

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



Um WebSIG para a monitorização do conforto térmico em ambiente urbano

João Guilherme Rodrigues Nascimento

Relatório de estágio para obtenção de grau de Mestre, orientado pelo
Professor Doutor António Manuel Saraiva Lopes

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial
Aplicados ao Ordenamento

2018

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



Um WebSIG para a monitorização do conforto térmico em ambiente urbano

João Guilherme Rodrigues Nascimento

Relatório de estágio para obtenção de grau de Mestre, orientado pelo
Professor Doutor António Manuel Saraiva Lopes

Júri:

Presidente: Professor Auxiliar Paulo Alexandre Morgado Sousa do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa;

Vogais:

- Professor Adjunto João Viljoen de Vasconcelos da Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar do Instituto Politécnico de Leiria
- Professor Auxiliar António Manuel Saraiva Lopes do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

2018

Agradecimentos

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram para este projecto e que me motivaram a continuar no meu caminho.

Ao meu professor e orientador, António Lopes, e ao professor Paulo Morgado, professor, e quase orientador, que me propuseram este tema de estudo e sempre me ajudaram com os diversos problemas que surgiram ao longo deste trabalho, bem como aos restantes professores do IGOT que se envolveram neste projecto com opiniões valiosas.

Ao meu orientador na empresa de estágio (ESRI Portugal) António Martins, e às restantes pessoas da companhia pela contribuição de ideias e de conhecimentos que me auxiliaram neste percurso e pela possibilidade de trabalhar no meu projecto num ambiente de trabalho amigável e aliciante.

Ao meu colega e amigo, Luís Borges, que esteve comigo neste estágio, cada um com os seus objectivos e as suas diferenças, mas sempre juntos até ao fim e a todos os meus amigos que me deram ânimo e motivação para continuar.

Aos meus pais e família que me possibilitaram a minha educação e sempre me apoiaram no percurso que escolhi.

Obrigado.

Resumo

O UTCI (Universal Thermal Comfort Index) é um índice recente, promovido pela ISB (*International Society on Biometeorology*) e a acção COST 730 da união europeia, no âmbito de criar um índice que disponibilize uma avaliação fácil das respostas fisiológicas de um corpo humano num dado ambiente, com o seu próprio clima, fornecendo informações uteis para ramos diversos ramos, nomeadamente os da saúde pública, e análise do clima, para o melhoramento de serviços e respostas de emergência, e ordenamento do território, favorecendo acções que melhorem o conforto dos cidadãos. Criado também para ser usado com confiança em ambientes exteriores, é usado neste projecto para avaliar o conforto térmico para o ambiente urbano do município e cidade de Lisboa.

O período deste estudo foram as horas de maior permanência nos espaços públicos durante o período diurno (9:00h; 12:00h; 15:00h; 18:00h, 21:00h) dos meses de verão (Junho, Julho e Agosto) de 2015. As etapas deste trabalho consistiram na preparação das variáveis para o cálculo do UTCI, a composição dos mapas a partir da espacialização do UTCI pela cidade de Lisboa, para cada média horaria dos meses escolhidos e a apresentação dos resultados em ambiente WebSIG a partir de uma aplicação.

Sendo esta a primeira fase deste projecto, são esperados futuros melhoramentos à metodologia. As potencialidades deste WebSIG são a disponibilização de valores horários e espacializados do conforto térmico na cidade de Lisboa e a promoção de inovações que poderão ser aproveitadas por diversos sectores e serviços, nomeadamente a saúde pública e serviços de meteorologia, ao ordenamento do território, serviços comerciais, construção, arquitectura e turismo.

Palavras-chave: UTCI; Conforto Térmico; Ambiente Urbano; SIG; WebSIG

Abstract

The UTCI (Universal Thermal Comfort Index) is a recent index, promoted by the ISB (International Society on Biometeorology), and the COST 730 action from the European Union, with the purpose of creating an index that provides an easy evaluation of the physiological responses of an human body in a given environment, with its respective climate, providing valuable information for many fields, mainly those of public health and climate analysis, for the betterment of services and emergency responses, and spatial planning, favoring actions that improve citizen comfort. Created also to be reliably used in outdoor environments, it's used in this work to evaluate the thermal comfort for the urban environment of the city and county of Lisbon.

The period of this study were hours with larger citizen permanence during the daytime (9:00h; 12:00h; 15:00h; 18:00h, 21:00h) of the summer months (June, July, August), of 2015. This work's steps consisted of preparing the data for the calculation of the UTCI, creating maps by specializing the UTCI throughout the city of Lisbon, for the chosen hours of each month and de presentation of the result in a WebGIS environment, through an application.

Since this was the first stage of this project, future improvements to the methodology are expected. The potentials of this WebGIS are the availability of hourly, specialized UTCI data in the city of Lisbon and the incentive to innovations that could be used by multiple sectors and services, mainly public health and weather services, spatial planning, commercial services, construction, architecture and tourism.

Keywords: *UTCI; Thermal Comfort; Urban Environment; GIS; WebGIS*

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Empresa de acolhimento do estágio: ESRI Portugal.....	2
2. Enquadramento teórico.....	3
2.1. Ambiente Urbano.....	3
2.2. Bioclimatologia Humana.....	6
2.3. O índice UTCI (Universal Thermal Comfort Index).....	11
2.3.1. Componentes do UTCI.....	12
2.3.2. Utilização do UTCI.....	15
2.4. Objectivo do projecto: sistema de WebSIG.....	16
3. Enquadramento da área de estudo.....	18
3.1. A cidade de Lisboa.....	18
3.2. O Clima regional de Lisboa	23
3.3. O Clima urbano de Lisboa.....	25
4. Metodologia e dados.....	27
4.1. Espacialização da temperatura do ar.....	30
4.2. Espacialização da humidade relativa e pressão de vapor.....	38
4.3. Espacialização da temperatura radiativa média.....	39
4.4. Estimação do vento.....	41
4.5. Criação dos mapas de UTCI.....	50
5. Implementação do WebSIG “Lisbon’s UTCI”	57
5.1. Aplicação “Web AppBuilder” como WebSIG de UTCI.....	57
6. Considerações finais	62
6.1. Potencialidades do WebSIG UTCI.....	62
6.2. Futuros desenvolvimentos da metodologia proposta	64
7. Bibliografia.....	66
7.1. Webgrafia	70

Índice de figuras

Figura 1: Modelo metabólico do espaço urbano (Andrade, 2005 a partir de Newman, 1999)	5
Figura 2: Balanço energético do corpo humano (Andrade, 2003 e Baltazar, 2010, a partir de VDI 3787, 1998)	7
Figura 3: Valores equivalentes de UTCI associados a níveis de stresse térmico (Bröde et al., 2009, 2010)	10
Figura 4: Esquema para o cálculo do UTCI a partir de um modelo termofisiológico, com auxílio de um modelo de vestuário (Błażejczyk et al., 2010)	12
Figura 5: Sistema de termorregulação do corpo humano utilizado no modelo UTCI-Fiala (Fiala et al., 2011)	13
Figura 6: UTCI de Portugal, 6 horas UTC, 10 de Setembro de 2017 (IPMA)	15
Figura 7: Componentes de um WebSIG	16
Figura 8: Lisboa, as suas freguesias e os municípios limítrofes, após a reorganização administrativa de 2012 (CAOP 2016)	19
Figura 9: Crescimento da cidade de Lisboa (Salgueiro, 2001, a partir de Salgueiro, 2002).....	20
Figura 10: Declives de município de Lisboa	21
Figura 11: Altitude do município de Lisboa	22
Figura 12: Temperatura do ar, normais climatológicas, Lisboa/Geofísico, 1981-2010 (provisórias) (extraído de IPMA)	23
Figura 13: Rosa-dos-ventos anual, do período 71/80 (Lisboa/Portela) (Lopes, 2003) ...	24
Figura 14: Climatopos de Lisboa (adaptado de Alcoforado et al, 2005)	27
Figura 15: Esquema da metodologia do projecto	28

Figura 16: Rede climática urbana (Zephyrus) e estação meteorológica da Portela/Aeroporto (IPMA)	29
Figura 17: Classificação do solo no município de Lisboa (adaptado de Mendes et al, 2015)	31
Figura 18: Temperatura do ar observada e estimada em locais da rede Zephyrus	34
Figura 19: Temperatura do ar de Junho, 2015	35
Figura 20: Temperatura do ar de Julho, 2015	36
Figura 21: Temperatura do ar de Agosto, 2015	37
Figura 22: rugosidade aerodinâmica de Lisboa (adaptado de Baltazar, 2010)	43
Figura 23: Actualização da Rugosidade aerodinâmica de Lisboa	44
Figura 24: validação dos modelos de vento	45
Figura 25: Velocidade do vento estimada de 3m/s na Portela e direcção 0°	47
Figura 26: Velocidade do vento estimada de 3m/s na Portela e direcção 210°	47
Figura 27: Velocidade do vento estimada de 3m/s na Portela e direcção 240°	48
Figura 28: Velocidade do vento estimada de 3m/s na Portela e direcção 300°	48
Figura 29: Velocidade do vento estimada de 6m/s na Portela e direcção 300°	49
Figura 30: Velocidade do vento estimada de 3m/s na Portela e direcção 330°	49
Figura 31: Velocidade do vento estimada de 6m/s na Portela e direcção 330°	50
Figura 32: UTCI de Junho, 2015	51
Figura 33: UTCI de Julho, 2015	52
Figura 34: UTCI de Agosto, 2015	53

Figura 35: Validação entre UTCI estimado e UTCI obtido pelo RayMan para os locais da rede Zephyrus	56
Figura 36: Interface do Web Appbuilder e exemplo da aplicação criada para visualização do UTCI	60
Figura 37: Exemplo da aplicação em dispositivos móveis	61

Índice de tabelas

Tabela 1: Componentes da equação de balanço energético (Andrade, 2003 e Baltazar, 2010, a partir de VDI 3787, 1998)	8
Tabela 2: Indicações gerais para o índice Clo (Andrade, 1998, a partir de VDI 3787, 1998)	9
Tabela 3: Respostas termofisiológicas estimadas do modelo termofisiológico (Błażejczyk et al, 2010)	12
Tabela 4: Caracterização dos climatopos de Lisboa (adaptado de Alcoforado et al, 2005)	26
Tabela 5: Variáveis utilizadas na estimação da temperatura do ar	32
Tabela 6: Variáveis independentes escolhidas pela regressão múltipla “ <i>stepwise</i> ” na estimação da temperatura do ar os períodos em estudo e r^2 de cada modelo	33
Tabela 7: Médias horárias de cada mês da Temperatura, Humidade Relativa e Pressão de Vapor de água, estação da Portela/Aeroporto	39
Tabela 8: Valores de Temperatura Radiativa Média usados no modelo, estação da Portela/Aeroporto	40
Tabela 9: Classes de direcção do vento e amplitude	42
Tabela 10: Valores de rugosidade aerodinâmica (adaptado de Lopes, 2003, Baltazar, 2010, Stull, 2011)	44
Tabela 11: Modelos de vento a integrar no modelo do UTCI.....	46
Tabela 14: Escalas utilizadas por ArcGIS Online, Bing Maps e Google Maps (Arcmap 10.3.1)	58

1. Introdução

O principal objectivo deste trabalho é a implementação de um WebSIG que apresente um índice de conforto térmico na cidade de Lisboa, o UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*), desenvolvido recentemente para a análise das respostas fisiológicas do corpo humano ao clima onde o indivíduo se encontra.

Este índice possibilita novos estudos que poderão ser aplicados ao ordenamento do território, procurando equilibrar os diferentes componentes de uma paisagem urbana com os limites e as necessidades do corpo humano. Também poderão ser criadas novas medidas de combate às alterações climáticas aos eventos extremos de temperatura, e actualizar planos de emergência que auxiliem os serviços de saúde, através da rápida disponibilização de informação, por meio de uma infra-estrutura criada para funcionamento em tempo real.

Este projecto pretende construir as bases para a implementação desta infra-estrutura, referindo os processos a realizar, que nesta fase, serão aplicados ao verão de 2015, e onde serão utilizados os dados meteorológicos de temperatura do ar, temperatura radiativa média, pressão de vapor de água e a direcção e velocidade do vento de Lisboa. A informação climática foi correlacionada com variáveis morfológicas do território, como a altitude e declives da região de Lisboa, e também com a malha urbana, o edificado e os restantes elementos comuns a ambientes urbanos, sendo estas variáveis consideradas no processo de estimação e espacialização do conforto térmico.

Para permitir a partilha destes resultados ir-se-á mostrar o processo de importação dos dados resultantes para servidores e criar uma aplicação acedida a partir da internet para se visualizar os resultados. Os servidores e os meios para a divulgação da aplicação pertencem à empresa acolhedora do estágio, a ESRI Portugal, que também forneceu através do conhecimento geral e dos seus técnicos que auxiliaram este projecto, novos pontos de vista para melhorar a metodologia actual e futura para a fase de implantação da infra-estrutura em tempo real.

1.1. Empresa de acolhimento do estágio: ESRI Portugal

A empresa acolhedora deste projecto foi a Esri Portugal - Sistemas e Informação Geográfica, S.A. Esta empresa portuguesa, fundada em 1987, é a subsidiária exclusiva nos países lusófonos de Portugal, Cabo Verde, Guiné-Bissau e São Tomé e Príncipe, da empresa Norte-Americana Esri – *Environmental Systems Research Institute*, fundada em 1969 por Jack e Laura Dangermond.

O “*core business*” desta empresa é o desenvolvimento e fornecimento de sistemas de informação geográfica, bem como a oferta de suporte, formação, desenvolvimento e disponibilização de programas e aplicações, facilitação ao acesso a grandes bases de dados geograficamente referenciados de diversos domínios. Estes serviços têm como propósito o auxílio dos clientes da empresa nas suas decisões e desafios, que lhes possibilitam “não apenas a capacidade de verem esse mundo por dentro, mas também uma acrescida capacidade de acção e, por consequência, uma significativa vantagem competitiva no suporte à decisão”. Estas vantagens alinham-se com a missão da ESRI Portugal: “Compreender o nosso Mundo” (ESRI Portugal).

A Esri Portugal está inserida em diversos mercados onde os sistemas de informação geográfica podem fornecer várias soluções ao tratamento de informação para serviços de administração e gestão do território, da sua população e recursos, organização de transportes, comércio, cultura e de outros domínios, bem como no suporte da inovação e desenvolvimento de novas tecnologias e métodos para uma gestão futura de informação geográfica mais eficiente.

O grande contributo do estágio que efectuei na Esri Portugal foi a publicação e disponibilização deste projecto (e do UTCI) em ambiente WebSIG, a partir do programa *Web Appbuilder*, que permitiu compor uma aplicação de fácil acesso a partir de qualquer dispositivo fixo ou móvel, facilitando a visualização de informação geográfica em qualquer local. A empresa foi apelativa também pelos conhecimentos que os seus colaboradores possuem, o que permitiu melhorar o projecto e aprofundar o meu conhecimento na sua composição e utilização.

Com este projecto, propõe-se uma metodologia que poderá influenciar outros estudos e domínios, bem como a produção de dados úteis para estudos bioclimáticos que proporcionam vários benefícios à comunidade científica, bem como à empresa de acolhimento, com a comercialização dos dados e infra-estrutura resultante através da metodologia proposta, aplicada a outros centros urbanos, com abrangência internacional e da produção de novos estudos e conhecimentos.

2. Enquadramento teórico

2.1. Ambiente urbano

Um ambiente urbano pode ser caracterizado fisicamente por vários critérios, como a dimensão da população, a sua densidade ou a sua heterogeneidade, embora sejam difíceis de ser aplicados de forma geral, dado que os territórios existentes apresentam diferenças destas variáveis na formação e existência de aglomerados complexos de população, ou seja, as suas cidades. A partir destes critérios, Wirth (1938) determinou pontos de vista sobre o urbanismo como fonte de organização da população e modos de vida observados nas cidades:

- I. “Uma estrutura física que compreende uma base populacional, uma tecnologia e uma ordem ecológica”;
- II. “Um sistema de organização social que implica uma estrutura social particular, uma série de instituições e um padrão típico de relações sociais”;
- III. “Um conjunto de atitudes e ideias e uma constelação de personalidades vinculadas a formas específicas de comportamento colectivo sujeitas a mecanismos particulares de controlo social”.

A partir de critérios teóricos iniciais, é possível determinar critérios subsequentes, ambos teóricos e quantificadores, para simplificar o processo de determinação do conceito físico de “cidade”, sendo necessário definir as bases teóricas antes de se utilizarem indicadores devido à grande variação presente na organização do ser humano, na diferença do número de indivíduos e nos comportamentos observados entre países e regiões.

Embora existam grandes variações nos métodos de organizações sociais, certos critérios podem ser considerados como estáveis e aplicáveis a todos os casos referentes ao que hoje em dia o cidadão comum pode considerar uma cidade existindo ainda, várias definições semelhantes, mas salientado diversos pontos, de acordo com as observações. Sendo assim, o conceito de cidade não é universal, possuindo uma base opinativa em todos os seus elementos, com diferenças de acordo com os conhecimentos de cada autor.

Como conceito mais abrangente, um cidade pode ser descrita como um aglomerado de população com a sua própria cultura, emprego e serviços, com funções de produção, sejam estas económicas, como comércio ou indústrias, levando também à presença de características de edificado únicas, como uma densidade de construções que suportam a população e economia presente, dando um aspecto único à morfologia do local onde se situa, quando comparado com as redondezas, geralmente desprovidas de grandes quantidades, densidades e diferenças drásticas de edificado (Wirth, 1938, Salgueiro, 2005, Marcotullio e Solecki, 2010, Vasconcelos, 2015).

Uma cidade inclui também uma componente administrativa nas suas funções, dado o elevado número de população presente em contraste com as suas zonas adjacentes, sendo também uma das funções da cidade a administração regional, servindo as zonas rurais envolventes e outros centros populacionais de dimensões inferiores, como ponto de atracção e de aumento de mobilidade na sua região, dado as infra-estruturas comuns, como redes de transporte desenvolvidas para gerir os diversos fluxos populacionais dos habitantes e transeuntes.

Actualmente existem critérios demográficos, sendo o número de habitantes muito referenciado, podendo-se assim definir correctamente as diversas unidades administrativas presentes num território, novamente referenciando a cidade como uma componente administrativa e de organização do território, face a futuras alterações demográficas e económicas de uma região (Lei n.º 22/2012, de 30/05/2012).

No conceito de cidade, há a necessidade de assegurar que o ambiente existente seja óptimo para a população, sendo necessário recorrer à ecologia urbana, “um campo integrado de várias ciências de diferentes áreas do ordenamento, com o objectivo de melhorar as condições humanas e o desenvolvimento urbano ambientalmente sustentável” (Breuste, 2002).

Com o crescimento contínuo das áreas urbanas, os problemas ambientais tem sido uma preocupação crescente no controlo do ecossistema, criado pelos diversos componentes do espaço e pela necessidade de controlar os recursos necessários e os resíduos resultantes. Estes componentes e necessidades representam um ecossistema artificial, condicionando a população através dos seus elementos abióticos, efeitos do próprio ambiente nas espécies existentes, como as variáveis atmosféricas, originando elementos bióticos e socioculturais como resposta (fig. 1) (Newman, 1999, Lawrence, 2003, Andrade, 2005).

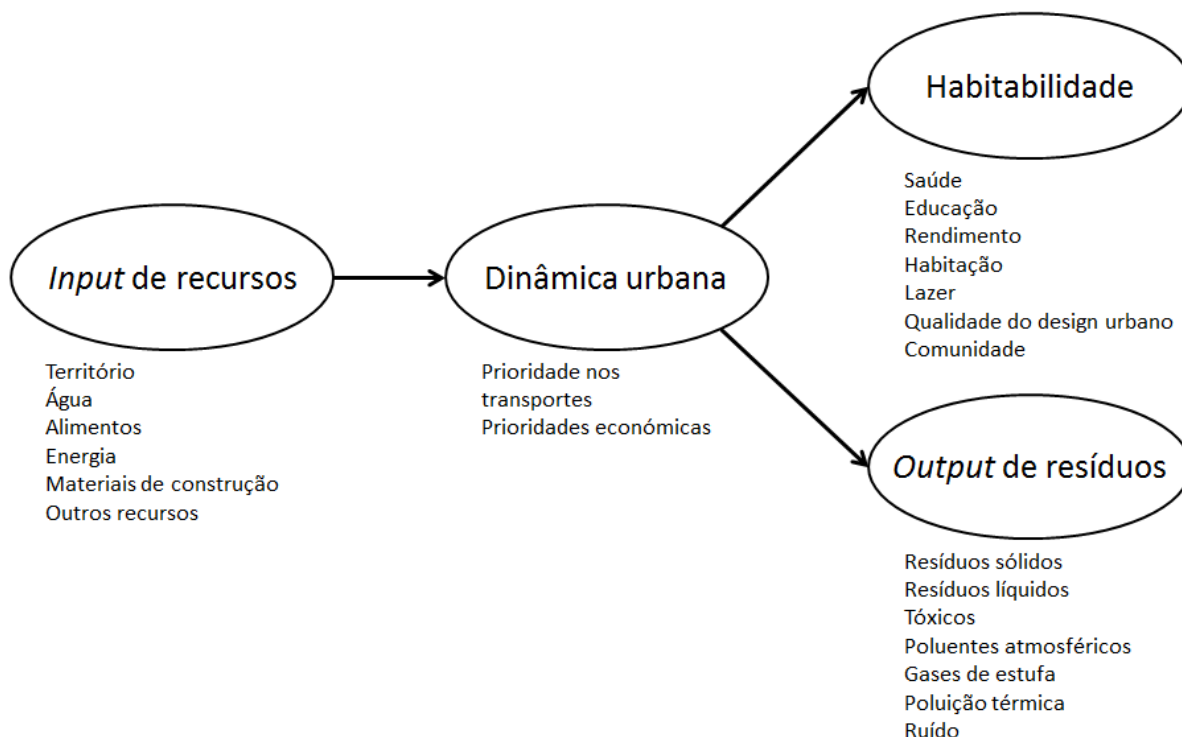


Figura 1: Modelo metabólico do espaço urbano (Andrade, 2005 a partir de Newman, 1999)

Como resposta às alterações causadas no ecossistema pelo uso de recursos e evolução constante, verificam-se mudanças nas componentes, naturais, artificiais, económicas e sociais do ambiente urbano como forma a não só reduzir o consumo e resíduos, mas também aumentar a habitabilidade para a população, garantindo assim uma sustentabilidade eficaz (Newman, 1999).

As componentes humanas, económicas e sociais, definem as interações e comportamentos da população face aos recursos disponíveis e à qualidade do ambiente, e condicionam as necessidades de gestão de recursos e do espaço urbano.

As componentes físicas, naturais e artificiais englobam o uso do território como fonte de recursos e espaço habitado, observando-se como consequência de grandes adaptações da população, alterações no uso e extracção de recursos para alimentar uma cidade e assim, nos resíduos produzidos.

Estudos das componentes de Lisboa já foram realizados por Niza et al. (2014), cujos autores pertenceram à equipa do projecto MEMO – “Evolução do Metabolismo da Área Metropolitana de Lisboa”, que realizou vários estudos do “metabolismo” urbano de Lisboa do século XX para determinar orientações futuras para uma maior sustentabilidade (MEMO).

As mudanças das componentes de uma cidade tem um grande impacto na “pegada ecológica” da sua população, que consiste numa “quantidade de área de solo ou água biologicamente produtivas que um indivíduo, população ou actividade requer para produzir os recursos que consome e absorver os resíduos que cria, usando tecnologia prevaiente e práticas de gestão de recursos. A pegada ecológica é geralmente medida em hectares globais (gha)” (*Global Footprint Network / GFN*).

Nesta perspectiva é essencial considerar o bioclima humano como elemento chave do sistema metabólico urbano.

2.2. A bioclimatologia humana

O estudo das respostas fisiológicas do corpo humano ao seu ambiente é necessário para entender as adaptações resultantes à evolução do ambiente urbano. Dadas as mudanças no consumo de recursos e produção de resíduos de uma área urbana, esta sofre alterações na sua morfologia para responder às novas necessidades de população, como habitação e qualidade do ambiente. Por esta razão é preciso assegurar que estas alterações não agravam o clima urbano da cidade e promovem o bem-estar da população.

Para este propósito, apresenta-se o conceito de bioclimatologia humana, que estuda as interações entre o sistema atmosférico e o homem, os diversos impactos no meio ambiente, e as respostas individuais e colectivas como forma de adaptação (Andrade, 2003).

O clima é uma das variáveis que impacta o desenvolvimento e comportamento humano, focando-se a bioclimatologia nos processos e impactos meteorológicos e climatológicos sobre o ser humano e nas respostas para combater o desconforto resultante de situações adversas. O resultado destas respostas é uma adaptação contínua e cultural dos povos para que se atinja um estado geral aceitável de conforto térmico nas condições climáticas em que se encontram (Andrade, 2003).

