50
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52

Índice de Figuras

Figura 1 - Enquadramento geográfico de Bragança.....	7
Figura 2 – Altitude na envolvente da cidade de Bragança.....	8
Figura 3 – Evolução da população da cidade e do concelho de Bragança com base nos dados dos censos populacionais (1911, 1940, 1960, 1970, 1981, 1991, 2001 e 2011)	8
Figura 4 - Amplitude térmica (colunas) e valores absolutos das temperaturas máxima e mínima (extremos da linha vertical) para Bragança, no período 1971-2000.....	10
Figura 5 - Número médio de dias com temperatura mínima do ar inferior a 0°C, temperatura mínima superior a 20°C e temperatura máxima superior a 25°C, em Bragança, no período 1971-2000	10
Figura 6 - Valores médios da precipitação em Bragança no período 1971-2000. As colunas representam a precipitação média acumulada e as linhas representam o número de dias com precipitação igual ou superior a 0,1 mm (-●-), com precipitação igual ou superior a 1,0 mm (-▼-) e com precipitação igual ou superior a 10 mm (-■-).	11
Figura 7 - Radiação solar média ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) em Bragança no período 1971-2000	12
Figura 8 - Insolação, expressa em horas de céu descoberto (colunas) e em percentagem (-x-) e número médio de dias com uma percentagem de insolação igual a 0 (-♦-), inferior a 20 (-▼-) e superior a 80 (-■-).	12
Figura 9 - Velocidade média do vento e frequência anual por rumo em Bragança, no período 1971-1997.....	13
Figura 10 - Velocidade média do vento e frequência por rumo para os vários meses do ano em Bragança, no período 1971-1997	14
Figura 11 - Variação mensal dos valores médios da temperatura máxima e mínima, da humidade relativa (◆) e distribuição da precipitação ao longo do ano. As colunas representam a precipitação mensal e a banda representa a amplitude entre os valores médios mensais da temperatura máxima e mínima.....	15
Figura 12 - Balanço hídrico do solo para uma capacidade utilizável de 100 mm/m (ΔA – variação do armazenamento de água no solo; E_{Tr} – evapotranspiração real)	15
Figura 13 - Estações Meteorológicas Automáticas da rede de monitorização do clima da cidade de Bragança	17
Figura 14 - Locais com monitorização da temperatura e humidade relativa (A); pormenor do sistema de medição sem o abrigo (B)	18

Figura 15 - Locais com monitorização da temperatura, humidade relativa, velocidade e direção do vento.	18
Figura 16 – Distribuição dos pontos de monitorização climática	19
Figura 17 - Gráfico da variação mensal de precipitação e das temperaturas médias, máximas e mínimas para o período de estudo (Maia, 2013).	22
Figura 18 – Gráfico de bigodes relativo às diferenças máximas entre as temperaturas das diversas ZCL e a zona rural (RUR) nas diferentes épocas do ano.	24
Figura 19 - Variação horária e mensal da intensidade média do EICU: a) $\Delta T_{PMA-ZRE}$; b) $\Delta T_{BDT-ZRE}$; c) $\Delta T_{UMR-ZRE}$; d) $\Delta T_{ZCS-ZRE}$; e) $\Delta T_{EVU-ZRE}$; f) $\Delta T_{TUR-ZRE}$. Fonte: Maia (2013).	25
Figura 20 – Rosa-dos-ventos para a estação de referência. Dados anuais e por estação.	27
Figura 21 – Rosa-dos-ventos para o ponto 7	27
Figura 22 – Rosa-dos-ventos para o ponto 6	28
Figura 23 – Rosa-dos-ventos para o ponto 12	28
Figura 24 – Isolinhas das médias das temperaturas mínimas diárias, por estações do ano.	30
Figura 25 – Isolinhas das médias das temperaturas máximas diárias, por estações do ano.	31
Figura 26 – Isolinhas das médias diárias para a humidade relativa máxima, por estações do ano.	33
Figura 27 – Isolinhas das médias diárias para a Humidade Relativa Mínima, por estações do ano.	34
Figura 28 – Zonas climáticas locais de Bragança e a localização dos sensores de temperatura e humidade.	35
Figura 29 – Fração do solo ocupada por Superfícies Artificiais, em percentagem.	36
Figura 30 – Índice Volumétrico (metros)	37
Figura 31 – Efeito potencial da vegetação na atenuação da acumulação de calor.	38
Figura 32 – Carga térmica potencial	39
Figura 33 – Zonas de acumulação de massas de ar frio nos fundos dos vales e nos espaços iniciais das suas encostas	40
Figura 34 – Zonas de Cumeada e primeiras encostas	41
Figura 35 – Mapas de Síntese dos Fatores Dinâmicos	43

Figura 36 – Mapa de Análise Climática	45
Figura 37 – Mapa de Recomendações	47

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Zonas Climáticas Locais (ZCL).....	21
Tabela 2 - Características do local de cada sensor.....	21
Tabela 3 - Dados estatísticos sazonais para as diferenças registadas entre as diferentes ZCL e a ZRE	24

1 A Cidade de Bragança e o seu Contexto Climático

A cidade de Bragança localiza-se no extremo nordeste de Portugal continental, rodeada a norte pela Serra de Montesinho e a oeste pela Serra da Nogueira (**Figura 1**). A altimetria da cidade é marcada pela elevada complexidade, ocorrendo variações que podem atingir os duzentos metros numa distância reduzida.

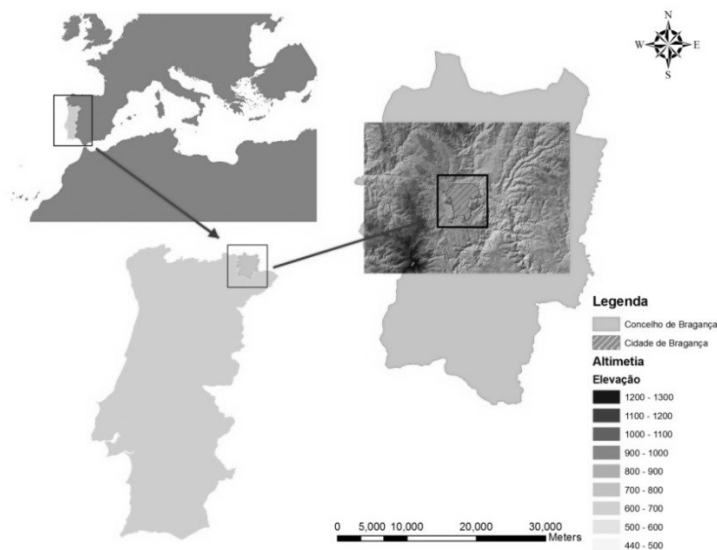


Figura 1 - Enquadramento geográfico de Bragança.

A cidade estende-se por aproximadamente 33 km², com uma população de 23099 habitantes (INE, 2012), à qual se deve acrescentar uma população de estudantes de cerca de 5.000 pessoas. O espaço urbano é marcado pela diversidade de tipologias de construção que inclui bairros de edifícios plurifamiliares, que contrastam com amplos espaços de moradias unifamiliares. A atividade industrial é pouco representativa, pelo que a economia local se sustenta essencialmente pela presença de instituições de prestação de serviços, maioritariamente públicos.

Tal como a generalidade do território desta região, o local onde a cidade de insere é marcado por uma elevada complexidade orográfica, característica de espaços montanhosos, com uma grande variação na altitude. Neste contexto territorial, a cidade é influenciada pelos vales de dois rios: o primeiro, rio Fervença, atravessa a cidade no interior causando um impacte mais notório no quotidiano da população; o segundo, rio Sabor, encontra-se na periferia da cidade, não tendo uma relação imediata com o quotidiano das populações.

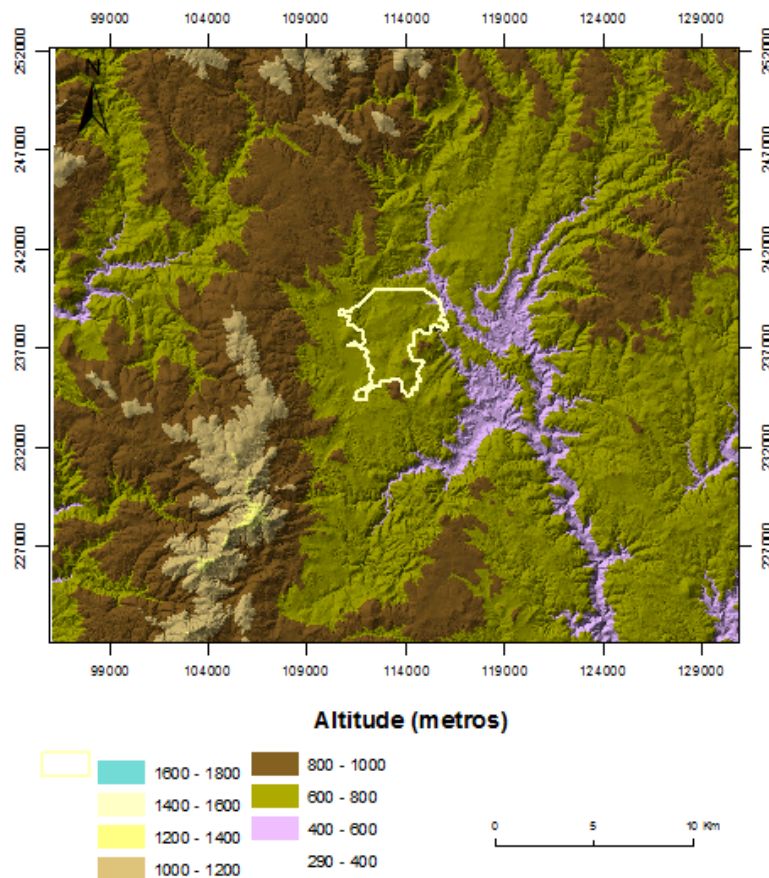


Figura 2 – Altitude na envolvente da cidade de Bragança

Sobre este território complexo, a cidade evoluiu de modo lento e compacto até meados do século XX, tendo-se registado, desde então, um grande crescimento da população urbana do concelho (**Figura 3**). Neste processo, a cidade assumiu uma maior dispersão, expandindo-se sobre o território e adotando uma crescente complexidade nas relações cidade-clima.

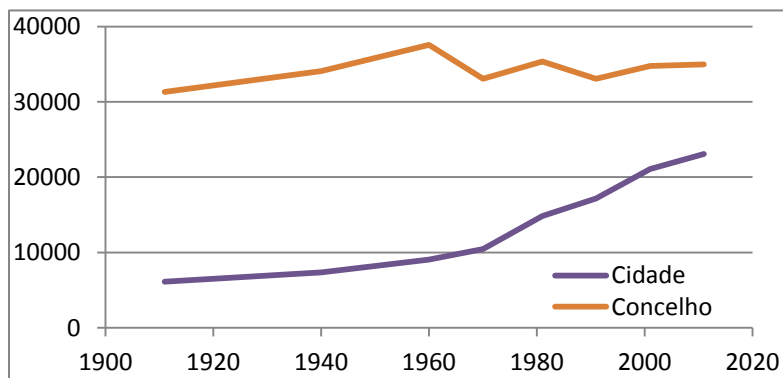


Figura 3 – Evolução da população da cidade¹ e do concelho de Bragança com base nos dados dos censos populacionais (1911, 1940, 1960, 1970, 1981, 1991, 2001 e 2011)

¹ Neste cômputo foram consideradas as freguesias urbanas da cidade de Bragança, que incluem Sé, Santa Maria e Samil.

Atualmente, a cidade possui uma elevada diversidade de tipologias de construção e urbanização, incluindo bairros de edifícios plurifamiliares, de diversas tipologias, que contrastam com os amplos espaços de moradias unifamiliares. No interior do perímetro urbano podem ainda encontrar-se vastos espaços verdes, com características diversas, e cuja composição é o resultado de usos previstos, como no caso dos espaços verdes públicos ou das atividades agrícolas e florestais, mas onde podem também ser encontrados amplos terrenos expectantes e sem uso visível, onde a vegetação se desenvolveu de modo espontâneo.

1.1 Contexto Climático

O clima observado num dado local é influenciado, em graus variáveis, pela circulação atmosférica à escala global, à escala regional e à escala local. Em termos globais o clima é largamente determinado pela latitude. A uma escala regional, o clima depende fundamentalmente da circulação atmosférica nas zonas de transição entre os continentes e o oceano. Isto é, depende do grau de continentalidade do clima regional. A uma escala ainda mais fina, o clima local pode ser afetado pelo relevo ou pela proximidade de massas de água (rios ou lagos).

A posição interior de Trás-os-Montes faz com que esteja fechada às influências marítimas, não só pelo oeste mas também pelo norte, através do sistema Galaico-Duriense (El Teleno, 2188 m) e pelos montes Cantábricos. De oriente, sofre a influência do planalto Castelhana-Leonês e, a sul, a do planalto Beirão e do Maciço Central, o prolongamento do sistema Central Ibérico (Almançor, 2592 m, Serra da Estrela, 1993 m). Tendo como referência o resto de Portugal, estas influências refletem-se num mesoclima com características com influência continental conjugadas com um regime tipicamente Mediterrânico com uma estação xérica estival muito marcada – resumidas no refrão popular *“em Trás-os-Montes existem nove meses de Inverno e três de inferno”* (Gonçalves, 1991).

1.1.1 O ambiente térmico

Bragança tem um regime térmico marcado pela forte amplitude térmica anual e em cada mês por uma grande diferença entre a média das máximas e a média das mínimas (**Figura 4**). A temperatura média mensal em Bragança varia entre os 4,4°C no mês mais frio (Janeiro) e os 21,3°C no mês mais quente (Julho). A média da temperatura máxima diária varia entre os 8,5°C no mês de Janeiro e os 28,5°C nos meses de Julho e Agosto, enquanto a média da temperatura mínima diária varia entre os 0,3°C (Janeiro) e 14°C (Julho). A amplitude térmica varia de cerca de 8°C em Janeiro e atinge valores da ordem dos 15°C em Agosto. O maior valor da temperatura máxima (temperatura absoluta, registada uma única vez no período em análise) foi de 38,8°C (Junho), e o menor valor da temperatura mínima de -11,4°C (Janeiro).

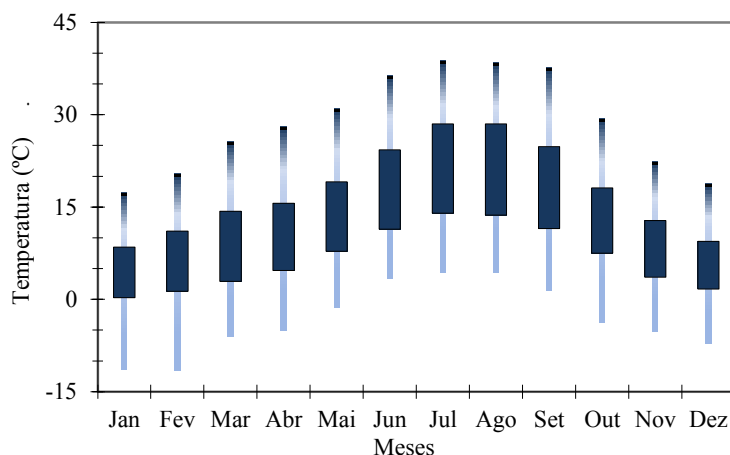


Figura 4 - Amplitude térmica (colunas) e valores absolutos das temperaturas máxima e mínima (extremos da linha vertical) para Bragança, no período 1971-2000.

A intensidade e duração do frio invernal e do calor no verão são indicadores climáticos importantes do regime térmico local (**Figura 5**). O número médio de dias por mês em que a temperatura mínima é inferior a 0°C e em que a temperatura máxima é superior a 25°C, complementam a descrição da evolução anual da amplitude térmica e dão conta das condições extremas, do ponto de vista do regime térmico, que caracterizam a cidade de Bragança. A temperatura mínima é inferior a 0°C em cerca de 53 dias por ano. Esses dias encontram-se distribuídos entre Outubro e Maio com maior frequência nos meses de Janeiro (16 dias) e Dezembro (12 dias). A temperatura máxima atinge valores acima dos 25°C em cerca de 87 dias por ano. Esses dias encontram-se distribuídos entre Abril e Outubro com maior frequência nos meses de Julho e Agosto (60%). A frequência de noites tropicais (temperatura mínima superior a 20°C) é bastante reduzida e limita-se aos meses de Julho e Agosto.

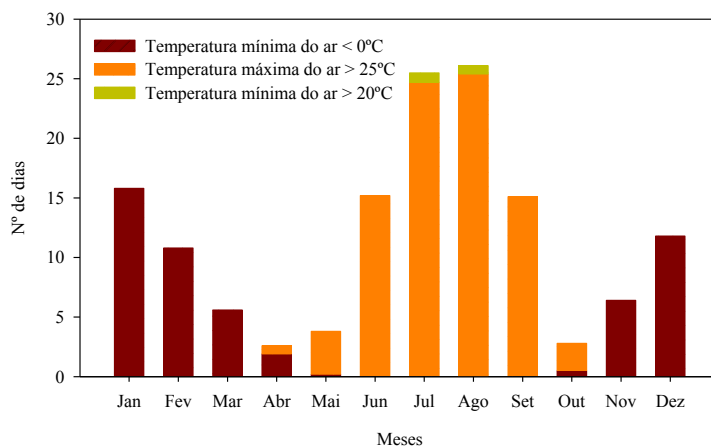


Figura 5 - Número médio de dias com temperatura mínima do ar inferior a 0°C, temperatura mínima superior a 20°C e temperatura máxima superior a 25°C, em Bragança, no período 1971-2000

1.1.2 Distribuição da precipitação

A distribuição anual da precipitação em Bragança é típica do clima mediterrânico com uma elevada concentração da precipitação na estação fria e uma reduzida precipitação nos meses mais quentes (**Figura 6**). Em Bragança a precipitação no semestre húmido (Outubro - Março) representa cerca de 67% da precipitação anual. A grande variação intra-anual da precipitação tem como consequências o excesso de água no solo no período invernal, que constitui um problema em solos localizados nos vales e com deficiente drenagem, e um défice de água no solo no período estival que é mais acentuado nos solos com menor capacidade utilizável de água.

O regime de precipitação pode ainda ser analisado do ponto de vista da frequência de ocorrência de chuva intensa. Na **Figura 6** indicam-se, ainda, os valores médios do número de dias em que a precipitação acumulada é superior a 0,1 mm, 1 mm e 10 mm. As situações de chuva intensa (precipitação igual ou superior a 10 mm) ocorrem em cerca de 26 dias por ano, com maior frequência nos meses de Inverno, e correspondem, em geral, à passagem de superfícies frontais na região. Nestas condições, o elevado escoamento superficial pode causar problemas de escoamento nos sistemas de drenagem de águas pluviais. A presença de vegetação tem um efeito positivo na diminuição do escoamento superficial aquando da ocorrência de precipitações mais intensas. As árvores, devido à sua capacidade de armazenamento, em particular as de folha persistente, desempenham um papel muito importante na diminuição do escoamento superficial através do aumento das perdas por interceção (evaporação da precipitação intercetada) contribuindo também para um aumento da humidade da atmosfera. Os espaços verdes desempenham, ainda, um papel importante no aumento da taxa de infiltração de água no solo, contribuindo assim para um menor escoamento superficial.

