



RELATÓRIO

FASE 1 | DEZEMBRO 2019

Mapas Climáticos Urbanos: Índices de Geometria e Densidade Urbana Atual

Autor: Ezequiel Correia

Cartografia
de Vulnerabilidade Térmica:
Mapeamento dos Efeitos
das Ondas de Calor em Lisboa
Face às Projecções Climáticas



ONDAS de CALOR LISBOA

Cofinancado por



Mapas Climáticos Urbanos

Geometria e densidade urbana atual

Relatório

[PÁGINA PROPOSITADAMENTE EM BRANCO]

MAPAS CLIMÁTICOS URBANOS - ÍNDICES DE GEOMETRIA E DENSIDADE URBANA ATUAL

De acordo com o **Contrato de Aquisição de Serviços nº 19042588**, designado “Elaboração de Mapas Climáticos Urbanos”, apresenta-se o Relatório da Fase 1 de acordo com a cláusula 3, ponto 2 a) do Caderno de Encargos.

O presente relatório é dedicado à fundamentação técnica e científica da cartografia digital dos índices de geometria urbana atual da cidade de Lisboa, relevantes para a análise da ilha de calor urbano (ICU) na atmosfera inferior, designadamente:

- a) Mapa da rugosidade aerodinâmica;
- b) Mapa da compacidade;
- c) Mapa do índice volumétrico;
- d) Mapa da densidade urbana para fins climáticos.

Executante:

Ezequiel Correia

Índice

1. INTRODUÇÃO	5
2. DADOS E MÉTODOS	6
2.1 Unidades de Análise	6
2.2 Informação de base utilizada	7
2.2.1 Pré-processamento	7
3. CARTOGRAFIA DOS ÍNDICES DE GEOMETRIA E DENSIDADE URBANA ATUAL	9
3.1 MAPA DA RUGOSIDADE AERODINÂMICA	9
3.2 MAPA DA COMPACIDADE	14
3.3 MAPA DO ÍNDICE DE VOLUMETRIA.....	17
3.4 MAPA DA DENSIDADE URBANA	19
4. CONCLUSÃO	21
BIBLIOGRAFIA.....	22
ANEXO	23

1. INTRODUÇÃO

“O clima urbano corresponde a uma modificação espacialmente bem delimitada do clima regional (...)” (Alcoforado, 2010, p.13). As aglomerações urbanas induzem modificações na estrutura e na composição da atmosfera inferior, nos balanços radiativo e energético, e nas condições aerodinâmicas. A ilha de calor urbana constitui a expressão mais evidente das condições atmosféricas particulares que aqui se geram. Para o facto de a temperatura do ar na camada atmosférica inferior ser, em geral, mais elevada nas áreas urbanas do que nos arredores próximos contribuem decisivamente:

- o aumento da absorção da radiação solar - por um lado, porque a área de absorção é maior e, por outro, porque o albedo é menor, devido às reflexões múltiplas entre edifícios e à natureza dos materiais da superfície;
- o aumento da radiação de grande comprimento de onda – a partir de uma atmosfera mais poluída, da emissão de superfícies mais quentes e, também, devido à proximidade dos edifícios que reduz a sua perda;
- o maior fluxo de calor de origem antrópica - a partir dos edifícios, do tráfego e das atividades;
- à diminuição das transferências de calor por advecção - devido à redução da velocidade do vento regional causada pelo atrito dos elementos urbanos;
- à diminuição da utilização de energia para a evapotranspiração - devido à impermeabilização das superfícies e à menor fração de vegetação.

A morfologia e a geometria urbana desempenham, portanto, um papel decisivo na alteração das condições atmosféricas ao nível a camada inferior da atmosfera. A densidade do edificado, a altura e volume dos edifícios, a proximidade entre eles, a sua orientação, são fatores que isoladamente e, sobretudo, conjugadamente, interferem nas condições aerodinâmicas e nas trocas radiativas e energéticas e, assim, influenciam a magnitude e a distribuição espacial da ilha de calor urbana.

Neste trabalho procedeu-se ao cálculo e à espacialização de índices associados à geometria urbana, de modo a avaliar os graus de compacidade, de volumetria e de rugosidade aerodinâmica na cidade de Lisboa. Tratam-se de parâmetros relevantes para a determinação da densidade urbana, entendida numa aceção climática, e que traduz espacialmente o efeito cumulativo potencial do parque edificado nas condições de ventilação e na carga térmica.

Foram elaborados mapas da:

- Rugosidade aerodinâmica, que expressa o atrito causado pela rugosidade da superfície com efeitos nas condições de ventilação.

- Compacidade, tendo em conta a proximidade dos edifícios e a sua altura, um dos fatores que mais contribui para a retenção da radiação de grande comprimento de onda.
- Porção de atmosfera urbana inferior disponível para as trocas radiativas e energéticas, tendo em conta a ocupação tridimensional.
- Densidade urbana, que conjuga os índices cartografados e outros parâmetros de morfologia e geometria urbana.

A espacialização dos vários índices fornecerá elementos que permitirão compreender melhor a magnitude e o padrão espacial da ilha de calor urbana e poderá apoiar o processo de ordenamento da cidade.

2. DADOS E MÉTODOS

A determinação dos diversos parâmetros e índices e a cartografia foi desenvolvida em ambiente SIG tendo por base a metodologia de Correia et al (2015), e é apresentada em formato *Esri shapefile* com uma geometria de polígonos (ver no Anexo I os metadados dos diversos mapas produzidos).

A cidade de Lisboa foi dividida em células tridimensionais com uma resolução horizontal de 100 x 100m e uma altura variável, determinada pela altura do edificado em cada célula. Para cada uma delas foi considerada:

- a altura, a área e o volume dos edifícios;
- a área da fachada exposta à direção predominante do vento na cidade de Lisboa;
- a distância entre edifícios.

2.1 Unidades de Análise

Indo ao encontro das diferentes escalas de análise do projeto “Cartografia de Vulnerabilidade Térmica – Mapeamento dos efeitos das ondas de calor em Lisboa, face às projeções climáticas”, onde se enquadra a cartografia da geometria e da densidade urbana, e às eventuais necessidades no âmbito dos instrumentos de ordenamento, os mapas foram elaborados com base em duas unidades de análise:

- a) Grelha regular com uma resolução horizontal de 100 x 100 metros;

- b) Subsecção estatística definida na Base Geográfica de Referenciação da Informação (BGRI), de 2011, do Instituto Nacional de Estatística.