Uma necessidade nos estudos de bioclimatologia, especialmente se envolvem a participação de grandes grupos de teste, é a divisão entre os conceitos de sensação térmica e conforto térmico. A sensação térmica define-se como a percepção do corpo humano ao ambiente, a partir dos seus termorreceptores. É objectiva e quantificada em escala, sendo o resultado de análises climáticas e de respostas termofisiológicas. (Parsons, 1993; Andrade, 1998, Andrade, 2003).

Por outro lado, o conforto térmico é um conceito subjectivo, de acordo com a percepção mental do indivíduo, que determina o próprio estado de conforto, ou desconforto térmico, em que se encontra. Por estas razões, este conceito é mais complexo de avaliar, não requerendo apenas a análise das respostas fisiológicas, mas também das características pessoais, como as expectativas de cada um, e a aclimatização ao ambiente presente (Parsons, 1993; Andrade, 1998, Andrade, 2003).

Um dos pontos essenciais para manter um conforto térmico é a preservação de uma temperatura corporal de 37 graus centígrados (Andrade, 1998). O ser humano é capaz de manter essa temperatura através do seu balanço energético, ou seja, das funções fisiológicas que resultam na perda e ganho de calor com o objectivo de manter a sua temperatura corporal.

As interacções entre o corpo humano e atmosfera (figura 2) e o balanço energético e radiativo (tabela 1), compostas inicialmente por Fanger (1972), sendo a sua formulação ([1] e [2]) actualizada na sua versão mais recente por VDI 3787 (1998) são as seguintes:

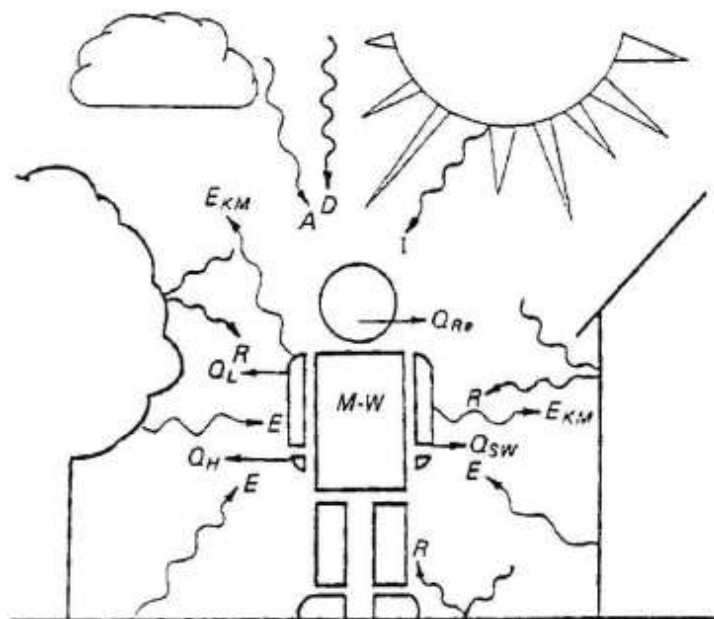


Figura 2: Balanço energético do corpo humano
(Andrade, 2003 e Baltazar, 2010, a partir de VDI 3787, 1998)

Sendo a formulação do balanço energético a seguinte:

$$M + W + Q^* + Q_h + Q_L + Q_{sw} + Q_{re} = 0 \quad [1]$$

E a do balanço radiativo:

$$Q^* = [(I + D + R) * a_k + (A + E) * a_l] - E_{km} \quad [2]$$

Tabela 1: Componentes da equação de balanço energético
(Andrade, 2003 e Baltazar, 2010, a partir de VDI 3787, 1998)

Componentes do balanço energético	Componentes do balanço radiativo
M = Taxa metabólica (produção de energia por via metabólica)	I = Radiação solar directa
W = Eficiência mecânica (consumo de energia para a execução de trabalho físico)	D = Radiação solar difusa
Q* = Balanço radiativo	R = radiação solar reflectida pelas superfícies envolventes
Q _h = Fluxo turbulento de calor sensível (essencialmente transferência de calor por convecção)	A = radiação térmica da atmosfera
Q _L = Fluxo turbulento de calor latente (difusão do vapor de água)	E = radiação térmica das superfícies envolventes
Q _{sw} = Fluxo turbulento de calor latente (evaporação do suor)	E _{km} = radiação térmica emitida pelo corpo humano
Q _{re} = Fluxo respiratório de calor sensível e latente	a _k = coeficiente de absorção para a radiação solar
	a _l = coeficiente de absorção para a radiação de grande comprimento de onda

M e W traduzem a produção de calor através do movimento, esforço físico e processos bioquímicos realizados pelo corpo humano, sendo as restantes variáveis associadas às interações do corpo humano com a atmosfera.

Os factores que tratam das interações entre o organismo e a atmosfera dependem muito das condições meteorológicas, como o vento, temperatura, fluxos de calor sensível e latente, e da radiação solar. Possuem uma elevada complexidade, dado dependerem não só de uma avaliação da radiação absorvida por um indivíduo a partir dos componentes apresentados anteriormente, mas também do meio envolvente, que poderá também ser complexo.

As primeiras respostas fisiológicas do corpo humano para o controlo de ambos os sistemas interno de produção de calor e o sistema de troca com a atmosfera são os processos termorregulatórios do corpo na dilatação e constrição dos veios sanguíneos cutâneos, para aumentar e reduzir, respetivamente, a perda de calor, na incitação da ação, voluntária ou involuntária, do movimento dos músculos, sendo o termo mais comum, o tremer do corpo, criando calor face a condições frias, e na produção de suor, como meio de arrefecimento da pele, e assim, incentivar a perda de calor em situações quentes (Parsons, 1993, Baltazar, 2010).

Existem outros processos termorregulatórios voluntários, como a ingestão de fluidos e deslocação para zonas mais favoráveis para melhorar o conforto térmico. (Baltazar, 2010).

O vestuário é uma das variáveis físicas adaptativas de termorregulação mais alteradas para o aumento do conforto térmico, bem como uma das que têm maior impacto, e mais imediato. A função de isolamento, dependendo das qualidades físicas do vestuário, tem como efeito a alteração dos processos de troca de calor com o meio atmosférico, sendo este efeito representado pelo Clo, que representa, a cada unidade, ao vestuário requerido para um individuo se manter confortável, em estado de repouso e a uma temperatura de 21 °C (Gagge et al, 1941, citado por Parsons 1993).

Tabela 2: Indicações gerais para o índice Clo (Andrade, 1998, a partir de VDI 3787, 1998)

Tipo de Vestuário	Isolamento térmico (Clo)
Ausência de vestuário	0
Calções	0,1
Vestuário ligeiro de Verão	0,5 a 0,6
Fato completo	1,0
Fato e sobretudo de algodão	1,5
Fato pesado e sobretudo de inverno	2,0
Vestuário Polar	3,0 a 4,0

As características ideais de uma situação que sujeite o corpo humano ao menor esforço de termorregulação são de temperatura entre os 20°C e os 25°C, com vento muito fraco, uma humidade atmosférica média, o indivíduo em repouso, vestido, e sem radiação solar directa (Andrade, 1998). Com o afastamento dos critérios desta “zona de conforto”, os esforços requeridos pelo sistema de termorregulação serão maiores, suscitando assim um desconforto térmico, cada vez maior quanto mais as características atmosféricas se distanciarem das ideais para um conforto térmico. A figura 3 apresenta os níveis de stress térmico determinados para os valores do UTCI, que será explicado na próxima secção.

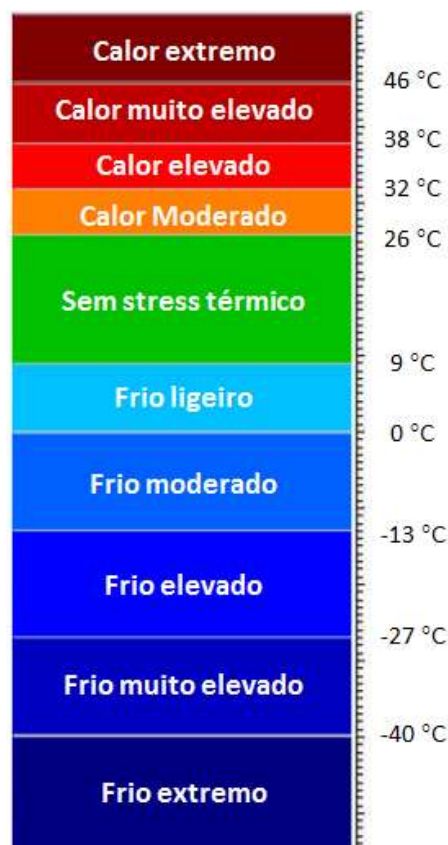


Figura 3: Valores equivalentes de UTCI associados a níveis de stress térmico (adaptado de Bröde et al, 2009, 2010)

Todos estes conceitos são respostas às características do meio ambiente, sujeitas a grandes diferenças, sendo assim necessária uma adaptação constante. Num ambiente urbano, não só é necessário lidar com a poluição, mas também com alguns elementos climáticos que foram utilizados neste projecto, com um impacto térmico directo no ser humano, designados de “Complexo Térmico”, e englobando a temperatura do ar, temperatura radiativa média, pressão de vapor de água e velocidade do vento. (Andrade, 2003)

2.3. O índice UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*)

O desenvolvimento do índice UTCI foi iniciado pela ISB (*International Society on Biometeorology*), com a criação de uma comissão que tinha o objectivo de desenvolver um índice universal que permitisse determinar a resposta fisiológica que um corpo humano pode apresentar em qualquer local, de acordo com as características meteorológicas observadas e uma fisiologia generalizada que prevê os comportamentos do corpo humano de acordo com as condições em que se encontra.

Em 2005, a União Europeia fortaleceu a composição deste índice universal, a partir da acção COST 730 (*Cooperation in Science and Technical Development*), que incentivou a cooperação entre peritos e entidades que dominam vários aspetos necessários o desenvolvimento, o que permitiu novos estudos meteorológicos e fisiológicos, e revisões de projetos antecedentes, que usam índices menos desenvolvidos e onde o índice UTCI se adapte melhor (Błażejczyk et al., 2010, Brode et al., 2013).

O índice UTCI foi criado com o âmbito de ser um índice que cumprisse certos requisitos, sendo estes a representação significativa das variações nas trocas de calor de acordo com todos os fatores possíveis, uma adequação a todos os climas, estações do ano e escalas, e que providencie informação útil para aplicação em diversas áreas que requeiram informação bioclimática, como serviços públicos de meteorologia e de saúde, planeamento de riscos e de impactos climáticos que afetem serviços de saúde, entre outros (Jendritzky et al., 2005)

O resultado final do cálculo do UTCI representa uma temperatura de ar observada nas condições de referência, que suscite a mesma reação fisiológica que as condições reais observadas num dado local (Błażejczyk et al., 2010).

2.3.1. Componentes do UTCI

O índice UTCI é formado por três componentes (fig. 4 e tabela 3): i) o modelo fisiológico; ii) o modelo auxiliar de cobertura, que em conjunto estimam as reacções e trocas de calor no corpo humano e com o meio ambiente; iii) os factores meteorológicos que afectam directamente os indivíduos num ambiente urbano, o chamado “Complexo Térmico”, permitindo ao modelo fisiológico estimar a reacção de um ser humano num dado ambiente, através dos processos termorregulatórios estimados do corpo humano que são usados para atribuir um valor de UTCI ao ambiente estudado (Błażejczyk et al., 2010).

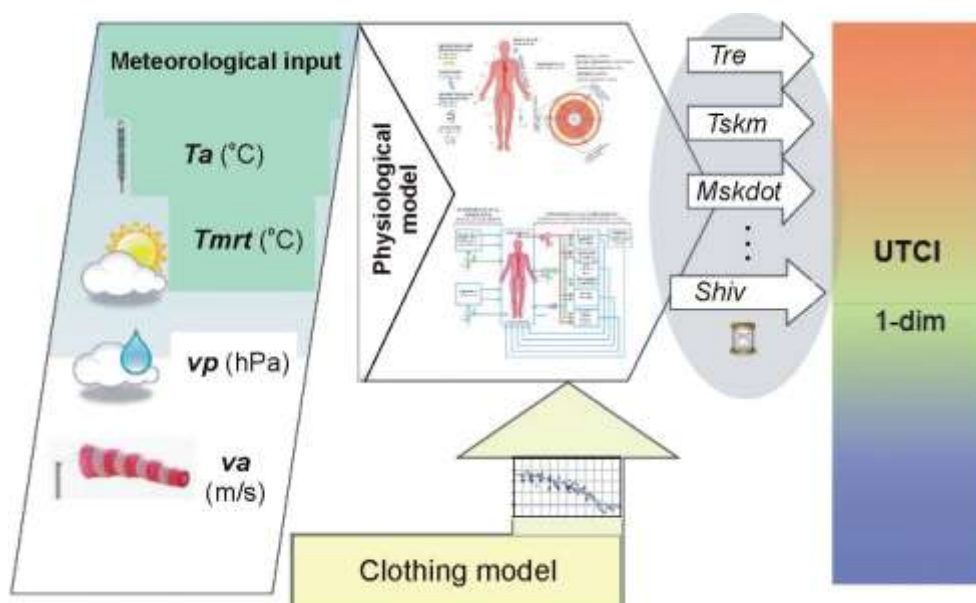


Figura 4: Esquema para o cálculo do UTCI a partir de um modelo termofisiológico, com auxílio de um modelo de vestuário (Błażejczyk et al., 2010)

Tabela 3: Respostas termofisiológicas estimadas do modelo termofisiológico (Błażejczyk et al., 2010)

Resposta	Abreviação	Unidade
Temperatura interna	Tre	°C
Temperatura média da pele	Tskm	°C
Temperatura da pele do rosto	Tskfc	°C
Produção de suor	Mskdot	g/min
Produção de calor por arrepios	Shiv	W
Humidade epidérmica	wettA	% de área do corpo
Fluxo sanguíneo da pele	VbISk	% do valor basal

Para o modelo fisiológico utilizado na composição deste índice, foi escolhido, através de diversos testes de validação e discussões realizadas entre os membros da ação COST 730, um modelo de base para o índice denominado de “UTCI-Fiala Model”, que mostrou ser bastante eficaz na predição dos comportamentos fisiológicos do corpo humano numa gama abrangente de situações climáticas.

O modelo possui uma composição multi-nodal, considerando diferentes propriedades do corpo humano, como a anatomia, propriedades térmicas, fisiológicas e interações internas, na caracterização do seu comportamento fisiológico, sendo este tipo de modelos muito testados e validados por estudos anteriores (Błażejczyk et al., 2010).

O modelo UTCI-Fiala interliga os processos que criam e transferem calor pelo corpo humano, contabilizando o calor atribuído a cada parte do corpo e processo específico que actuou sobre essa parte (fig. 5).

Inclui diversos sistemas de termorregulação do corpo humano, consistindo nas trocas de calor com o meio ambiente, a partir de processos físicos, como arrepios e o tremer dos músculos devido a baixas temperaturas, o suor devido a altas temperaturas e a circulação de sangue ao nível cutâneo, bem como os processos internos de produção e distribuição de calor, como a circulação interior do sangue, movimento dos músculos e outras ações relacionadas com o metabolismo do corpo humano (Fiala et al., 2011).

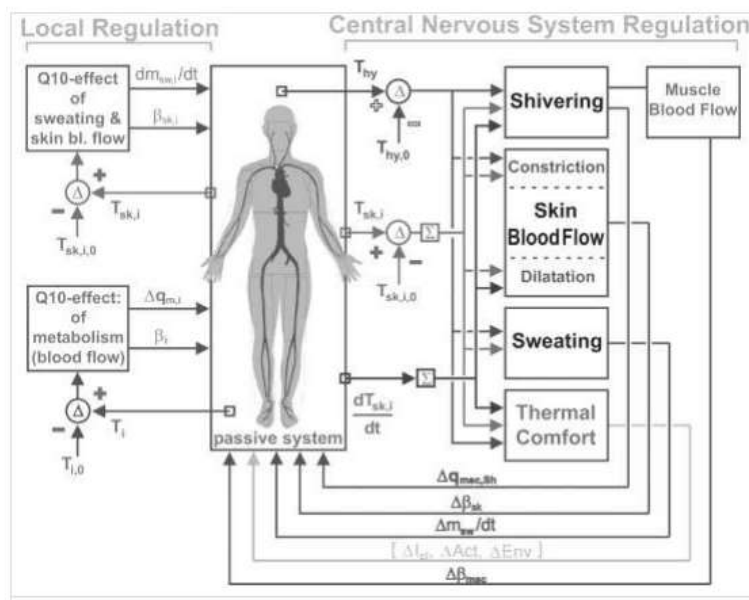


Figura 5: Sistema de termorregulação do corpo humano utilizado no modelo UTCI-Fiala (Fiala et al., 2011)

A este modelo fisiológico é adicionado um modelo de cobertura, que contabiliza o efeito da roupa nas trocas de calor entre o meio ambiente e o corpo humano, ou seja, o isolamento que o vestuário fornece contra as situações climáticas de um dado local.

A fórmula [3] foi ajustada aos comportamentos de vestuário observados em cidadãos europeus, aclimatizados às regiões onde vivem, auxiliando na escolha do UTCI como o índice a utilizar (Havenith et al., 2011):

$$I_{clo} = 1.372 - 0.01866 * T_a - 0.0004849 * T_a^2 - 0.000009333 * T_a^3 \quad [3]$$

Em que:

T_a = temperatura do ar (°C).

Os parâmetros fisiológicos utilizados no ambiente de teste do índice UTCI, fornecidos aos modelos fisiológico e de cobertura, são os seguintes: Uma pessoa de 35 anos, de 1,75m de altura, de 75kg de peso, em locomoção a 4km/h. A análise foi feita num ambiente com velocidade de vento de 0,5m/s, registada a 10m de altura, com uma temperatura radiativa média equivalente à temperatura do ar, e com uma pressão de vapor correspondente a 50% de humidade relativa (Błażejczyk et al., 2010).

Estes parâmetros são utilizados pelo UTCI para comparar não só os diferentes valores obtidos, de acordo com a área de observação real, mas também as características dos indivíduos que possam ser alvos de estudo, que poderão divergir das utilizadas na composição do índice.

2.3.2. Utilização do UTCI

O UTCI foi utilizado neste projecto por representar com confiança as variações nas trocas de calor no corpo humano com o ambiente e pela sua aplicabilidade à totalidade de climas e períodos do ano, devolvendo resultados uteis para a análise do conforto térmico e outros serviços em vários domínios. Como objectivo final deste projecto pretende-se compor um WebSIG que permita disponibilizar o UTCI em tempo real, a partir de medições horárias das variáveis atmosféricas. Neste projecto inicial irá ser testada apenas a sua aplicação à escala urbana, e num período limitado de tempo (Junho a Agosto de 2015).

O IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera) apresenta o UTCI na sua página (<https://www.ipma.pt/pt/ambiente/biometeo/utci>), que disponibiliza mapas diários com intervalos de três horas para Portugal Continental (fig. 6). Com este projecto, não só pretendemos representar o UTCI em frequências temporais superiores mas também a uma escala maior, testando a sua utilidade em ambientes urbanos.

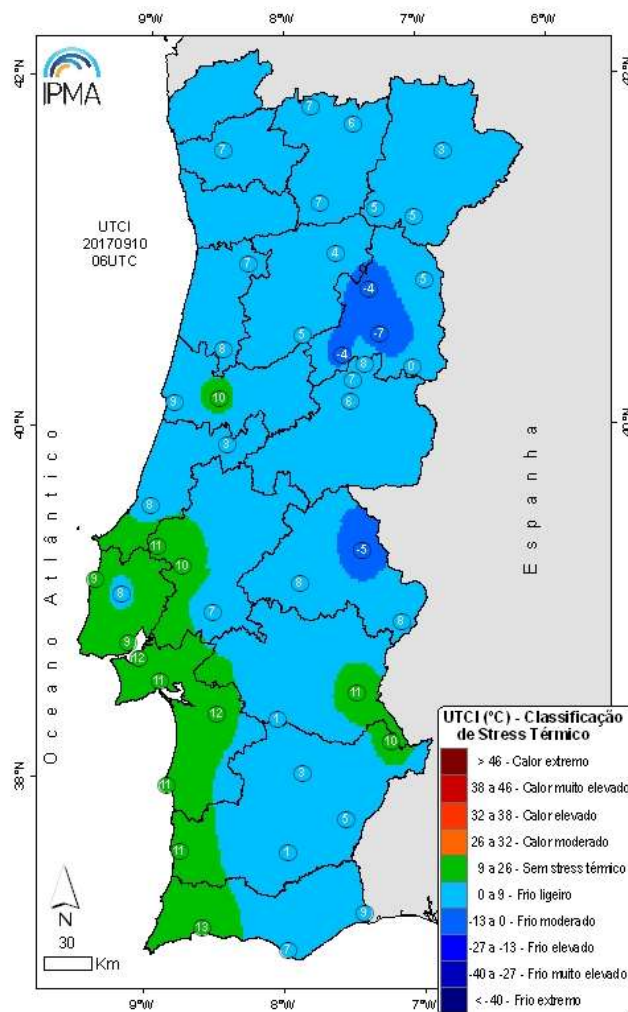


Figura 6: UTCI de Portugal, 6 horas UTC, 10 de Setembro de 2017 (IPMA¹)

2.4. Objectivo do projecto: Sistema de WebSIG

Um WebSIG representa uma forma de partilhar e trabalhar com dados geográficos recorrendo à internet, disseminando a informação disponível a qualquer pessoa que tenha acesso a um computador ou dispositivo móvel, através de um *browser* ou de uma aplicação criada com o propósito de facilitar o acesso e visualização de informação geográfica, com acesso a internet ou numa rede privada (Peng & Tsou, 2003).

Os componentes de um WebSIG são a camada “cliente”, que permite a visualização dos dados requeridos, e a camada “servidor”, onde se encontra a estrutura do WebSIG e se realizam os processos para a sua disponibilização (fig. 7). No geral, o cliente ao visualizar a informação a partir de um ponto de acesso, com um *browser* ou aplicação, envia pedidos para a disponibilização de informação ao servidor WebSIG, sendo interpretados pelo servidor por comandos para encontrar a informação escolhida e remeter esta informação para o browser ou aplicação utilizada, sendo possível ao cliente visualizar a informação geográfica que solicitou. (Foote & Kirvan, 2000, Peng & Tsou, 2003).

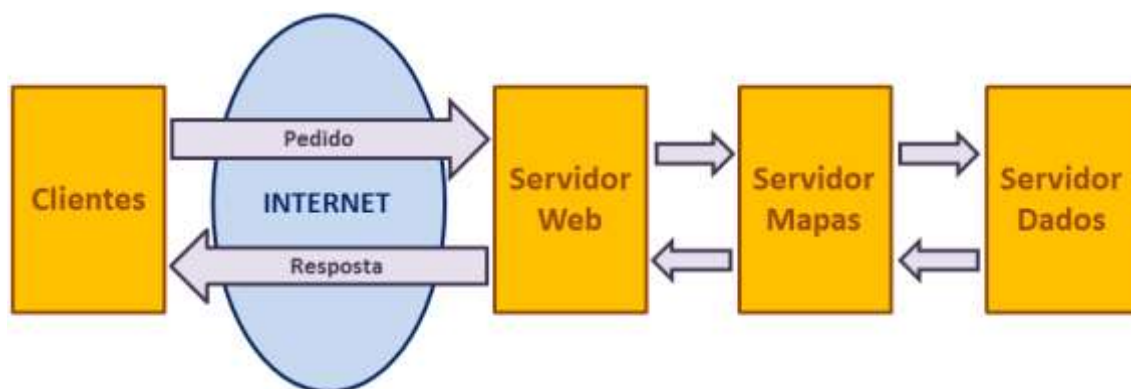


Figura 7: Componentes de um WebSIG

Os componentes de cliente e servidor também definem dois tipos de WebSIG, que são os seguintes: i) WebSIG de servidor, onde os pedidos de disponibilização e operações de tratamento de informação são processados pelo servidor e depois remetidos para o cliente; ii) WebSIG de cliente, onde os dados requeridos são enviados do servidor para o cliente, onde qualquer processamento necessário será realizado pelo dispositivo que o cliente usa através de ferramentas fornecidas para essas funções (Foote & Kirvan, 2000). Neste projecto, foi construído um WebSIG de servidor que disponibiliza os resultados obtidos ao cliente. Em etapas futuras, serão implementadas operações automáticas de recolha, tratamento e disponibilização de informação com o tratamento subsequente dos dados resultantes a ser efectuado por outros programas.

A componente “cliente” é a mais simples, consistindo apenas no *browser* necessário para a interacção com a componente de servidor, onde o utilizador realiza os pedidos de acesso à informação geográfica.

A componente “servidor” possui três elementos, sendo o servidor web o primeiro. Este tem como função a interpretação dos pedidos realizados pelo cliente através do *browser* e de devolver os resultados ao cliente a partir de HTML, imagens e mapas.

Depois de analisar o pedido do cliente, o servidor web encaminha o requerimento para o servidor de mapas (o segundo elemento) que realiza a procura e ajuste de informação geográfica necessárias, bem como qualquer processo requerido aos dados. A informação geográfica está localizada no terceiro elemento, a base de dados, que devolve os dados requeridos ao servidor de mapas.