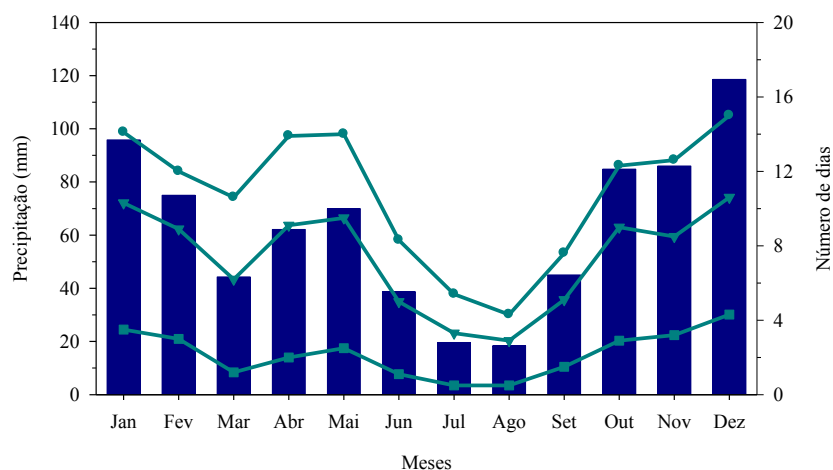


Figura 6 - Valores médios da precipitação em Bragança no período 1971-2000. As colunas representam a precipitação média acumulada e as linhas representam o número de dias com precipitação igual ou superior a 0,1 mm (-●-), com precipitação igual ou superior a 1,0 mm (-▼-) e com precipitação igual ou superior a 10 mm (-■-).

1.1.3 Radiação solar e insolação

A radiação solar e a insolação (número de horas de sol) são variáveis climáticas fundamentais na análise do clima regional. O curso da radiação solar ao longo do ano é semelhante ao observado para o curso da temperatura do ar, com o valor máximo a ser atingido no mês de Julho ($25 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) e o mínimo em Dezembro ($5,3 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) (**Figura 7**). Os valores da radiação solar referidos correspondem à radiação medida numa superfície horizontal. As encostas com exposição a sul recebem maior radiação solar que as zonas de planalto e encostas expostas a norte. Os climas locais e microclimas são, por isso, fortemente influenciados pela distribuição espacial da radiação solar.

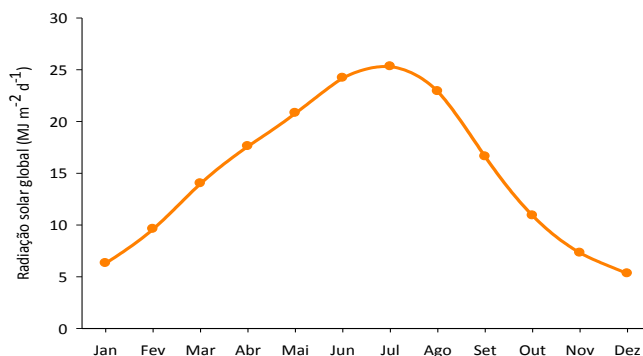


Figura 7 - Radiação solar média ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) em Bragança no período 1971-2000

A insolação tem um padrão de distribuição idêntico ao da radiação solar (**Figura 8**). Os valores máximos da insolação, expressa em horas, registam-se nos meses de Julho (342,6 h) e Agosto (327,3 h) e os mínimos em Janeiro (111,5 h) e Dezembro (97,1 h). O valor anual acumulado é de 2661,6 horas. A insolação expressa em percentagem, também designada insolação relativa, apresenta os valores máximos nos meses de Julho (75%) e Agosto (77%) e o valor mínimo em Dezembro (35%) e Janeiro (39%). Os valores mínimos nestes meses estão associados à ocorrência de nevoeiros de radiação, típicos nesta altura do ano, quando situações anticiclónicas se estabelecem na região (Gonçalves, 1985). Na **Figura 8** representa-se, ainda, a frequência de ocorrência de dias com diferentes percentagens de insolação. Os meses de Julho e Agosto têm, em média, cerca de 21 dias de insolação superior a 80%. Os meses de Janeiro e Dezembro, por outro lado, têm em média cerca de 20 dias com insolação inferior a 20%.

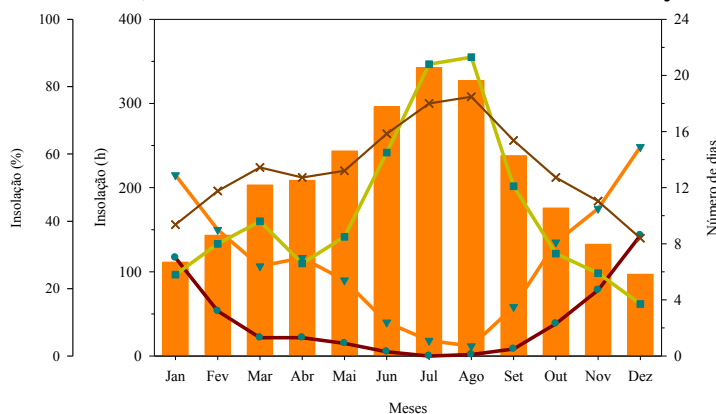


Figura 8 - Insolação, expressa em horas de céu descoberto (colunas) e em percentagem (-x-) e número médio de dias com uma percentagem de insolação igual a 0 (-♦-), inferior a 20 (-▼-) e superior a 80 (-■-).

1.1.4 Regime do vento

As direções predominantes do vento na região são de oeste (26,5%) e noroeste (15.%) (Figura 9). Analisando as frequências ao longo deste período verifica-se que estas são as direções predominantes com exceção dos meses de inverno (Novembro a Fevereiro) em que os ventos de sul assumem particular importância (**Figura 10**). Os valores médios mensais mais elevados da velocidade do vento observam-se nos meses de Fevereiro a Maio, coincidindo com a primavera, que na região apresenta ainda elevada intensidade frontal. Os valores mais baixos observados nos meses de Inverno confirmam a existência de situações de estabilidade mais frequentes nesta época do ano do que por exemplo no período estival.

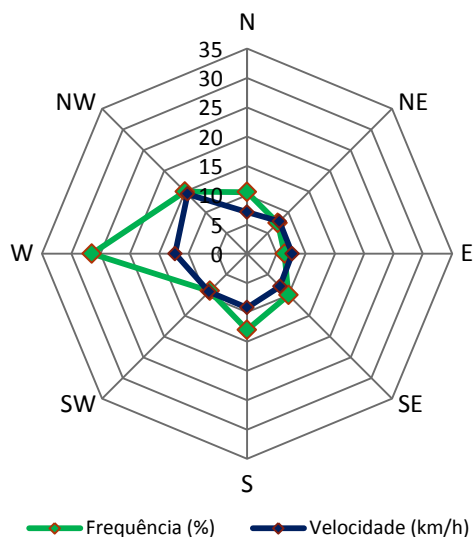


Figura 9 - Velocidade média do vento e frequência anual por rumo em Bragança, no período 1971-1997

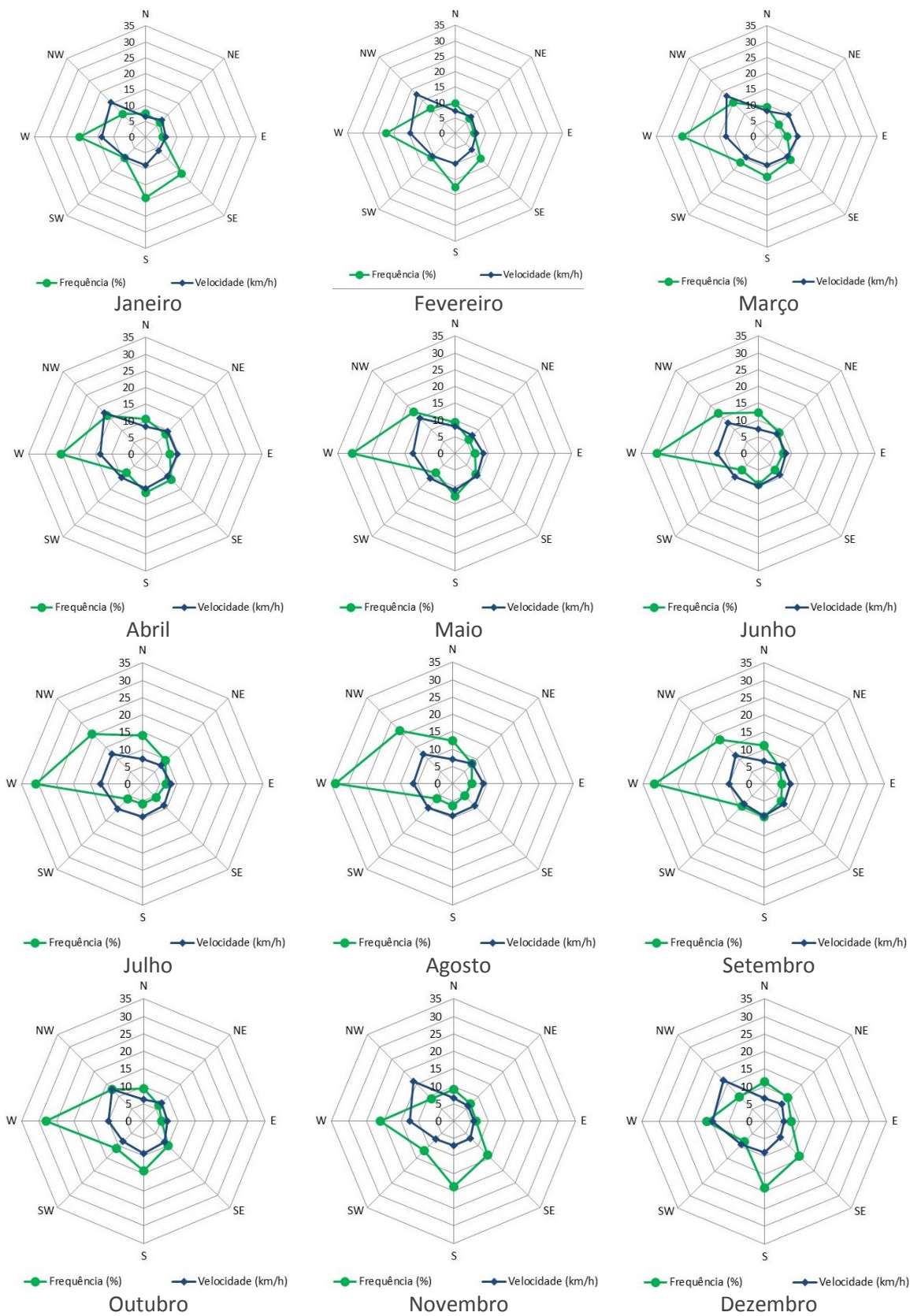


Figura 10 - Velocidade média do vento e frequência por rumo para os vários meses do ano em Bragança, no período 1971-1997

1.1.5 Balanço hídrico do solo

A distribuição assimétrica, bem marcada, entre a temperatura do ar e a precipitação (**Figura 11**), origina um défice de água no solo durante o período estival com vários reflexos negativos importantes entre os quais os que se fazem sentir na vegetação mais sensível à secura estival.

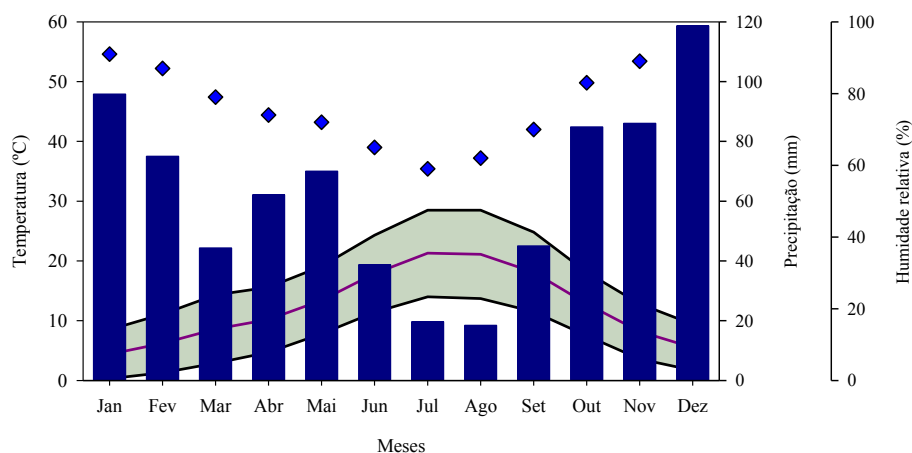


Figura 11 - Variação mensal dos valores médios da temperatura máxima e mínima, da humidade relativa (◆) e distribuição da precipitação ao longo do ano. As colunas representam a precipitação mensal e a banda representa a amplitude entre os valores médios mensais da temperatura máxima e mínima.

O balanço hídrico, por seu turno, permite constatar o elevado e prolongado défice hídrico que se estende de Abril a Setembro (**Figura 12**). Os maiores valores mensais do défice hídrico verificam-se nos meses de Julho (134,8 mm) e Agosto (131,9 mm). O défice hídrico acumulado ao longo do ano é de 409 mm.

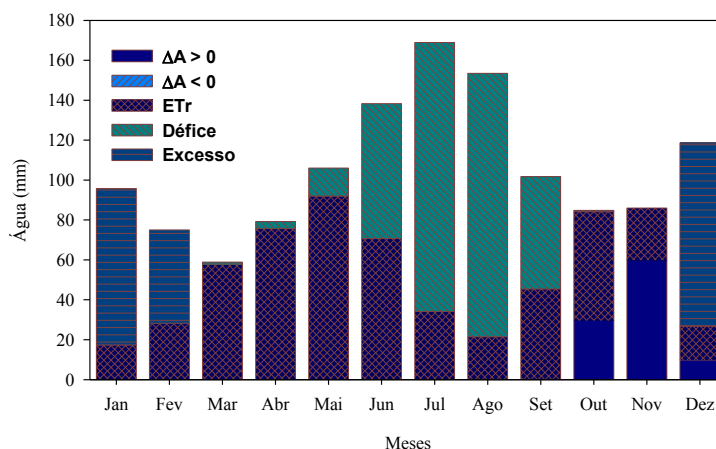


Figura 12 - Balanço hídrico do solo para uma capacidade utilizável de 100 mm/m (ΔA – variação do armazenamento de água no solo; ETr – evapotranspiração real)

A evapotranspiração real (ET_r) anual é de 540,8 mm. Em termos de variação mensal, os maiores valores de ET_r ocorrem em geral nos dois primeiros meses do período seco (Abril e Maio), período em que ainda existe água no solo e simultaneamente condições climáticas não limitantes para a evapotranspiração.

1.1.6 Classificação climática

No Norte de Portugal verifica-se um predomínio do clima *Csb* segundo a classificação climática de Köppen, com exceção da Terra Quente Duriense onde predomina o clima *Csa* e a pequenez dos enclaves de clima *Cfs* nos pontos mais altos da região (Azevedo *et al.*, 1995).

Na classificação de Köppen a cidade de Bragança inclui-se no tipo de clima *Csb* que corresponde a um clima temperado com Invernos suaves (temperatura do mês mais frio entre -3 e 18°C (Classe C); Verão seco (mês de Verão mais seco com precipitação inferior a 40 mm e a 1/3 da precipitação do mês de Inverno mais húmido) (Subclasse Cs); Verão longo e fresco (temperatura média de todos os meses abaixo de 22°C; existem pelo menos quatro meses com temperatura média acima de 10°C) (Sub-subclasse Cb).

Na classificação de Thornthwaite o clima é do tipo $B_2B'_4s b'_4$ – húmido, mesotérmico (ETP anual entre 997 e 1140), com moderada deficiência de água no verão (índice de aridez entre 16,7 e 33,3) e com moderada concentração da eficiência térmica na estação quente (entre 48 e 51,9%).

No Manual de Desenho Bioclimático (Fariña Tojo *et al.*, 2013) deste projeto é efetuada uma extensa análise das implicações deste tipo de clima sobre o conforto térmico exterior e a sua relação com as características do espaço urbano.

2 Monitorização Climática

2.1 Rede de Monitorização Meteorológica

2.1.1 Rede de Estações Meteorológicas Automáticas

As estações meteorológicas automáticas da rede de monitorização do clima da cidade de Bragança integram instrumentos de medição da temperatura e humidade do ar, velocidade e direcção do vento, radiação solar global e precipitação (**Figura 13**). Os sensores da temperatura e da humidade do ar (modelo CS215, Campbell Sci.) estão incorporados num único instrumento. A sua calibração deve ser efetuada com regularidade. A velocidade e direcção do vento são medidas num único instrumento que integra um anemómetro de hélice e um catavento (modelo 05103, R.M. Young). A radiação solar global é medida com um piranómetro constituído por um sensor fotométrico (modelo CS300, Campbell Sci.) com um espectro de medição entre os 300 e 1100 nm. A precipitação é medida por um pluviómetro com resolução de 2 mm (modelo ARG100, Campbell Sci.). Os sensores estão ligados a um sistema de aquisição de dados (Datalogger) (Modelo CR10X, Campbell Sci.) programado para armazenar a informação em cada 10 minutos.

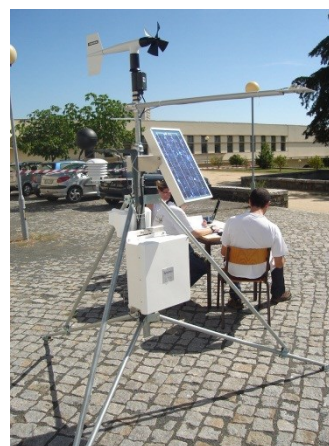


Figura 13 - Estações Meteorológicas Automáticas da rede de monitorização do clima da cidade de Bragança

2.1.2 Rede de medição da temperatura, humidade relativa do ar, velocidade e direcção do vento.

Para a medição da temperatura e da humidade do ar foram utilizados sistemas de aquisição de dados compactos (“minidataloggers”) com sensores de temperatura e humidade relativa (modelo Tinytag TGP-4500, Gemini Data Loggers). Estes sistemas foram colocados em abrigos, com ventilação natural, para proteção da radiação, a uma altura de 3 metros em relação à superfície do solo (**Figura 14**). A capacidade de armazenamento é de 32000 leituras, a gama de medição de temperatura situa-se entre os -25 e 85°C e a da humidade relativa entre 0 e 100%. Estes sistemas, de dimensão reduzida (altura 34 mm; largura 57 mm e profundidade 80 mm), estão bem adaptados a medições em ambiente exterior.



Figura 14 - Locais com monitorização da temperatura e humidade relativa (A); pormenor do sistema de medição sem o abrigo (B)

A medição da velocidade e direção do vento foi efetuada em três Zonas Climáticas Locais (ZCLs) utilizando anemómetro de copos e catavento (modelo 03002-L, R.M.Young). Os sensores foram colocados a 3 metros de altura em relação à superfície do solo (**Figura 15**).



Figura 15 - Locais com monitorização da temperatura, humidade relativa, velocidade e direção do vento.

A localização dos sensores de temperatura e de humidade atendeu às regras definidas na metodologia do projeto BIOURB, ainda que as restrições de segurança dos equipamentos fizessem com que alguns equipamentos fossem colocados próximos de zonas de transição entre ZCL.