A opção por uma resolução superior à constante no caderno de encargos (200 x 200m) prende-se com:

- o facto da grelha com células com 40 000 m² possuir uma dimensão muito superior à da maior parte dos quarteirões de Lisboa; se tomarmos como referência as subsecções estatísticas definidas na BGRI, que coincidem em grande medida com os quarteirões, verifica-se que a sua área mediana é de 9 500 m² e 90% têm uma área inferior a 35 000 m²;
- a intenção de fornecer, também, elementos para os estudos de escala microclimática;
- a utilidade para os diversos instrumentos de ordenamento, até aos Planos de Pormenor.

Os índices foram calculados para cada uma das células, excluindo-se as áreas verdes contíguas com uma área superior a 20 ha.

Além da cartografia prevista no caderno de encargos, decidiu-se espacializar os índices por subsecção estatística, com o propósito de caracterizar a cidade numa unidade espacial semelhante à dos indicadores estatísticos publicamente disponíveis com maior resolução. Neste caso, o valor dos diversos índices em cada subsecção corresponde à média ponderada pela área das células contidas em cada uma delas.

2.2 Informação de base utilizada

O desenvolvimento do trabalho assentou na informação planimétrica e altimétrica fornecida pela Câmara Municipal Lisboa. Nomeadamente:

- “*Cartografia Numérica Vetorial*”, que inclui a representação planimétrica e altimétrica de objetos (ex. parque edificado);
- “*Modelo Tridimensional da Ocupação Urbana Superficial*”;
- “*Cartografia da biodiversidade, v. 4*”, que inclui a ocupação do solo (ex. espaços verdes);

2.2.1 Pré-processamento

Os elementos fornecidos foram sujeitos a um processo de validação e de seleção dos elementos relevantes para a cartografia de índices de geometria e densidade urbana da cidade de Lisboa.

Parque edificado

A informação relacionada com o edificado, composta por 96539 polígonos, foi submetida a um processo de validação e retificação topológica, que permitiu corrigir os problemas descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Problemas de natureza topológica

Natureza	Nº de polígonos
Duplicados	1 570
Sobrepostos	24 946
Geometria inválida	11
<i>Multiparte</i>	84

Entre os elementos cartografados, muitos não são relevantes para o propósito desta tarefa (por exemplo, parques de estacionamento, piscinas, miradouros, cemitérios), pelo que se selecionaram aqueles cuja classificação está associada a edificações (de acordo com o catálogo de objetos que acompanhava os *layers*) e cuja altura é superior a 2,5 metros. Em diversos casos foi necessário, ainda, proceder à correção do valor da altura associada aos polígonos, o que foi feito através da comparação com os edifícios vizinhos e/ou da utilização do Google Earth.

Foi também necessário efetuar a vectorização do limite dos edifícios de duas áreas que não estavam cartografadas: no Parque das Nações e no bairro da Encarnação (fig. 1).



Figura 1 – Áreas não cartografadas no Parque das Nações a) e no bairro da Encarnação b).

A cartografia do parque edificado que serve de base à cartografia de índices de geometria e densidade urbana é, assim, composta por elementos com mais de 2,5 metros de altura e uma área superior a 30 m², que foram agrupados em blocos de edifícios contíguos com a mesma altura, resultando numa cobertura com 51 628 polígonos (fig. 2).

Espaços Verdes

Foram excluídos da análise e considerados exclusivamente como áreas verdes, os parques urbanos da Bela Vista e de Alvalade, o parque Eduardo VII e o parque Florestal de Monsanto, estruturas verdes contíguas com mais de 20 hectares (fig. 2).



Figura 2 – Blocos de edifícios contíguos e áreas verdes com mais de 20 ha.

3. CARTOGRAFIA DOS ÍNDICES DE GEOMETRIA E DENSIDADE URBANA ATUAL

3.1 MAPA DA RUGOSIDADE AERODINÂMICA

O efeito de barreira à progressão do vento decorrente da presença dos elementos físicos nas áreas urbanas, em particular os edifícios, provoca o empobrecimento das condições de ventilação no interior dessas áreas, com a consequente degradação da qualidade do ar e a intensificação da ilha urbana de calor, devido à menor transferência de calor por advecção. Lopes (2003), estimou uma redução da velocidade do vento em cerca de 7 km/h nas áreas centrais e meridionais da cidade de Lisboa, devido ao crescimento urbano durante a década de 80.

A rugosidade de um terreno é um efeito coletivo da superfície e dos elementos aí dispostos, conduzindo a um retardamento global da velocidade do vento próximo ao solo (Petersen et al., 1998, *in* Madeira, 2019) e pode ser caracterizada por diversos métodos, agrupados em três categorias (Grimmond & Oke, 1999):

- valores típicos de rugosidade: baseados em tipos de ocupação do solo e em relações empíricas com o comportamento do vento;

- métodos micrometeorológicos ou anemométricos: baseados em medições da direção e velocidade do vento a diferentes altitudes;
- métodos morfométricos ou geométricos: baseados na relação entre medidas da morfologia e geometria urbana e parâmetros aerodinâmicos determinados em túnel de vento.

Neste trabalho utiliza-se um método morfométrico que permite, com base nos elementos da geometria urbana, calcular os dois parâmetros habitualmente utilizados para caracterizar a rugosidade aerodinâmica:

- A altura do plano de deslocamento (*zero-plane displacement*) – Z_d : parâmetro que representa o nível onde o fluxo médio de quantidade de movimento é absorvido (Lopes, 2003); corresponde à altura acima do solo onde a velocidade é teoricamente zero e a partir da qual se desenvolve o perfil de velocidade (Madeira, 2019).
- O comprimento da rugosidade aerodinâmica (*roughness length*) – Z_0 : parâmetro que traduz a tensão de atrito (Madeira, 2019); corresponde à altura acima do plano de deslocamento em que a velocidade do vento é igual a zero, assumindo uma variação logarítmica no perfil do vento com a altitude (American Meteorological Society, 2019)

O cálculo destes parâmetros foi efetuado através do método proposto por Kanda et al (2013), mais adequado às áreas urbanas reais (Kent et al, 2017), já que ao considerar a variabilidade da altura do parque edificado incorpora a variabilidade dos elementos de rugosidade urbana.