Uma componente de servidor de informação geográfica também utiliza protocolos especializados para o tipo de dados que trabalha, diferenciando-se de servidores de web convencionais, com o objetivo de diminuir o tempo de espera do cliente. Um servidor comum utiliza HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*), linguagem comum de transferência de informação na internet, também utilizada num WebSIG na comunicação do cliente com o servidor.

No tratamento de dados são utilizados protocolos únicos para diferentes tipos de informação geográfica definidos pela OGC (*Open Spatial Consortium*), uma organização internacional sem fins lucrativos com o objetivo de standardizar a partilha de informação geográfica.

Realçando alguns protocolos comuns, o protocolo GML (*Geographic Markup Language*) descreve os dados geográficos, de acordo com critérios definidos, facilitando a partilha. O WMS (*Web Map Service*) permite a criação de mapas a partir de dados de vários formatos. O WFS (*Web Feature Service*) permite a visualização de dados geográficos e a sua manipulação. O WCS (*Web Coverage Service*) permite a visualização de informação matricial. O SLD (*Style layer Descriptor*) define critérios para os estilos utilizados nos mapas criados por WMS.

Dado o formato de mosaico matricial dos resultados deste projecto e o uso da infraestrutura da ESRI para publicar um WebSIG, é necessário garantir a compatibilidade para os protocolos existentes utilizados neste projecto, que está assegurada para outras aplicações que utilizem o protocolo WMS ou WMTS (*Web Map Tile Service*), para a criação de mapas com conteúdo em mosaico (ESRI¹).

3. Enquadramento da área de estudo

3.1. A cidade de Lisboa

Lisboa é uma cidade com uma história diversa, muito influenciada pela sua posição na margem do rio Tejo, com uma grande história de actividade marítima e industrial.

Tendo cerca de meio milhão de habitantes, possui alguma diversidade de origens e etnias, uma característica geral de ambientes urbanos, diferenciando estes de áreas rurais onde os habitantes na sua maioria tem origem nas próprias localidades.

Desde a antiguidade que a cidade de Lisboa possui uma grande relevância na região que ocupa dado a sua posição na margem do rio Tejo como um porto seguro e de bom acesso. Até aos tempos modernos, a cidade mantém-se como um povoamento bastante importante, com um crescimento continuo devido às necessidades de habitação, emprego e serviços necessários para servir a sua população.

Sendo a capital dos pais, Lisboa exerce uma grande influência nas regiões em redor como polo de emprego, de administração territorial a nível nacional e cidade de turismo e lazer como atracção internacional, fortalecendo a economia a partir deste sector importante e novamente, contribuir para a empregabilidade e atractividade da região.

As abordagens ao conforto térmico realizadas neste trabalho procuram alertar a população e a administração territorial para casos extremos na malha urbana que diminuam o conforto sentido em certas áreas da cidade de Lisboa e que possam ser remediados por intervenções no espaço urbano.



Figura 8: Lisboa, as suas freguesias e os municípios limítrofes, após a reorganização administrativa de 2012 (CAOP 2016) (Nota: foi retirada a parte do Tejo das freguesias ribeirinhas)

O município de Lisboa encontra-se na margem norte do Rio Tejo, fazendo fronteira com os municípios de Loures e Odivelas a norte, e Amadora e Oeiras a oeste (fig. 8).

O centro da cidade de Lisboa manteve-se estável ao longo do tempo, e com um crescimento controlado, com vias rectas e bem planeadas, sendo este modelo, originado na época do Marquês de Pombal, durante a reconstrução depois do terramoto no século XVIII e adoptado em áreas mais a norte, onde se formaram diversos bairros de traçados ortogonais, originados pelas grandes avenidas criadas na altura, que possibilitavam o acesso a estas áreas, e ao centro de Lisboa. Estes planos de urbanização bem definidos são apenas quebrados pelas construções mais desorganizadas, exigidas por declives acentuados, maioritariamente nas zonas de vale. (Salgueiro, 2001).

O crescimento a norte da cidade aumentou bastante no século XX, especialmente na 2ª metade (fig. 9), com grandes aumentos nas urbanizações e na densidade urbana. Dado a construção de novos eixos a norte, as áreas rurais ligaram-se de uma forma desorganizada a Lisboa, permitindo um fluxo maior de população que imigrava para o município em busca de trabalho. Esta imigração levou ao surgimento de novos bairros que diversificaram a malha existente a norte e oeste de Lisboa, com diferenças em construções e padrões das vias, sem muito respeito pelas malhas existentes no centro da cidade.

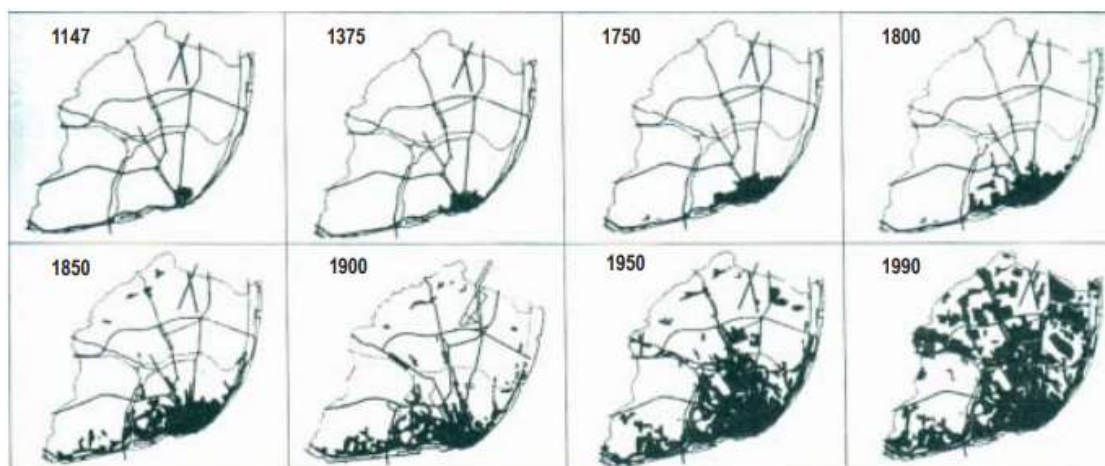


Figura 9: Crescimento da cidade de Lisboa (Salgueiro, 2003, a partir de Salgueiro, 2001)

Também no século XX notou-se um aumento de actividade industrial na faixa ribeirinha de Lisboa com a construção de armazéns e fábricas, sendo muitas destas áreas actualmente alvo de acções de reabilitação, como Parque da Nações no Nordeste da cidade. Esta situação estende-se pela frente ribeirinha até Sacavém, pertencente a Loures, onde ainda se encontram várias actividades industriais na margem do rio Tejo.

Estes aumentos de extensão e densidade da malha urbana da cidade de Lisboa causaram modificações climáticas na cidade, nomeadamente nos regimes de vento, resultando na diminuição de ventilação mais significativa a sul da cidade quando se observam regimes de vento de norte e noroeste, e que influenciam o fenómeno de ilhas urbanas de calor (Lopes, 2003), que será apresentado nas secções seguintes.

Não sendo só a atmosfera e a morfologia urbana que condicionam o ambiente da cidade, é necessário uma breve análise da morfologia do território onde se localiza Lisboa, que pelas suas características altera as condições climáticas locais de acordo com a exposição ao estado da atmosfera.

Lisboa encontra-se num local relativamente acidentado, com diversos vales extensos e com declives pronunciados a sul do município, que retalham áreas mais regulares de planalto no centro e norte. Em termos de altitude, esta tende a crescer consistentemente a partir das margens do rio Tejo, com quebras causadas pelos vales, onde as diferenças em altitude se observam de uma forma mais abrupta (fig. 10). É na serra do Monsanto onde se encontram os valores de altitude mais altos observados em Lisboa, chegando aos 227m (fig. 11).

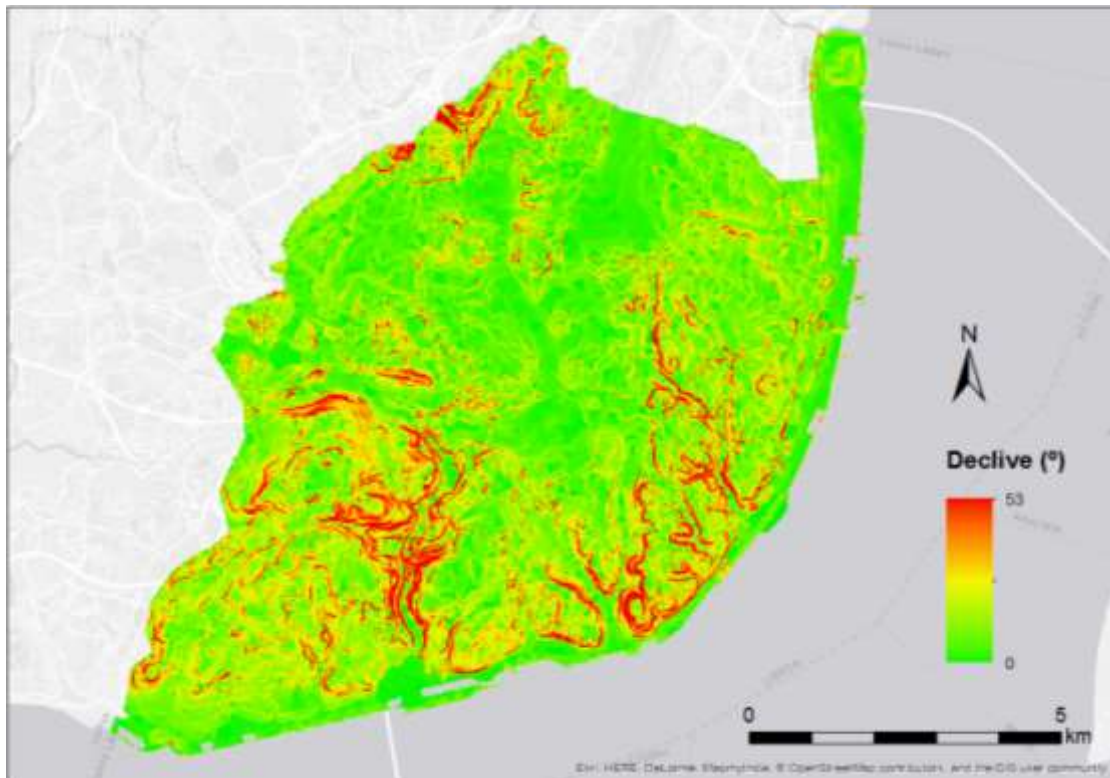


Figura 10: Declives do município de Lisboa

No centro e a norte do município, na zona do Aeroporto Humberto Delgado a altitude do planalto mantem-se em torno dos 100 metros, sendo que para sul a média de altitude tende a descer para os 80 metros, onde se observam os diversos vales que escoam até ao rio, de orientação geral norte-sul. Nas áreas mais próximas do Tejo, a altitude mantém-se com uma média de 20 metros para toda a extensão ribeirinha.



Figura 11: Altitude do município de Lisboa

De relevos mais afastados do município, a noroeste, a serra de Sintra, com altitudes superiores a 500m, e a norte, a serra da Carregueira, ultrapassando os 350m de altitude, são ambos obstáculos que influenciam o clima de Lisboa, pela alteração dos padrões de vento. A norte de Lisboa, encontra-se uma depressão extensa em Loures, que, como os acidentes geomorfológicos anteriores, afecta o padrão de ventos em Lisboa (Lopes, 2003).

Também é importante referir a presença do Oceano Atlântico a oeste, a 15km de distância, como um grande efeito no clima resultante observado em Lisboa e a presença do estuário do Tejo que influencia o seu clima, não só pela proximidade, mas também através do sistema de brisas que gera (Lopes, 2003).

3.2. O Clima regional de Lisboa

Lisboa possui um clima mediterrâneo, de tipo Csa na classificação de Köppen-Geiger, com um verão quente e seco, e um Inverno chuvoso com temperaturas mais baixas. (Alcoforado et al., 2005, Baltazar, 2010).

As temperaturas máximas médias de Lisboa atingem os 28 °C durante o verão, no mês de Agosto, e perto dos 8 °C nas mínimas médias no inverno, durante o mês de Janeiro (fig. 12).

A amplitude térmica também apresenta diferenças de acordo com a estação do ano, sendo observadas amplitudes superiores durante o verão (10 °C), apresentando os dados meteorológicos maiores variações nos máximos e mínimos registados, enquanto nos meses de inverno existe uma maior estabilidade na oscilação de temperatura, com uma diferença menor entre os valores observados (6 °C). (Alcoforado, 1993).

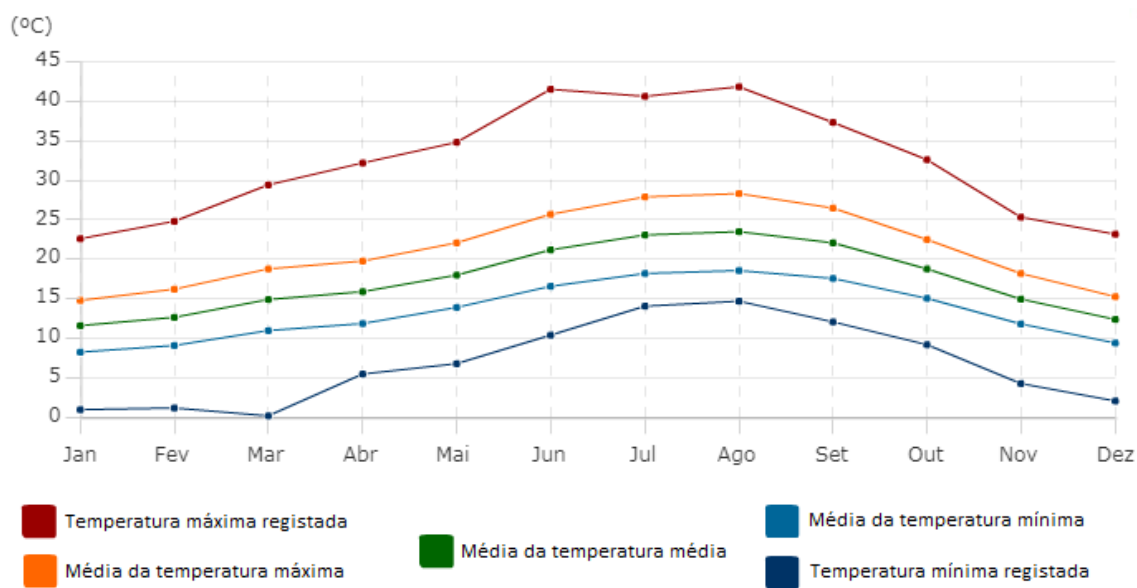


Figura 12: Temperatura do ar, normais climatológicas, Lisboa/Geofísico, 1981-2010 (provisórias) (extraído de IPMA²)

O vento, e os seus padrões de circulação que afectam a cidade de Lisboa influenciam as condições climáticas presentes na cidade (Lopes, 2003, Lopes et al., 2013), sendo possível observar diferenças entre as diversas estações do ano, bem como padrões mais comuns em cada estação.

Durante o verão, o regime mais observado é a Nortada, ou seja, a circulação proveniente de norte e noroeste, que em certos verões chega perto de 50% observações totais da direcção de vento. Com este regime, as temperaturas tendem a ser mais baixas e as velocidades do vento registadas geralmente são mais altas, embora o efeito do edificado presente, que se irá discutir na secção seguinte, diminua a circulação destes ventos e aumente as temperaturas no interior da cidade (Lopes et al., 2013).

Nas restantes observações de direcção de vento no verão, este sopra no regime de brisas do oceano e estuário do Tejo, com as direcções entre oeste e sudeste. Nestas situações, a velocidade do vento não tende a ser muito elevada e a circulação de ar fresco origina a diminuição da temperatura na cidade (Baltazar, 2010).

A direcção do vento durante o período de Inverno tende a ser proveniente de este e nordeste, em Dezembro, evoluindo progressivamente para uma maioria de direcção de vento a partir de norte, em Fevereiro. Os ventos de oeste possuem alguma relevância no final do inverno (Baltazar, 2010).

Na Primavera, a maioria das observações de direcção de vento consiste em registos de norte e norte-noroeste, mostrando uma progressão clara entre as estações de Inverno e Verão. O outono não é diferente, sendo os padrões de vento indicativos de uma diminuição do regime de nortada, e um aumento de outras direcções, como o sudoeste e nordeste, que são mais acentuados com a chegada do Inverno. (Lopes, 2003).

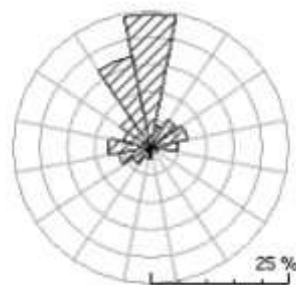


Figura 13: Rosa-dos-ventos anual, do período 71/80 (Lisboa/Portela) (Lopes, 2003)

3.3. O Clima urbano de Lisboa

Uma parte fundamental do clima de uma cidade é a existência de modificações nos padrões climáticos provocadas pelo edificado e a ocupação do solo, sendo uma das consequências o aparecimento de ilhas urbanas de calor.

A passagem do ar em torno dos edifícios é apenas analisada em detalhe para edifícios únicos ou conjuntos pequenos de edifícios, a partir de análises microclimáticas (Lopes, 2003). De acordo com Andrade (2003), existem três tipos de escalas climáticas que se observam numa área urbana:

Um mesoclima procura englobar toda a área urbana a partir de semelhanças climáticas, e estende-se para além da mesma, incluindo as modificações climáticas resultantes da interacção com factores externos à área urbana, como a alteração dos padrões de ventos por acidentes morfológicos, sendo no caso de Lisboa distinguidas as serras de Sintra e da Carregueira, a norte e noroeste e a depressão de Loures, a norte, como factores de alteração dos padrões de vento de norte e noroeste.

Vários climas locais observam-se a partir de semelhanças na morfologia, como o uso do solo para habitação, áreas verdes e a topografia existente numa extensão da cidade, como as colinas ou vales de Lisboa. É constituído por vários microclimas que apresentam semelhanças e possui uma extensão horizontal de cerca de um quilómetro.

Variadíssimos microclimas, onde se situam os efeitos do edificado na passagem do ar, pronuncia-se por algumas centenas de metros, são o resultado das características do edificado e de outros elementos urbanos presentes num local específico, e é onde ocorrem as trocas de fluxos de calor entre os edifícios e a atmosfera interior.

À escala regional, o vento sofre uma diminuição na sua velocidade por causa do aumento de atrito das superfícies rugosas. Mas a uma escala maior (à microescala), outro factor relacionado com o edificado no ponto de vista de clima urbano é a passagem do vento pelo tecido urbano, e a criação de tuneis de vento, que forçam a passagem das correntes de ar, através do efeito *Venturi* (afunilamento) e subsequente aceleração de ar entre os edifícios. Isto pode acarretar os seus próprios riscos, como desconforto adicional e risco de perigo para os peões, sendo observados em casos severos, dificuldades de deslocamento e queda de objectos, como as árvores (Lopes et al., 2013).

Os padrões já muito observados destas situações de ilhas urbanas de calor em Lisboa estão relacionados com a circulação do vento à escala regional. Em geral, quando existe situação de “Nortada”, com ventos moderados, nota-se um acréscimo de temperatura no interior, mais urbanizado da cidade, devido ao abrigo causado pelos edifícios. Quando se observam ventos de sul e leste, em situação de brisa, por influencia do mar ou do rio Tejo, o ar fresco tende a arrefecer mais o centro da cidade de que as zonas da periferia, notando-se uma situação inversa de ilha de “frescura”, com uma descida de temperaturas e com o centro da ilha de calor a deslocar-se mais para norte, ao abrigo das brisas de sul e leste (Alcoforado et al., 2005).

A escala desejada para este projecto consiste na observação dos climas locais de Lisboa com resultados que habilitem estudos futuros (de microescala). O efeito do edificado na passagem do ar é um dos componentes de um clima de microescala, e ao ser exigente em tempo e capacidade de processamento, será simplificado a partir da rugosidade aerodinâmica (z_0), que será apresentada na metodologia deste projecto.

Embora se pretenda calcular o conforto térmico para toda a cidade de Lisboa, é possível observar as interacções entre a malha urbana e algumas variáveis climáticas na cidade necessárias para o cálculo do UTCI a partir dos climatopos (tabela 4 e fig. 14). Um estudo entre a morfologia e as interacções com as variáveis climáticas, efectuado por Alcoforado et al. (2005), resultou em orientações para a melhoria dos espaços urbanos da cidade de Lisboa que foram incluídas no PDM (Plano Director Municipal).

Tabela 4: Caracterização dos climatopos de Lisboa (adaptado de Alcoforado et al, 2005)

Unidade	Tipo de Ocupação	Comportamento aerodinâmico	Comportamento térmico
1	Elevada densidade de ocupação	Alta rugosidade ($z_0 \geq 1m$); forte redução da velocidade média do vento	Ilha de calor muito frequente e de intensidade máxima
2	Espaços desocupados ou de fraco nível de ocupação (média e baixa densidade)	Rugosidade média ou baixa ($z_0 = 0.5 - 1m$); redução moderada da velocidade média do vento	Ilha de calor moderada
3	Espaços verdes (E.V. excluindo E.V. não arborizados no Planalto Norte de Lisboa)	Variável (dependente da arborização)	Áreas frescas (tanto de dia como de noite)
4	Elevada densidade de ocupação	Alta rugosidade ($z_0 \geq 1m$); forte redução da velocidade média do vento	Ilha de calor moderada
5	Densidade média de ocupação	Rugosidade média ou baixa ($z_0 = 0.5 - 1m$); redução moderada da velocidade média do vento	Variável ou ilha de calor moderada
6	Espaços desocupados ou de baixa densidade de ocupação	Baixa rugosidade ($z_0 < 0.5$); fraca redução da velocidade do vento	Variável
7	Diversa	Diversa; áreas particularmente expostas às brisas	Dependente da exposição e da direcção do vento
8	Diversa	Diversa; áreas de canalização do vento; drenagem de ar frio em noites de arrefecimento radiactivo	Condições extremas (dependentes da ocupação)

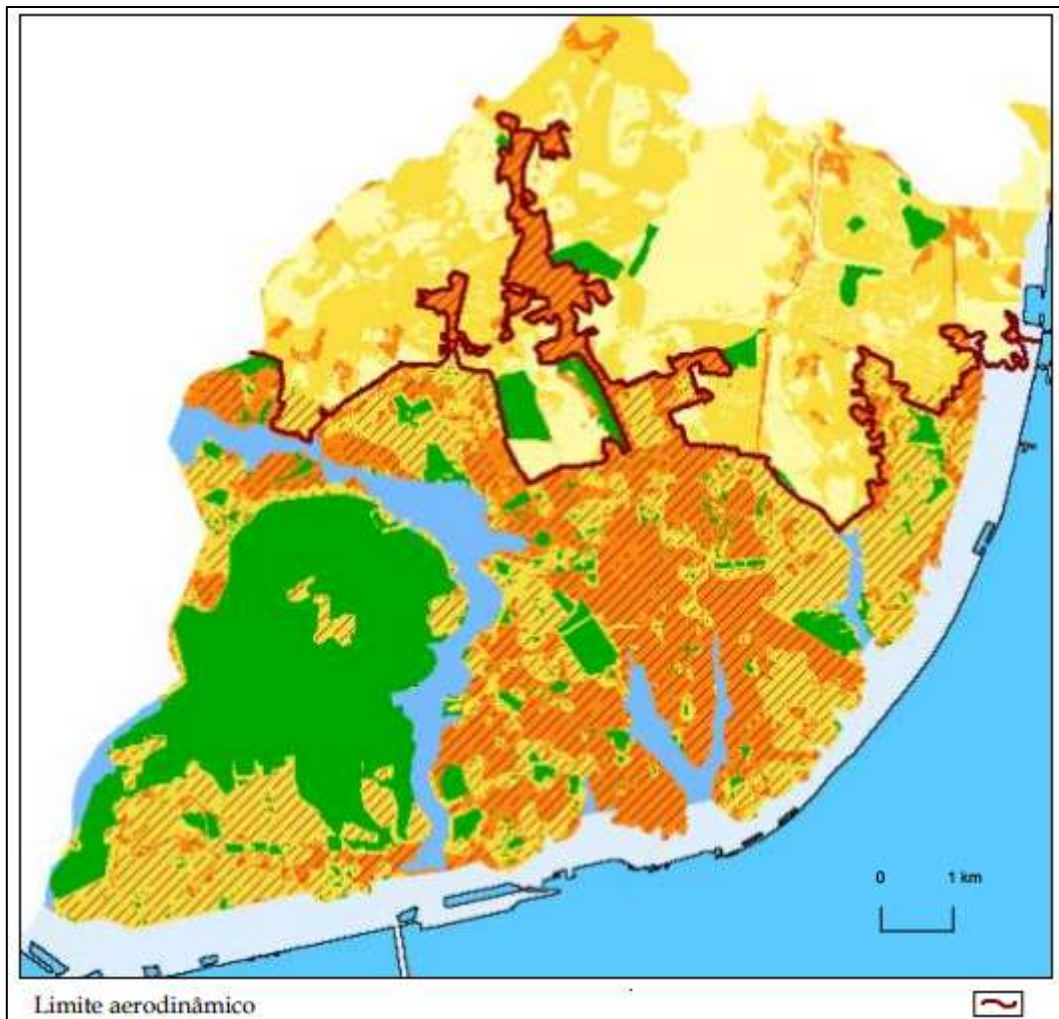


Figura 14: Climatopos de Lisboa (adaptado de Alcoforado et al, 2005)

4. Metodologia e dados

Para a construção e modelação espacial do UTCI foi utilizado um período de teste de modo a criar um algoritmo para uso no futuro. O período escolhido para os testes dos algoritmos foram os meses de verão (Junho, Julho e Agosto), de 2015, sendo os dados utilizados para realizar 15 mapas de UTCI referentes às horas de maior permanência nos espaços públicos durante o período diurno (9:00h; 12:00h; 15:00h; 18:00h, 21:00h).