A **Figura 16** apresenta a distribuição dos sensores na cidade de Bragança. Entre os aspetos mais relevantes da sua configuração destaca-se:

- Foram definidos locais de medição correspondendo a seis das sete Zonas Climáticas Locais (ZCL) propostas por Oke (2004). A não inclusão da classificação climática de maior densidade, deve-se obviamente à inexistência dessas condições no contexto urbano estudado. A estas tipologias foi ainda adicionada uma sétima categoria correspondente a locais no interior de espaços verdes urbanos, num total de três pontos, como forma de particularizar condições microclimáticas destes locais. Com a exceção dos espaços rurais na envolvente próxima da cidade (RUR), com quatro pontos de medição, todos as demais ZCLs contavam com três pontos de medição.

- Procurou-se alcançar uma distribuição equilibrada na amostragem espacial, com a inclusão de sensores espalhados por toda a cidade, de modo a assegurar a descrição de uma ampla diversidade de contextos de clima urbano.
- Não menos importante, a distribuição dos locais de medição assume a monitorização em diferentes contextos orográficos, incluindo pontos situados junto dos locais mais baixo (540 metros) e mais elevados (800 metros) da altimetria da cidade, para além de contemplar diferentes contextos topográficos.

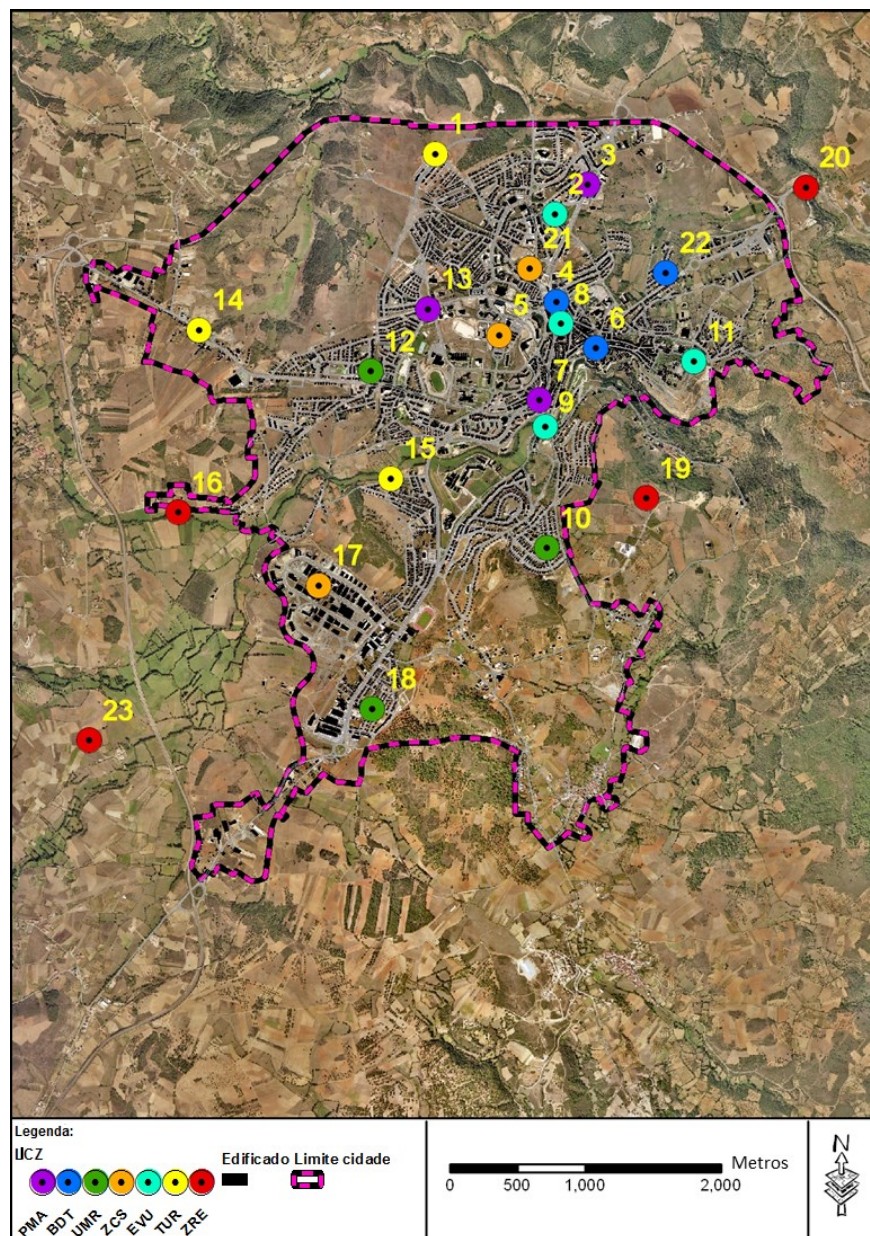


Figura 16 – Distribuição dos pontos de monitorização climática

Todos os 23 pontos de medição representados estão associados à monitorização de temperatura e de humidade. Nos pontos 6, 7 e 12 estão instalados sensores de velocidade e direção do vento, procurando descrever contextos particulares:

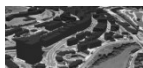
- O Ponto 6 situa-se no centro da cidade tradicional de Bragança (BDT), num espaço anteriormente ocupado por um mercado municipal e atualmente usado como um amplo espaço pavimentado, onde se realizam concertos e outras atividades culturais. Apresenta um quase contínuo de edifícios no seu exterior, apresentando uma abertura para nascente, coincidente com a transição para os espaços na envolvente do rio Fervença.
- O Ponto 7 situa-se na envolvente de um contexto de elevada concentração de edifícios, na avenida central da cidade (PMA). Este ponto apresenta algum potencial para a ocorrência de efeitos associados à condução e intensificação do vento, devido ao contexto urbano em que se insere, caracterizado pela presença de um *street canyon*, marcado pela elevada relação entre a altura dos edifícios e a largura da avenida.
- O Ponto 12 corresponde a um contexto residencial de baixa densidade (UMR), num bairro relativamente plano e situado num local exposto aos principais ventos que incidem sobre a cidade, pelo que seria expectável uma menor influência dos efeitos de rugosidade na velocidade e direção do vento.

2.2 Caracterização dos locais de monitorização

A escolha dos locais de monitorização foi consolidada pela aplicação de indicadores que permitiram descrever as características dos vários locais, tomando como referência um raio de 25 metros (**Tabela 1**). Entre estes, incluíram-se: indicadores de caracterização da morfologia urbana, o Fator de Visão do Céu (FVC), a Percentagem de Superfícies artificiais e a Rugosidade.

A **Tabela 1** demonstra existir uma grande correspondência entre as características dos locais, expressas nos indicadores, e a identidade das ZCLs. Assim, nos espaços de maior densidade do contexto local, existe, na grande maioria dos casos, um menor Fator de Visão do Céu (FVC), uma maior rugosidade e uma maior impermeabilização do solo. No outro extremo, nos espaços rurais próximos da cidade (ZRE), e mesmo nos espaços de transição urbano-rural (TUR), as condições são substancialmente diferentes, o fator de visão do céu é elevado, a rugosidade é baixa e os solos são predominantemente impermeáveis.

Tabela 1 – Zonas Climáticas Locais (ZCL)

Zona Climática Local ¹		Fator de Visão do Céu ²	Rugosidade ³	% Impermeabilidade ⁴	
PMA – Edificado moderno de altura média-alta, elevada densidade e superfícies pavimentadas			0.59 - 0.81	1.54 - 2.5	94 - 99
BDT – Núcleo mais antigo da cidade, com edificado de altura média-baixa (2 a 5 andares), elevada densidade, edificado em pedra e tijolo			0.69 - 0.92	0.93 - 1.07	88 - 99
UMR – Média densidade, ruas de habitações de baixa altura em banda ou isoladas			0.74 - 0.76	0.74 - 0.76	90 - 99
ZCS – Comercial e industrial - elevado desenvolvimento, densidade média-baixa com edifícios baixos de elevada envergadura e estacionamento pavimentado			0.82 - 0.99	0.82 - 0.99	99
EVU – Espaços verdes urbanos – cobertura predominantemente verde com vegetação em diversos estratos.			0.91 - 0.99	0.08 - 2.00	2 – 81
TUR – Espaços semirurais – casas dispersas com envolventes agricultadas e florestadas			0.97 - 1.00	0.00 - 0.15	23 - 57
ZRE – áreas rurais isoladas nos subúrbios da cidade representativas das características da paisagem local			1	0	0 – 20

Fator de Visão do Céu – mede o grau de visão da cúpula celeste desde um ponto determinado, 1 – visão total e 0 – visão nula

Rugosidade – Medida do efeito de interação entre os edifícios e o vento

Superfície Artificial (%) – Proporção de espaço coberto por edifícios e superfícies artificiais

Um fator que acrescenta complexidade na análise do Clima Urbano resulta da dispersão de pontos por diferentes altitudes, o que resulta da já apresentada variabilidade orográfica do contexto local. A **Tabela 2** apresenta a distribuição das altitudes pelos diversos pontos de monitorização considerados.

Tabela 2 - Características do local de cada sensor

Ponto	ZCL	Altitude (m)	Latitude (°)	Longitude (°)
1	TUR	679.8	-6.77	41.818
2	EVU	644.9	-6.760	41.814
3	PMA	651.4	-6.757	41.815
4	BDT	670.8	-6.760	41.808
5	ZCS	712.9	-6.765	41.806
6	BDT	651.9	-6.757	41.805
7	PMA	677.9	-6.762	41.801
8	EVU	672.1	-6.760	41.806
9	EVU	659.7	-6.761	41.799
10	UMR	720.9	-6.761	41.791
11	EVU	664.9	-6.748	41.804
12	UMR	678.6	-6.777	41.803
13	PMA	710.2	-6.771	41.807
14	TUR	709.9	-6.792	41.806
15	TUR	660.7	-6.775	41.796
16	ZRE	673.6	-6.794	41.794
17	ZCS	714.2	-6.782	41.789
18	UMR	736.8	-6.777	41.781
19	ZRE	811.8	-6.753	41.795
20	ZRE	558.1	-6.738	41.815
21	ZCS	681.6	-6.763	41.810
22	BDT	629.8	-6.751	41.809
23	ZRE	709.6	-6.803	41.779

3 Resultados

3.1 Análise dos dados

O presente relatório apresenta a análise dos resultados da monitorização climática na cidade de Bragança, interpretando dados de um ano completo de recolha, incluindo as quatro estações: Inverno (Dezembro de 2011 a Fevereiro de 2012); Primavera (Março a Maio de 2012); Verão (Junho a Agosto de 2012); e Outono (Setembro a Novembro de 2012).

A análise faz-se por uma leitura individualizada dos dados e/ou agrupando valores por ZCL, o que permite, mais do que apresentar uma leitura definitiva do clima da cidade, inviável com um conjunto limitado de dados, analisar aspetos de variabilidade do clima local, induzidos pelas condições próprias do ambiente urbano.

A **Figura 17** apresenta os valores médios da média, mínima e máxima das temperaturas nos diversos meses do projeto. Entre os aspetos mais relevantes destes dados, por comparação com os dados das series Normais Climatológicas (**Figura 11**), destaca-se:

- Uma menor precipitação, face a este referencial, durante os meses de referência do Inverno e o mês de Março;
- Em Fevereiro, valores de temperatura foram mais baixos do que os valores anteriormente descritos;
- Os meses mais chuvosos foram Outubro e Novembro, quando os valores das Normais Climatológicas remetiam para valores de precipitação mais intensa entre Dezembro e Janeiro.

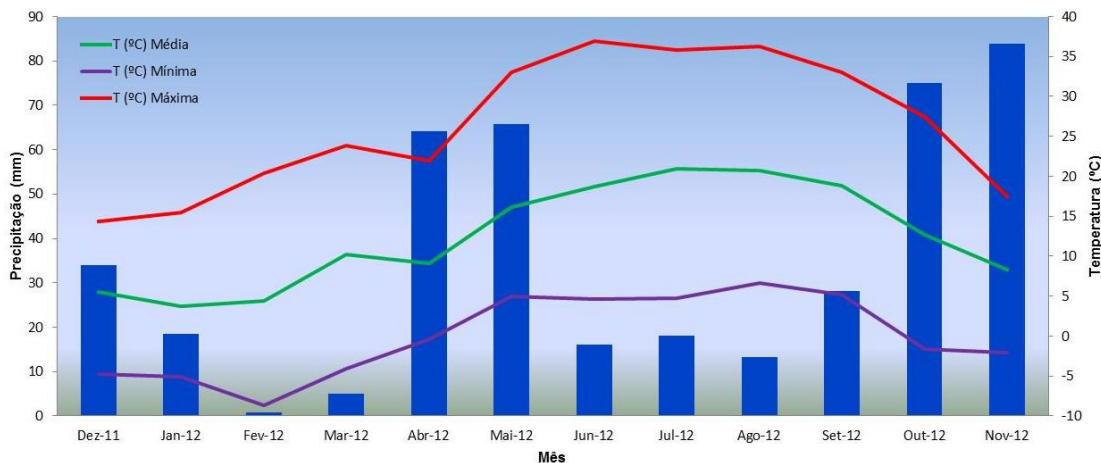


Figura 17 - Gráfico da variação mensal de precipitação e das temperaturas médias, máximas e mínimas para o período de estudo (Maia, 2013)

Apesar destas diferenças, não se poderá considerar este período como atípico, deve apenas assumir-se que existiu alguma variabilidade dos dados, como decorre das naturais diferenças interanuais nas condições meteorológicas.

3.2 Efeito de Ilha de Calor

A análise do efeito de ilha de calor urbano (EICU) é um elemento central na avaliação do clima da cidade de Bragança. Tal como apresentado na Metodologia deste projeto, este processo resulta da interação das estruturas urbanas sobre as condições meteorológicas nesta escala.

Esta análise foi precedida pela correção dos dados atendendo ao diferencial de altitude entre os diferentes pontos de monitorização. Este processo, utilizado apenas para este efeito, atendeu à necessidade de, em contextos com uma complexa orografia, corrigir os efeitos que resultam do contexto territorial e que serão apresentados e discutidos mais adiante.

Nesta correção foram selecionados dois pontos rurais (P23 e P19), nos quais não eram expectáveis efeitos urbanos. Com base nos dados destes dois pontos, foi determinado um gradiente térmico vertical horário na forma de curvas polinomiais de grau 5, com as quais se corrigiram os valores da temperatura, em função da altitude em cada um dos pontos, considerando uma altura média de referência de 680 metros (Maia, 2013).

Uma vez normalizados os dados, estes foram agrupados por cada ZCL, permitindo interpretar as diferenças entre os dados registados nos sensores pertencentes a cada uma das categorias e os espaços rurais na envolvente (RUR), descrevendo dessa forma a intensidade do EICU.

A **Figura 18** apresenta as diferenças máximas instantâneas registadas entre cada ponto representativo das ZCL e os espaços RUR. Estes dados revelam a existência de intensidades máximas do EICU que nalgumas categorias de ZCL assumem uma grande relevância. Entre os principais elementos que resultam desta análise destaca-se:

- A existência de um gradiente nos valores da mediana que traduzem uma transição desde os espaços mais urbanizados, pertencentes à categoria PMA, até aos pontos da transição urbano-rural, onde apenas subsistem pequenas diferenças. A principal divergência, face aos resultados esperados pelo gradiente de ZCL na escala de Oke (2004), dá-se para as categorias de espaços urbanos de média densidade residencial (UMR) e para as zonas comerciais e industriais (ZCS), onde se verifica uma ligeira inversão de posições. Os espaços verdes urbanos (EVU) assumem ainda um comportamento térmico favorável à ocorrência do EICU, que poderá ser explicado pelas características dos locais de amostragem, que incluem, entre outros espaços dentro do perímetro urbano, um espaço de menores dimensões num contexto altamente urbanizado (Ponto 8).
- A intensidade máxima instantânea foi registada nos meses de verão, nos espaços de média a alta densidade residencial (PMA), alcançando valores próximos a 6,6 °C, com uma mediana próxima dos 4 °C. No extremo oposto encontramos os valores da classe de transição de urbano para rural (TUR), onde os valores da intensidade máxima do EICU foram reduzidos. Nas estações de outono e inverno registaram-se os valores de menor intensidade do EICU.

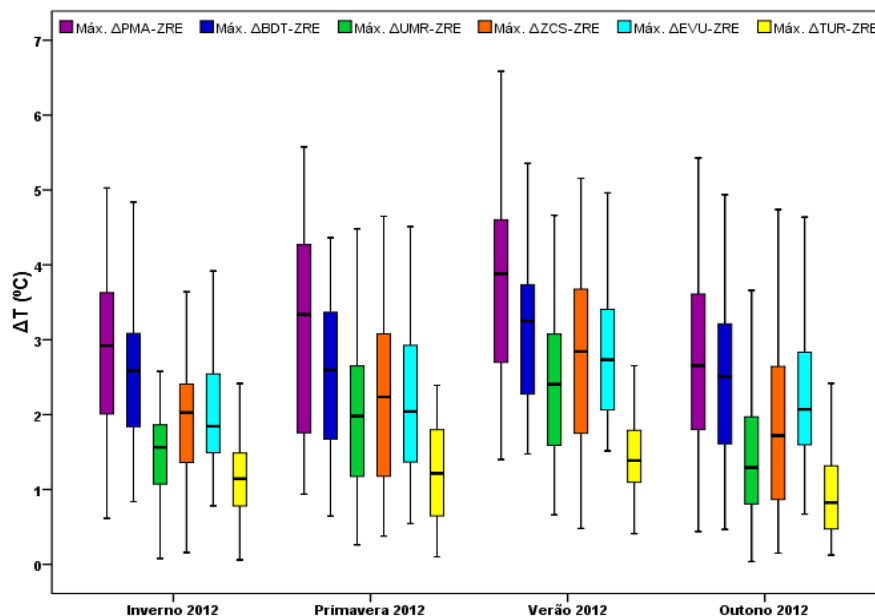


Figura 18 – Gráfico de bigodes relativo às diferenças máximas entre as temperaturas das diversas ZCL e a zona rural (RUR) nas diferentes épocas do ano.

Para compreender melhor os efeitos das diferentes ZCL na temperatura, estendeu-se a análise considerando a avaliação dos valores mínimos e máximos. Os resultados desta análise encontram-se representados na **Tabela 3**.