As equações aplicadas foram:

$$Z_d = H_{\max} [c_0 \chi^2 + (a_0 \lambda_p^{b_0} - c_0) \chi] \quad (\text{Eq. 1})$$

em que,

$$\chi = \frac{\sigma H + H_{av}}{H_{\max}} \quad (\text{Eq. 1.1})$$

$$Z_0 = (b_1 Y^2 + c_1 Y + a_1) Z_{0\text{Mac}} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que,

$$Y = \frac{\sigma H + H_{av}}{H_{\max}} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

$$Z_{0\text{Mac}} = \left(\left(1 - \frac{Z_d}{H_{av}} \right) \exp \left[- \left\{ 0.5 \beta \frac{C_{Db}}{K^2} \left(1 - \frac{Z_d}{H_{av}} \right) \lambda_f \right\}^{-0.5} \right] \right) H_{av} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

$$Z_d = H_{av} [1 + \alpha - \lambda p (\lambda p - 1)] \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Indica-se na tabela abaixo o significado das siglas e os valores das constantes.

Parâmetros relacionados com a unidade de análise e com o edificado	Constantes
H_{max} - altura máxima do edificado	$a_0 = 1.29$; $b_0 = 0.36$; $c_0 = -0.17$
H_{av} - altura média dos edifícios	$a_1 = 0.71$; $b_1 = 20.21$; $c_1 = -0.77$
σH - desvio padrão da altura dos edifícios	
λ_p - densidade de edificado (área edificada / área da unidade de análise)	$\alpha = 4.43$; $\beta = 1$; $C_{Db} = 1.2$; $K = 0.4$
λ_f - densidade da área frontal (área das fachadas expostas ao vento / área da unidade de análise)	

Conforme se verifica acima, a determinação dos parâmetros de rugosidade faz uso de parâmetros geométricos dos elementos de rugosidade urbana como a sua altura, a área e área da fachada exposta ao vento. Enquanto as duas primeiras variáveis são obtidas através de simples operações matemáticas, a determinação da área da fachada envolve um conjunto de procedimentos de natureza espacial, que pode ser resolvido em ambiente SIG.

A determinação da área da fachada exposta ao vento foi efetuada considerando as fachadas de todos os blocos de edifícios existentes dentro de cada unidade de análise e o efeito de abrigo entre eles face à direção predominante do vento (fig. 3).

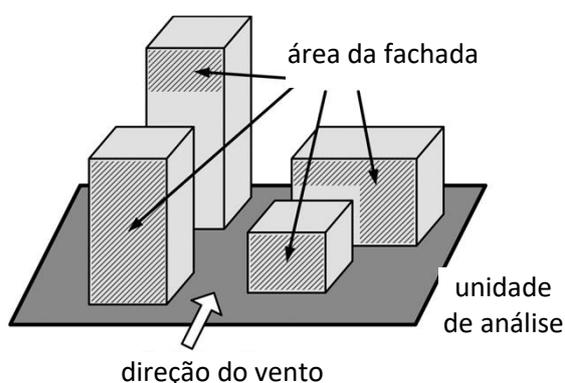


Figura 3 - Fachadas expostas ao vento (adaptado de Chen & Ng, 2011)

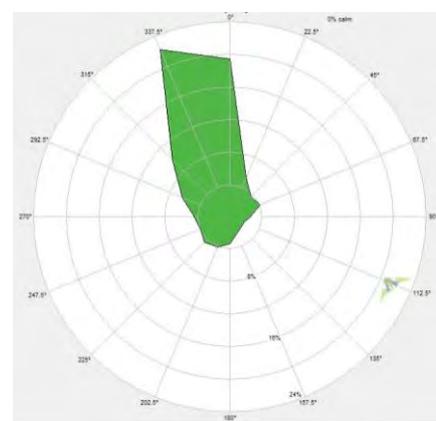


Figura 4- Direção do vento em Lisboa (2009-2018)

Para o efeito criou-se um *layer* de linhas tangente aos limites dos blocos do edificado, com orientação N-S, considerando que o vento em Lisboa sopra predominantemente de NNW e de N (figura 4), simulando-se, assim, linhas de fluxo georreferenciadas de forma a poder calcular-se o comprimento da fachada exposta ao vento.

A interseção das “linhas de fluxo” com os blocos do edificado permite identificar em cada unidade de análise as secções dos blocos expostas ao vento, tendo em consideração a sua altura e a posição

face a outros elementos; isto é, são selecionadas para efeitos de cálculo do comprimento da fachada exposta (e apenas esta) os blocos mais altos que são interseçados por uma linha (fig. 5), não se contabilizando aqueles que se encontram a sotavento destes e possuem uma altura inferior; também se tem conta que no caso de uma dada linha interseçar mais de um bloco com a mesma altura, apenas será selecionado um deles.

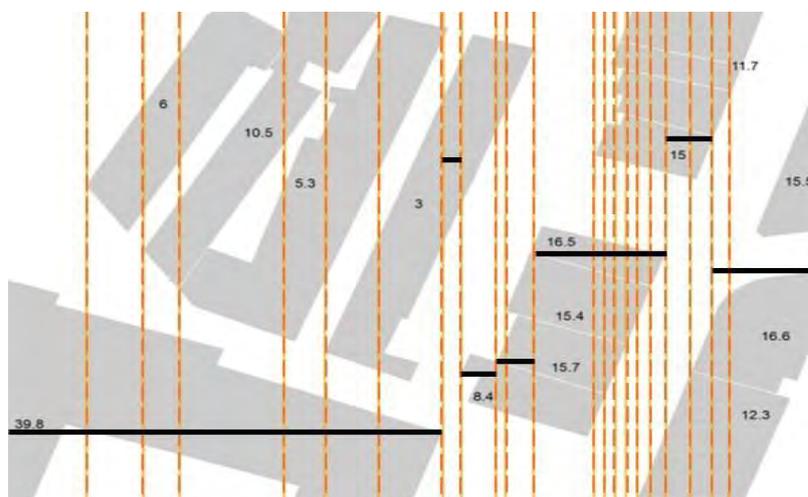


Figura 5 – Linhas tangentes aos limites dos blocos edificadas e secções expostas selecionadas (a preto).

A área da fachada exposta de cada bloco selecionado é calculada tendo em conta apenas o comprimento da secção da fachada que se encontra exposta, a partir das coordenadas das “linhas de fluxo”, que multiplicado pela altura do bloco permite obter a área.

A densidade da área frontal (λ_f) é obtida a partir da razão entre o somatório das áreas das fachadas expostas dentro de cada célula e a sua área.

A rugosidade aerodinâmica atual da cidade é caracterizada pelo parâmetro Z_0 , calculado através da equação 2, e cartografada por células de 100 x 100 m (fig. 6) e por subsecção estatística (fig. 7).