Esta escolha do período foi sustentada pela bibliografia existente referente ao estudo de conforto térmico no verão do hemisfério norte e do conforto térmico de Lisboa num período de regimes característicos de vento na região (Nortada), que suscitam as maiores alterações nas condições climáticas existentes na cidade, como as ilhas de calor urbano (Lopes, 2003, Alcoforado et al., 2005, Lopes et al., 2013). No futuro pretende-se utilizar dados em tempo real para o cálculo do conforto térmico para todo o período anual.

As etapas deste trabalho consistem em: i) preparação das variáveis para o cálculo do UTCI; ii) a composição dos mapas de UTCI para cada média horária dos meses escolhidos; iii) apresentação dos resultados em ambiente WebSIG (fig. 15).

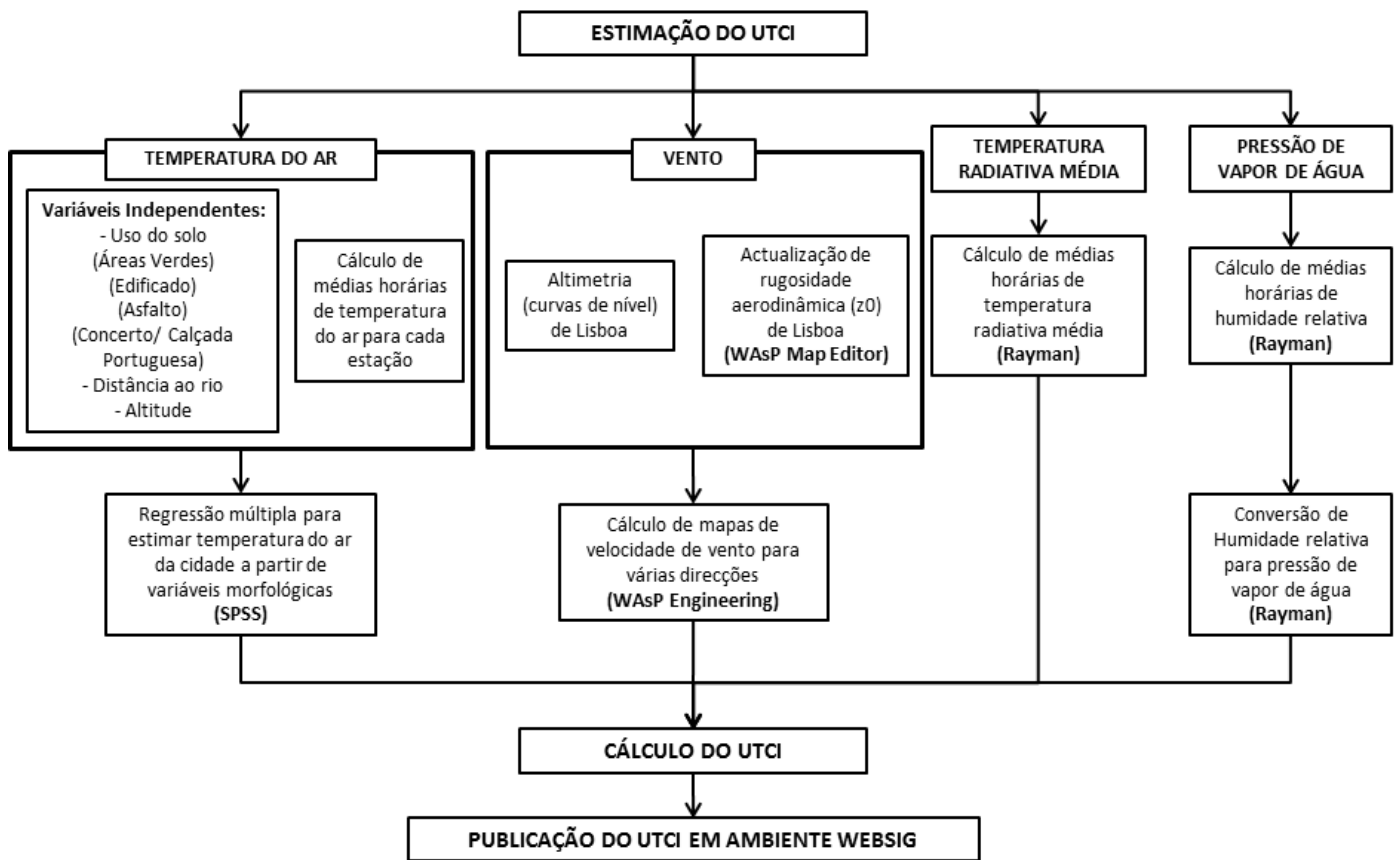


Figura 15: Esquema da metodologia do projecto

Os dados de temperatura do ar foram obtidos a partir da rede climática urbana do Zephyrus (Climate Changes and Environmental Research Group), Centro de Estudos Geográficos (IGOT), da Universidade de Lisboa. Esta rede, instalada em 2004, tem como objectivo o estudo dos padrões térmicos e das ilhas urbanas de calor de Lisboa (Lopes et al, 2013). Consiste em oito estações de recolha de dados de temperatura e humidade relativa em zonas estratégicas da cidade (fig. 16).

Devido a falhas na recolha da humidade relativa em 2015 da rede Zephyrus só os dados de temperatura do ar foram utilizados, sendo os restantes dados (Humidade relativa, direcção e velocidade do vento) recolhidos da estação meteorológica da Portela, no aeroporto Humberto Delgado, pertencente ao IPMA (Instituto Português do Mar e Atmosfera), a partir do *National Centers for Environmental Information* (NCEI), um conjunto de redes de recolha de dados atmosféricos pertencentes à *National Oceanic and Atmospheric Administration*, do U.S. *Department of Commerce* (sendo os dados da estação da Portela fornecidos a esta entidade pelo IPMA para divulgação).



Figura 16: Rede climática urbana (Zephyrus) e estação meteorológica da Portela/Aeroporto (IPMA)

A informação sobre a cobertura do solo (para a determinação das áreas verdes, edificado, asfalto e calçada portuguesa) foi extraída a partir de um mapa criado por Mendes et al. (2015), a partir de uma imagem do satélite WorldView-2, que possui uma resolução espacial de 2 metros (cada pixel representando uma área de 4m²).

Os dados da rugosidade aerodinâmica (z_0) para estimar a resistência que a malha urbana apresenta à passagem do vento provêm de Lopes (2003) e posteriormente Baltazar (2010), actualizados a partir de ortofotomapas de 2015, da Câmara Municipal de Lisboa, de um estudo de Alcoforado et al. (2005b) em climatopos e de um mapa de rugosidade aerodinâmica de Lisboa de Correia et al. (2015), que se baseou na classificação de rugosidade aerodinâmica de Davenport-Wieringa (Stull, 2011). Estes dados foram auxiliados por um modelo digital de elevação (MDE) e mapa de curvas de nível, do IGEO, para estimar a temperatura do ar e fabricar os mapas de vento para Lisboa.

O tratamento dos dados para este projecto foi acelerado, com o objectivo de compor um protótipo inicial, que mostrasse as principais capacidades pretendidas do WebSIG. No futuro desta infra-estrutura, os dados e a metodologia serão tratados com um nível de rigor superior, com o objectivo de proporcionar uma ferramenta em tempo real comercializável e de confiança.

4.1. Espacialização da temperatura do ar

Foram seleccionados para o período de teste dos algoritmos os dados de temperatura do ar, provenientes da rede climática urbana do grupo de investigação Zephyrus (CEG) entre Junho e Agosto de 2015.

A recolha e tratamento das observações de temperatura consistiram no cálculo das médias horárias (9:00h; 12:00h; 15:00h; 18:00h, 21:00h), para os meses de estudo (Junho, Julho e Agosto). Foi aplicada uma regressão múltipla à temperatura do ar, sendo assumida como variável dependente. O objectivo desta análise foi a escolha das variáveis morfológicas do município de Lisboa que mais afectam a temperatura do ar. As variáveis morfológicas seleccionadas foram as percentagens de áreas verdes, de edificado, de asfalto, e de calçada (Mendes et al, 2015), extraídas para um raio de 250 metros em redor de cada estação meteorológica, bem como a altitude e distância ao rio Tejo (Baltazar, 2010).

Esta regressão múltipla foi realizada no *software* SPSS, um programa de análise estatística e de modelação de dados desenvolvido pela IBM (*International Business Machines*), e a espacialização da temperatura do ar em ambiente SIG foi feita a partir do *software* Arcmap, um programa de análise espacial e de tratamento de dados geográficos, desenvolvido pela ESRI, que permitiu criar os mapas de temperatura do ar, utilizando as variáveis escolhidas e as fórmulas resultantes.

A regressão múltipla consiste num método de estimar uma variável dependente, neste caso a temperatura do ar, a partir de variáveis independentes, sendo as variáveis morfológicas utilizadas para este fim. O objectivo desta análise é calcular a temperatura do ar a partir das variáveis independentes, e é muitas vezes utilizada para espacializar uma variável dependente que só possua valores para certos locais de recolha (Alcoforado e Andrade, 2005).

Este método foi escolhido não só pela sua aplicação em climatologia urbana, mas pela sua utilização para a área de Lisboa. Alcoforado e Andrade (2005) utilizaram a regressão múltipla para estimar a temperatura do ar, com o âmbito de estudar o fenómeno de ilha de calor urbano nocturno em Lisboa. A temperatura do ar foi estimada através das correlações com algumas variáveis morfológicas independentes também utilizadas neste projecto, como a altitude, distância ao rio, percentagem de áreas verdes e de edificado.

Foi também utilizado neste projecto, como no exemplo anterior, uma regressão múltipla com o procedimento “*stepwise*”, onde todas as variáveis independentes são comparadas, e um novo modelo é criado com a variável independente que mostrar maior correlação com a variável dependente. As restantes variáveis são depois comparadas ao novo modelo para se encontrar uma nova variável com maior correlação, sendo o processo repetido até não haver mais variáveis independentes, ou até não existir correlação suficiente entre o modelo e as variáveis independentes restantes, sendo removidas para não causarem erros nas estimações da variável dependente.

Os valores dos coeficientes de determinação (r^2) foram utilizados para a escolha das variáveis utilizadas no cálculo da temperatura do ar, pois ao serem adicionadas mais variáveis aos modelos, este valor sobe, indicando uma correlação superior entre as variáveis independentes e a dependente, ou desce, indicando uma correlação inferior. Os r^2 variam entre 0 e 1, e o modelo que, para cada média horária de cada mês, apresenta o maior r^2 é utilizado, bem como as variáveis incluídas, para a estimacão da temperatura do ar.

As áreas verdes, edificado, asfalto e calçado a 250m de cada estação meteorológica foram extraídos do mapa de Mendes et al. (2015), e convertidas a uma percentagem da classificação do solo existente (fig. 17).

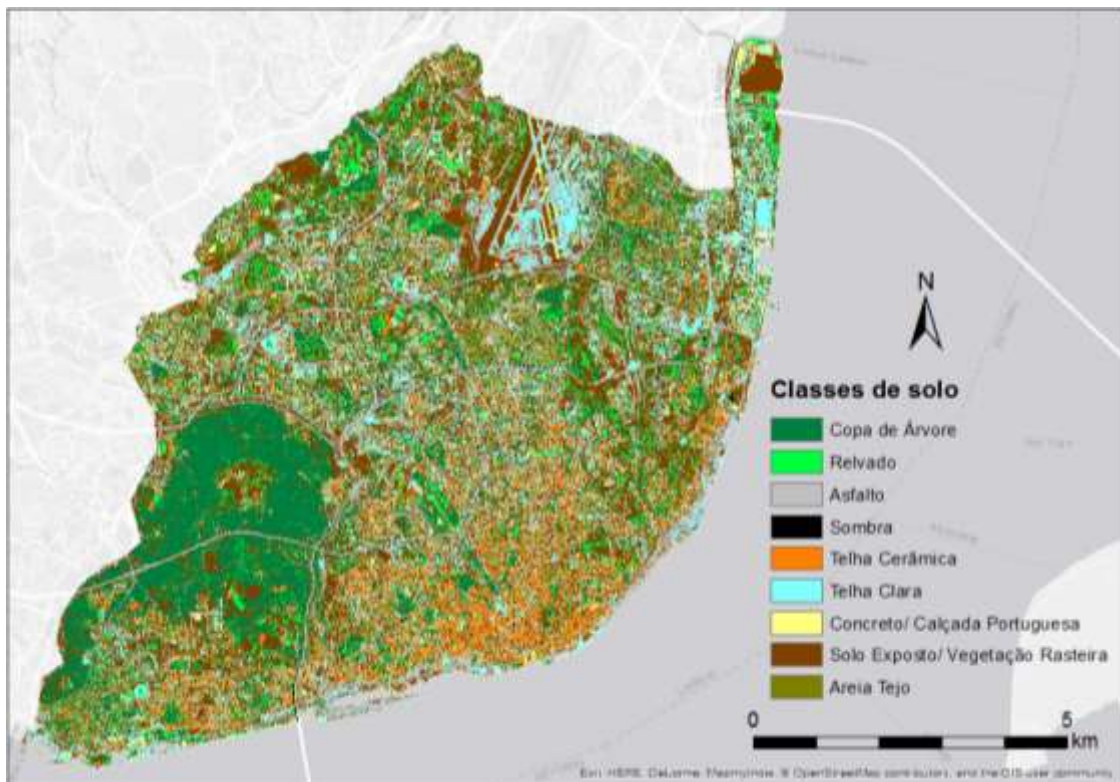


Figura 17: Classificação do solo no município de Lisboa (adaptado de Mendes et al., 2015)

Algumas das classes originais foram agrupadas, criando-se as classes de áreas verdes, composta por “Copa de árvore”, “Relvado” e “Solo exposto/ Vegetação rasteira”, e a classe de edificado, composta por “Telha cerâmica” e “telha Clara”, e as restantes, “Asfalto” e “Concreto/ Calçada portuguesa” assumem apenas um valor.

Estas classes foram convertidas para mapa booleanos, identificando os pixéis que contém ou não estas classes, possibilitando a recolha das suas percentagens em cada estação, essencial para a regressão múltipla, e a inclusão dos mapas na fase de espacialização da temperatura do ar (tabela 5).

A variável de altitude foi obtida a partir de um MDE realizado a partir de dados do IGEO, Instituto Geográfico Português, e a distância ao rio Tejo foi calculada a partir de um polígono de Lisboa, realizando-se uma acumulação de distância a partir da margem do rio Tejo, para todo o município, no Arcmap. Estas duas variáveis foram extraídas a partir da localização exacta das estações meteorológicas, e apresentam-se em metros (tabela 5).

Tabela 5: Variáveis utilizadas na estimação da temperatura do ar

Estações da rede Zephyrus	Altitude (m)	Distância ao rio (m)	Vegetação (%)	Edifícios (%)	Calçada (%)	Asfalto (%)
Belém	6,33	22,36	33,31	29,72	7,4	14,57
Campo de Ourique	81,51	1295,22	46,69	34,51	5,63	10
Carnide	109,55	7050,39	48,83	21,45	7,43	20,56
Monsanto	161,14	2541,69	94,28	2,91	0,46	2,12
Parque das Nações	4,99	63,25	28,24	18,81	10,28	15,93
Restauradores	27,57	1155,21	36,97	41,51	6,75	12,31
Saldanha	79,88	3005,41	30,87	36,01	4,69	22,19
Vale de Alcântara	31,13	1984,94	69,34	10,49	0,77	17,69

Depois de efectuada a regressão múltipla, os modelos mais explicativos para cada média horária de cada mês foram seleccionados de acordo com o valor r^2 (tabela 6).

Tabela 6: Variáveis independentes escolhidas pela regressão múltipla “stepwise” na estimação da temperatura do ar os períodos em estudo e r^2 de cada modelo

Mês	Hora	Variáveis independentes	r^2
Junho	9:00	Distância ao rio/ % Edifícios	0,386
	12:00	% Asfalto	0,121
	15:00	% Asfalto	0,118
	18:00	Altitude	0,252
	21:00	% Vegetação/ Altitude/ % Edifícios	0,843
Julho	9:00	Distância ao rio/ % Edifícios/ Altitude	0,933
	12:00	Altitude/ % Edifícios	0,729
	15:00	Distância ao rio/ Altitude/ % Edifícios	0,595
	18:00	Distância ao rio/ % vegetação	0,711
	21:00	Altitude/ % Edifícios/ % Calçada	0,922
Agosto	9:00	Distância ao rio/ % Edifícios/ Altitude	0,803
	12:00	% Asfalto	0,083
	15:00	Altitude	0,077
	18:00	Altitude	0,374
	21:00	Altitude/ % Edifícios	0,756

De acordo com os valores de r^2 de cada modelo utilizado, nota-se que a regressão múltipla enquadra-se como um modelo de previsão adequado para algumas médias horárias, mas para outros, o valor de r^2 não é suficiente para uma estimação eficaz da temperatura do ar, excluindo muitas variáveis independentes.

Poderiam ter sido incluídas mais variáveis, causando um aumento no r^2 (entre 0,1 a 0,2 na maioria dos casos), mas observou-se valores erráticos na temperatura do ar estimada, pelo que se optou por utilizar estes modelos em fase de teste, com melhoramentos ou alteração do modelo de estimação utilizado a considerar para fases futuras (fig. 19, 20 e 21).

Mesmo com alguns modelos menos adequados, a validação realizada para cada estação mostrou resultados promissores. Os valores estimados mais divergentes dos observados foram os de Belém e Parque das Nações, ambas com uma grande proximidade à margem do Rio Tejo, e na estação de Carnide, a mais afastada do rio, com diferenças para certos períodos superiores a 1,5°C. As outras estações encontram-se mais estáveis, com poucas diferenças entre os valores observados e estimados, embora com algumas exceções para alguns períodos, onde as diferenças chegam a 1°C (fig. 18).