Tabela 3 - Dados estatísticos sazonais para as diferenças registadas entre as diferentes ZCL e a ZRE

		Inverno	Primavera	Verão	Outono
$\Delta_{PMA-ZRE}$	Média	0,79 ($\pm 1,68$)	1,05 ($\pm 1,71$)	0,98 ($\pm 2,08$)	0,83 ($\pm 1,64$)
	Mín.	-5,65	-4,87	-5,19	-4,67
	Máx.	5,03	5,58	6,58	5,43
$\Delta_{BDT-ZRE}$	Média	1,25 ($\pm 0,96$)	1,27 ($\pm 1,0$)	1,06 ($\pm 1,31$)	1,22 ($\pm 0,95$)
	Mín.	-3,00	-2,82	-3,52	-2,54
	Máx.	4,84	4,36	5,36	4,94
$\Delta_{UMR-ZRE}$	Média	0,40 ($\pm 0,92$)	0,79 ($\pm 0,91$)	0,85 ($\pm 1,03$)	0,33 ($\pm 0,90$)
	Mín.	-3,47	-2,75	-1,52	-2,60
	Máx.	3,99	4,48	4,66	3,75
$\Delta_{ZCS-ZRE}$	Média	0,56 ($\pm 0,98$)	0,89 ($\pm 1,06$)	0,80 ($\pm 1,35$)	0,54 ($\pm 1,02$)
	Mín.	-2,75	-1,84	-2,64	-2,42
	Máx.	3,64	4,65	5,16	4,74
$\Delta_{EVU-ZRE}$	Média	0,31 ($\pm 1,33$)	0,79 ($\pm 0,98$)	0,66 ($\pm 1,37$)	0,68 ($\pm 1,23$)
	Mín.	-5,72	-2,44	-3,46	-3,70
	Máx.	3,92	4,51	4,96	4,93
$\Delta_{TUR-ZRE}$	Média	0,20 ($\pm 0,67$)	0,37 ($\pm 0,58$)	0,18 ($\pm 0,72$)	0,15 ($\pm 0,55$)
	Mín.	-2,83	-1,16	-1,47	-2,68
	Máx.	2,59	2,39	2,94	2,69

Os resultados apresentados demonstram a elevada variabilidade no contraste urbano-rural, sem que o EICU seja o único efeito presente. Em particular, destaca-se a elevada intensidade do efeito inverso ao EICU, no denominado Efeito de Ilha de Frio Urbana (EIFU), um processo frequentemente ignorado, mas que no contexto local assume uma intensidade similar ao primeiro processo, mas de sinal contrário.

Para compreender melhor estes processos deve atender-se à variação relativa dos dados de temperatura. Ambos os efeitos podem ser interpretados pela análise dos gráficos de caracterização das diferenças horários entre as ZCL e o contexto rural (**Figura 19**). No trabalho de Maia (2013) pode-se encontrar uma prolongada análise destes processos.

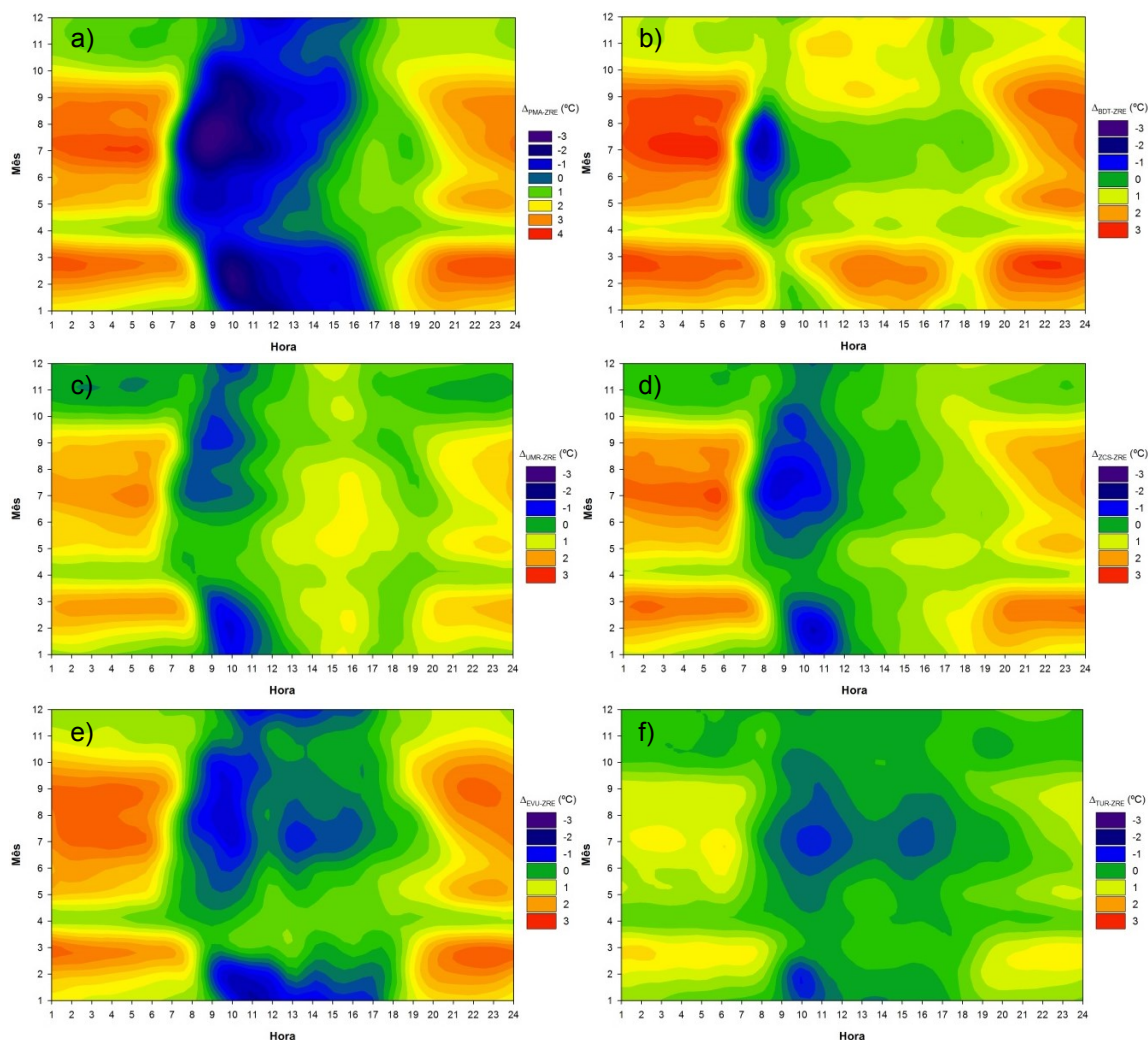


Figura 19 - Variação horária e mensal da intensidade média do EICU: a) $\Delta T_{PMA-ZRE}$; b) $\Delta T_{BDT-ZRE}$; c) $\Delta T_{UMR-ZRE}$; d) $\Delta T_{ZCS-ZRE}$; e) $\Delta T_{EVU-ZRE}$; f) $\Delta T_{TUR-ZRE}$. Fonte: Maia (2013).

A análise destes dados permite interpretar a variação dos efeitos do espaço urbano, numa perspetiva dinâmica, demonstrando a elevada complexidade do comportamento do ambiente térmico. Entre os aspetos mais relevantes que resultam da análise da **Figura 19**, pode salientar-se a presença destes dois processos complementares anteriormente apresentados, o EICU e o EIFU.

O EICU, amplamente referenciado na metodologia do projeto e no Manual de Desenho Bioclimático Urbano, resulta de uma maior acumulação de calor nos espaços urbanos, pelo efeito combinado da retenção de calor nas superfícies e a menor libertação do calor absorvido durante o dia. Esse efeito é sentido com maior intensidade no período que antecede o nascer do sol, momento em que a disparidade entre o comportamento térmico dos espaços urbanos assumiu, nas ZCL mais urbanas (classes PMA e BDT), uma intensidade máxima. Este efeito assumiu nos meses de Verão valores médios próximos dos 3°C, dados estes que complementam a interpretação dos valores extremos anteriormente apresentados. Trata-se de um efeito progressivo, que se inicia com o por do sol e que assume um carácter de progressiva intensificação. Estes resultados assumem grande relevância quando consideradas as repercussões que este incremento de calor pode ter em contextos de ondas de calor, recorrentes neste período do ano.

O EIFU, de sinal inverso, ocorre nas primeiras horas após o amanhecer, e resulta do efeito combinado entre o mais rápido aquecimento das superfícies dos espaços rurais, motivado por valores de inércia térmica inferiores aos espaços urbanos, e de um menor sombreamento provocado pelos edifícios e estruturas urbanas, motivando assim a existência de temperaturas mais baixas nos espaços rurais do que nos espaços urbanos.

Tal como no EICU, o EIFU assume maior intensidade nas ZCL associadas a uma urbanização mais intensa. A intensidade máxima ocorre pouco depois do nascer do sol e é depois atenuada com o avançar da manhã, sendo este efeito revertido perto do meio-dia solar, momento a partir do qual se inicia, quando as condições são apropriadas, o processo de formação do EICU, que se irá estender até ao amanhecer.

Igualmente relevantes são as variações na intensidade destes fenómenos, que resultam das condições de estabilidade. Como pode ser constatado pela análise comparada da **Figura 17** e da **Figura 19**, e como é claramente descrito no trabalho desenvolvido por Maia (2013), em contextos de maior pluviosidade e maior intensidade do vento, ambos os efeitos térmicos anteriormente descritos são atenuados, sendo esse o caso notório de grande parte dos dias dos meses de Abril, Maio, Novembro e Dezembro de 2012.

3.3 Análise da Velocidade e Direção do Vento

Os dados da velocidade e direção do vento foram registados numa estação de referência e em três locais específicos do espaço urbano, anteriormente apresentados.

Iniciando a análise pelos dados registados na estação meteorológica de referência, apresentam-se, na **Figura 20**, os valores anuais e subdivididos pelas quatro estações do ano. Considerando os dados anuais, verifica-se que sobressaem pela sua predominância e intensidade os ventos de sul e sudoeste.

No que respeita à variação sazonal, verificou-se na estação de inverno alguma representatividade do vento do quadrante nordeste, enquanto na primavera, o vento de sudoeste assumiu uma frequência e intensidade diferente da sentida nas restantes estações.

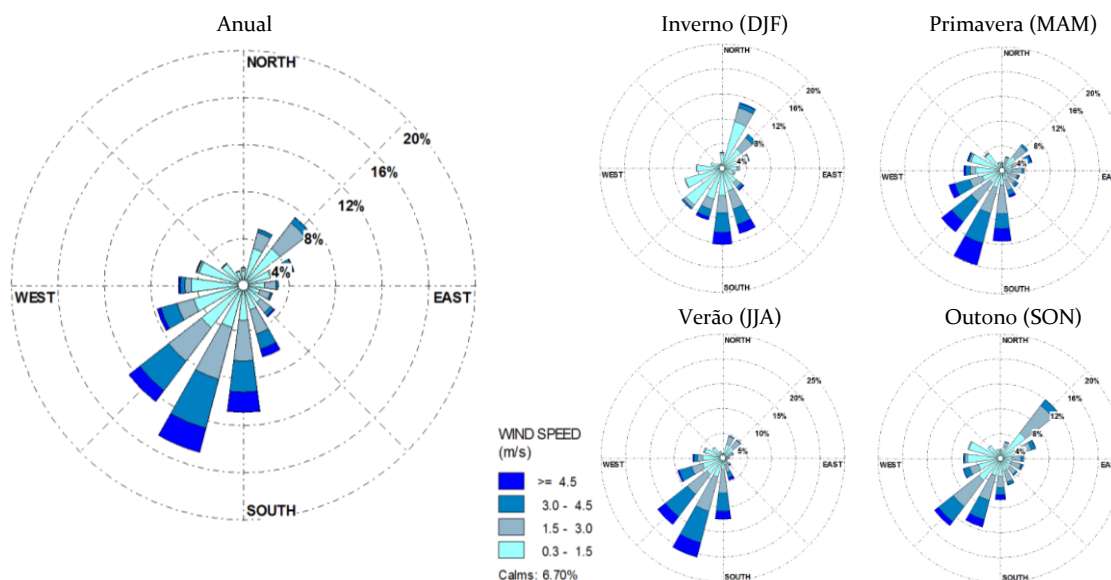


Figura 20 – Rosa-dos-ventos para a estação de referência. Dados anuais e por estação.

No que respeita à monitorização desenvolvida em três dos locais de monitorização, resulta evidente a relação existente entre as características dos locais e os dados da velocidade e direção do vento.

Analisando os resultados do ponto 7 (**Figura 21**), situado num espaço pertencente à classe PMA, estes demonstram uma clara relação entre os registos de direção do vento e o sentido do corredor urbano da Avenida Sá Carneiro, ladeado por edifícios altos (5 a 8 pisos). Assim, verifica-se ser o corredor sudoeste/nordeste o que concentra os ventos que incidem neste local, enquanto praticamente se anulam as restantes orientações. De destacar ainda que neste espaço se regista uma maior persistência de condições de vento nulo ou quase nulo (calmas ou calmarias), o que pode ser explicado pela atenuação do vento motivado pela maior rugosidade registada neste local.

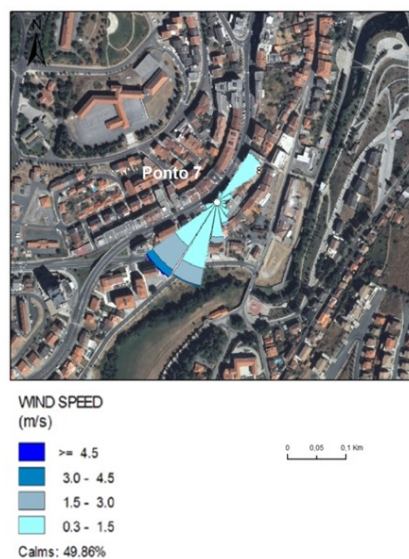


Figura 21 – Rosa-dos-ventos para o ponto 7

No que respeita aos dados do ponto 6 (**Figura 22**), situado numa praça associada a um espaço de média a baixa densidade tradicional (BDT), os resultados demonstram igualmente uma relação entre o contexto urbano e o comportamento do vento. Assim, verifica-se que as características da Praça Camões, semicerrada e com uma abertura para a envolvente do rio Fervença, favorecem a ventilação nos quadrantes orientados para este corredor ribeirinho.

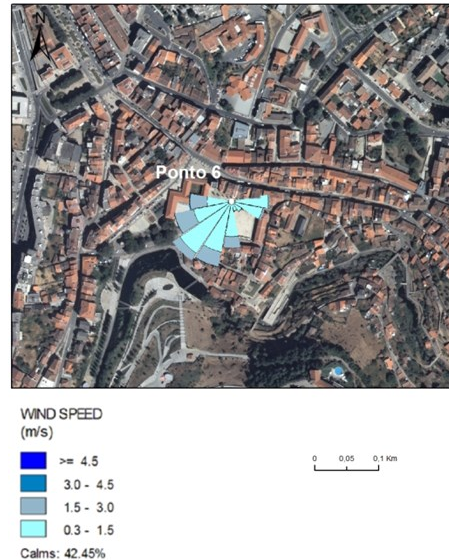


Figura 22 – Rosa-dos-ventos para o ponto 6

No que respeita aos dados do ponto 12 (**Figura 23**), situado numa rua associada a um espaço de média densidade residencial (UMR), os resultados revelam um comportamento semelhante ao registado no ponto 6, com uma predominância dos ventos ao longo do eixo da via, com uma evidente atenuação dos ventos originários dos restantes quadrantes.



Figura 23 – Rosa-dos-ventos para o ponto 12

A análise da intensidade e direção do vento em contextos urbanos específicos não permite, no entanto, generalizar as interpretações locais para a globalidade do espaço urbano. Os dados apresentados demonstram, em todo o caso, a ocorrência de processos associados à interação entre o vento e as estruturas urbanas, incluindo os efeitos da rugosidade e da canalização do vento no espaço urbano.

3.4 Mapas de Isolinhas

A existência de uma rede densa de monitorização da temperatura e da humidade permite a aplicação de métodos geoestatísticos na interpretação dos dados meteorológicos, que conduzem a criação de mapas de isolinhas. Neste projeto recorreu-se a técnicas de *krigagem* Simples como o método de referência.

Na construção dos mapas de isolinhas foram usados valores médios das máximas e das mínimas de temperatura e humidade para cada uma das estações do ano. Ao contrário do que sucedeu com a análise do EICU, não foram considerados valores corrigidos, porque se pretende analisar os efeitos combinados de todos os fatores que atuam sobre o clima urbano, não apenas dos fatores que resultam de transformações induzidas pelas estruturas urbanas.

3.4.1 Isolinhas de Temperatura

As isolinhas das médias das máximas e mínimas de temperatura são apresentadas na **Figura 24**. Por representarem condições muito distintas do ponto de vista do comportamento desta variável, a análise faz-se pela leitura separada quanto à média dos valores máximos e mínimos para cada estação.

A análise do mapa de isolinhas para as médias das temperaturas mínimas permite uma aproximação à leitura descritiva dos seguintes processos climáticos:

- Os valores mais baixos para as temperaturas mínimas ocorreram invariavelmente no contexto peri-urbano, nos vales e zonas adjacentes. Este processo encontra-se naturalmente associado à drenagem de massas de ar frio em espaços culminantes nos pontos mais baixos dos vales de montanha e às condições de ventilação/estagnação térmica desses locais. Este processo tem repercussões nos valores registados nos pontos 15, 16 e 20, sendo clara a relação de continuidade entre os dois primeiros pontos;
- Os valores mais elevados para as temperaturas mínimas registaram-se nos locais onde a intensidade do EICU assume maior preponderância e que corresponde às ZCL onde predominam os solos impermeabilizados e os edifícios com uma maior volumetria e densidade, esse é claramente o caso extremo dos pontos da zona mais central da cidade, que adicionalmente se encontram protegidos por alguma da rugosidade urbana;
- Verificou-se ainda existir um incremento da temperatura mínima nos pontos mais altos, como resultado dos processos de inversão térmica noturna, que foram predominantes no período de análise, e que foram registados em períodos de maior estabilidade.

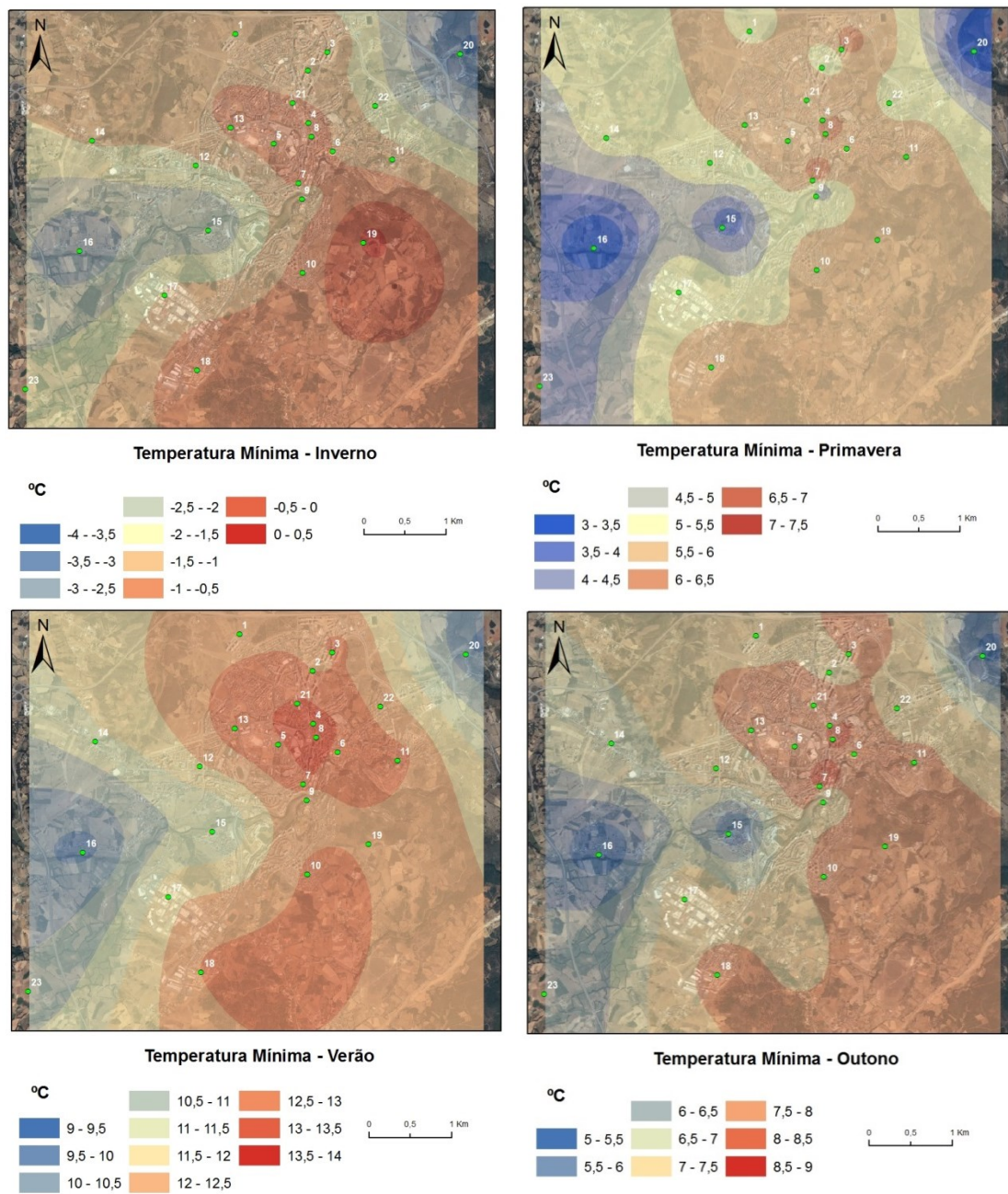


Figura 24 – Isolinhas das médias das temperaturas mínimas diárias, por estações do ano.