Os valores de Z_0 foram categorizados - tabela 2 - de acordo com os limares referenciados em Oke et al (2017) e Davenport et al (2000).

Tabela 2 – Categorias de rugosidade aerodinâmica.

Z_0	Classe
< 0.1	Muito baixa
0.1 – 0.3	Baixa
0.3 – 0.7	Moderada
0.7 – 1.5	Elevada
> 1.5	Muito elevada

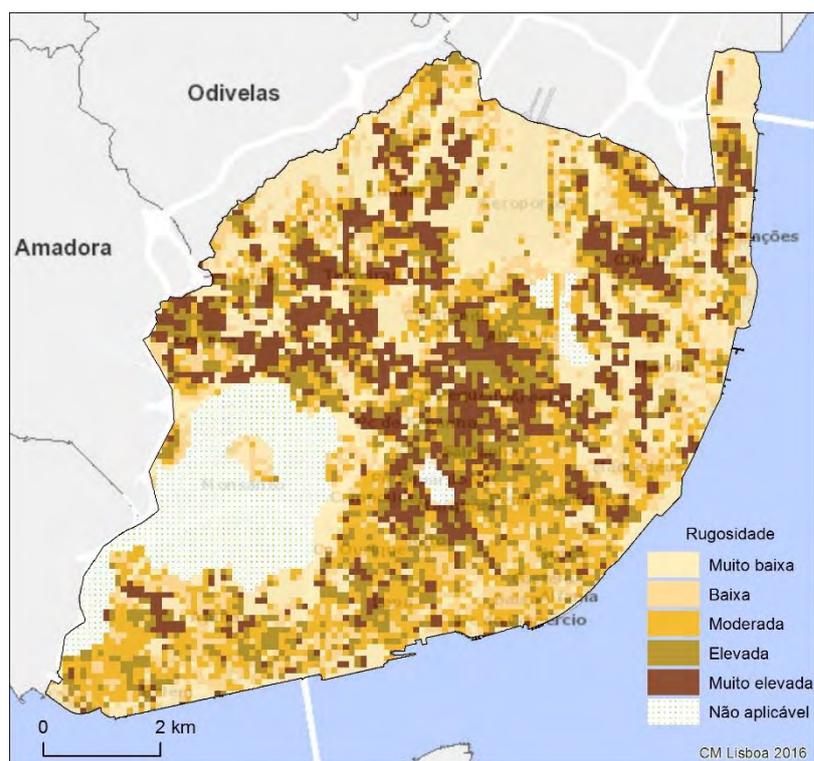


Figura 6 – Rugosidade aerodinâmica (células de 100 x 100 m).

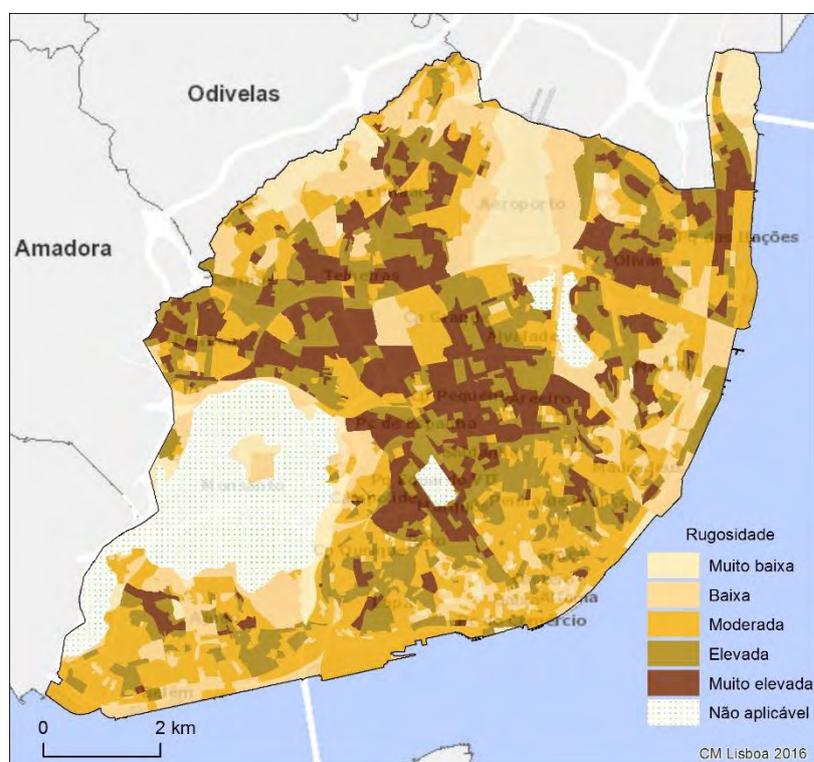


Figura 7 – Rugosidade aerodinâmica (subsecção estatística).

3.2 MAPA DA COMPACIDADE

A compacidade das áreas edificadas pode ser avaliada para fins climáticos, pelo quociente entre a altura dos edifícios e a distância que os separa (Lindberg et al, 2015; Masson et al, 2020). Esta relação está entre os fatores da geometria urbana que mais contribuem para a alteração dos balanços radiativo e energético no interior das cidades, afetando as condições de ventilação e de dispersão dos poluentes, estando, por isso, muito diretamente relacionada com a intensidade da ilha de calor urbana (Oke et al., 2017) (fig. 8)

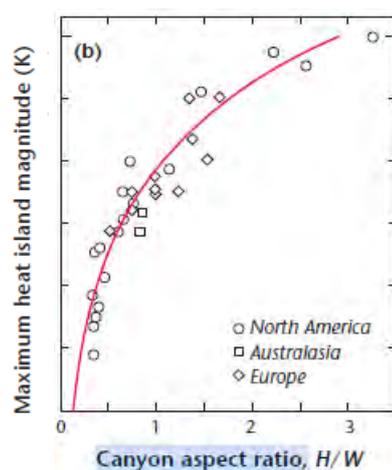


Figura 8 - Relação entre a razão H/W e a intensidade da ilha de calor (Oke et al, 2017)

O conceito desenvolvido para *canyons* urbanos regulares considera a largura das vias como medida da distância entre edifícios.

Neste trabalho adota-se a metodologia proposta em Lindberg et al (2015), que considera a distância entre edifícios, de modo a ter em conta todo o espaço não edificado entre eles: além das vias, os passeios, as praças, outros espaços vazios e, mesmo, inúmeros casos em que os troncos dos edifícios estão afastados em relação ao seu embasamento.