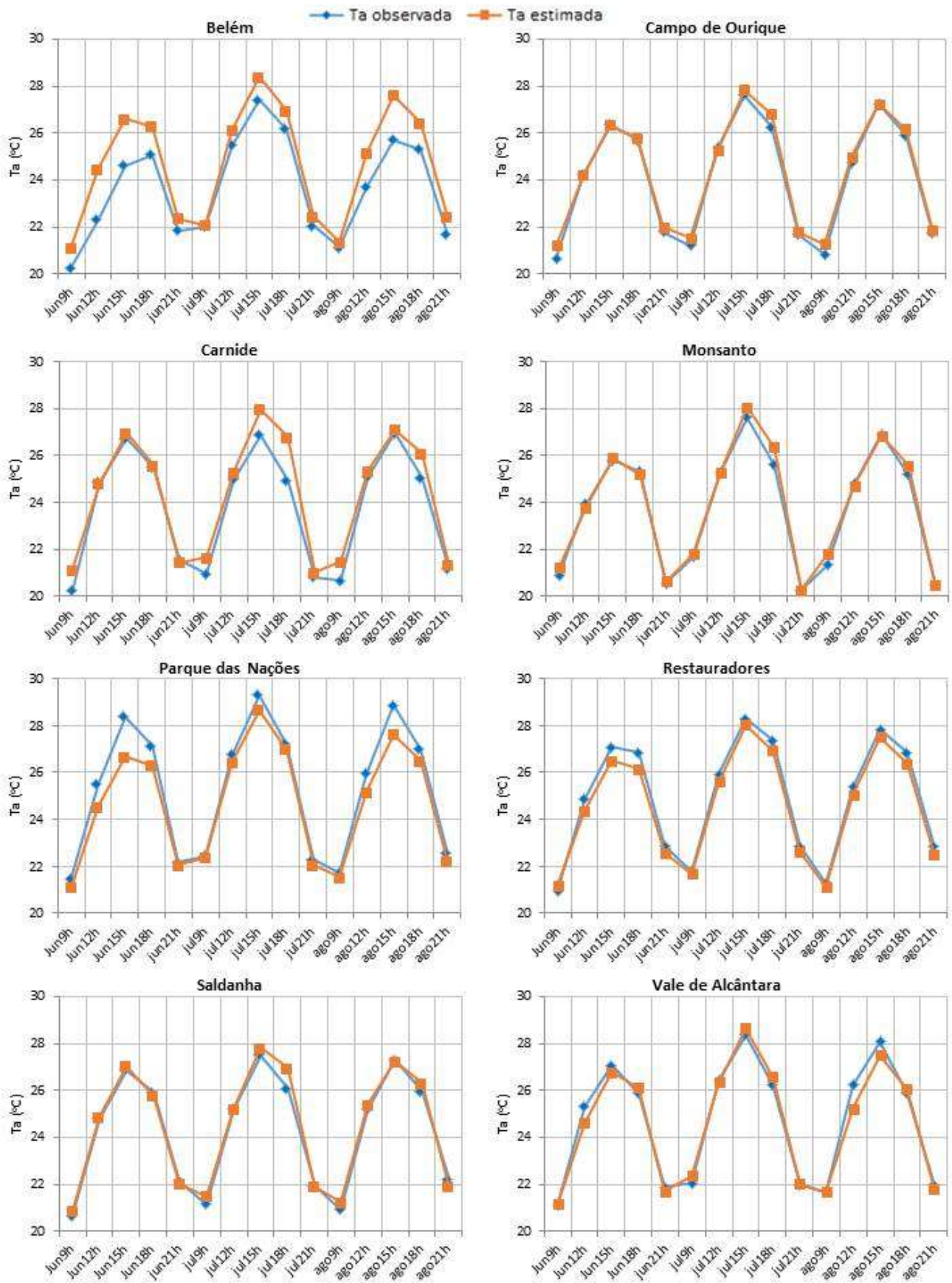


Figura 18: Temperatura do ar observada e estimada em locais da rede Zephyrus

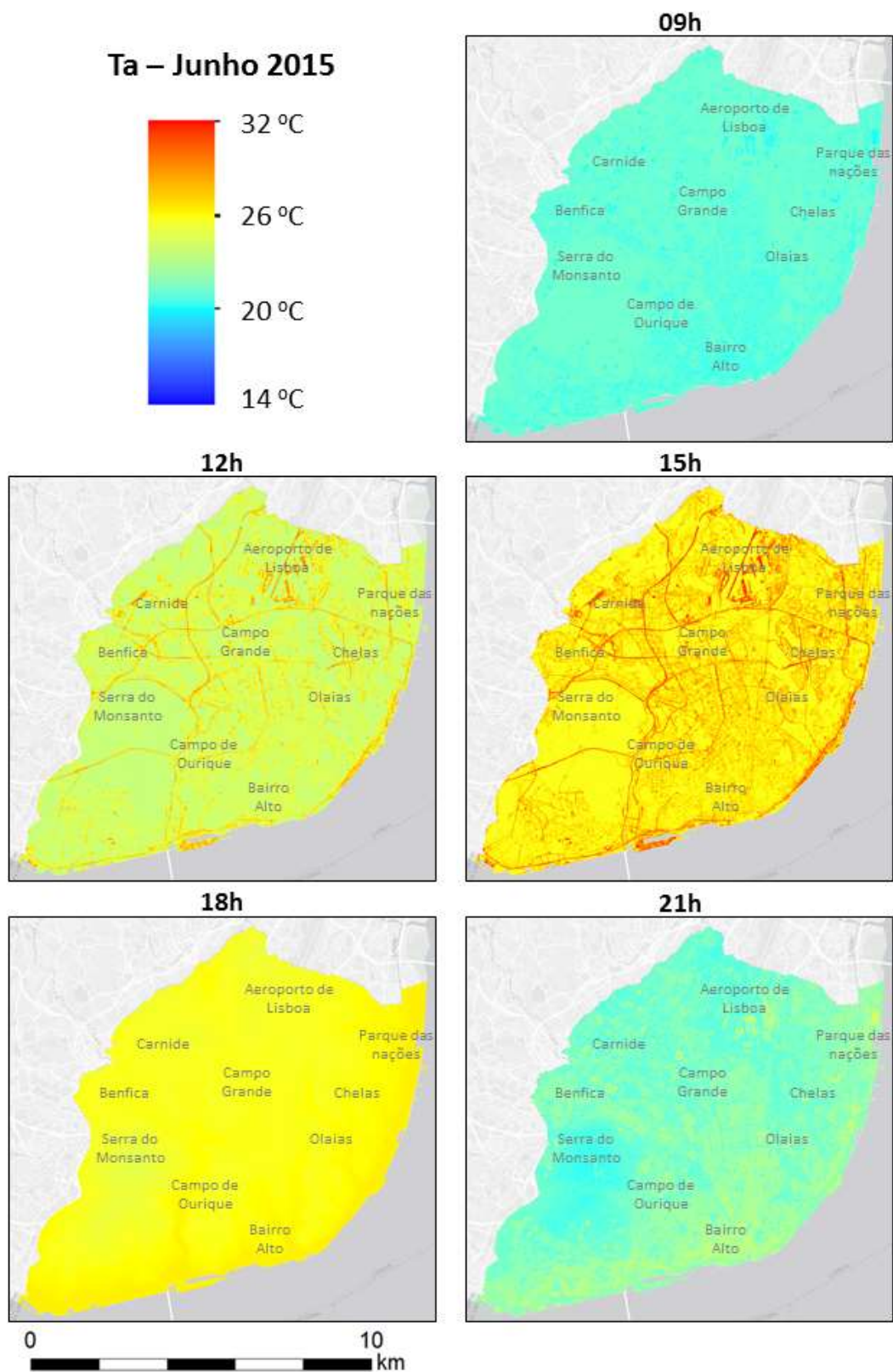


Figura 19: Temperatura do ar de Junho, 2015

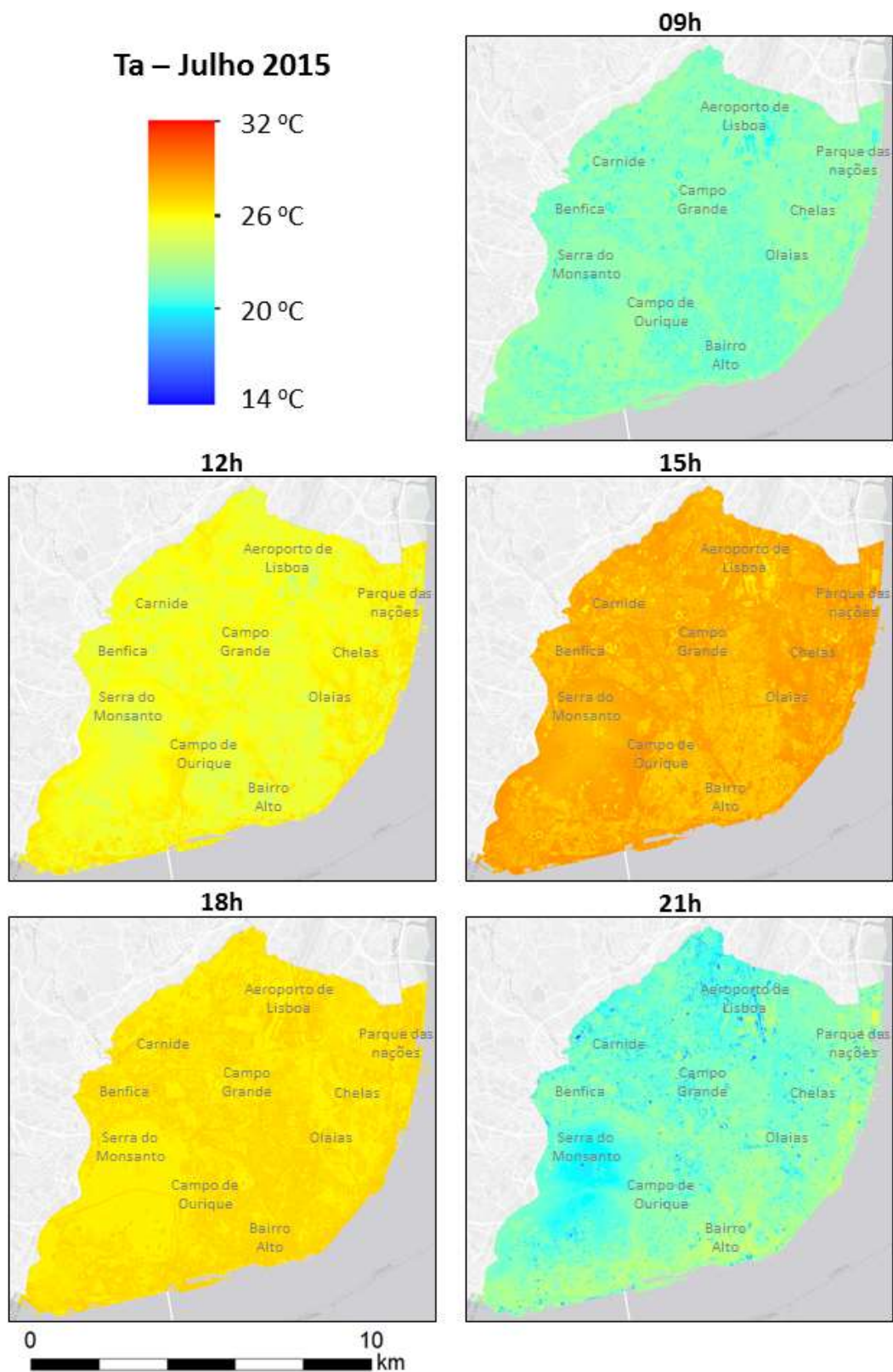


Figura 20: Temperatura do ar de Julho, 2015

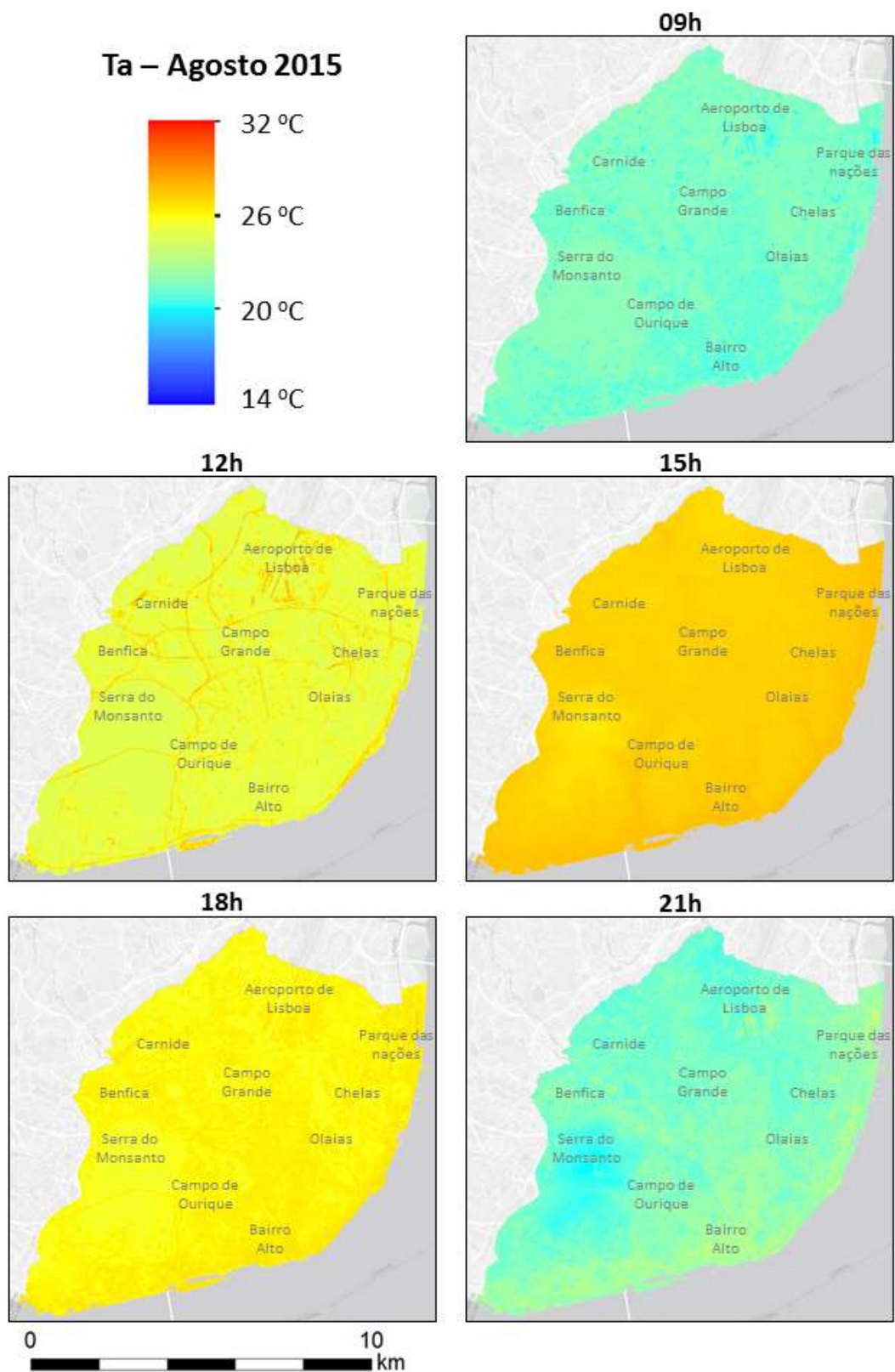


Figura 21: Temperatura do ar de Agosto, 2015

4.2. Espacialização da humidade relativa e pressão de vapor

Devido à falta de informação meteorológica em todos os locais da cidade para a composição de modelos, e de lacunas na rede meteorológica do grupo Zephyrus para o verão do ano de 2015, não foi possível utilizar os valores de humidade relativa, necessária para o cálculo da pressão de vapor de água.

Para resolver este problema, foi utilizada uma conversão a partir de observações da temperatura e do ponto de orvalho, recolhidos a partir da estação da Portela/Aeroporto, com a conversão realizada a partir da fórmula simplificada seguinte ([4]) (Lawrence, 2005):

$$HR = 100 - 5 (T_a - T_d) \quad [4]$$

Em que:

HR = humidade relativa (%);

T_a = temperatura do ar (°C);

T_d = temperatura do ponto de orvalho (°C).

O valor da humidade relativa foi obtido para todas as horas do período de estudo, sendo depois realizada uma média deste valor para as horas escolhidas de cada mês.

Foi assumido que a humidade não se altera significativamente entre os diferentes espaços da cidade de Lisboa, podendo ser utilizada apenas com o valor obtido na estação da Portela, Aeroporto. No futuro este valor deverá ser recolhido em tempo real e a partir de outras localizações para permitir a espacialização desta variável e fortalecer o índice.

A pressão de vapor de água é necessária para compor os mapas de UTCI, pelo que foi obtida a partir da inserção da humidade relativa e temperatura do ar no *software* RayMan, um programa desenvolvido por Andreas Matzarakis, Frank Rutz e Helmut Mayer, que permite a simulação de temperatura radiativa média e de índices térmicos comuns, como o UTCI.

Este *software* permite trabalhar com apenas algumas variáveis climáticas para a simulação da temperatura radiativa média, e fluxos de radiação mais complexos em estudos de períodos longos em locais seleccionados a partir da inserção de dados de superfícies do edificado, calculando as interações entre os fluxos de radiação, fotografias “*fish-eye*” dos locais, mostrando o percurso do sol e os obstáculos à radiação directa (Matzarakis et al., 2010). O RayMan também permite a conversão para pressão de vapor de água a partir da temperatura do ar e humidade relativa.

O valor obtido para o nosso projecto descreve uma média horária (9:00h; 12:00h; 15:00h; 18:00h, 21:00h) de cada mês (Junho, Julho, Agosto) para a estação da Portela/Aeroporto, de acordo com os dados inseridos no *software* RayMan (tabela 7).

Tabela 7: Médias horárias de cada mês da Temperatura, Humidade Relativa e Pressão de Vapor de água, estação da Portela/Aeroporto

Mês	Hora	T (C°)	HR (%)	VP (hPa)
Junho	9:00	21,33	59,44	15,00
	12:00	25,44	37,04	12,00
	15:00	26,74	28,24	9,90
	18:00	24,28	37,69	11,40
	21:00	19,76	61,48	14,20
Julho	9:00	21,94	69,18	18,20
	12:00	26,08	46,95	15,80
	15:00	26,90	40,32	14,30
	18:00	24,01	55,73	16,60
	21:00	19,73	78,76	18,10
Agosto	9:00	21,68	67,11	17,40
	12:00	26,02	40,95	13,70
	15:00	27,11	33,15	11,90
	18:00	24,27	50,27	15,20
	21:00	20,27	73,66	17,50

4.3. Espacialização da temperatura radiativa média

O cálculo da Temperatura radiativa média (TRM) foi elaborado a partir da temperatura do ar e velocidade do vento na estação da Portela, Aeroporto, bem como a humidade relativa, sendo o cálculo efectuado a partir do *software* RayMan.

Os dados inseridos foram relativos às médias horárias (9:00h; 12:00h; 15:00h; 18:00h, 21:00h) dos meses de estudo (Junho, Julho e Agosto) de 2015, pelo que os valores resultantes de radiação solar também refletem estimativas da média para essas horas (tabela 8), considerando condições atmosféricas em que a nebulosidade é nula. Em futuros desenvolvimentos é necessário dados em tempo real que tomem em conta a nebulosidade presente.

Como esta variável se encontra apenas disponível em alguns locais da cidade onde existem estações meteorológicas automáticas, a modelação da TRM foi realizada para um desses locais, sendo escolhida a estação da Portela/Aeroporto por ser a fonte de recolha para outros dados meteorológicos necessários para o trabalho (temperatura do ar, ponto de orvalho, direcção e velocidade do vento).

Esta decisão foi tomada face à impossibilidade de se obter um modelo de alta resolução, tendo em conta o edificado. Este seria difícil de calcular no prazo que decorreu este estágio mas será, em fases futuras, a melhor opção a realizar.

É importante esclarecer que a inclusão da radiação solar desta forma simplificada é ainda assim uma operação complexa, sendo que seria moroso realizar uma base de mapas que representem a radiação no edificado urbano, pois teria de ser incluída toda a morfologia de Lisboa.

Por outro lado a radiação teria de se calcular para todo o ano para registar as mudanças na posição do sol a cada hora e obter um mapa como sombreamento das ruas em cada momento (hora). Por estas razões optou-se pela utilização de médias horárias que se possam utilizar para o período de estudo.

Tabela 8: Valores de Temperatura Radiativa Média usados no modelo, estação da Portela/Aeroporto

Mês	Hora	Trm (C°)
Junho	9:00	52,20
	12:00	55,60
	15:00	54,60
	18:00	29,20
	21:00	11,60
Julho	9:00	51,70
	12:00	55,30
	15:00	54,60
	18:00	28,20
	21:00	11,90
Agosto	9:00	50,30
	12:00	55,90
	15:00	53,30
	18:00	22,10
	21:00	12,40

4.4. Estimação do vento

O vento é uma das variáveis meteorológicas com mais impacto no conforto térmico, e por isso é necessário estimar as suas componentes (direcção e velocidade) no ambiente urbano.

Sendo de difícil execução à microescala, consumindo muito tempo e memória física de computação à escala das ruas para toda a cidade, optou-se por utilizar um modelo linearizado, para estimar o vento a partir de uma estação meteorológica e usando a rugosidade aerodinâmica (z_0) e as curvas de nível da cidade de Lisboa.

O *software* utilizado foi o *WASP Engineering*, um programa desenvolvido pelo *DTU Wind Energy*, um departamento da *Technical Unniversity of Denmark*, com o objectivo de estudar o uso do vento como fonte de energia renovável eficaz (DTU¹).

O *WASP Engineering* é um suplemento ao programa principal *WASP*, desenvolvido para análise dos recursos disponíveis de vento numa área, enquanto o *WASP Engineering* foi criado para assegurar um bom funcionamento de turbinas eólicas, pela simulação de condições extremas (DTU²).

Para este trabalho foi cedida uma licença temporária académica para a modelação de mapas de direcções e velocidades de vento em Lisboa.

O *software* *WASP Map Editor*, dos mesmos autores dos *WASP Engineering*, foi utilizado para a actualização da rugosidade aerodinâmica, sendo um SIG especializado para o tratamento de dados, e de aplicação com o *WASP Engineering* e outras ferramentas criadas pelos mesmos autores.

Para a espacialização do vento, foram simuladas as diferentes direcções e velocidades, sendo seleccionados os modelos adequados de acordo com os valores de velocidade e direcção de vento observados na estação meteorológica da Portela/Aeroporto.

As divisões foram efectuadas de acordo com as direcções Norte, Sul, Leste e Oeste, bem como duas classes com uma amplitude de 30 graus, representadas por ângulos intermédios entre cada direcção (tabela 9), com o objectivo de melhor representar todas as variações do comportamento dos ventos estivais em Lisboa, e de enquadrar os modelos com os dados disponíveis na estação meteorológica da Portela/Aeroporto, para a selecção automatizada em tempo real das simulações do vento a utilizar numa fase futura de teste.

Tabela 9: Classes de direcção do vento e amplitude

Centro da Classe (°)	Amplitude da classe (°)
0	345 a 15
30	15 a 45
60	45 a 75
90	75 a 105
120	105 a 135
150	135 a 165
180	165 a 195
210	195 a 225
240	225 a 255
270	255 a 285
300	285 a 315
330	315 a 345

Para cada direcção do vento foram realizados vários modelos de acordo com velocidades de vento registadas em Lisboa no verão de 2015 na estação meteorológica da Portela/Aeroporto.

Os limiares de velocidade escolhidos foram 1, 3, 6 e 10 m/s, sendo este último valor apenas observado em casos de vento mais forte em Lisboa. As medições do vento na estação da Portela/Aeroporto são recolhidas a uma altitude de 10m, sendo convertidas pelo WASP Engineering para uma altitude de 2m, altura máxima de um individuo em pé. A partir de uma conversão da velocidade do vento para o nível de um individuo é possível estimar o efeito desta variável nas suas proximidades e no seu “complexo térmico”, permitindo um cálculo mais eficaz do UTCI ao nível das ruas (Matzarakis e Mayer, 2000, Andrade, 2003).

Os dados de rugosidade aerodinâmica de Baltazar (2010) (fig. 22) foram actualizados para 2015 (fig. 23), tendo em conta os estudos de Alcoforado et al. (2005b), Correia et al. (2015) e ortofotomapas de Lisboa de 2015.

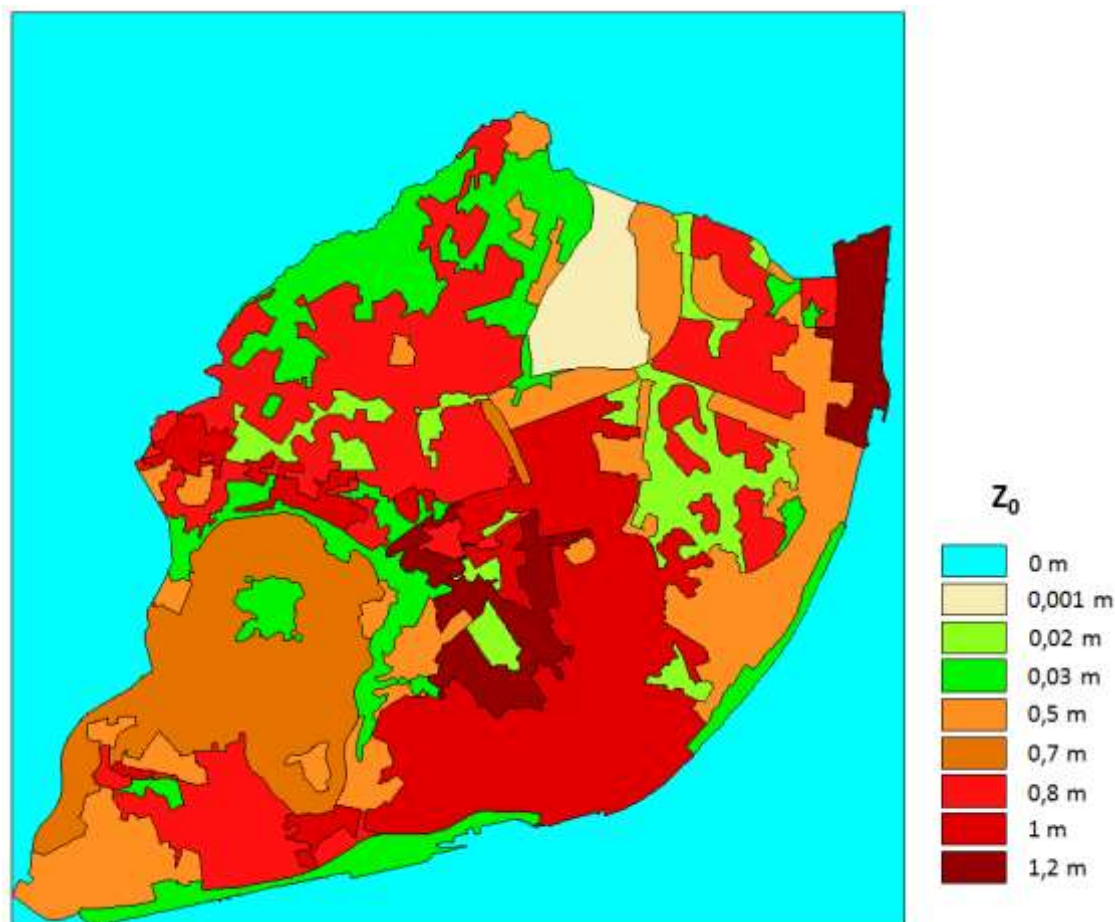


Figura 22: Rugosidade aerodinâmica de Lisboa (original) (adaptado de Baltazar, 2010)

A rugosidade aerodinâmica (z_0) representa o efeito de atrito das construções e vegetação sobre o fluxo do ar na cidade. Os valores mais baixos são referentes a descampados, zonas sem construção ou vegetação, ou outras superfícies planas, como as pistas do aeroporto Humberto Delgado, onde se observa uma rugosidade de 0,05m. Valores médios, de 0,2 e 0,3m, indicam alguma vegetação ou construção, mas de baixa altura, enquanto valores de 0,5 e 0,7m indicam uma maior densidade de obstáculos à circulação do ar, observados, como exemplo, no parque do Monsanto, dado a densidade da vegetação. No centro da cidade são observados os valores mais altos de rugosidade (1,5m), em áreas de elevada densidade (tabela 10) (Lopes, 2003, Baltazar, 2010).

Tabela 10: Valores de rugosidade aerodinâmica (adaptado de Lopes, 2003, Baltazar, 2010, Stull, 2011)

Rugosidade aerodinâmica (z_0)	Descrição
0m	Rio Tejo
0,05m	Aeroporto, relvado ou vegetação rasteira
0,1m	Cultivo rasteiro e vegetação ocasional
0,2m	Baixa densidade de vegetação
0,3m	Densidades médias de vegetação e construção ocasional
0,5m	Vegetação considerável ou baixa densidade de construção
0,7m	Vegetação de altura considerável, florestas ou densidade elevada de construção
1,5m	Centro da cidade, densidade elevadas de construções de grande altura

Foram inseridos alguns valores de rugosidade além dos limites da cidade para evitar erros de cálculo da velocidade do vento, impedindo o programa de assumir a inexistência de rugosidade fora de Lisboa. O rio Tejo assume uma rugosidade quase nula (0,0m).

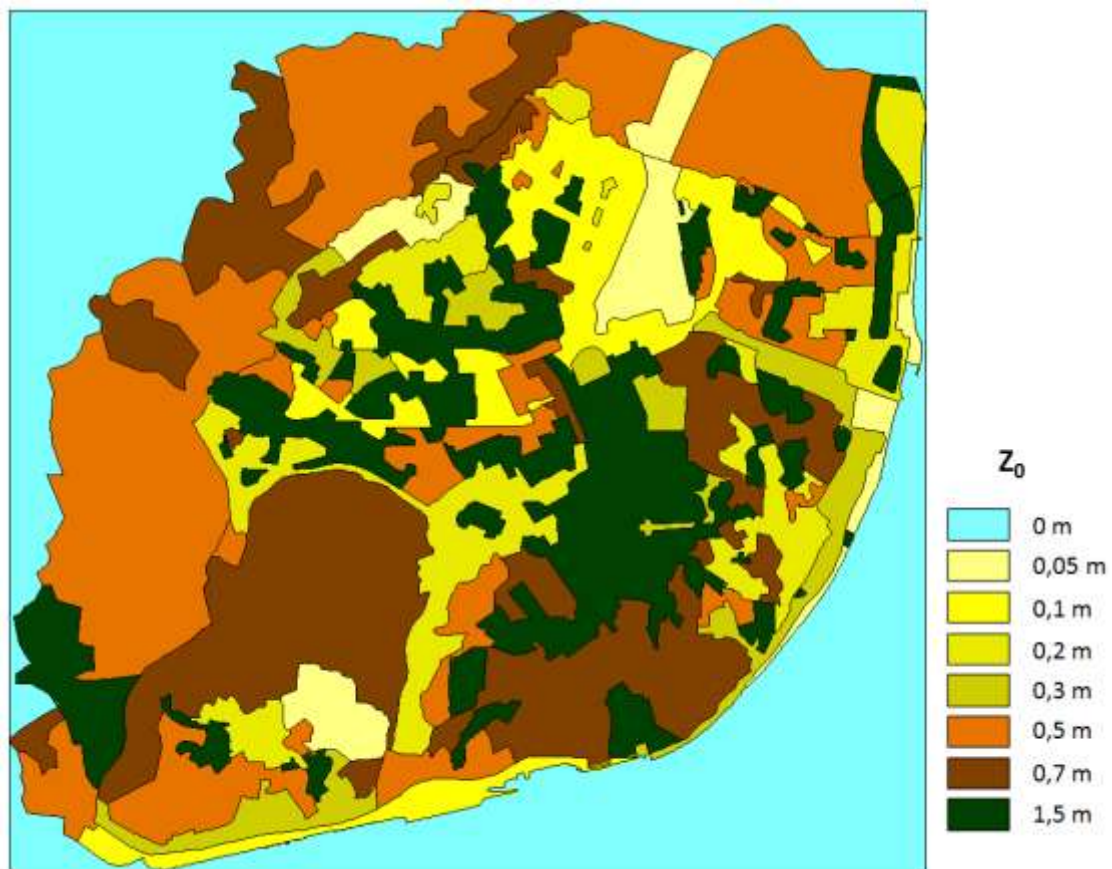


Figura 23: Actualização da Rugosidade aerodinâmica de Lisboa (Borges, 2018)

De forma a espacializar a velocidade do vento pela cidade de Lisboa, foram inseridas a rugosidade aerodinâmica e as curvas de nível de Lisboa no WASP Engineering.