O comportamento da temperatura a sua natural variação em função da estação do ano, verifica-se, no entanto, uma intensificação dos processos anteriormente descritos associado aos valores médios do período de Verão, onde as diferenças nas médias das temperaturas mínimas alcançam diferenças próximas do 5°C, ligeiramente acima das registadas nas restantes estações.

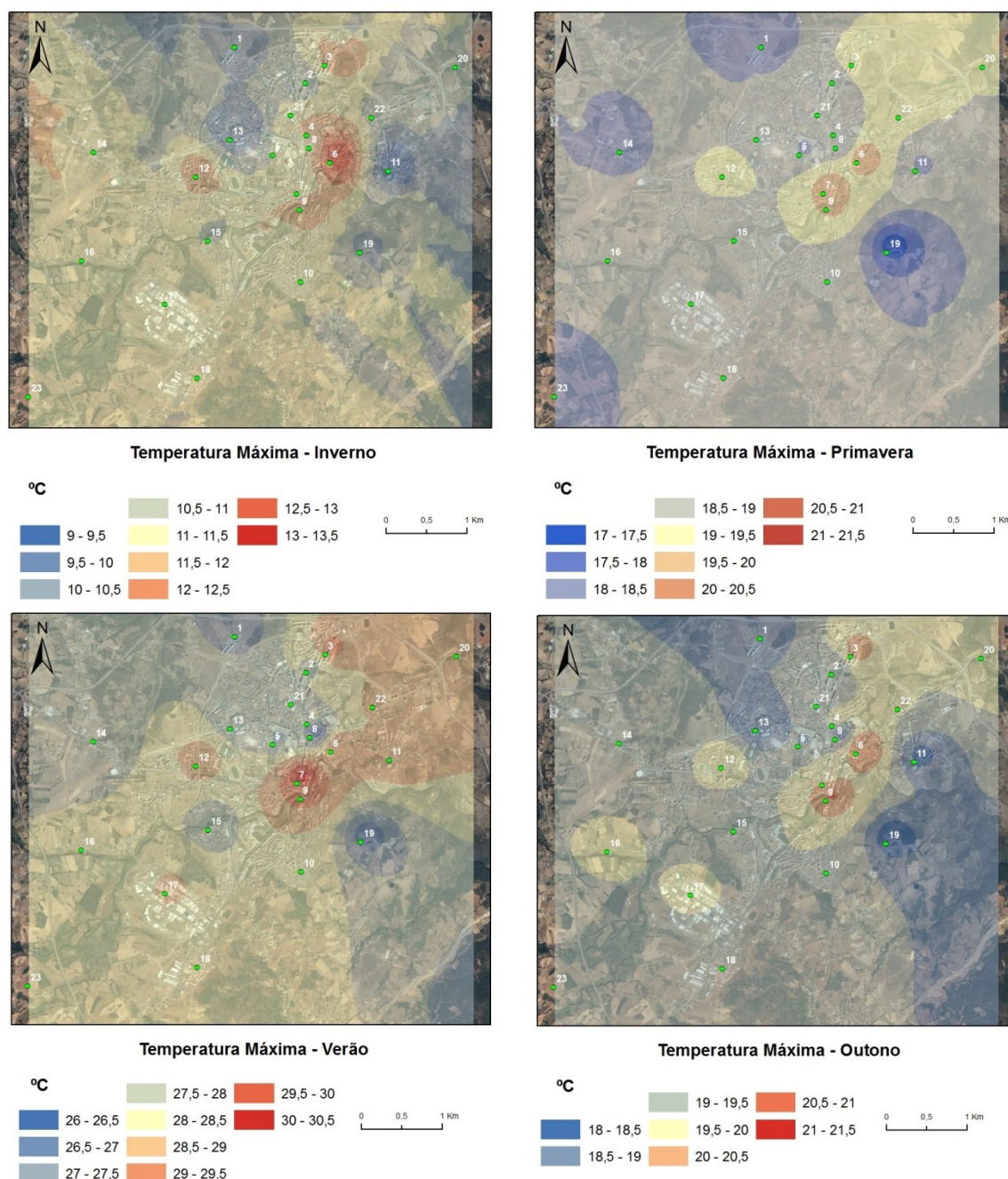


Figura 25 – Isolinhas das médias das temperaturas máximas diárias, por estações do ano.

A análise do mapa de isolinhas para as médias das temperaturas máximas (**Figura 25**) assume uma maior complexidade, quando comparando com as interpretações dos valores anteriormente apresentados para as mínimas. As temperaturas máximas são condicionadas, à semelhança de outras variáveis, pelo comportamento do ambiente radiativo, que, no entanto, é mais complexo durante o dia, resultando de uma ampla diversidade de processos de microescala, como os efeitos da incidência de sombra sobre a envolvente dos locais de monitorização. Podem identificar-se algumas situações particulares:

- Alguns sensores localizados nos pontos mais intensamente urbanizados são os que apresentam um registo da média das temperatura máximas mais elevado, como nos casos dos sensores 6 e 7;
- Os pontos de maior altitude no contexto urbano e periurbano apresentam uma média das temperaturas máximas mais baixas, por oposição aos pontos mais baixos onde se alcançam médias dos valores máximos mais elevadas.

Como é visível na **Figura 25**, com a exceção do comportamento das variáveis anteriormente mencionados, não é possível identificar um padrão plenamente coerente para muitos valores, pois existem variações entre pontos próximos motivadas por processos microclimáticos.

3.4.2 Isolinhas de Humidade Relativa

A leitura das observações da humidade relativa deve fazer-se, no contexto local, em conjugação com as observações da temperatura do ar.

A **Figura 26** apresenta os valores da média dos valores máximos diários da humidade relativa, sendo clara a relação entre estes valores e os correspondentes à média das temperaturas mínimas (**Figura 24**), essa relação faz com que sejam os pontos onde se alcançaram as temperaturas mais baixas, aqueles em que a humidade relativa é mais elevada. Este facto deve-se naturalmente à relação existente entre estas duas variáveis, que determina que seja nos pontos de acumulação de ar frio, no período noturno, onde se alcancem valores mais elevados de humidade relativa.

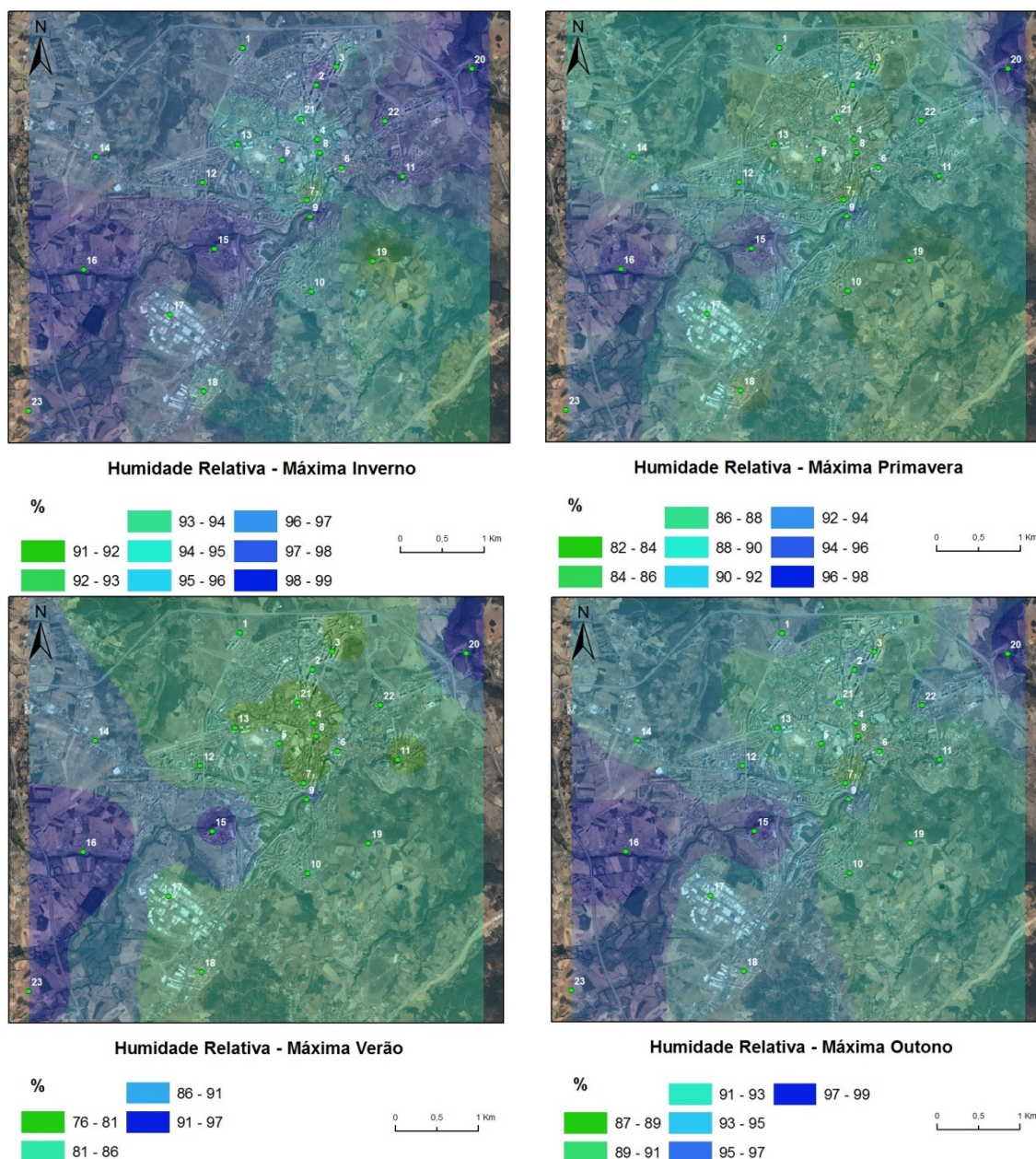


Figura 26 – Isolinhas das médias diárias para a humidade relativa máxima, por estações do ano.

No que respeita às isolinhas da média dos valores mínimos diários da humidade relativa (**Figura 27**), verifica-se existir uma correspondência entre estes mapas e os valores da média das temperaturas máximas (**Figura 25**). Nesta representação aproximada da variação da humidade relativa constatou-se a existência de uma relação entre os locais onde se alcançam as temperaturas mais elevadas e as condições de menor humidade relativa.

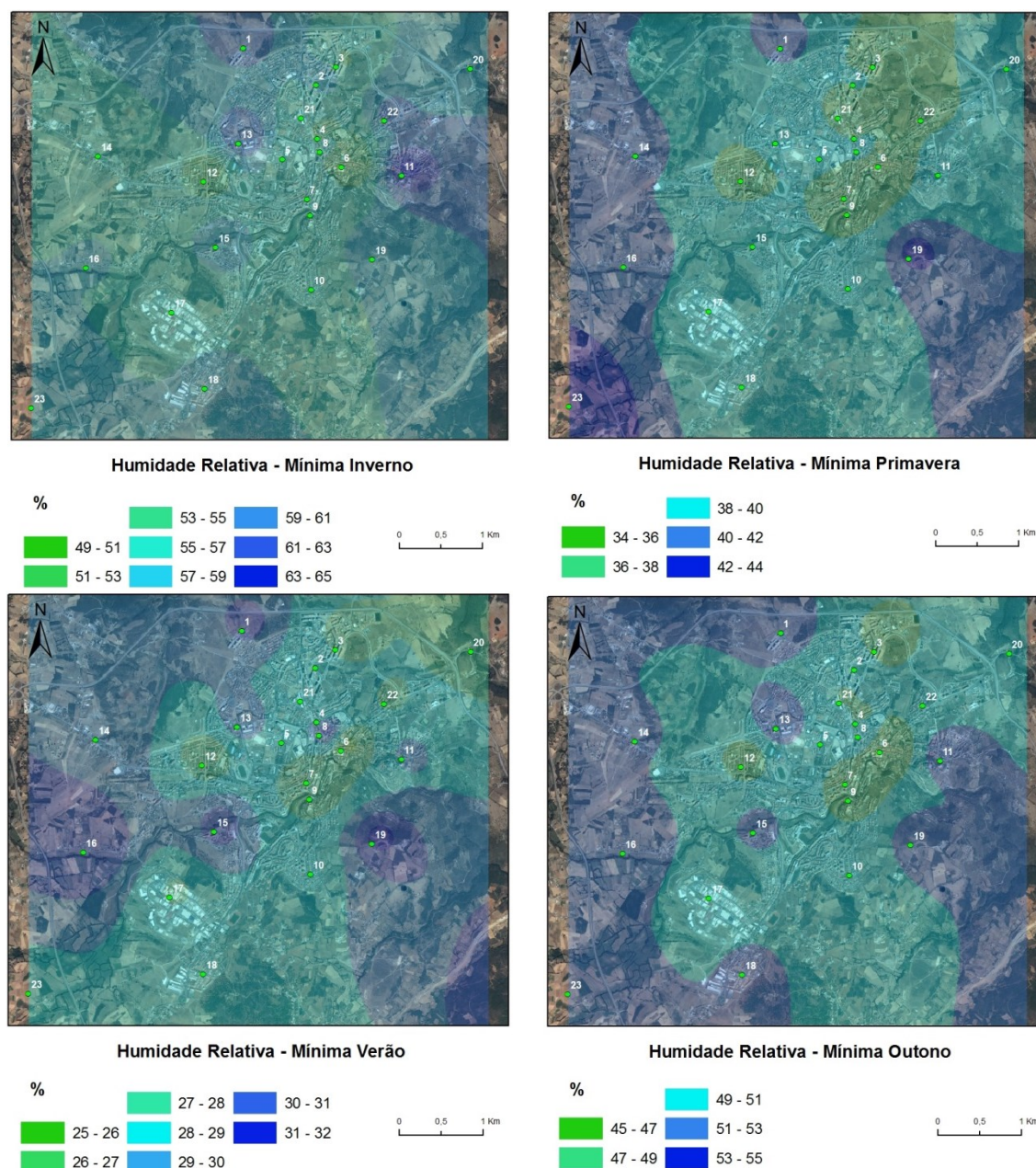


Figura 27 – Isolinhas das médias diárias para a Humidade Relativa Mínima, por estações do ano.

Considerando os valores de referência para a condição de conforto previstas no diagrama de Olgay (1998 [1963]), constata-se que os valores médios da humidade relativa estão acima dos valores mínimos de referência para a condição de conforto, situada nos 20%. Analisando os valores médios diários da humidade relativa máxima constata-se, por contraste, que os valores registados superam, em grande parte dos locais, o valor de referência para a humidade máxima de conforto, situada nos 80%, esse limite foi alcançado de modo mais abrangente e frequente no período de Outono e Inverno, estando geralmente associado a períodos de maior pluviosidade.

4 Mapeamento do Clima Urbano

Tal como descrito no guia metodológico, o mapeamento climático processa-se pela sobreposição de camadas sucessivas de informação, que descrevem características do espaço urbano e do contexto territorial, com influência sobre as condições meteorológicas que possibilitam a descrição dos processos climáticos existentes no contexto local.

O processo de mapeamento climático teve como ponto de partida a definição das manchas correspondentes ao conceito espacial de “quarteirão” urbano, para as quais foi atribuída uma caracterização correspondente a uma tipologia das Zonas Climáticas Locais (ZCL), seguindo a metodologia proposta no projeto BIOURB, da qual resultou o mapa apresentado na **Figura 28**. Com base na identificação destas unidades fundamentais, foram incorporados indicadores de caracterização de cada uma destas unidades básicas do espaço urbano.