Assim, em cada célula, considerou-se a altura média dos edifícios e a distância euclidiana média entre eles:

$$H/W = \frac{\overline{Hb}}{\overline{Ws}} \quad (\text{Eq. 3})$$

em que,

\overline{Hb} – altura média dos blocos edificados

\overline{Ws} – distância média entre blocos edificados

Em ambiente SIG, foi calculada a distância euclidiana entre blocos de edifícios (fig. 9b):

- Criou-se um *raster* com a resolução de 1 metro, contendo a distância de cada pixel ao bloco de edifícios mais próximo (fig. 9a).
- Através da construção de polígonos de Voronoi em torno de cada bloco, com a resolução de 1 metro, determinou-se o eixo central entre blocos.
- A interseção entre o *raster* com a distância euclidiana e o limite dos polígonos de Voronoi (eixo central entre blocos) permitiu obter a distância máxima no eixo central; multiplicando seu valor por 2, obtém-se o valor da distância entre blocos (fig. 9b).



Figura 9 – Determinação da distância entre blocos de edifícios.: a) distância de um pixel ao bloco edificado mais próximo; b) eixo central com a distância entre blocos de edifícios.

O valor da distância média entre blocos numa célula de 100 x 100 m ($\overline{W_s}$), corresponde à média dos valores dos eixos contidos em cada uma delas.

O valor da razão H/W em cada célula de 100 x 100 m corresponde, como se referiu, ao quociente entre a média da altura do edificado e a média da distância entre os blocos (fig. 11). Por subsecção estatística foi cartografado o valor médio de H/W ponderado pela área das células contidas em cada uma das subsecções (fig. 12).

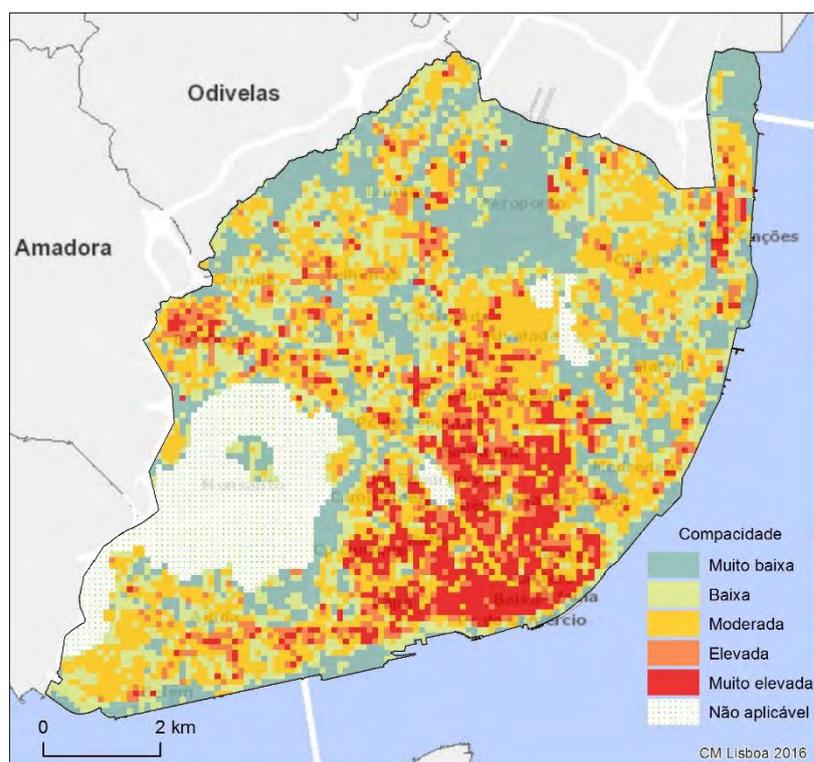


Figura 11 – Compacidade (células de 100 x 100 m).

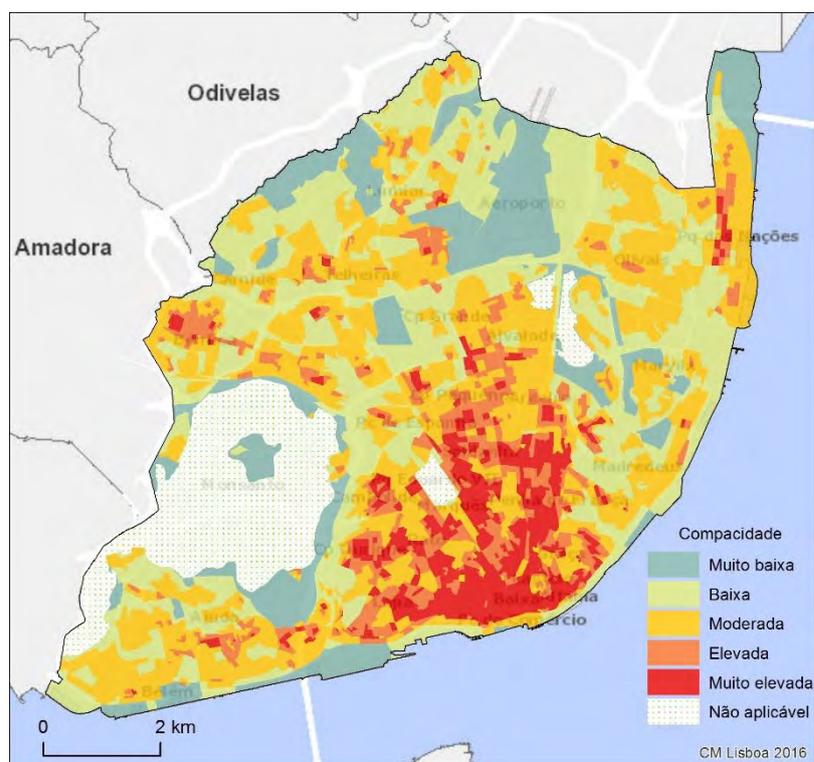


Figura 12 – Compacidade (subsecções estatísticas).

Os valores foram categorizados – Tabela 3 - de acordo com os limiares referenciados em Oke et al (2017), para efeitos de classificação das *Local Climate Zones*.

Tabela 3 – Categorias de compacidade.

H/W	Compacidade
0.0 – 0.1	Muito baixa
0.1 – 0.3	Baixa
0.3 – 0.75	Moderada
0.75 – 1.0	Elevada
≥ 1.0	Muito elevada

3.3 MAPA DO ÍNDICE DE VOLUMETRIA

A volumetria do edificado influencia a ventilação e, de modo particular, a carga térmica na atmosfera urbana inferior, pela interferência na troca de fluxos radiativos e na absorção e/ou produção de calor.