Para validar os resultados das velocidades dos ventos apresenta-se na figura 19 as diferenças entre os valores de velocidades inseridos no WASP Engineering, assumidos como velocidades registadas na estação da Portela/Aeroporto e os valores para o mesmo local nos modelos simulados.

Existem poucas diferenças entre os valores observados e estimados, sendo mais acentuadas quando se comparam valores obtidos com velocidades superiores, mas sem se obter diferenças significativas que invalidem o uso destes modelos como testes para a criação de um primeiro algoritmo para o cálculo do UTCI sem esquecer a hipótese de se aplicarem critérios mais rigorosos em modelos futuros.

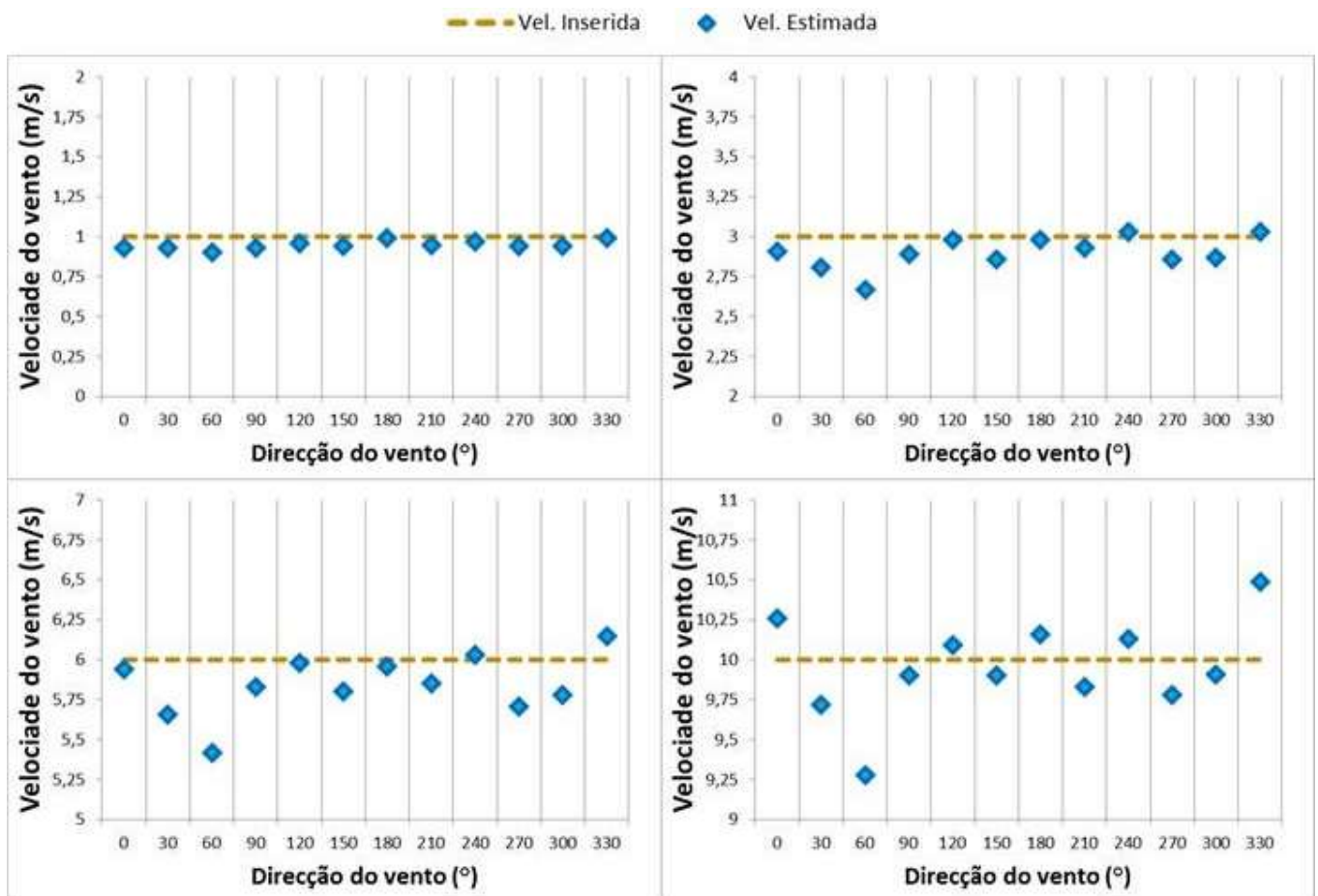


Figura 24: validação dos modelos de vento

Os valores estimados que mais se afastam dos introduzidos no modelo são observados na classe de direcção 60°, onde a maior diferença se encontra para a velocidade mais alta utilizada (10m/s), com um valor simulado de 9,28m/s (fig. 24).

É importante referir que estas velocidades foram estimadas para uma altura de 10m, pelo que após a conversão para 2m serão observados velocidades mais baixas, com valores inferiores na zona da estação da Portela/Aeroporto. No centro da cidade, dado a maior densidade de edifícios, e noutras áreas onde se observe uma rugosidade aerodinâmica superior, os valores das velocidades são menores (Lopes, 2003, Lopes et al, 2011).

Estes modelos apenas serão indicados para utilização neste verão de 2015, pois utilizam valores de velocidade de vento derivados dos dados obtidos apenas para esse ano. Ao definir modelos que se apliquem a medições contínuas, será necessário no futuro encontrar uma solução de entrada de dados em tempo real. Para isso será necessária a criação de uma rede urbana que permita a inclusão desse tipo de dados, que se prevê ser implementada em breve pelo grupo de investigação Zephyrus e a Câmara Municipal de Lisboa.

A escolha dos mapas de vento a utilizar foi efectuada para cada média horária (9:00h; 12:00h; 15:00h; 18:00h, 21:00h) de cada mês (Junho, Julho, Agosto) a partir do valor modal para devolver a direcção do vento mais frequente a cada hora de estudo e uma média para a velocidade do vento, que depois foram utilizadas para a escolha dos mapas de vento mais adequados. Estas operações foram aplicadas aos dados de direcção e velocidade reais da estação meteorológica da Portela/Aeroporto (tabela 11).

Tabela 11: Modelos de vento a integrar no modelo do UTCI

		Valores observados (Portela/Aeroporto)		Valores de mapas seleccionados	
Mês	Hora	Direcção (°)	Velocidade (m/s)	Direcção (°)	Velocidade (m/s)
Junho	9:00	220	3,50	210	3
	12:00	350	3,62	0	3
	15:00	230	5,04	240	3
	18:00	310	5,63	300	6
	21:00	310	4,80	300	3
Julho	9:00	340	4,77	330	3
	12:00	340	5,13	330	3
	15:00	340	6,24	330	6
	18:00	310	6,63	310	6
	21:00	310	5,93	310	6
Agosto	9:00	350	4,23	0	3
	12:00	250	4,21	240	3
	15:00	310	5,42	300	3
	18:00	300	5,96	300	6
	21:00	340	5,18	330	3

A maioria dos mapas seleccionados para o período de estudo (fig. 25 a 31) representam ventos de norte e noroeste predominantes em Lisboa, representando o típico comportamento da “nortada”, que afecta a cidade de Lisboa durante o verão. (Lopes, 2003; Baltazar, 2010).

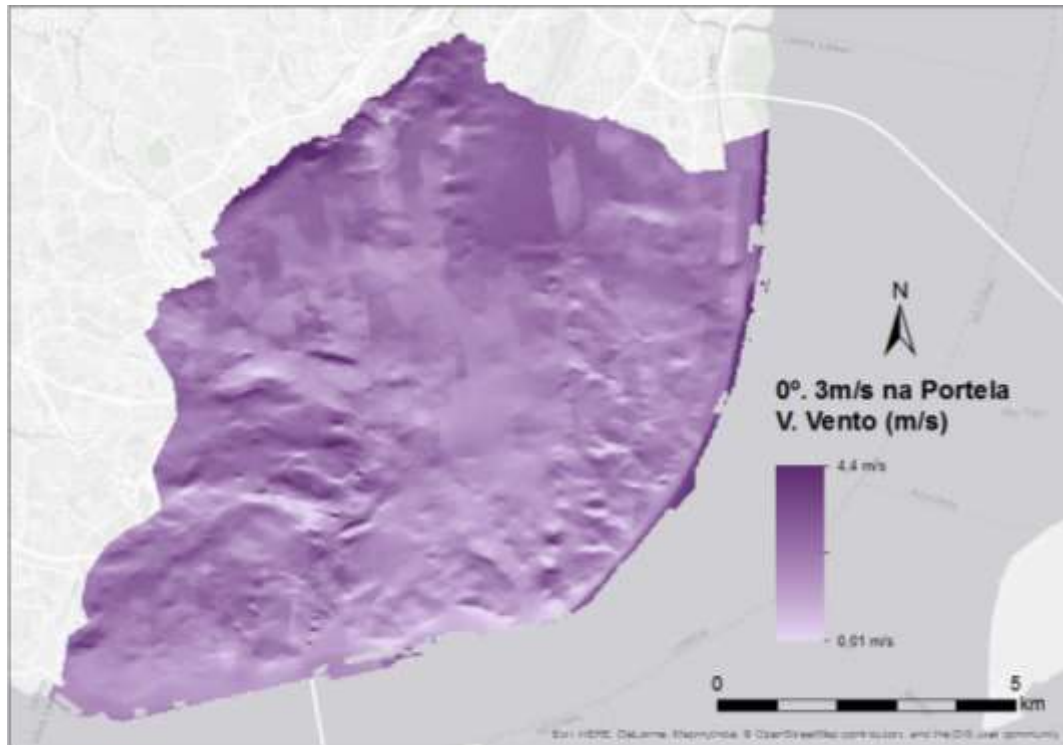


Figura 25: Velocidade do vento estimada de 3m/s em Portela/Aeroporto e direcção 0°

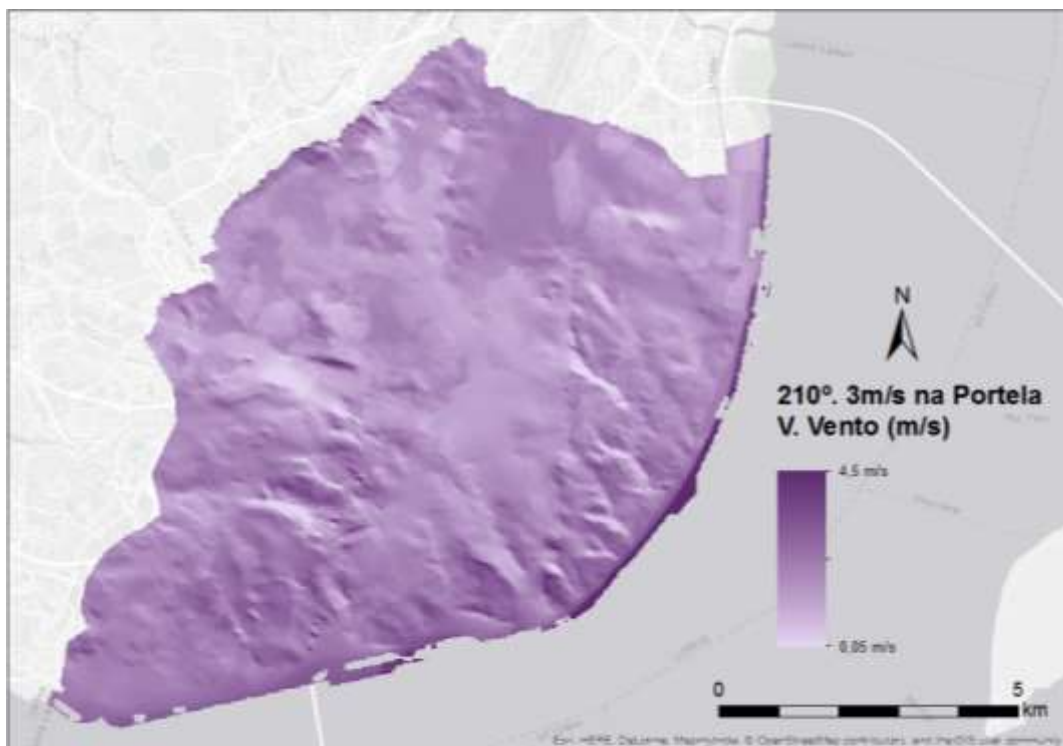


Figura 26: Velocidade do vento estimada de 3m/s em Portela/Aeroporto e direcção 210°

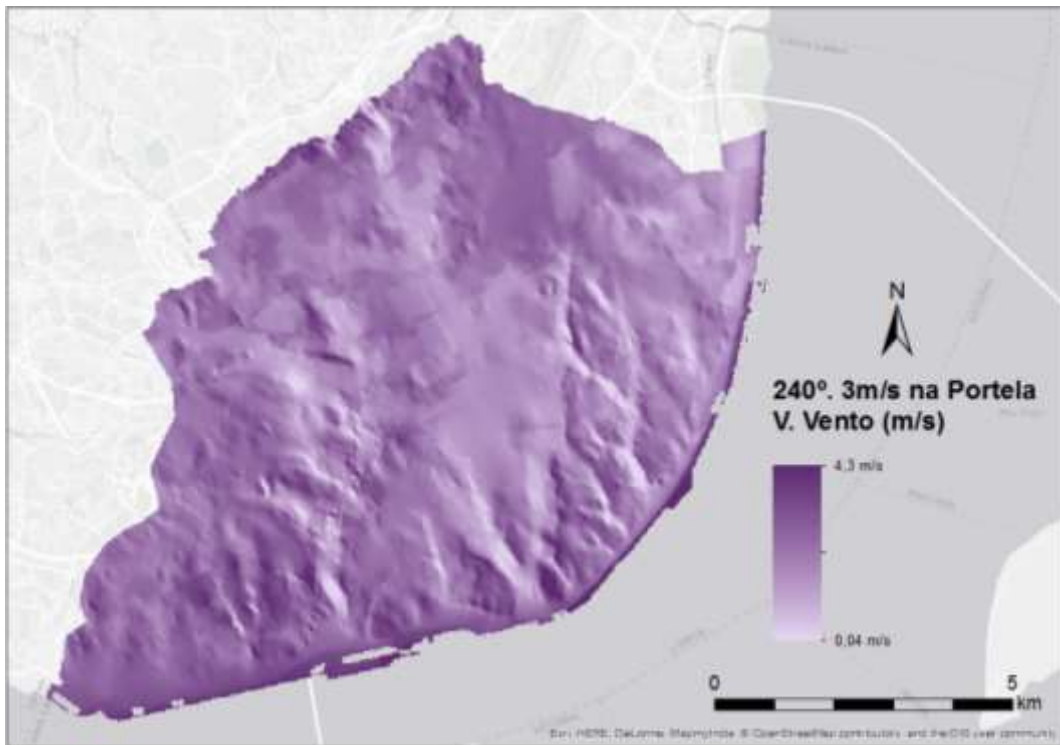


Figura 27: Velocidade do vento estimada de 3m/s em Portela/Aeroporto e direcção 240°

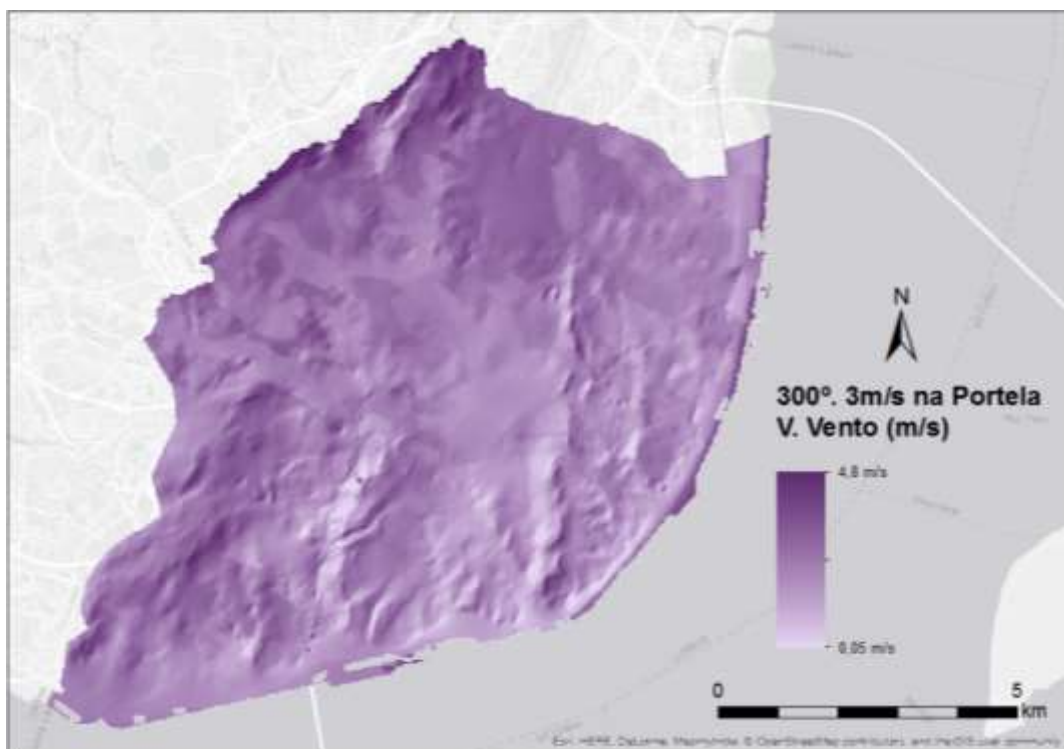


Figura 28: Velocidade do vento estimada de 3m/s em Portela/Aeroporto e direcção 300°

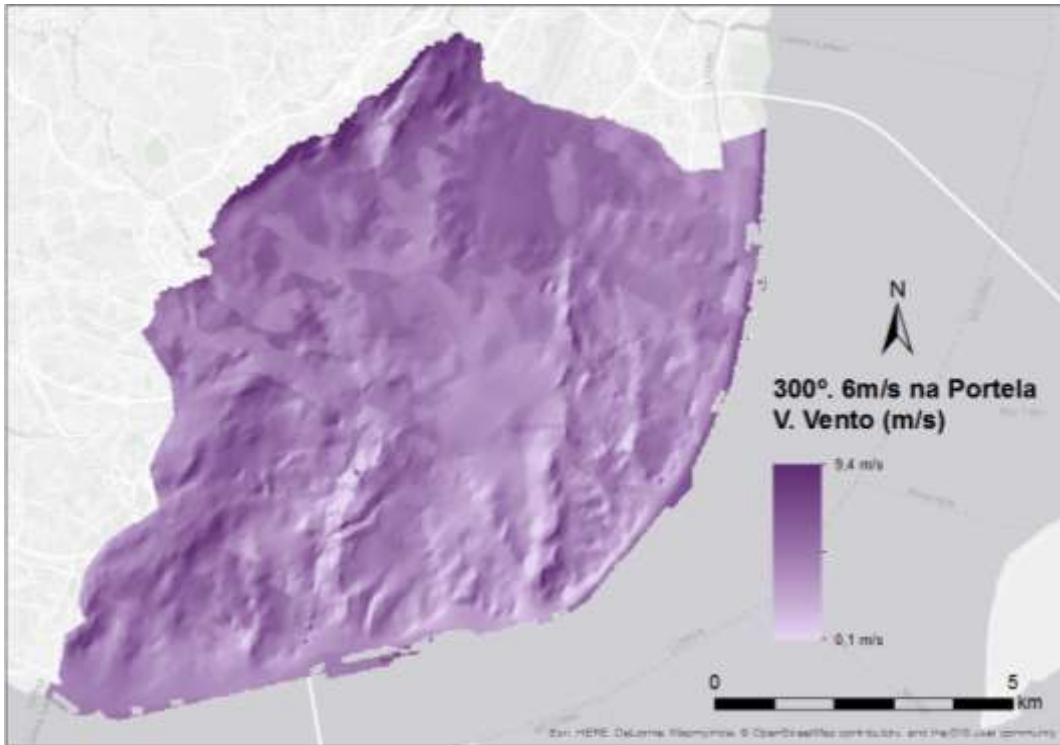


Figura 29: Velocidade do vento estimada de 6m/s em Portela/Aeroporto e direcção 300°

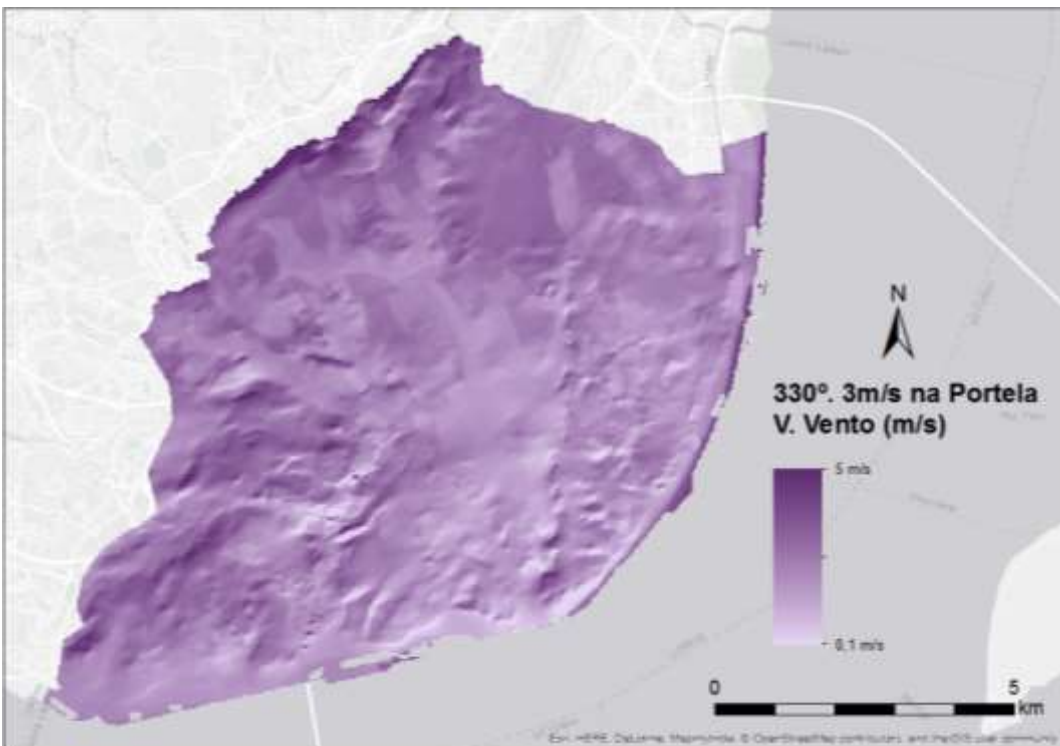


Figura 30: Velocidade do vento estimada de 3m/s em Portela/Aeroporto e direcção 330°

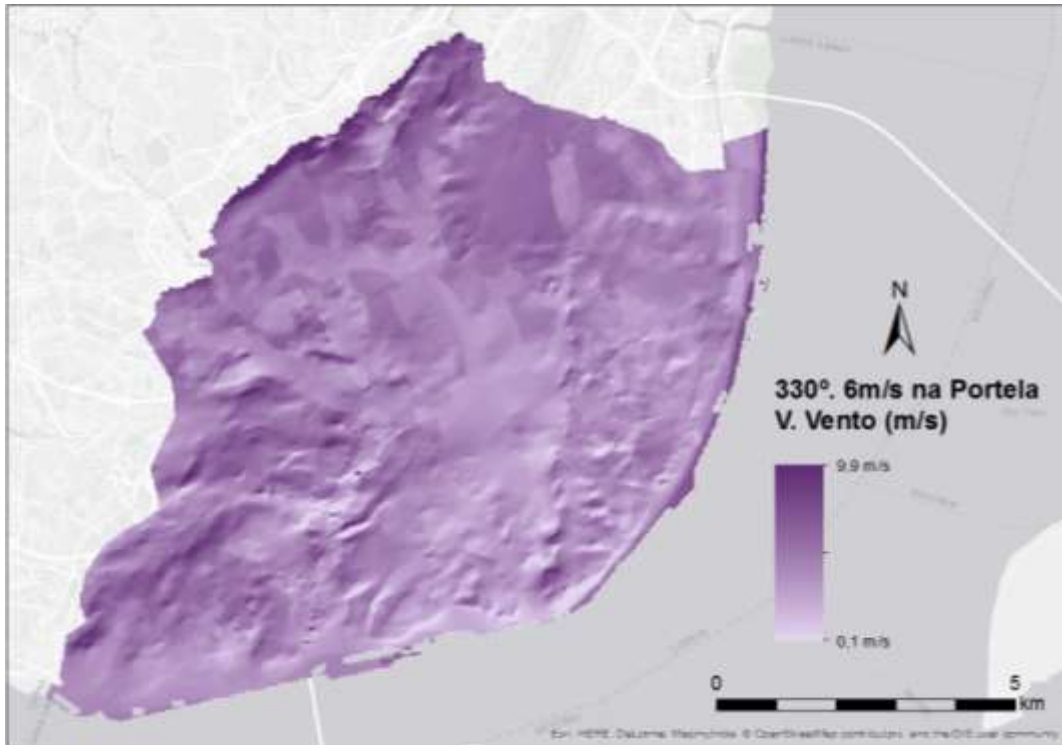


Figura 31: Velocidade do vento estimada de 6m/s em Portela/Aeroporto e direcção 330°

4.5. Criação dos mapas de UTCI

A fase final para a espacialização dos resultados do índice UTCI em Lisboa foi realizada em ambiente SIG, a partir do programa Arcmap, usando uma fórmula simplificada para calcular o índice UTCI ([5]) apresentada por Błażejczyk, et al (2014):

$$UTCI = 0.84 \cdot Ta + 0.246 \cdot Tmrt - 2.45 \cdot v + 0.204 \cdot vp - 0.01 \quad [5]$$

Em que:

- Ta = Temperatura do ar (°C);
- Tmrt = Temperatura radiativa média (°C);
- v = Velocidade do vento (m/s);
- vp = Pressão de vapor de água (hPa).