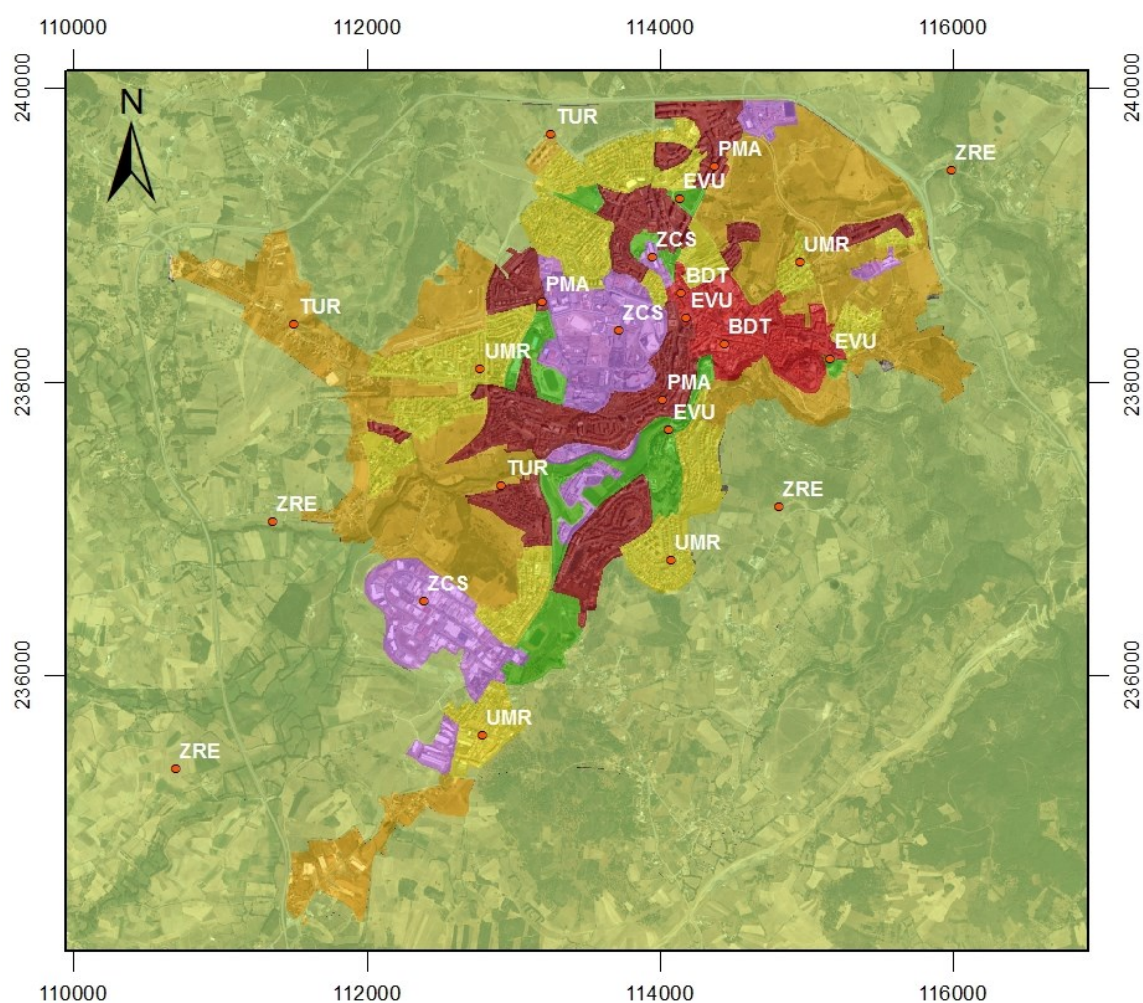


Figura 28 – Zonas climáticas locais de Bragança e a localização dos sensores de temperatura e humidade

4.1 Carga Térmica Potencial

O mapeamento da carga térmica traduz a presença de processos precursores do EICU, que, como apresentados anteriormente, assumem variações ao longo do dia. Para esta camada foram considerados três elementos de caracterização: percentagem de superfície edificada, volume do edificado e potencial arrefecimento por áreas verdes.

4.1.1 Fração do solo ocupada por Superfícies Artificiais

A construção deste mapa resultou da identificação, em ortofotos, do conjunto de solos ocupados por edifícios e estruturas artificiais. Dada a disponibilidade da informação relativa aos espaços não edificados, que compõem o “negativo” desta camada, assumiu-se primeiramente a atualização destes espaços “verdes” para depois, por diferença, estabelecer a camada de espaços artificializados. O mapa resultante desta análise, na forma de uma escala de quatro intervalos regulares, é apresentado na **Figura 29**.

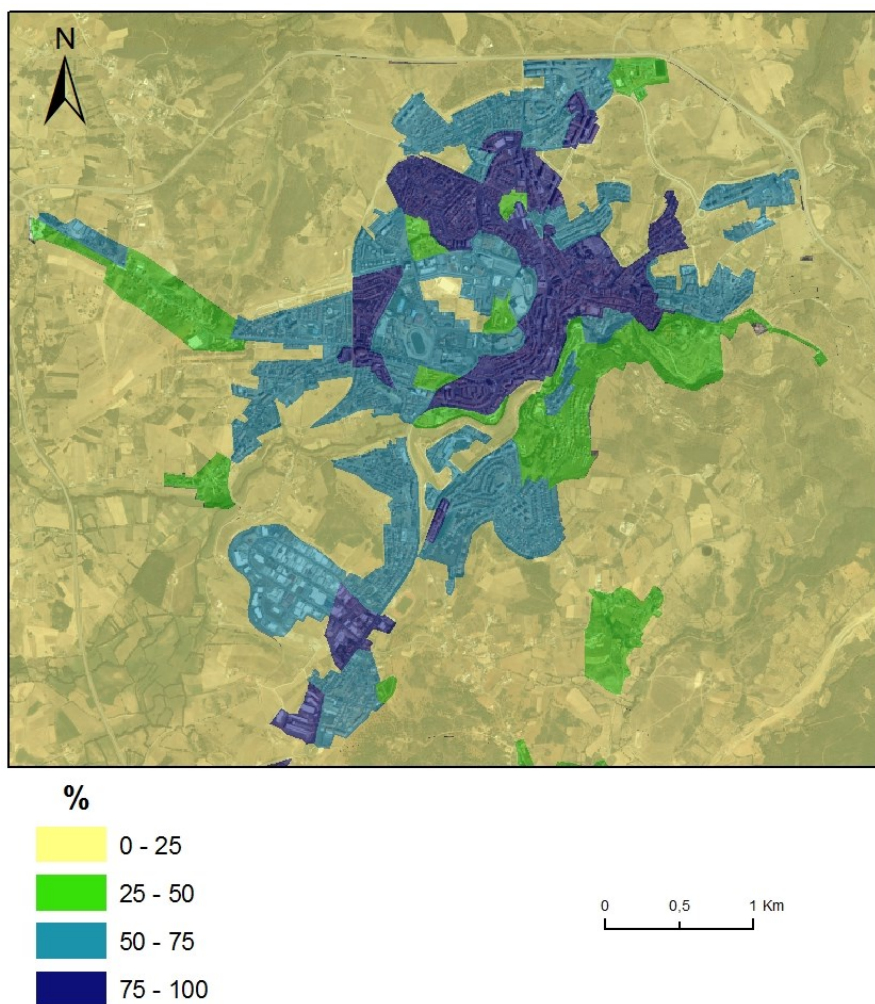


Figura 29 – Fração do solo ocupada por Superfícies Artificiais, em percentagem.

4.1.2 Volumetria do Edificado

O mapeamento da distribuição espacial da volumetria do edificado, por intermédio do Índice Volumétrico, foi calculado tendo por base a mesma referência espacial de análise, o “quarteirão”, sendo incorporados no processo os valores aproximados da volumetria do edificado. Esta volumetria foi estimada tomando como referência o número de pisos (multiplicado pela altura média entre lajes) e a área de inserção de cada edifício. O mapa resultante é apresentado na **Figura 30**.

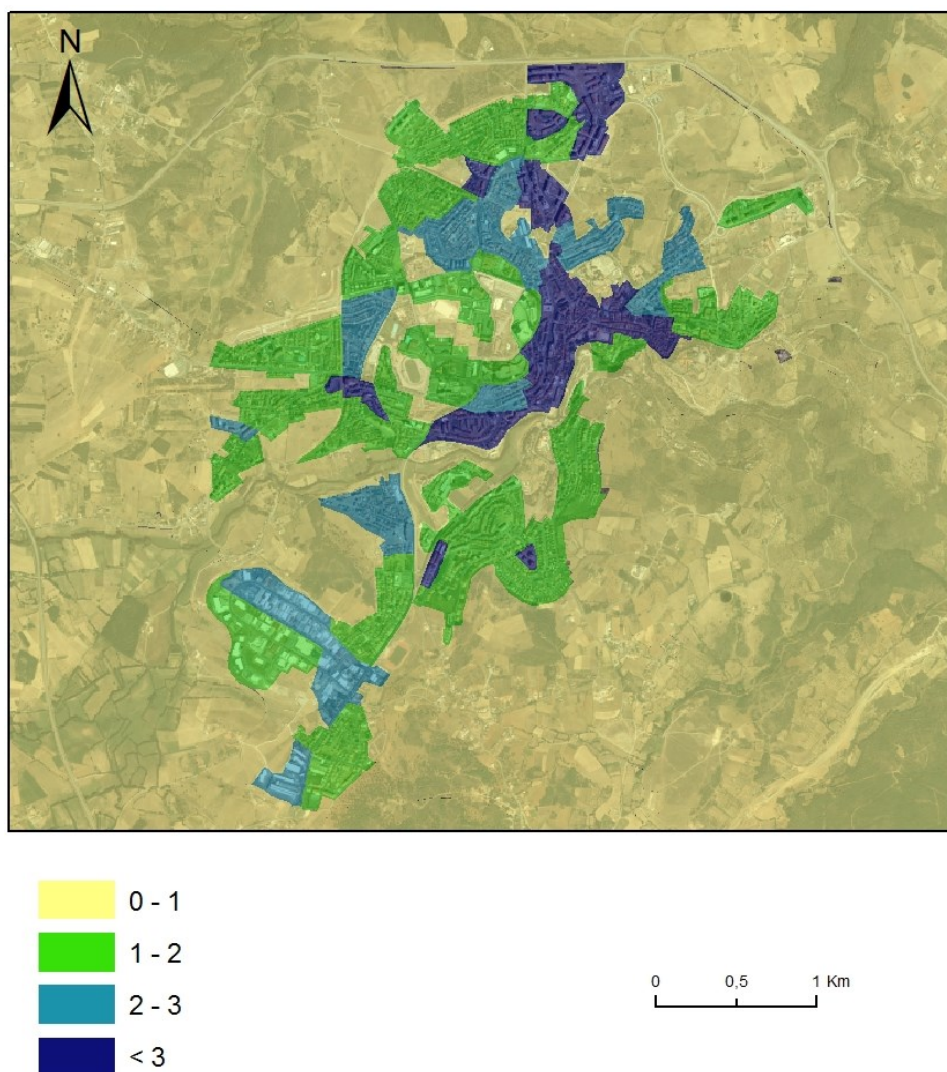


Figura 30 – Índice Volumétrico (metros)

4.1.3 Áreas Verdes (Potencial de Arrefecimento)

Os espaços verdes são um importante elemento na atenuação do EICU, podendo ainda oferecer condições micrometeorológicas favoráveis à utilização dos espaços exteriores. Para efeitos de definição desta categoria de espaços, apenas foram consideradas as manchas com vegetação superiores a um hectare de superfície.²

Os dados relativos às manchas de espaços verdes urbanos foram organizados para incluir a sua subdivisão em três categorias de coberto vegetal predominante (**Figura 31**): vegetação herbácea, vegetação arbustiva e vegetação arbórea.

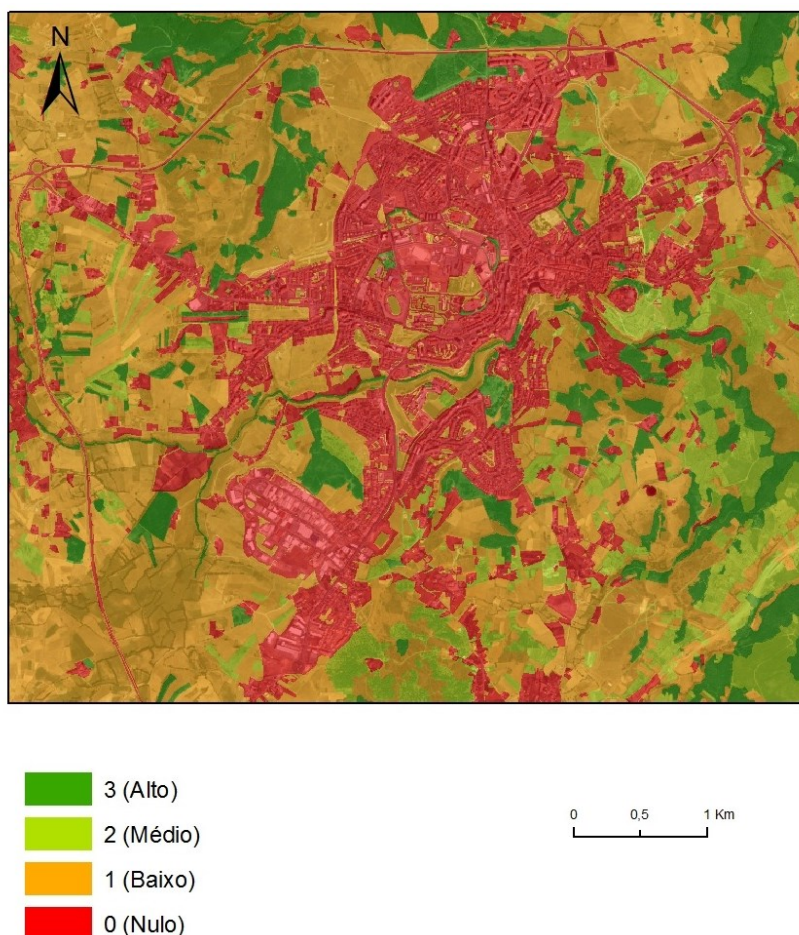


Figura 31 – Efeito potencial da vegetação na atenuação da acumulação de calor.
Vegetação predominante: 0 – Sem Vegetação, 1 - herbácea, 2 - arbustiva e 3 – arbórea.

² Cabe recordar que a presença de vegetação nos diversos quarteirões é já interpretada quando considerada a percentagem de espaços artificiais no seu interior.

4.1.4 Mapa de Síntese

A combinação das camadas de informação apresentadas permite a construção de um mapa com uma previsão das principais características do comportamento térmico dos diferentes conjuntos de elementos presentes no espaço urbano, incluindo a combinação dos efeitos associados às superfícies, ao edificado e aos espaços contendo vegetação.

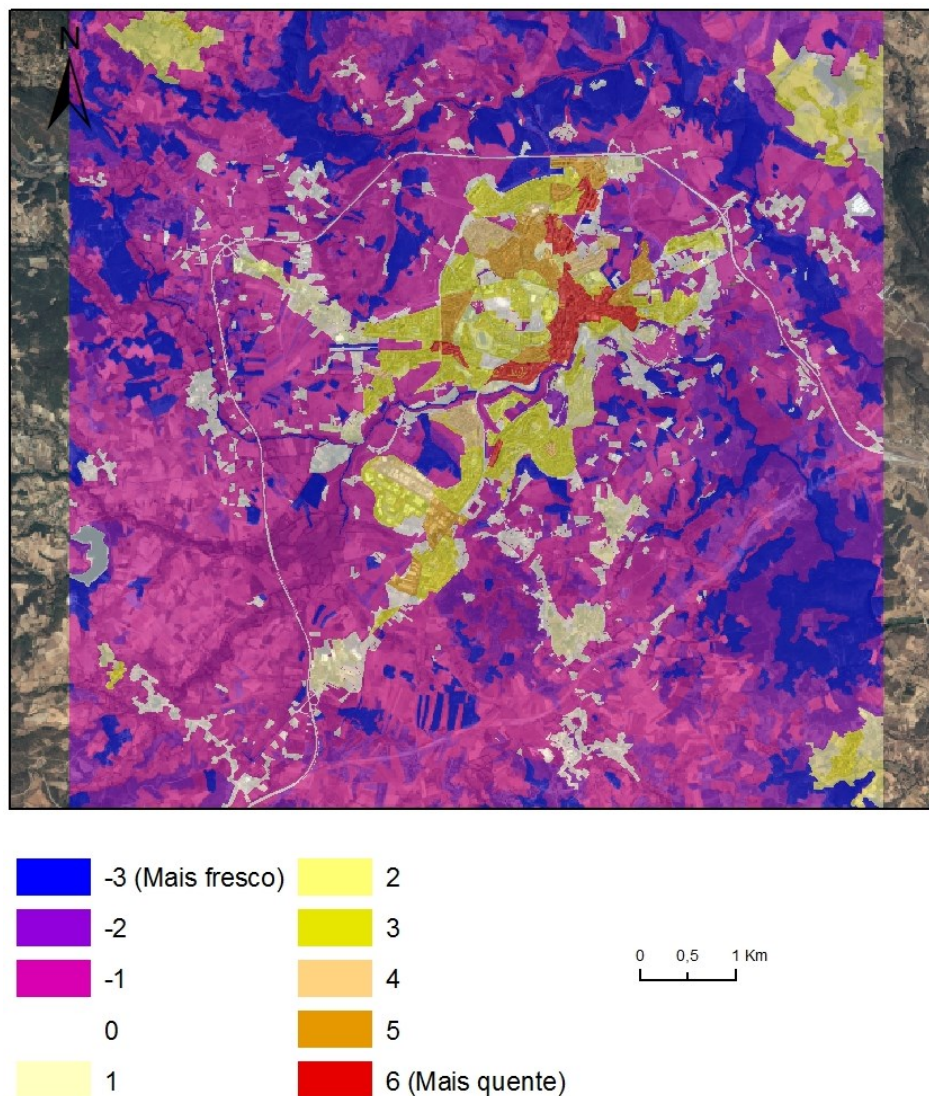


Figura 32 – Carga térmica potencial

O mapeamento do potencial térmico (**Figura 32**), descrito na metodologia deste projeto, assume a definição de uma escala de graduação de efeitos potenciais, por sobreposição das três camadas anteriormente apresentadas. Esta nova escala assume a forma numérica, por aproximação às unidades, em que os valores mais baixos refletem a presença de amplas superfícies com vegetação arbórea, que oferecem sombra e superfícies de menor aquecimento, e em que, no sentido oposto, encontramos os espaços com uma predominância dos espaços edificados ou ocupados com superfícies artificiais, combinada com a relação entre a volumetria do edificado e a superfície de referência. A combinação aritmética destes fatores reflete um incremento do potencial para a ocorrência de processos de acumulação de calor e de formação do EICU.

4.2 Fatores Dinâmicos Potenciais

Na análise dos fatores dinâmicos potenciais assume-se uma construção diferenciada da apresentada para a Carga Térmica. Nesta análise assumem-se duas leituras complementares: a que resulta dos efeitos topográficos, com variações ao longo do dia e que determinam uma interação com processos de meso-escala; e a interação com os ventos dominantes, dependente das condições sinóticas e de processos de interação na mesoescala.

4.2.1 Análise topográfica

Para melhor compreensão, a análise topográfica pode ser desagregada em componentes distintas: a que corresponde aos processos associados às formas côncavas; e a que corresponde às formas convexas do território. Adicionalmente podem ainda ocorrer processos associados ao percurso das massas de ar entre ambos os processos, como no caso das brisas de vale e de montanha.



■ Zonas Adjacentes
■ Fundos de Vales

Figura 33 – Zonas de acumulação de massas de ar frio nos fundos dos vales e nos espaços iniciais das suas encostas

Na **Figura 33** são apresentados os resultados da aplicação do modelo de análise topográfica (Topographic Position Index - TPI) para a identificação dos espaços de fundo de vale e das zonas envolventes. Nestes espaços é de esperar a ocorrência de acumulação de massas de ar frio

drenadas pelas encostas dos vales, o que propicia a ocorrência das temperaturas mínimas neste contexto territorial, registadas no período noturno, pouco antes do nascer do sol. Este fenómeno terá tendência a decorrer com maior intensidade nos períodos em que a atmosfera apresente condições de maior estabilidade.

No período diurno, em contextos de relevo complexo, verifica-se ser nestes locais côncavos onde se atingem habitualmente as temperaturas mais elevadas por oposição aos locais situados a maior altitude. Este padrão está associado ao perfil vertical de temperatura que no período diurno tende a apresentar um decréscimo em altitude.

Ao longo do tempo, a cidade de Bragança tem vindo a crescer sem apenas ocupar os espaços nos locais mais baixos dos vales e, em particular, as zonas em que estes processos poderiam assumir uma maior intensidade, como no caso do vale da “Veiga de Gostei” ou mesmo do campus de Santa Apolónia. Persistem ainda assim algumas sobreposições, registadas numa estreita faixa junto ao rio Fervença, em parte da zona central da cidade, junto às encostas do Castelo e na envolvente da Avenida do Sabor.