A avaliação do espaço disponível para as trocas radiativas e energéticas na camada limite inferior pode ser conseguida por uma razão que permita determinar o grau de preenchimento tridimensional de uma dada área; nomeadamente, através do quociente entre o volume edificado na unidade de análise e o volume máximo que essa unidade de análise pode conter na atmosfera urbana inferior (Eq. 4).

$$IV = \frac{V_b}{V_{xUA}} \quad (\text{Eq. 4})$$

em que,

V_b – volume dos blocos de edificado

V_{xUA} – volume máximo na unidade de análise

sendo que,

$$V_{xUA} = A_{UA} \times H_{\max} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

em que,

A_{UA} – área da unidade de análise

H_{\max} – altura máxima na unidade de análise

Este índice está dependente da volumetria e da altura da camada da atmosfera urbana inferior, e é independente da orientação.

Considerou-se a altura da camada urbana inferior variável, ao invés de se adotar um valor único para toda a cidade, e em cada unidade de análise assumiu-se como a altura da camada urbana inferior a correspondente à altura do bloco de edifícios mais alto (desta forma, o índice varia entre 0 e 1).

Para cada célula de 100x100 m foi calculada a razão entre o somatório do volume do edificado existente e o volume máximo que aquela comportaria, tendo em conta a altura do bloco mais alto

existente (fig. 13); como já foi referido, a cartografia deste índice por subsecção estatística (fig. 14), foi feita através da sua média ponderada pela área das células contidas. Os valores do índice de volumetria foram categorizados da forma que se apresenta na tabela 4.

Tabela 4 – Categorias do índice de volumetria

IV	Classe
0 – 0.2	Baixo
0.2 – 0.4	Moderado
0.4 – 0.7	Elevado
0.7 – 1.0	Muito elevado

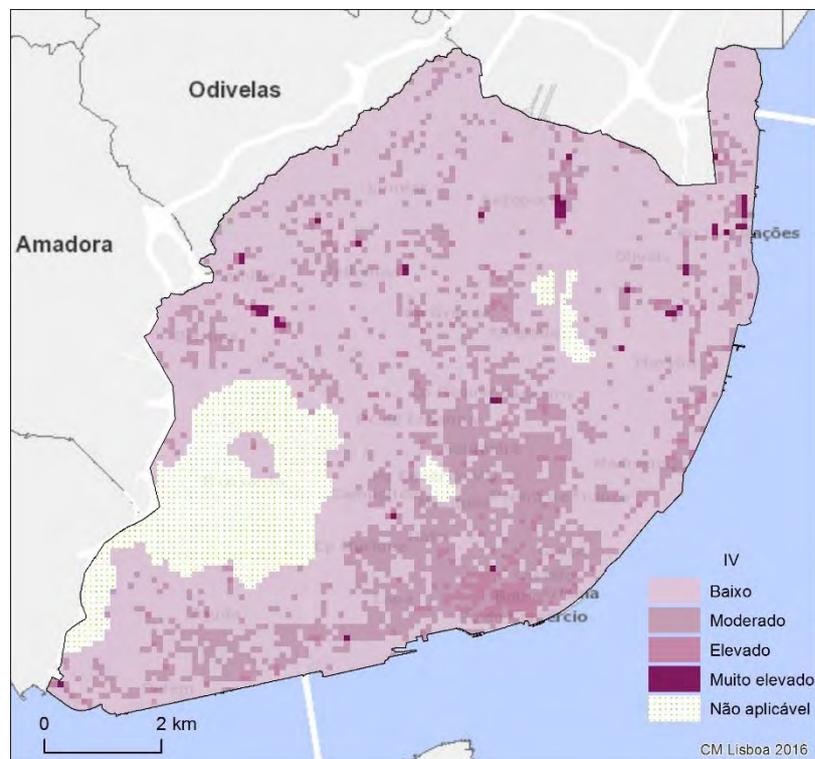


Figura 13 - Índice de volumetria (células de 100 x 100 m).

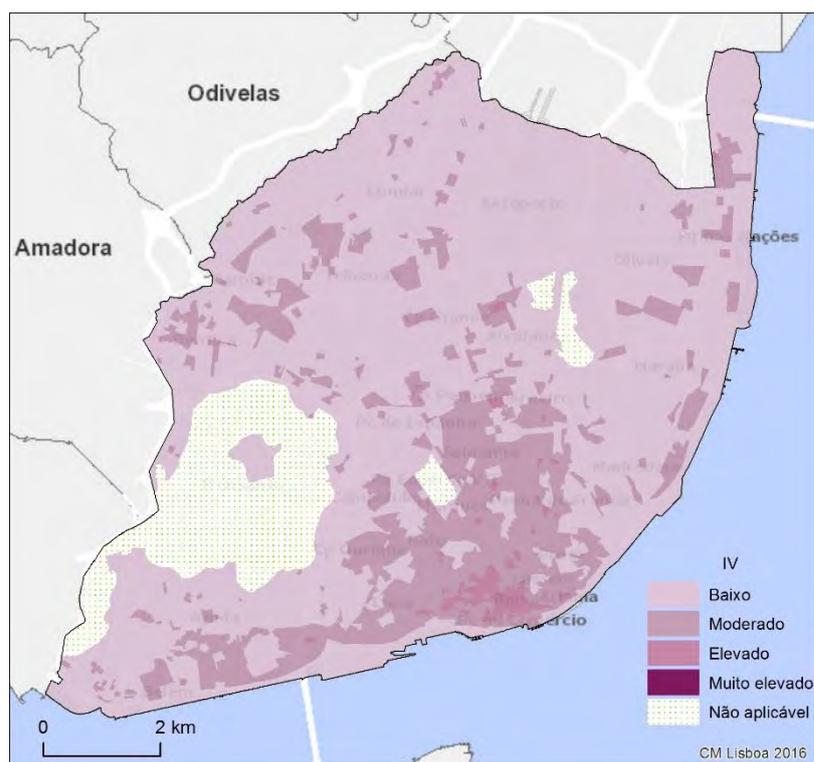


Figura 14 - Índice de volumetria (subsecções estatísticas).

3.4 MAPA DA DENSIDADE URBANA

Como já se referiu, a ilha calor urbana é mais intensa onde a retenção de radiação e energia é mais elevada e as condições de ventilação são mais deficientes. O conceito de densidade urbana para fins bioclimáticos deve, por isso, ir além da aceção urbanística e traduzir a compacidade, a volumetria, a rugosidade aerodinâmica e o potencial efeito cumulativo destes aspetos na camada inferior da atmosfera urbana.