Como as variáveis se encontram em formato matricial (Temperatura do ar e velocidade do vento) e numérico (Temperatura radiativa média e Pressão de vapor de água), a fórmula foi inserida em ambiente SIG, assumindo os valores de pixéis sobrepostos de cada variável, e devolvendo assim, cada espacialização do conforto térmico para a cidade de Lisboa, para a média das horas escolhidas de cada mês do verão de 2015 (fig. 32, 33 e 34).

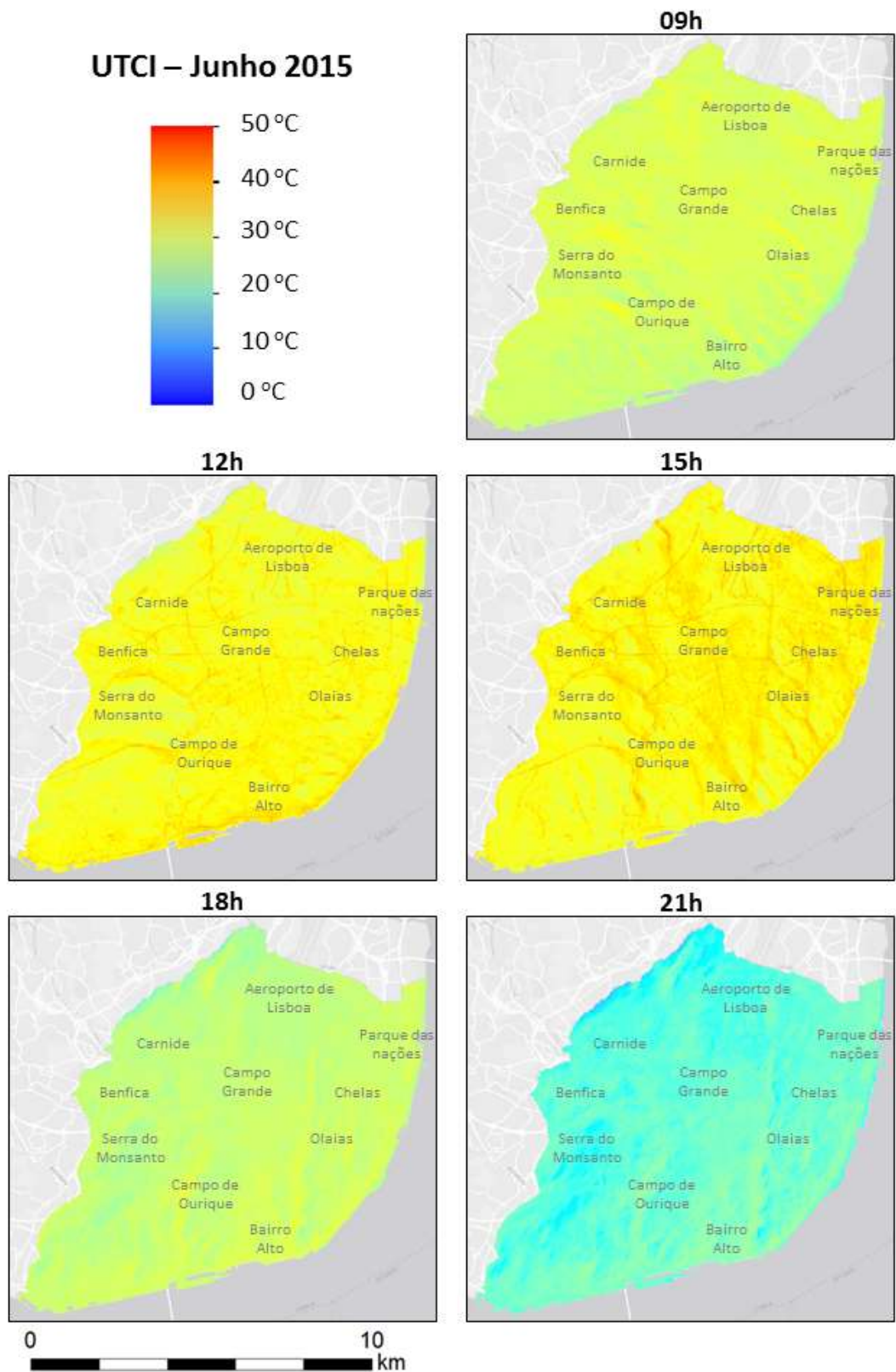


Figura 32: UTCI de Junho, 2015

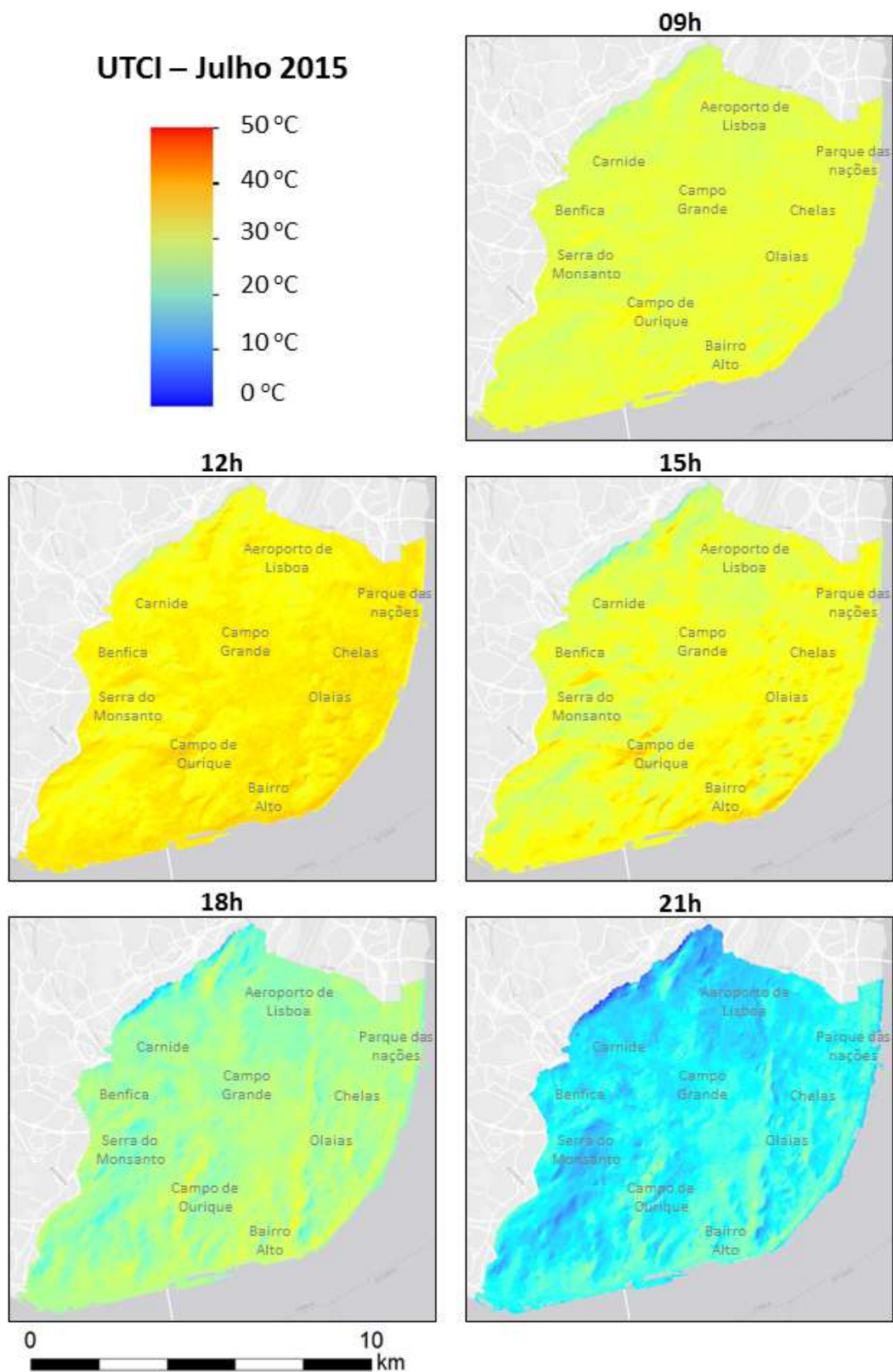


Figura 33: UTCI de Julho, 2015

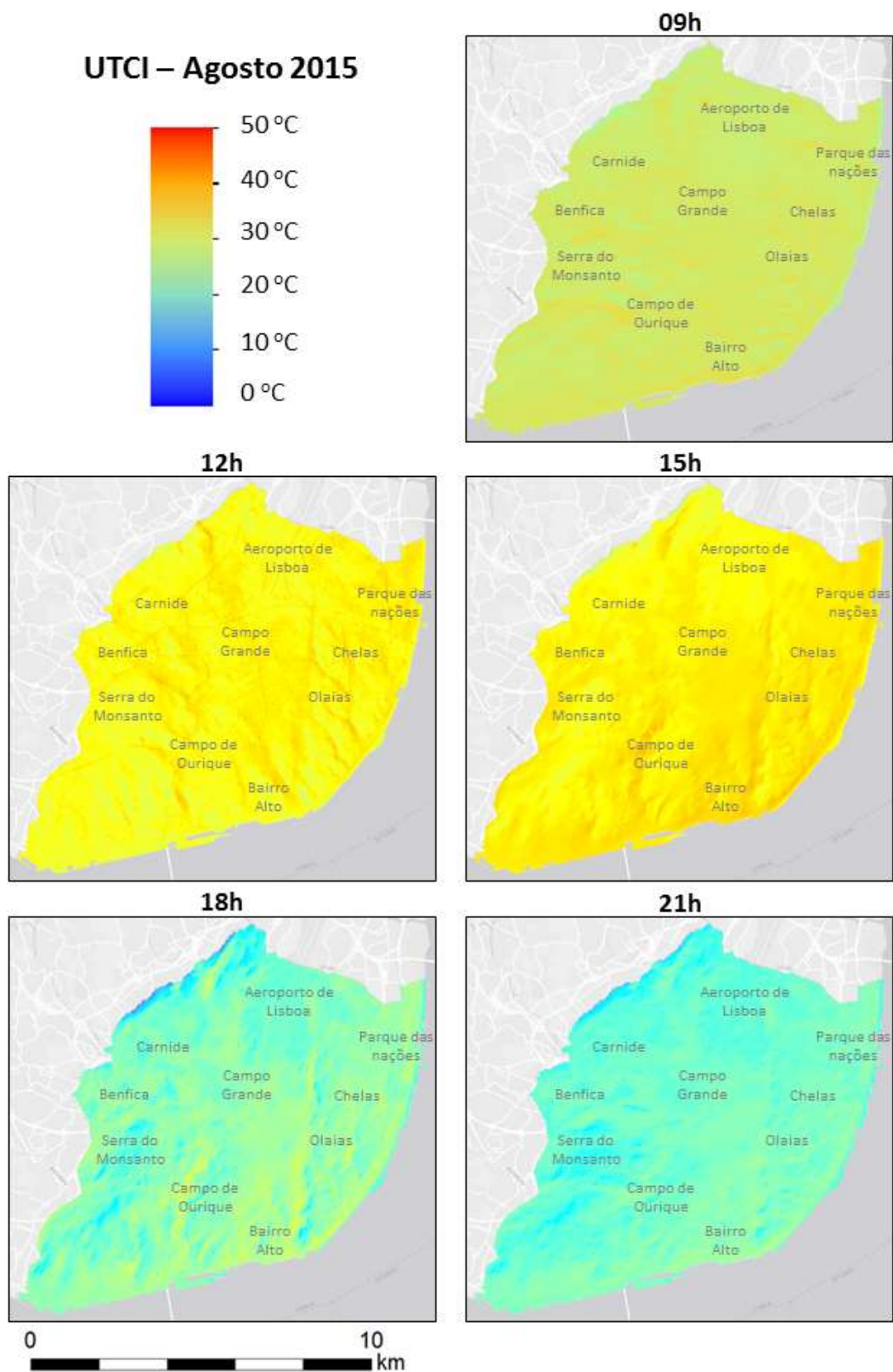


Figura 34: UTCI de Agosto, 2015

As mudanças gerais podem ser observadas e correlacionadas com os dados meteorológicos utilizados. Observa-se em todos os meses, uma ligeira subida nos valores de UTCI das 9:00h para as 12:00h, que se mantêm estáveis até às 15:00h, observando-se depois uma descida acentuada para as 18:00h, e continuando até às 21:00h, embora com decréscimos menores (Excepção em Julho).

A temperatura do ar e a temperatura radiativa média explicam grande parte desta mudança no conforto térmico, observando-se uma subida destas variáveis desde as 9:00h até às 15:00h, e a subsequente descida até às 21:00h. No caso da temperatura radiativa média, o acréscimo geral de manhã é bastante ligeiro, de 4°C a 5°C, enquanto os decréscimos à tarde apresentam-se na ordem dos 20°C a 25°C das 15:00h para as 18:00h, e até às 21:00h observa-se um decréscimo geral de 20°C (10°C em Agosto).

A temperatura radiativa média é uma das variáveis que exhibe um decréscimo drástico nos seus valores, estando ligada à exposição do sol, explicando assim os valores estáveis nas horas da manhã e a meio do dia, pela grande exposição ao sol nessas horas, e o subsequente por do sol durante a tarde explicando a descida brusca dos valores.

A direcção do vento também teve um grande efeito na espacialização do UTCI, observando-se a partir da topografia que frentes de colina que estivessem na direcção do vento exibem valores mais elevados de UTCI do que as frentes pouco expostas ao movimento do ar. São nos diversos vales existentes em Lisboa onde geralmente se observam valores mais elevados de UTCI, retratado a influência relevante do vento no conforto térmico.

Muitas destas áreas também se encontram com uma rugosidade aerodinâmica elevada, existindo vegetação ou construção densa e de elevada altura, pelo que se pode afirmar o efeito de grandes densidades de construção no ambiente urbano como aumento do índice UTCI por toda a cidade. Podem ser observados valores mais altos do índice em áreas de rugosidade elevada, como no centro de Lisboa e nas zonas ribeirinhas, em comparação com as áreas de pouca vegetação ou construção de menor densidade localizadas nas orlas do município, a norte e noroeste.

A validação destes mapas foi realizada no âmbito de justificar o uso da fórmula de cálculo simplificada de Błażejczyk et al. (2014), comparando os resultados dos mapas com o uso dos mesmos dados no programa RayMan. Foram extraídos os valores de UTCI dos mapas criados, referentes à localização das estações da rede climática urbana Zephyrus, e os dados climáticos utilizados neste estudo (Temperatura do ar, Temperatura radiativa média, Pressão de vapor de água; Velocidade do vento) foram usados no *software* RayMan para criar valores pontuais de UTCI para cada estação (fig. 35).

No geral, a fórmula de UTCI utilizada neste projecto tende a devolver valores mais elevados do que o cálculo a partir do RayMan. Esta tendência é reduzida para o mês de Julho, onde alguns valores estimados são inferiores.

Os valores apresentam diferenças comuns de 1 a 2 °C, com algumas situações extremas onde se notam diferenças de 5 °C, observadas para as horas de maior radiação solar (12:00h; 15:00h). Estas observações indicam uma influência elevada da temperatura radiativa média em ambos os métodos de cálculo.

É possível determinar que a simplificação do cálculo do UTCI causa estimativas com algum erro quando comparadas com métodos mais complexos de cálculo, embora neste caso se verifique a utilidade de um método simplificado para a gestão de tempo e de processamento para um WebSIG. Algumas variações dos valores de UTCI podem ser consideradas como aceitáveis, mas sempre com possibilidade de melhoramento, não só na recolha das variáveis climáticas mas também nos métodos de cálculo.

Como avanço futuro para o desenvolvimento deste projecto, é necessário considerar o melhoramento do método de cálculo do UTCI, e possivelmente a inclusão de um método mais complexo, com a inclusão de mais variáveis, mas sem sacrificar na eficácia de produção horária de dados para um WebSIG.

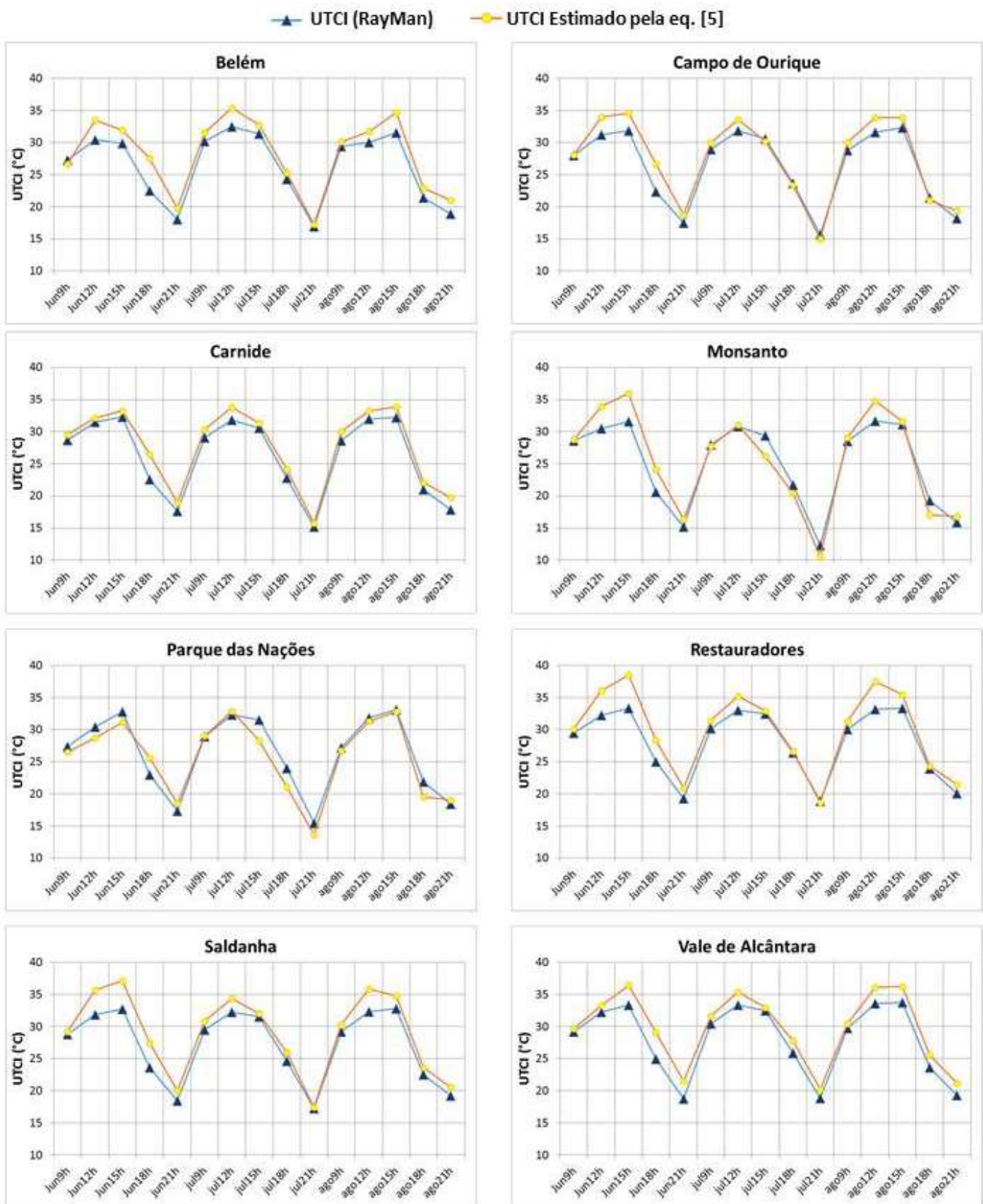


Figura 35: Validação entre UTCI estimado e UTCI obtido pelo RayMan para os locais da rede Zephyrus

5. Implementação do WebSIG “Lisbon’s UTCI”

Como objectivo final deste projecto, foi proposta a criação de uma plataforma *on-line* onde se pode encontrar e disponibilizar os resultados do cálculo do UTCI para a cidade de Lisboa, envolvendo a configuração da estrutura de cálculo para o funcionamento a partir de um servidor, que possibilita a operação automática da plataforma.

Este objectivo será, neste trabalho, teorizado e planeado para implementação futura, e para fins de teste de um bom método de visualização e disponibilização do índice UTCI, serão utilizados apenas os valores dos cálculos efectuados neste trabalho, sendo disponibilizados a partir da plataforma *on-line* da ESRI, que facilita a criação e partilha de aplicações na Internet através da aplicação Web AppBuilder, como se exemplifica a seguir.

5.1. Aplicação “Web AppBuilder” como WebSIG de UTCI

A aplicação Web Appbuilder da ESRI permite a compilação de outras aplicações *on-line*, sem necessitar de composição de linguagem informática, sendo uma aplicação que facilita a criação de aplicações a um público menos experiente, que deseja implementar uma ideia, mas não tem os conhecimentos adequados de programação.

Permite a composição de gráficos a partir de predefinições e “*widgets*” (ferramentas de funções simples, como legendas, escala e pesquisa de dados, entre muitas). A disponibilização da aplicação criada serve a maioria dos *browsers* mais utilizados e permite a integração simplificada para dispositivos móveis.

Para iniciar a criação da aplicação onde se disponibilizam os mapas de UTCI, foi necessário importar toda a informação para os servidores da ESRI através do Arcmap e de uma conta “*developer*” da ESRI (permite a composição de aplicações e um acesso a dados e funcionalidades mais abrangentes), onde a informação será visualizada a partir da plataforma ArcGIS *on-line* (ESRI²).

Os mapas são importados sob a forma de mosaicos matriciais, ou seja, divididos em diversas imagens, que são depois compilados por um pedido de visualização do mapa, oferecendo todo o conteúdo desejado e proporcionando uma melhor gestão e menor uso de espaço disponível nos servidores a partir de formatos de imagens (.jpeg ou .png), ao contrário dos formatos utilizados pelo programa Arcmap para o tratamento dos dados (GRID, BIL, BIP, BSQ, entre outros).

Depois de transformados (para .jpeg ou .png), os mapas são importados para os servidores da ESRI sob a forma de um serviço que poderá ser requisitado por vários utilizadores ou visualizado de acordo com as definições de acesso ao conteúdo, configuradas dentro do portal ArcGIS *on-line* para possibilitar o acesso desta informação ao público.