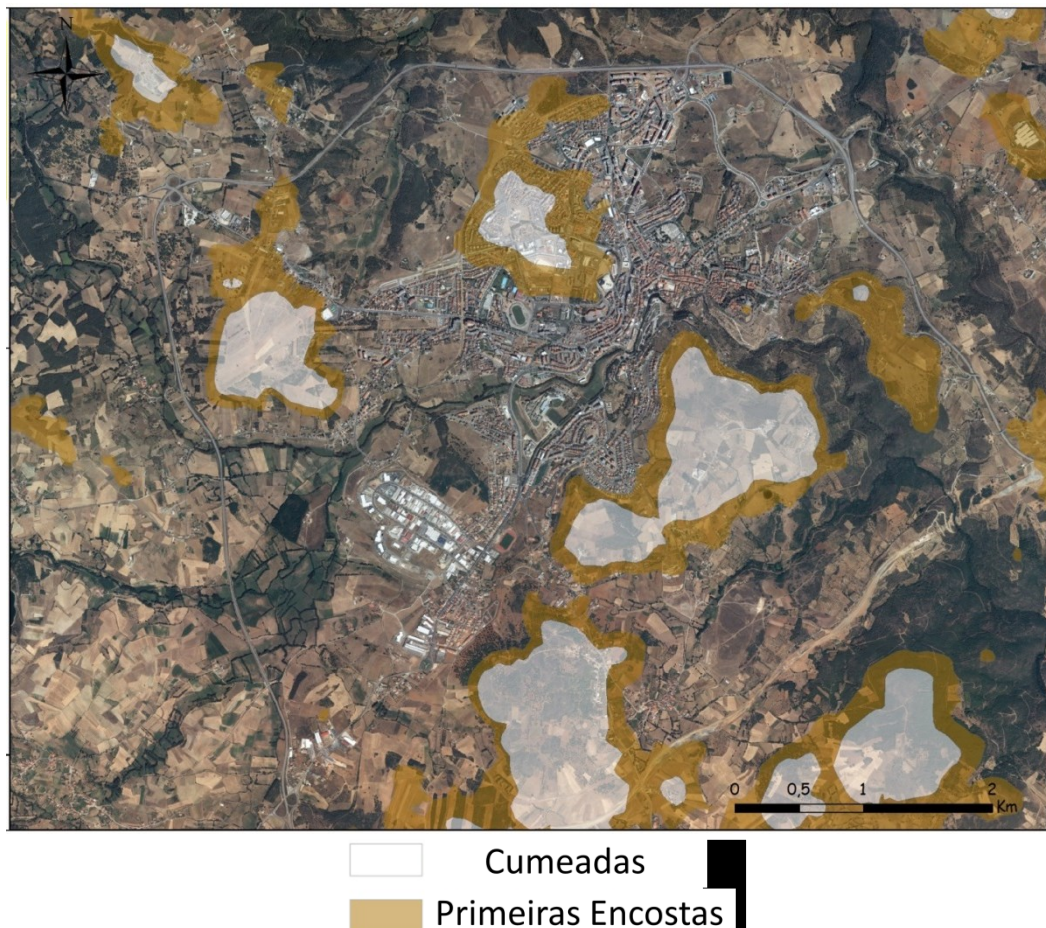


Figura 34 – Zonas de Cumeada e primeiras encostas

A **Figura 34** representa, recorrendo novamente à interpretação pelo indicador TPI, os locais que estão associados às formas convexas do terreno e onde se incluem as zonas de cumeadas e encostas que lhes são adjacentes. Estes espaços, naturalmente associados à rugosidade do território, são espaços mais expostos aos ventos regionais, em particular nas cumeadas e encostas mais expostas aos ventos dominantes.

Ao longo do processo de expansão urbana, a cidade de Bragança teve, nas últimas décadas, um crescimento que motivou a ocupação de alguns dos espaços identificados com cumeadas e primeiras encostas. Nestes espaços é expectável que se registem diversos processos incluindo: uma maior exposição a ventos de fundo de maior intensidade, quando estes incidem sobre os quadrantes mais expostos destas cumeadas e encostas; em contextos de maior estabilidade atmosférica e no período noturno, a drenagem de massas de ar frio, ao longo das encostas no sentido descendente, influencia o ambiente térmico destes locais; finalmente, no período diurno, e dada a variação da altitude no contexto local, é expectável a ocorrência de temperaturas mais baixas nos pontos mais elevados, quando comparadas com as temperaturas registadas nos pontos mais baixos dos vales.

Pode ainda haver lugar à formação de brisas de montanha com alguma intensidade, associadas a contextos de maior declive em zonas de montanha. Este processo é residual no contexto urbano da cidade de Bragança e será apenas representado no mapa de síntese dos fatores dinâmicos, considerando encostas com um declive superior a 25% de inclinação.

4.2.2 Rugosidade

A rugosidade traduz a influência potencialmente exercida pelas estruturas urbanas (ou outros elementos territoriais) sobre a circulação do ar, com efeitos esperados na intensidade e direção do vento. Como observável pela análise dos dados registados nos sensores colocados em três contextos urbanos particulares (**Figuras 21 a 23**), serão expectáveis efeitos associados à rugosidade, mesmo em contextos urbanos de média densidade, como no caso da classe UMR.

No âmbito da metodologia deste projeto considera-se existir um efeito potencial da rugosidade quando o índice de rugosidade (Z_0) é inferior a 0,5. Os espaços nos quais são expectáveis efeitos de rugosidade surgem representados no Mapa de Síntese do Fatores Dinâmicos (**Figura 35**) como Zonas de Ventilação Residual.

Tal como previsto na metodologia, foram ainda assinalados espaços com vegetação de porte predominantemente arbóreo, considerando apenas áreas com mais de um hectare. Esta leitura permite identificar efeitos potenciais da vegetação nas condições do vento na envolvente.

4.2.3 Representação do Vento

A representação do vento é em si complexa, pois o comportamento desta variável pode assumir diferentes condições, dependendo do comportamento do vento de fundo e das alterações na direção e intensidade registadas no contexto local. De igual modo, os efeitos de microescala assumem grande diversidade e complexidade. Por esse motivo, a sua representação apenas poderá sugerir efeitos sobre a escala urbana.

Para a construção do mapa de síntese, optou-se por representar os principais fluxos de vento que incidem habitualmente sobre a cidade, como sejam: os ventos predominantes de oeste, que ocorrem de modo recorrente ao longo do ano; o vento de sul que se regista com alguma frequência no Outono e Inverno; e por fim o vento de norte que assume uma menor frequência, mas que está associado a maiores intensidades. Esta representação é feita sobre as vertentes da cidade onde será expectável registe um maior efeito do vento, antes da atenuação pelo efeito da rugosidade urbana.

4.2.4 Mapa de Síntese

O Mapa de Síntese dos fatores dinâmicos agrega a informação relativa às várias camadas anteriormente apresentadas e permite interpretar um amplo conjunto de processos (**Figura 35**).

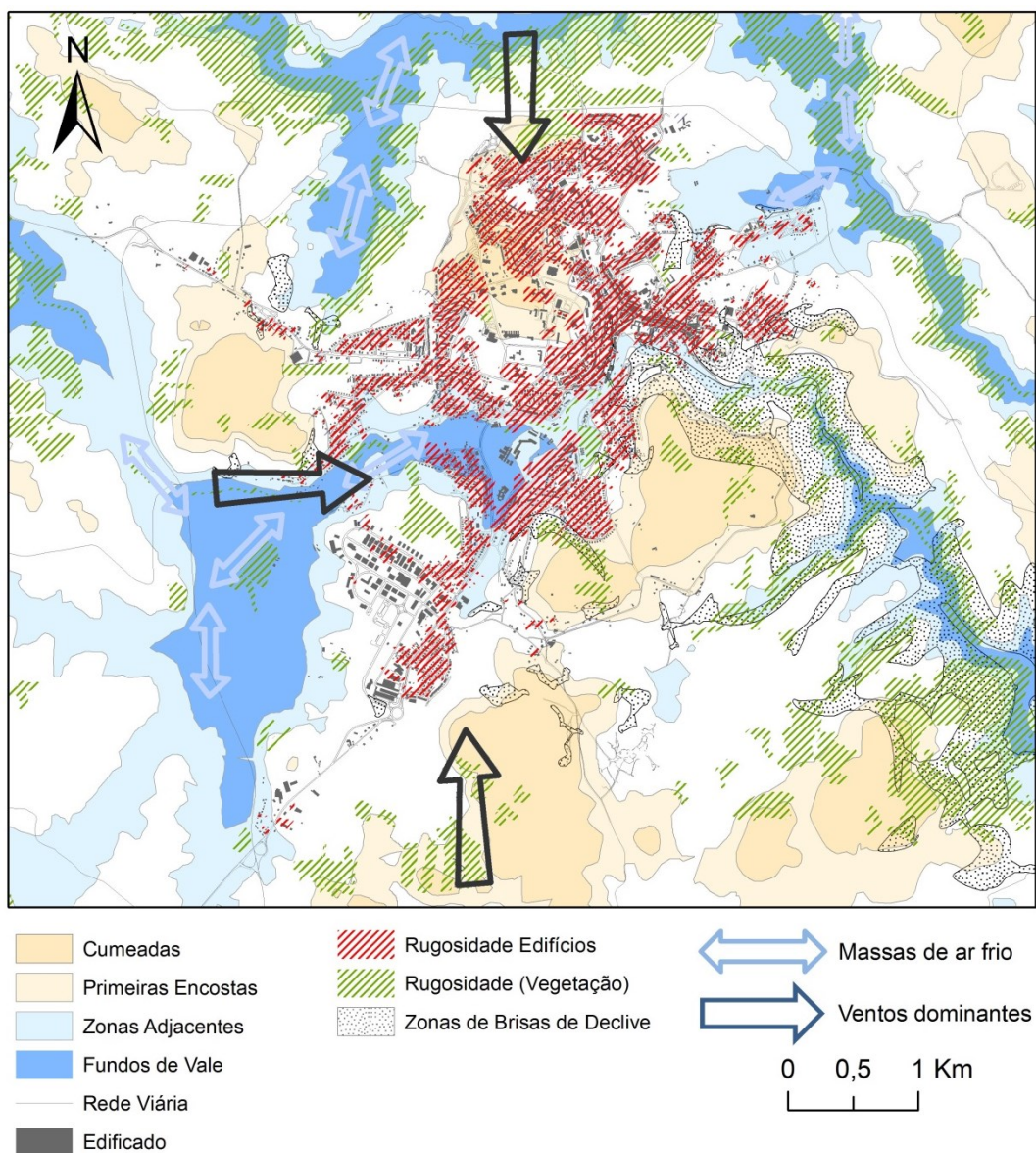


Figura 35 – Mapas de Síntese dos Fatores Dinâmicos

Os fatores dinâmicos não podem ser interpretados de modo permanente, pois os efeitos descritos são variáveis e dependentes de processo originados em escalas extraurbanas. Assim, cabe considerar as seguintes condicionantes na interpretação do respetivo mapa:

- A acumulação de massas de ar frio, no período noturno, nos pontos mais baixos depende das condições de arrefecimento noturno e da estabilidade da atmosfera, intensificando-se na presença de inversões térmicas.
- O gradiente vertical de temperatura no período diurno, frequentemente caracterizado por um decréscimo em altura, está dependente das condições atmosféricas prevalentes, pelo que a taxa de variação da variação vertical da temperatura poderá assumir uma grande amplitude de valores, sendo expectável taxas de variação mais elevadas em situações de céu limpo e vento fraco.
- O efeito aerodinâmico dos edifícios estará dependente do modo como o vento incida em cada momento, considerando não apenas a intensidade como também a direção do vento. Nesse sentido, e como é patente na interpretação dos dados dos sensores de velocidade e direção, poderão ocorrer efeitos localizados e variáveis em função das condições de ventilação/estagnação.
- Já no caso da rugosidade por vegetação, pese embora se tenham considerado espaços com uma predominância do porte arbóreo, formando conjuntos de alguma dimensão, a sua capacidade de interferir com o vento estará dependente de múltiplos fatores, que incluem a combinação de vegetação em diferentes estratos ou a densidade da área foliar, fator que poderá estar relacionado com a época do ano no caso das árvores de folha caduca.
- A formação de brisas de montanha depende das condições de atmosfera mais estável e deverá estar associada à acumulação de massas de ar frio nos pontos mais baixos dos vales.

4.3 Mapa de Síntese Climática

Os mapas de análise climática representam um conjunto alargado de processos associados ao comportamento do clima urbano, constituindo uma síntese de contextos climáticos anteriormente apresentados. O mapa resultante assume um conjunto de situações que se combinam num único mapa de caracterização (**Figura 36**).

A escala térmica agrupa, em intervalos de classificação, os efeitos térmicos, resultantes do comportamento das diferentes componentes urbanas sobre a acumulação potencial de calor no espaço urbano. Neste conjunto, as zonas classificadas como de Aquecimento Residual correspondem às grandes manchas de espaços verdes existentes no centro da cidade e que apresentam um comportamento térmico mais próximo do meio rural, existe posteriormente uma graduação sucessiva dos efeitos de acumulação de calor até ao máximo aquecimento registado nos locais onde se verifica um uso mais intensivo do solo e uma maior concentração e volumetria de edifícios.

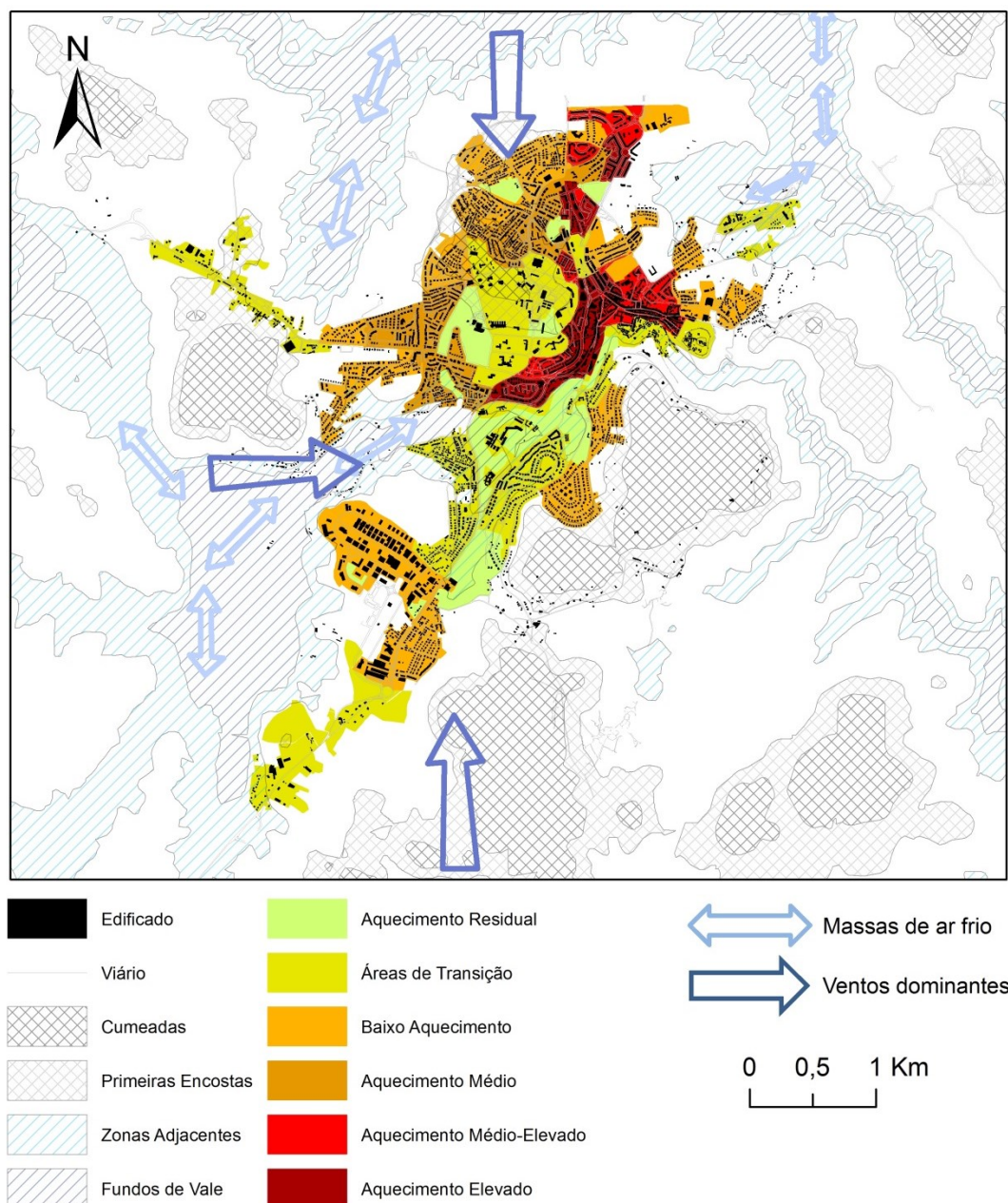


Figura 36 – Mapa de Análise Climática

No mesmo mapa encontram-se ainda representados os principais efeitos dinâmicos, entre os quais se destacam:

- Os efeitos da acumulação de massas de ar frio nos espaços de vale, que incluem os pontos na envolvente das linhas de água e que assumem especial relevância nas imediações do rio Fervença. Nestes locais, é expectável uma persistência de temperaturas mais baixas ao longo do período noturno;
- Os efeitos da exposição aos ventos de fundo, em particular no que respeita à incidência de ventos nas vertentes mais expostas, como sejam as zonas de cumeada e as encostas expostas aos ventos dominantes. Neste particular, cabe destacar a maior exposição da cumeada do

Monte São Bartolomeu e das encostas mais expostas aos ventos de sul e de oeste. Com maior incidência no período de Inverno, é ainda de esperar efeitos mais significativos dos ventos de norte e de oeste nos Bairros situados entre os espaços da cumeada que domina a zona central da cidade e os Bairros situados nas encostas com orientação para estes quadrantes.

Por questões de simplificação, os efeitos da rugosidade resultantes da presença de edifícios e de vegetação estão omissos do mapa de síntese.

4.4 Definição de Estratégias de Intervenção

A definição de estratégias resulta do processo natural de mapeamento e assume a necessidade de intervir do ponto de vista preventivo e/ou corretivo no contexto urbano. Para melhor compreender os requisitos deste tipo de leitura deve, em primeiro lugar, compreender-se as características do clima local e as suas implicações para a qualidade do ambiente térmico, no interior e no exterior dos edifícios.

Tal como amplamente discutido no Manual da Desenho Climático, as características do contexto climático, classificado na escala de Koppen como um clima temperado com Invernos suaves (*Csb*), determinam a predominância de baixas temperaturas em grande parte do ano, em particular durante o período noturno, permanecendo geralmente abaixo do nível de conforto. Nos meses mais quentes, e em particular no Verão, as condições são substancialmente diferentes, com as temperaturas a alcançarem valores acima das condições ideais de conforto.

A grande diversidade de condições térmicas registadas ao longo do ano não permitem identificar uma estratégia única para o conjunto do espaço urbano e menos ainda responder de modo único aos desafios impostos pelo clima local. Assim, é necessário identificar contextos de intervenção genéricos sobre os quais equacionar estratégias que possam contribuir para a melhoria das condições climáticas locais.