A classificação da densidade urbana atual na cidade de Lisboa foi obtida através da observação de semelhanças entre os índices e parâmetros de geometria urbana calculados para cada célula, com recurso à análise de *clusters*.

Utilizou-se para o efeito um método hierárquico aglomerativo, adotando-se a distância euclidiana como critério de dissemelhança, e o método aglomerativo de Ward.

Utilizaram-se como variáveis:

- Parâmetros de rugosidade: Z_0 e Z_d ;
- Razão H/W
- Índice de volumetria (IV)

- Densidade da área frontal (λ_f)
- Densidade da área plana (λ_p)

Podem observar-se na tabela 5 os valores dos centroides de cada variável para as três classes de densidade definidas.

Tabela 5 – Valores dos centroides das classes de densidade urbana.

Classe	Z0	Zd	H/W	IV	λ_p	λ_f
Alta	2,62	31,34	0,97	0,24	0,34	0,27
Média	1,37	20,00	0,78	0,22	0,32	0,18
Baixa	0,52	8,00	0,26	0,12	0,16	0,07

As áreas de alta densidade caracterizam-se por uma rugosidade aerodinâmica muito elevada e muito alta compacidade. São estas características que as distinguem mais das áreas de média densidade, onde a rugosidade aerodinâmica não é tão elevada e a razão H/W é inferior a 1. A maior parte da cidade é de baixa densidade, com rugosidade moderada, baixa compacidade e baixo índice de volumetria (fig. 15 e 16).

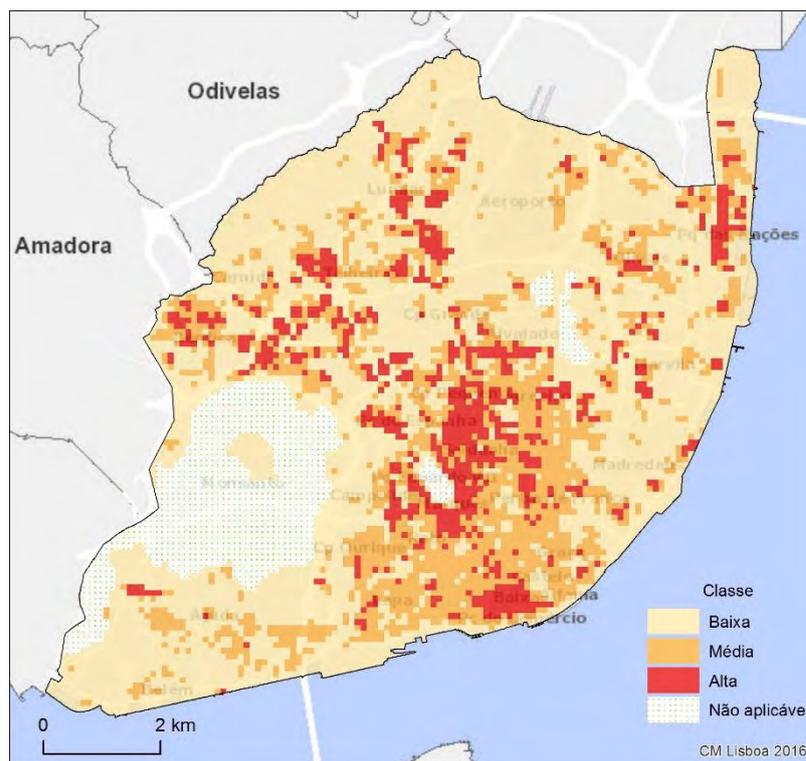


Figura 15 – Densidade Urbana (células de 100 x 100 m).

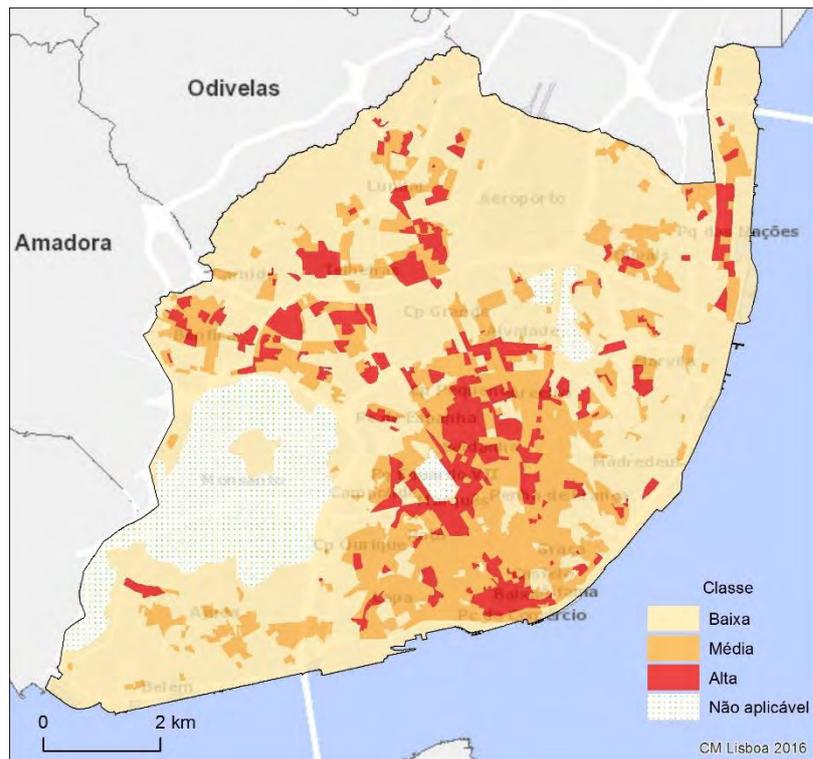


Figura 16 - Densidade Urbana (subsecções estatísticas).

4. CONCLUSÃO

A cartografia de índices associados à geometria urbana pretende servir a interpretação dos padrões espaciais da ilha de calor urbana, dada a sua reconhecida influência na temperatura do ar na atmosfera urbana inferior. Poderá contribuir, também, para a tomada de decisões ao nível do ordenamento da cidade. Por isso, a espacialização teve em conta duas unidades de análise: células com uma resolução horizontal de 100 x 100m e as subsecções estatísticas.

Os diversos parâmetros e índices que contribuem para a caracterização das condições de ventilação, compactidade e volumetria, calculados a partir de uma base georreferenciada com a altura dos edifícios, possibilitam uma aproximação tridimensional da interferência dos elementos urbanos.