Algumas precauções a tomar antes da importação do conteúdo desejado para os servidores da ESRI estão relacionadas com o tratamento da simbologia, legendas, e escala utilizada, pois só é possível realizar alterações destes componentes no programa Arcmap antes da importação. Também é necessário seleccionar a quais níveis de escala que o mapa será importado, determinando a quantidade de mosaicos do mapa que serão criados para cada escala (do nível 12 [1:144.448] ao nível 16 [1:9.028], adequados para a visualização desta informação na cidade de Lisboa) (tabela 14). É necessário avaliar o detalhe desejado de forma a evitar a importação de mosaicos com níveis de escala que não permitam a visualização da informação com um bom detalhe ou para o contexto exigido, o que pode causar o aumento desnecessário do espaço requerido pelo conteúdo importado, diminuindo a eficácia por maior tempo de carregamento da informação.

Tabela 14: Escalas utilizadas por ArcGIS Online, Bing Maps e Google Maps (Arcmap 10.3.1)
(Nota: Visualização correspondente a unidades de território dos E.U.A.)

Nível de detalhe	Escala do mapa	Visualização
19	1:1.128	<i>Building</i>
18	1:2.257	<i>Buildings</i>
17	1:4.514	<i>City Block</i>
16	1:9.028	<i>City Blocks</i>
15	1:18.056	<i>Neighbourhood</i>
14	1:36.112	<i>Town</i>
13	1:72.224	<i>City</i>
12	1:144.448	<i>Cities</i>
11	1:288.895	<i>Metropolitan area</i>
10	1:577.791	<i>County</i>
9	1:1.155.581	<i>Counties</i>
8	1:2.311.162	<i>Counties</i>
7	1:4.622.324	<i>States</i>
6	1:9.244.649	<i>Country</i>
5	1:18.489.298	<i>Countries</i>
4	1:36.978.595	<i>Continent</i>
3	1:73.957.191	<i>Globe</i>
2	1:147.914.382	<i>Globe</i>
1	1:295.828.764	<i>Globe</i>
0	1:591.657.528	<i>Globe</i>

O conteúdo que se deseja apresentar na aplicação é compilado num mapa a partir da plataforma ArcGIS on-line para depois servir de base para a aplicação e permitir o acesso aos diferentes mapas do UTCI.

O interface do Web Appbuilder é simples (*user-friendly*) (fig. 36), com diversos menus no canto superior esquerdo para os diversos componentes de uma aplicação.

No primeiro menu, “*Theme*”, selecciona-se o esquema para a apresentação dos conteúdos da aplicação. No segundo menu, “*Map*”, a informação (mapa de mosaicos matriciais importados para o ArcGIS On-line) é seleccionado e inserido na aplicação. O menu seguinte, “*Widget*”, organiza as diferentes ferramentas disponíveis na aplicação para interagir com a informação, como as funções de ampliação e escala, bem como a visualização da legenda e escolha dos valores de UTCI activos na aplicação. O último menu, “*Attribute*”, permite definir os títulos e logotipo da aplicação, bem como configurar novos links e fontes de dados para a aplicação.

A aplicação permite uma boa visualização dos diversos valores apresentados, e da espacialização do UTCI na cidade, fazendo uso de um mapa de fundo com as ruas.

A visualização em dispositivos móveis também é bastante aceitável, e mostra bem a capacidade do Web Appbuilder de converter e adaptar as aplicações criadas em computador para proporcionar uma análise móvel de dados, seja dos resultados deste trabalho ou de outros projectos de domínios semelhantes (fig. 37).

Após terminada a aplicação, pode ser acedida através de qualquer computador ou dispositivo móvel, desde que se possua o *link* para a aplicação e uma ligação provisória à internet:

<https://ioao-nascimento.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=68157fc807444108ac41c59f3b9a8fee>

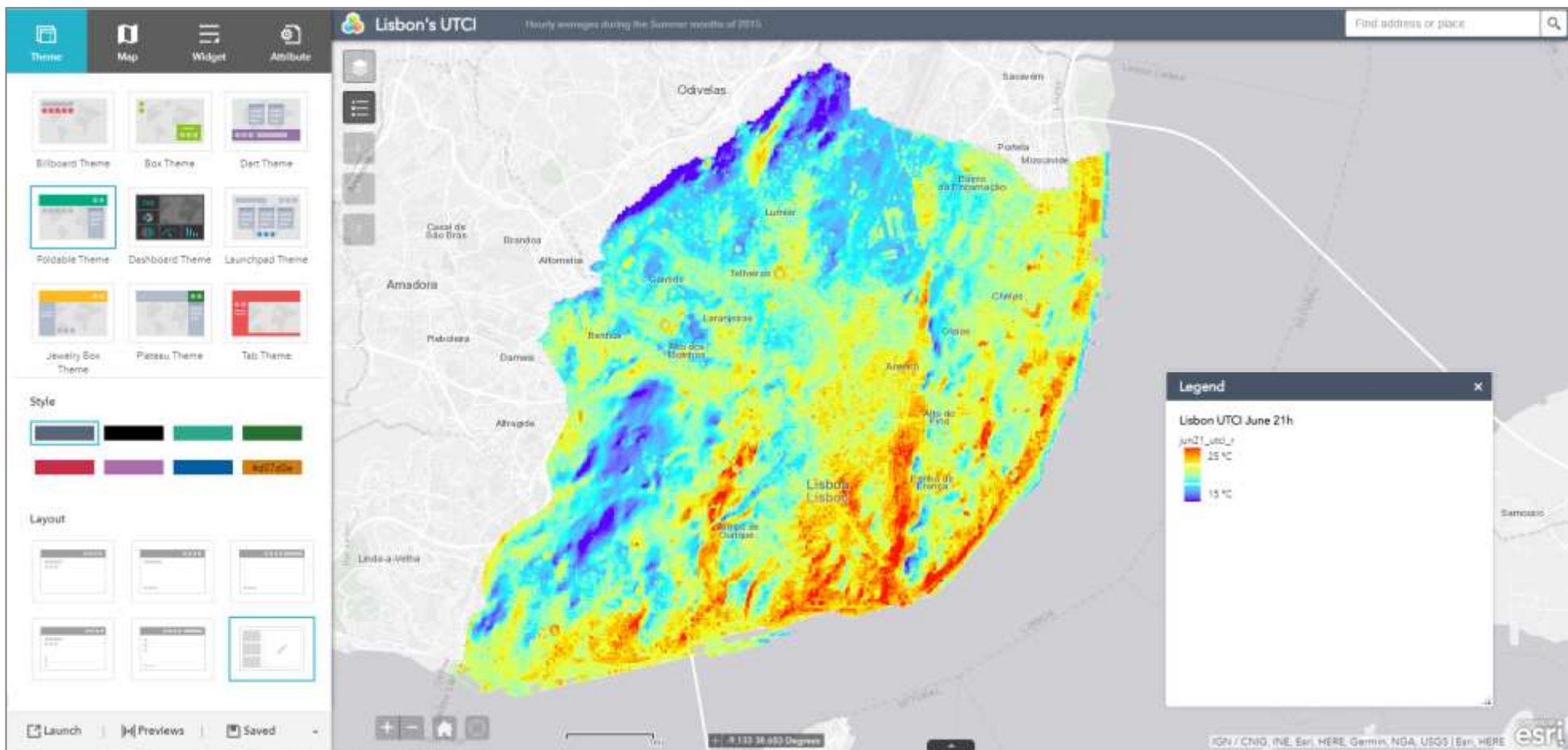


Figura 36: Interface do Web Appbuilder e exemplo da aplicação criada para visualização do UTCI

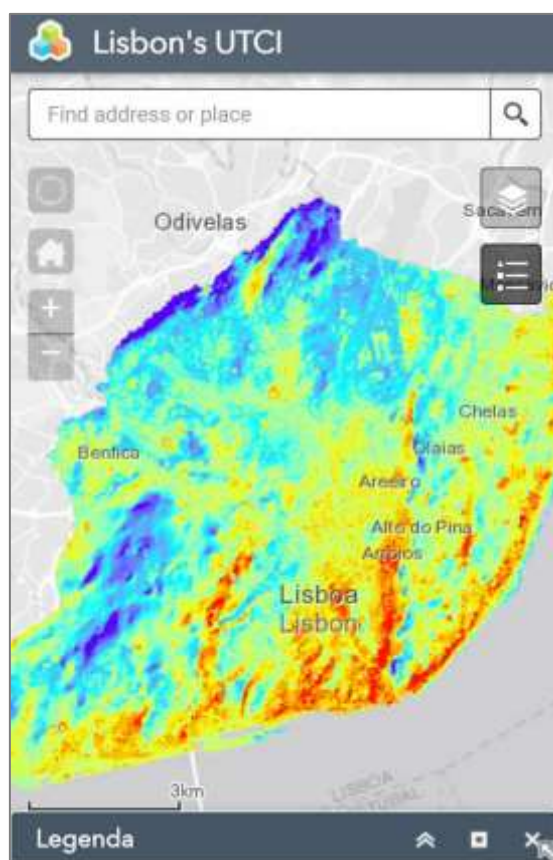


Figura 37: Exemplo da aplicação em dispositivos móveis

É importante referir que esta versão da aplicação foi apenas criada com o propósito de validar a metodologia para a espacialização e visualização do UTCI, e de mostrar uma forma eficaz de disponibilizar resultados, que será melhorada com o objectivo de calcular, espacializar e fornecer mapas horários de conforto térmico na cidade de Lisboa, através da infra-estrutura existente da ESRI.

Numa fase futura de teste deverá ser montada uma infra-estrutura para criar e actualizar um único mapa horário do índice UTCI, a partir da interacção entre o programa Arcmap e a plataforma ArcGIS on-line. Os mosaicos importados poderão ser criados novamente, mediante a recolha e tratamento de dados horários, envolvendo os cálculos em tempo real do índice UTCI, e a importação para o ArcGIS on-line, substituindo os mosaicos da hora anterior.

6. Considerações finais

6.1. Potencialidades do WebSIG UTCI

Uma das consequências esperadas de um projecto neste domínio que mais efeito terá na sua metodologia será o surgimento e melhoria de fontes de dados capazes de servirem os requerimentos necessários para a composição do UTCI e de outros índices, com ênfase na previsão em tempo real.

Um dos problemas já referidos anteriormente, é o da ausência de fonte de dados horários, apresentando dificuldades comuns como a necessidade de confirmar a sua utilidade e adquirir permissão de uso dos dados, especialmente para fins comerciais.

A rede de estações meteorológica do grupo Zephyrus possui oito estações na cidade de Lisboa, e embora se notem algumas falhas na recolha automatizada, um projecto que dependa desta rede para a aquisição de dados meteorológicos em tempo real pode servir como pretexto para uma manutenção contínua das estações de recolha. Também existem outras estações meteorológicas com recolha automatizada, como a estação da Portela/Aeroporto, pertencente ao IPMA, e a nova estação no edifício do IGOT, embora seja desejável estarem englobadas numa rede única, com o propósito de standardização dos critérios de recolha, como posições adequadas e altura dos instrumentos.

Existem redes de estações meteorológicas de contribuição pública (*Netatmo*, *WeatherUnderground*) que permitem a compra de aparelhos de medição de diversas variáveis meteorológicas para colocação em ambientes de interior e exterior. O problema destas redes é a irregularidade no posicionamento das estações, estando perto de zonas de aquecimento ou arrefecimento, como aparelhos de ar condicionado, podendo não representar o clima do local onde se encontra (Kunkel, 2017). Estas situações requerem tempo e esforço para a manutenção e validação dos dados, o que não é desejável num WebSIG de funcionamento contínuo. Contudo, a partir do aumento de exigências de posicionamento e manutenção, estas redes meteorológicas estas podem servir como fontes amplas de dados que mais contribuem para esta metodologia.

Como objectivo final, será desejável o surgimento ou implementação de uma rede urbana meteorológica como fonte única para os dados requeridos, pela capacidade de disponibilização de todos os dados necessários e de uniformização na recolha, evitando erros entre as variáveis e facilitando o processamento exigido.

As potencialidades deste WebSIG são a disponibilização de valores horários e espacializados do conforto térmico na cidade de Lisboa e a promoção de inovações que poderão ser aproveitadas por diversos sectores e serviços, nomeadamente a saúde pública e serviços de meteorologia, de forma a preparar a população e intervenções, sejam de resposta rápida dos serviços de emergência, mais ligados a problemas de saúde, ou de planeamento e ordenamento, através de estudos que correlacionem os níveis de conforto térmico com os diferentes aspectos do ambiente urbano.

Este projecto também proporciona dados de apoio à decisão em outros sectores que os apliquem com fins comerciais, como empresas de construção, arquitectura ou turismo, a partir do auxílio de estudos de forma e posicionamento de estruturas, ou de previsões do conforto térmico associado a um sistema de previsão de ajude na tomada de decisão de algumas actividades, como a gestão de circuitos turísticos (Borges, 2018).

A partir dos resultados deste WebSIG será possível contribuir para a criação de novos conhecimentos e para este fim, o produto final deverá incluir algumas funções que facilitem a análise do conforto térmico.

Uma das funções a considerar será a salvaguarda dos diversos mapas de UTCI criados para a cidade de Lisboa, numa base acedida pelos possíveis utilizadores, para estudos temporais que permitam descrever o comportamento geral do conforto térmico pela cidade.

Um ponto final, mas possivelmente mais importante, será a utilização desta metodologia noutras áreas urbanas de Portugal e no resto do mundo. Caso se reúnam as condições necessárias, tanto na recolha a partir de fonte fiáveis, como na espacialização eficaz deles (modelação do vento e restantes variáveis), será possível expandir o uso desta metodologia a outros locais.

Esta aplicação pode originar uma rede única de recolha e criação de dados meteorológicos, e a subsequentemente divulgação da metodologia, criando cooperações com diversas entidades com base no uso desta infra-estrutura, que proporcionam uma comunicação alargada e mais uma fonte de inovação, não só para o melhoramento do WebSIG em si, mas também para os domínios ambientais, bioclimáticos e informáticos que proporcionaram as bases para este projecto.

6.2. Futuros desenvolvimentos da metodologia proposta

Com o propósito de ser um estudo inicial sobre a implementação de um método de cálculo do UTCI num ambiente WebSIG, utilizando um conjunto de dados controlados, alguns procedimentos devem ser tidos em conta num futuro projecto.

As variáveis que requereram espacialização (temperatura do ar e velocidade do vento) necessitam de um melhoramento constante, que seja na sua metodologia ou os dados de base, de forma a assegurar uma previsão exacta destas variáveis.

A rugosidade aerodinâmica foi actualizada para o ano de 2015, mas como já foi esclarecido anteriormente, podem-se fazer melhorias na actualização. Porém estas melhorias deverão ser asseguradas com as alterações que a malha urbana da cidade irá certamente sofrer, o que exigirá revisões dos dados de rugosidade aerodinâmica e o esperado é um grau crescente de exactidão. A actualização poderá ser exigida caso se notem mudanças significantes na malha urbana, ou poderá ser atribuída uma data para a sua actualização ao fim de um período de tempo.

Na fase de regressão múltipla da temperatura, a selecção dos diversos componentes da morfologia da malha urbana que mais influenciam a temperatura do ar será novamente aplicada em fases futura e melhorada, pois o método utilizado seleccionou em grande parte dos casos, para as mesmas horas de cada mês, variáveis diferentes, o que causou diferenças na atribuição das temperaturas.

Este pode ser um dos atributos positivos deste projecto ao conseguir determinar que componentes do espaço urbano mais afectam o conforto térmico, excluindo outros que se verifiquem redundantes para a estimação do conforto térmico a certas horas do dia.

Mesmo assim, para uma fase futura de desenvolvimento, terá de ser considerada a hipótese de se optar por outro método de espacialização das variáveis meteorológicas, onde se experimente com a inclusão de todas as variáveis utilizadas para a estimação da temperatura.

O problema de aquisição de dados (temperatura radiativa média e da pressão de vapor de água) encontra-se nas fontes utilizadas, que não permitiram realizar uma espacialização mais pormenorizada. Para qualquer ferramenta ou aplicação meteorológica que dependa de dados em tempo real, uma fonte contínua e abrangente é um requerimento para um funcionamento eficaz.

A implementação de novas estações meteorológicas e a sua manutenção contínua será sempre um benefício, pois com novos pontos de recolha de dados meteorológicos em Lisboa, será possível atingir uma qualidade superior nas espacializações de variáveis, recriando com maior exactidão o comportamento do clima urbano na cidade.

Como contrapartida a este possível aumento de eficácia na recolha das variáveis, terá de ser ponderado o rigor que se pretende para a análise de uma área urbana, podendo ser desnecessário observar os comportamentos a escalas muito grandes, ao nível de edifícios ou quarteirões, o que pode exigir um processamento moroso dos cálculos necessários para uma precisão elevada e possivelmente desnecessária.

Este projecto pode concentrar-se em revelar comportamentos únicos do conforto térmico num local da cidade de Lisboa, dando lugar a futuros estudos de escalas maiores como respostas a problemas causados por essas situações de interesse.

7. Bibliografia

Alcoforado, M. (1993) *O clima na Região de Lisboa. Contrastes e Ritmos Térmicos*. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa.

Alcoforado, M., Andrade, H. (2005), Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): Main features and modelling attempts, *Theoretical and Applied Climatology*, 84 (1–3) :151–159.

Alcoforado, M., Lopes, A., Andrade, H., Vasconcelos, J. (2005) *Orientações climáticas para o ordenamento de Lisboa*, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa.

Andrade, H. (1998) O Desconforto Térmico Estival em Lisboa. Uma Abordagem Bioclimática, *Finisterra*, XXXIII, 66, 1998 : 41-58.

Andrade, H. (2003) *Bioclima Humano e Temperatura do Ar em Lisboa*, Tese de Mestrado em Geografia Física, Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa.

Andrade, H (2005) O clima urbano – Natureza, Escalas de Análise e Aplicabilidade, *Finisterra*, XL (80) :67-91.

Andrade, H., Vieira, R. (2005) *Estudo Climático de um Espaço Verde de Lisboa: o Jardim da Fundação Calouste Gulbenkian*. Relatório nº 5, CEG/UL, Lisboa.

Baltazar, S. (2010) *Mapas Bioclimáticos de Lisboa*, Tese de Mestrado em Geografia Física, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.

Błażejczyk, K., Broede, P., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Kunert, A. (2010), Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale, *Miscellanea Geographica*, 14 :91-102.

Błażejczyk, K., Kuchcik, M., Błażejczyk, A., Milewski, P., Szmyd, J. (2014), Assessment of urban thermal stress by UTCI – experimental and modelling studies: an example from Poland, *Journal of the Geographical Society of Berlin*, 145, (1-2).

Borges, L. (2018), *Criação de uma Geo-aplicação para dispositivos móveis – Rotas de Turismo em Lisboa*, Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.

Breuste, J. (2002) 7.10 Urban Ecology. In: Bastian, O. & Steinhardt, U. [Eds.] (2002): *Development and Perspectives of Landscape Ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Epstein, Y., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Richards, M., Rintamaki, H., Shitzer, A., Havenith, G. (2009) *Calculating UTCI Equivalent Temperature*; In: Castellani & TL Endrusick, eds. *Proceeding of the 13th International Conference on Environmental Ergonomics, USARIEM, Natick, Massachusetts*.

Bröde, P., Jendritzky, G., Fiala, D., Havenith, G. (2010) *The Universal Thermal Climate Index UTCI in Operational Use*; *Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort, Cumberland Lodge, 9-11 April 2010, Windsor, UK*.

Bröde, P., Błażejczyk, K., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., Kuklane, K., Kampmann, B. (2013) The Universal Thermal Climate Index UTCI compared to ergonomics standards for assessing the thermal environment, *Industrial Health*, 51 (1) :16–24.

Correia, M., Lopes, A., Marques, D. (2015) *An automatic GIS procedure to calculate urban densities to use in Urban Climatic Maps*, 9th International Conference on Urban Climate, Meteo France, Toulouse.

Fiala, D., Havenith, G., Bröde, P., Kampmann, B., Jendritzky, G. (2011) UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation; *International Journal of Biometeorology*, 56 (3) :429-441.

Foote, K., Kirvan, A. (2000) *Unit 133 – WebGIS*, NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Science, Department of Geography, University of Texas at Austin, USA.

Havenith, G., Fiala, D., Błażejczyk, K., Richards, M., Bröde, P., Holmér, I., Rintamaki, H., Benshabat, Y., Jendritzky, G. (2011) The UTCI-clothing model, *International Journal of Biometeorology*, 56 (3) :461-470.

Jendritzky, G., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E. (2005) *COST Action 730 on the Universal Thermal Climate Index UTCI*, *Proceedings 17th Int. Congress Biometeorology ICB 2005, Ann. d. Met., DWD Offenbach*. 41, Vol. 1, :309-312.

Kunkel, A, Lopes A., Alcoforado M.J. (2017) *Usability of crowdsourcing air temperature in Lisbon*, *Workshop “Clima e Sustentabilidade/Climat et Durabilité, CEG, ULisboa*.

Lawrence, R. (2003) Human ecology and its applications, *Landscape and Urban Planning*, 65 (1-2) :31-40.

Lei n.º 22/2012, de 30/05/2012 - Aprova o regime jurídico da reorganização administrativa territorial autárquica.

Lopes, A. (2003) *Modificações no Clima de Lisboa como Consequência do Crescimento Urbano. Vento, Ilha de Calor de Superfície e Balanço Energético*, Tese de Doutoramento em Geografia Física, Universidade de Lisboa.

Lopes, A., Saraiva, J., Alcoforado, M. (2011) Urban boundary layer wind speed reduction in summer due to urban growth and environmental consequences in Lisbon, *Environmental Modelling & Software*, 26, (2) : 241-243.

Lopes, A., Alves, E., Alcoforado, M., Machete, R. (2013) Lisbon Urban Heat Island Updated: New Highlights about the Relationships between Thermal Patterns and Wind Regimes, *Advances in Meteorology*, Article ID 487695, 11 pages.

Marcotullio, P., Solecki, W. (2010) *What is a City? Old Debate, New Implications, in The Science and Practice of Urbanization and Global Environmental Change: A Look Ahead*, UGEC Viewpoints, No. 4, :7-11.

Matzarakis, A., Mayer, H., (2000) *Atmospheric conditions and human thermal comfort in urban areas*, in 11th Seminar on Environmental Protection "Environment and Health", 20-23, Thessaloniki, Greece, 155-166.

Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H. (2010) Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model, *International Journal of Biometeorology*, 54 (2) :131–139.

Mendes, F., Filho, D., Lopes, A. (2015) Proposta de metodologia para a quantificação da cobertura arbórea na cidade de Lisboa a partir de imagem de alta resolução, *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 11 (21) :3254-3265.

Newman, P. (1999) Sustainability and cities: extending the metabolism model, *in Landscape and Urban Planning*, 44 (4) :219-226.

Niza, S., Ferreira, D., Marat-Mendes, T., Mourão J., D'Almeida, P. (2014) *The metabolic behaviour of Lisbon district from the pre-industrial period to the present*, in EUAH conference, Lisbon, 15 pages.

Parsons, K. C. (1993) *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance*; 2nd Edition; Taylor and Francis.

Peng, Z., Tsou, M. (2003) *Internet GIS, distributed geographic information services for the internet and wireless networks*, Wiley, Hoboken, New Jersey.

Salgueiro, T. (2001) *Lisboa. Periferia e Centralidades*, Celta Editora, Oeiras.

Salgueiro, T. (2003) Desenvolvimento urbano de Lisboa, Lisboa, *Revista de Estudos Regionais*, 5, :7-22 INE, Direcção regional de Lisboa e Vale do Tejo.

Salgueiro, T. (2005) Problemas em torno de um conceito complexo, in C. A. Medeiros (coord.), *Geografia de Portugal*, Lisboa, Circulo de Leitores, 2, :176-189.

Stull, R., (2011) *Meteorology for Scientists & Engineers*, 3rd Edition, Univ. of British Columbia.

Vasconcelos, P. (2015) *As metamorfoses do conceito de cidade*, Mercator, Fortaleza, 14 (4): 17-23.

VDI (1998) *VDI 3787, part I: Environmental Meteorology, Methods for the human biometeorology evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning at regional level*, Part I: Climate, Beuth, Berlin.

Wirth, L (1938) Urbanism as a way of life, *American Journal of Sociology*, 44 (1):1-24

7.1. Webgrafia

DTU¹ - <http://www.vindenergi.dtu.dk/english/about> - acedido em 19-10-2017

DTU² - http://www.wasp.dk/weng#details__comparison-of-wasp-and-weng - acedido em 19-10-2017

ESRI¹ - <http://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/tile-layers.htm> - acedido em 21-01-2018

ESRI² - <https://www.arcgis.com/home/index.html> - acedido em 19-10-2017

ESRI Portugal - <http://www.esriportugal.pt/Visao-e-Missao> - acedido em 21-01-2018

IPMA¹ - <https://www.ipma.pt/pt/ambiente/biometeo/utci> - acedido em 10-09-2017

IPMA² - <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/012/> - acedido em 21-01-18

GFN - <http://www.footprintnetwork.org/resources/glossary/> - acedido em 21-01-2018

MEMO - <https://memoproject.wordpress.com/> - acedido em 13-01-2018

Netatmo - <https://weathermap.netatmo.com/> - acedido em 21-01-2018

WeatherUnderground - <https://www.wunderground.com/wundermap> - acedido em 21-01-2018