Tal como apresentado no manual deste Mapeamento, neste ponto serão apresentadas indicações relativas às opções de planeamento urbano e de intervenção urbanística que permitam alcançar os objetivos pretendidos. Estas indicações assentam, em primeiro lugar, numa lógica preventiva, embora nalguns casos se recomende a intervenção no espaço urbano consolidado, numa perspetiva corretiva.

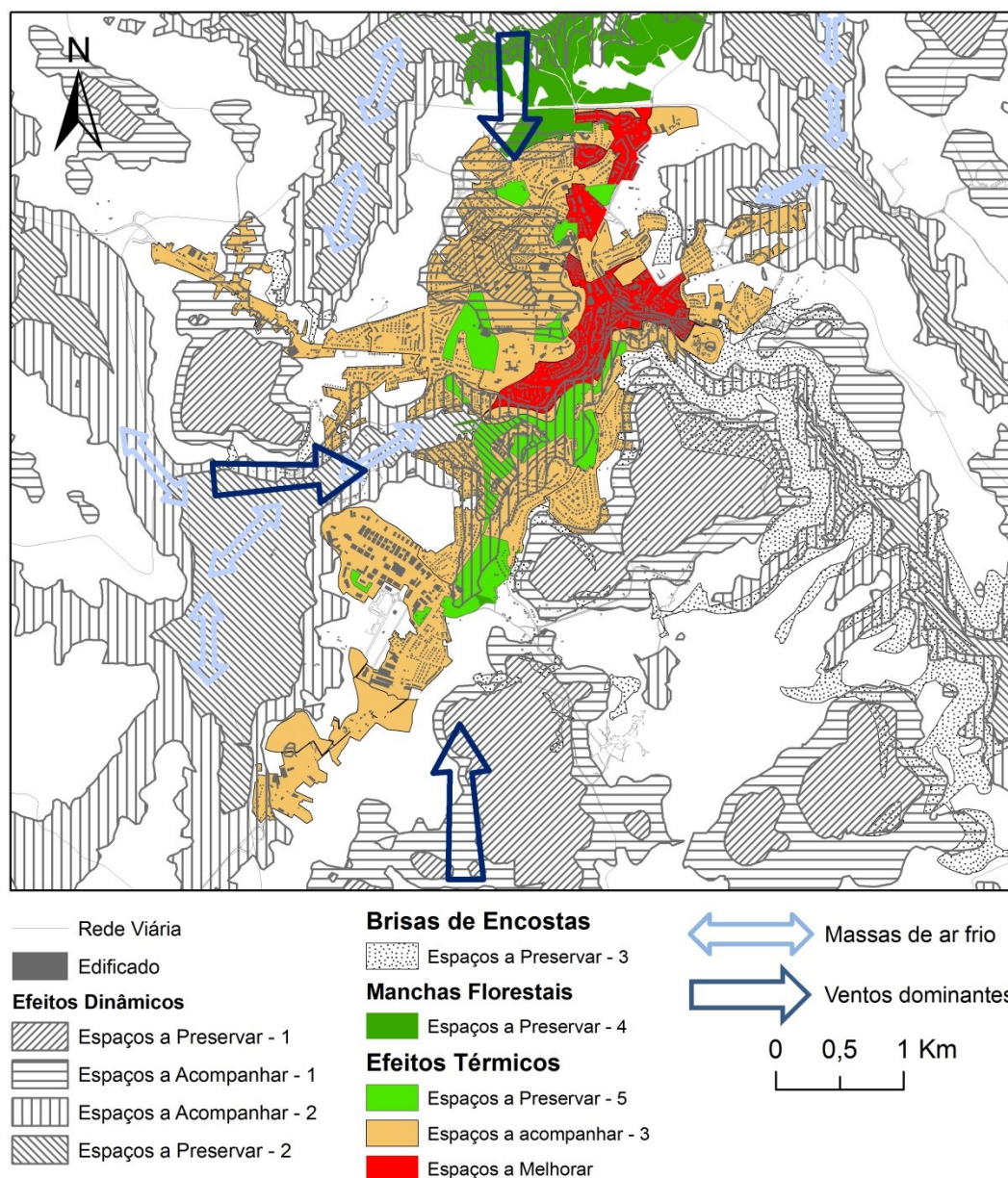


Figura 37 – Mapa de Recomendações

4.4.1 Medidas sobre os Efeitos Dinâmicos

Cumeadas – Espaços a Preservar 1

As zonas de cumeada estão naturalmente expostas aos ventos de fundo, razão pela qual se assumem como espaços mais vulneráveis aos seus efeitos. Esta condição é particularmente relevante nos meses frios, em que o vento ao incidir nos edifícios pode acentuar as perdas térmicas e incrementar os requisitos de climatização no seu interior. Nestes espaços deverá evitar-se a inclusão de edifícios residenciais, devendo privilegiar-se a introdução de vegetação de porte arbustivos e arbóreo, podendo ocasionalmente ocorrer a inclusão de edifícios e estruturas não residenciais.

Alguns espaços na zona central da cidade, no espaço anteriormente ocupado pelo Forte de São João de Deus, possuem já alguns edifícios, maioritariamente não residenciais, num contexto de urbanização de menor densidade. Esta condição deverá ser preferencialmente mantida, evitando-se a inclusão de novos espaços residenciais, em particular em zonas expostas a ventos dominantes e, em particular, aos ventos dominantes dos meses onde se atingem as temperaturas mais baixas.

Primeiras encostas – Espaços a Observar 1

A presença de uma maior influência do vento nas diferentes encostas depende da sua exposição aos ventos de fundo. Nessa perspetiva, as encostas mais expostas aos ventos dominantes serão as que devem sofrer os efeitos mais significativos da sua ocorrência. Neste particular cabe destacar: a exposição natural da zona norte da cidade, junto ao trajeto do antigo IP4, aos ventos do quadrante norte-noroeste; e a maior exposição dos bairros localizados nas encostas do monte São Bartolomeu aos ventos do quadrante oeste e sul, que assumem grandes frequências ao longo de todo o ano.

Entre as estratégias que devem ser assumidas para atenuar os efeitos do vento nos períodos mais frios do ano, cabe destacar a manutenção de manchas florestais de árvores de folha persistente existentes na vertente norte da cidade de Bragança. Estes espaços oferecem alguma rugosidade que poderá contribuir para atenuar os efeitos do vento que incide nestes locais, atenuando as perdas térmicas nos edifícios presentes nesta zona da cidade.

Pese embora a importância de acautelar os efeitos do vento no desenho do espaço urbano, cabe recordar que sobre a cidade raramente se fazem sentir ventos de elevada intensidade, pelo que esta variável não assume aqui a complexidade registada noutras realidades.

Pontos de acumulação de massas de Ar Frio – Espaços a Preservar 2

Do ponto de vista do planeamento e no contexto local, é importante evitar a construção nos locais mais baixos dos vales de montanha, atendendo a que é nestes espaços que se atingem normalmente as temperaturas mais baixas, com especial incidência no período noturno. Esta redução da temperatura é particularmente relevante nos meses mais frios, em que as temperaturas assumem valores muito baixos, com implicações para o uso dos espaços exteriores e para os requisitos térmicos dos edifícios.

Nestes locais, o desenvolvimento urbanístico deverá ser evitado, devendo privilegiar-se a manutenção de espaços verdes ou de usos compatíveis (ex. uso florestal ou agrícola). O objetivo último desta estratégia é integrar os elementos urbanos no âmbito dos processos territoriais, preservando estes importantes espaços, onde para além do processo de drenagem e acumulação de massas de ar frio, podem ser encontradas dinâmicas hidrológicas associadas a cheias periódicas.

Pontos de acumulação de massas de Ar Frio – Espaços a Observar 2

Já atendendo às zonas adjacentes em espaços de vale, estas deverão igualmente ser objeto de alguma atenção, devendo, sempre que possível, evitar-se a inclusão de edifícios residenciais. Nestes locais, as condições topográficas são favoráveis à ocorrência de temperaturas mais baixas, sobretudo nos períodos de forte estabilidade atmosférica, com a ocorrência de inversões térmicas.

Cabe no entanto ressaltar que as limitações impostas à disponibilidade de espaços para construção em contextos urbanos requerem alguma densificação dos processos urbanos, o que justifica a urbanização de alguns destes espaços, sem prejuízo de esta ação poder ser considerada apenas face à ausência de alternativas, sempre que a construção se adeque às condições térmicas nesses locais.

A existência de um corredor com uma menor edificação na envolvente do rio Fervença pode contribuir ainda para potenciar uma maior incidência do vento na zona central. Esta condição pode ser particularmente vantajosa nos períodos mais quentes do ano, onde a ocorrência de vento pode atenuar os efeitos da acumulação de calor. Esta ação pode, no entanto, induzir a perda de calor nos edifícios durante os meses mais frios.

Zonas Declivosas – Espaços a Preservar 3

Tal como apresentado anteriormente, a presença de declives acentuados em contextos de montanha pode originar processos de drenagem de massas de ar frio, formando brisas de montanha, que terão lugar com particular incidência nos dias de maior estabilidade atmosférica. Este processo pode motivar a diminuição de temperatura e à formação de vento com alguma intensidade e que poderá induzir perdas térmicas nos edifícios.

Na atual configuração da cidade de Bragança são escassos os locais onde poderá ocorrer este tipo de fenómeno, sendo a exceção as encostas mais declivosas do Monte São Bartolomeu. A evolução recente desta cidade passou, em alguns locais, pela ocupação de espaços de maior declive, assumindo uma ocupação parcial destes contextos territoriais no denominado bairro de São João de Brito.

As zonas declivosas, consideradas neste estudo como aquelas que apresentam um declive superior a 25% de inclinação, podem ainda, quando expostas a orientações menos favoráveis, como no caso das orientações a norte entre os quadrantes este e oeste, vir a registar condições exposição solar desfavorável. Este efeito, amplamente debatido no Manual de Desenho Bioclimático, assume uma menor incidência dos raios solares e um maior efeito de ensombramento por edifícios e do próprio terreno, sendo este um outro motivo pelo qual se deve evitar a introdução de edifícios nestes locais. Mesmo em declives menores, o distanciamento entre elementos construídos deverá ser maior, quando comparado com locais planos ou semiplanos, para acautelar os efeitos do sombreamento entre edifícios e sobre os espaços não edificados.

4.4.2 Comportamento térmico do espaço urbano

Espaços a Preservar 4 e 5

Os espaços a preservar correspondem aos espaços verdes ou a zonas com uma predominância de superfícies permeáveis e que assumem localizações centrais no seio do núcleo urbano actual. Estes espaços poderão constituir-se como zonas frescas, com particular utilidade nos períodos em que as temperaturas são mais elevadas. A manutenção destes espaços deve ser assegurada preferencialmente na forma de espaços verdes públicos, ainda que parte dos mesmos possam assumir outras configurações (espaços florestais ou agrícolas).

A presença de vegetação de porte arbóreo é particularmente útil nos meses de maior calor, pela possibilidade de intercetar a radiação de pequeno comprimento de onda, atenuando os efeitos da sua incidência direta sobre os utilizadores, assim como os seus efeitos sobre o balanço radiativo à superfície. A presença de vegetação de folha caduca pode ainda oferecer a possibilidade de maior incidência da radiação nos meses mais frios, permitindo dessa forma uma transformação útil para o contexto microclimático local, com benefícios para o conforto térmico dos utilizadores.

Espaços a acompanhar 3

No âmbito dos espaços a acompanhar podemos encontrar um amplo conjunto de contextos espaciais, em que a presença de elementos urbanos se combina com elementos de menor impacto nas características do ambiente térmico local, pelo que o resultado traduz numa menor intensidade dos efeitos climáticos urbanos, incluindo o EICU. Nestes locais, a construção mais dispersa favorece a dissipação do calor, enquanto a presença de espaços com vegetação remete para uma menor acumulação de calor e alguma regulação climática.

Estes locais não apresentam ainda alterações significativas do clima urbano, pelo que a necessidade de intervenção será menor, devendo em todo o caso atender-se a aspetos de desenho bioclimático nos processos que pressuponham um incremento da densidade e um maior preenchimento destes espaços. Para o efeito, deverá atender-se às recomendações presentes no Manual de Desenho Bioclimático Urbano.

Espaços a melhorar

Estes espaços correspondem aos contextos de maior concentração de edifícios e de estruturas artificiais, com uma predominância de solos impermeáveis. Nestes contextos, o EICU assume uma maior intensidade, com uma influência potencialmente negativa nos meses mais quentes. Será também nestes períodos e nestes locais que serão expectáveis efeitos particularmente negativos sobre o ambiente térmico diurno, sempre e quando se reúnam efeitos resultantes da presença de pisos, e outras superfícies, que acumulem e emitam calor. Esta ação é igualmente favorecida pela maior rugosidade dos elementos presentes nestes locais, que condicionam os efeitos da convecção na dissipação do calor. Esta realidade é, no entanto, invertida quando considerados os efeitos nos restantes período do ano, em que o EICU, bem como os efeitos microclimáticos que favoreçam a acumulação de calor, são genericamente positivos.

As estratégias que podem ser assumidas para estes contextos são amplamente discutidas no Manual de Desenho Bioclimático, e que passam pela intervenção sobre o planeamento das estruturas urbanas (com a configuração de ruas e praças), a relação com o vento, a água e a humidade, os elementos de vegetação, os materiais e a adaptação do cidadão.

5 Considerações Finais

O trabalho desenvolvido no âmbito do Projeto BIOURB, alicerçado num exaustivo levantamento de dados meteorológicos e num estudo complementar de estratégias e opções de desenho urbano, visou contribuir para o planeamento de cidades adaptadas ao contexto climático, sobre as quais se poderão desenvolver iniciativas e projetos bioclimáticos.

A análise conjunta dos elementos de caracterização do contexto local (territorial e urbano) e dos dados meteorológicos, recolhidos na rede local de monitorização, permitiu desenvolver uma primeira aproximação ao processo de mapeamento climático urbano local. Entre os principais elementos de caracterização apresentados, cabe destacar a complexidade topográfica do contexto territorial da cidade de Bragança como um elemento determinante na identificação de muitos dos processos climáticos, como no caso dos processos de drenagem e acumulação de massas de ar frio ou da expectável exposição ao vento de fundo. A esta característica associa-se ainda a elevada diversidade de tipologias de ocupação, marcada pela elevada variabilidade na ocupação do espaço urbano, sem que com isso deixem de ser notórios os seus efeitos sobre o comportamento térmico e dinâmico do clima local. Neste particular, a interpretação dos diferentes elementos de análise foi precedida da construção de mapas de caracterização, pelos quais delinear uma previsão dos processos climáticos locais.

A instalação de uma rede de monitorização meteorológica constituiu um importante elemento para a interpretação do clima local, permitindo estabelecer um conjunto de relações entre as características do território e do espaço urbano e as condições meteorológicas presentes em diferentes locais desta cidade. Os dados meteorológicos permitiram identificar processos presentes no contexto da cidade de Bragança, acrescentando informação preciosa para o desenvolvimento de iniciativas de planeamento urbano e desenho urbanístico.

Entre as principais constatações deste estudo está a identificação de processos de diferenciação do comportamento térmico do espaço urbano face ao contexto rural envolvente, e que no contexto local assumem a forma de ilhas térmicas, pelos efeitos de ilha de frio urbano (EIFU) e ilha de calor urbano (EICU). Verificou-se que ambos os efeitos assumem anomalias térmicas relevantes, que em contextos particulares podem determinar impactes significativos para o conforto térmico humano. Entre os efeitos descritos, o EICU assume em Bragança intensidades médias superiores a 4°C e máximas a rondar o 6°C, valores muito relevantes atendendo ao facto de se tratar de uma cidade de pequena a média dimensão. O EICU assume uma variação espacial identificável com recurso a isolinhas de temperatura, o que permitiu estabelecer uma relação espacial na sua ocorrência no interior da cidade.

Outras situações que foram identificadas correspondem aos processos dinâmicos que resultam da interação do contexto territorial e urbano com os fenómenos meteorológicos de maiores escalas. Estes processos determinam a formação de dinâmicas de drenagem de massas de ar e o comportamento de ventos e brisas ao nível local. A análise dos dados recolhidos permitiu identificar os processos de drenagem de massas de ar frio, bem com as suas implicações sobre a

temperatura do ar em diversos locais da cidade e da sua envolvente, determinando a presença de valores mínimos da temperatura nesses contextos territoriais.

Maior complexidade assume ainda a leitura dos processos de interação entre o vento de fundo, determinado pelas condições sinóticas, e os elementos territoriais e urbanos existentes no contexto local. Nesta análise, os efeitos da microescala podem implicar grandes alterações no comportamento do vento. O presente estudo apenas permitiu, numa leitura centrada no contexto dos (três) locais de monitorização, evidenciar potenciais efeitos localizados, que poderão ocorrer de modo análogo noutros locais da cidade, com condições equivalentes.

Tendo como elementos centrais de análise um conjunto de mapas temáticos, identificaram-se estratégias de planeamento e sinalizaram-se possíveis zonas de intervenção que possam representar melhorias significativas na qualidade do clima urbano da cidade, estabelecendo assim uma ligação metodológica com o Manual de Desenho Bioclimático deste projeto.

Pese embora os méritos deste trabalho, deverá considerar-se que este constitui o primeiro estudo de análise e mapeamento climático da cidade de Bragança, assumindo-se assim a necessidade de aprofundamento dos conhecimentos sobre o clima desta cidade. Neste sentido, algumas das variáveis deverão ainda ser estudadas e interpretadas com maior rigor em estudos futuros, devendo ocorrer uma consolidação dos dados meteorológicos, que exigem um levantamento de dados em séries temporais mais longas. Procurando alcançar esse desiderato, o Instituto Politécnico de Bragança procurará manter a rede de recolha de dados instalada, continuando a interpretação dos dados recolhidos, consolidando dessa forma os estudos desenvolvidos no âmbito do projeto BIOURB.

Referências Bibliográficas

- Azevedo, Á. L., Gonçalves, D. A., y Machado, R. M. A. (1995). *Enclaves de clima Cfs no Alto Portugal: a difusa transição entre a Ibéria húmida ea Ibéria seca*: Instituto Politécnico de Bragança.
- Fariña Tojo, J., Fernández Áñez, M. V., Galvez Huerta, M. A., Hernández Aja, A., y Urrutia del Campo, N. (2013). *Manual de diseño bioclimático: Manual de recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas* (A. Gonçalves, A. C. Ribeiro & M. Feliciano Eds.).
- Gonçalves, D. A. (1985). *Contribuição para o estudo do clima da bacia superior do rio Sabor: influência da circulação geral e regional na estrutura da baixa atmosfera*.
- Gonçalves, D. A. (1991). Terra Quente-Terra Fria (1ª aproximação). *Instituto Politécnico de Bragança*.
- Maia, F. (2013). *Caracterização da Ilha de Calor Urbano de Bragança*. (Mestrado), Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Oke, T. R. (2004). *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*: World Meteorological Organization Geneva.
- Olgay, V. (1998 [1963]). *Arquitectura y Clima - Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.



Unión Europea
FEDER
Invertimos en su futuro