A utilização destas variáveis em estudos do comportamento da temperatura na cidade permitirá ajustar os limiares utilizados na categorização adotada. Com esse intuito será fundamental a existência de uma rede urbana de observações meteorológicas.

BIBLIOGRAFIA

Alcoforado, M.J.A., 2010. Climatologia urbana para o ensino. Lisboa, C.E.G., Núcleo Clima e Mudanças Ambientais (Clima, 3)

American Meteorological Society, cited 1999: "aerodynamic roughness length". Glossary of Meteorology. [Available online at http://glossary.ametsoc.org/wiki/Aerodynamic_roughness_length]

Chen, L., E. Ng, 2011. Quantitative urban climate mapping based on a geographical database: a simulation approach using Hong Kong as a case study. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13 (2011) 586–594.

Correia, E., A. Lopes, D. Marques, 2015. An automatic GIS procedure to calculate urban densities to use in Urban Climatic Maps. In *ICUC9-9th International Conference on Urban Climate*, Toulouse, France, 20-24 July.

Davenport, A.G., C.S.B. Grimmond, T.R. Oke, J. Wieringa, 2000. Estimating the roughness of cities and scattered country. 12th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston, 96–99.

Grimmond, C.S.B., T.R. Oke, 1999. Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. *Journal of Applied Meteorology*, 38, 1262–1292.

Kanda, M.I.A., T. Miyamoto, M. Gryschka, S. Raasch, 2013. A new aerodynamic parametrization of real urban surfaces. *Boundary-Layer Meteorol*, 148, 357-377.

Kent, C.W., S. Grimmond, J. Barlow, D. Gatey, S. Kotthaus, F. Lindberg, C.H. Halios, 2017. Evaluation of urban local-scale aerodynamic parameters: implications for the vertical profile of wind speed and for source areas. *Boundary-Layer Meteorol*, 165, 183-213.

Lindberg, F., C.S.B. Grimmond, A. Martilli, 2015. Sunlit fractions on urban facets – Impact of spatial resolution and approach. *Urban Climate* 12 (2015) 65–84.

Lopes, A., (2003). Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Ilha de calor de superfície e balanço energético. Lisboa, FLUL (Tese de Doutoramento em Geografia Física).

Madeira, M.I.D., 2019. Parâmetros aerodinâmicos em ambiente SIG. Lisboa, FCUL (Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente).

Masson V., W. Heldens, E. Bocher, M. Bonhomme, B. Bucher, C. Burmeister, C. de Munck, T. Esch, J. Hidalgo, F. Kanani-Sühring, Y-T Kwok, A. Lemonsu, J.-P. Lévy, B. Maronga, D. Pavlik, G. Petit, L. See, R. Schoetter, N. Tornay, A. Votsis, J. Zeidler, 2019. City-descriptive input data for urban climate models: Model requirements, data sources and challenges. *Urban Climate*, 31.

Oke, T.R., G. Mills, A. Christen, J.A. Voogt, 2017. *Urban climates*. Cambridge University Press

ANEXO

MAPAS CLIMÁTICOS URBANOS ATUAIS METADADOS

De acordo com o **Contrato de Aquisição de Serviços nº 19042588**, designado “Elaboração de Mapas Climáticos Urbanos”, apresentam-se as fichas de metadados dos Mapas Climáticos Urbanos elaborados em formato digital, cuja fundamentação técnica e científica é descrita no relatório elaborado para o efeito.

A – Lista de mapas

- a) Mapa da rugosidade aerodinâmica
- b) Mapa da compacidade
- c) Mapa do índice volumétrico
- d) Mapa da densidade urbana para fins climáticos

B – Unidade elementar de análise

Indo ao encontro das diferentes escalas de análise do projeto “Cartografia de Vulnerabilidade Térmica – Mapeamento dos efeitos das ondas de calor em Lisboa, face às projeções climáticas”, onde esta operação se enquadra, e às eventuais necessidades no âmbito das ações de ordenamento e/ou de planeamento, os mapas foram elaborados com base em duas unidades de análise:

- c) Grelha regular com uma resolução horizontal de 100x100 metros;
- d) Subsecção estatística definida na Base Geográfica de Referenciação da Informação, de 2011, do Instituto Nacional de Estatística.

C – Metadados

Para cada índice são fornecidos dois, de acordo com cada unidade de análise. Os mapas são acompanhados de ficheiros de simbologia para visualização em ArcGIS, v. 10.7.

C.1 - Mapas da rugosidade aerodinâmica

Designação	G100_Z0.shp	
Descrição	Comprimento de rugosidade (Z_0), grelha de 100 x 100 m	
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100 m	
Índice	Comprimento de rugosidade (Z_0)	
Método analítico	Método morfométrico de Kanda et al. (2013)	
Fontes de dados	Edificado (planimetria e altimetria) – CM Lisboa (2019) Cartografia da biodiversidade, v. 4. – CM Lisboa (2019)	
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)	
Formato	Esri Shapefile	
Representação espacial	Vetorial	
Geometria	Polígono	
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha Z0: valor do comprimento de rugosidade em metros Classe (Rugosidade): classificação do Z_0 de acordo com a descrição que se segue	
Classes de rugosidade aerodinâmica	Z ₀	Classe
	< 0.1	Muito baixa
	0.1 – 0.3	Baixa
	0.3 – 0.7	Moderada
	0.7 – 1.5	Elevada
	≥ 1.5	Muito elevada

Designação	BGRI_Z0.shp	
Descrição	Comprimento de rugosidade (Z_0), BGRI	
Unidade de análise	Subsecção estatística – BGRI	
Índice	Comprimento de rugosidade (Z_0)	
Método analítico	Média ponderada do valor de Z_0 das células da grelha de 100 x 100 m contidas em cada subsecção estatística	
Fontes de dados	Comprimento de rugosidade (Z_0), grelha de 100 x 100 m Cartografia biodiversidade, v. 4. – CM Lisboa (2019) Base Geográfica de Referência da Informação 2011, INE	
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)	
Formato	Esri Shapefile	
Representação espacial	Vetorial	
Geometria	Polígono	
Atributos	BGRI11: código identificador de cada subsecção estatística Z0: valor do comprimento de rugosidade em metros Classe (Rugosidade): classificação do Z_0 de acordo com a descrição que se segue	
Classes de rugosidade aerodinâmica	Z0	Classe
	< 0.1	Muito baixa
	0.1 – 0.3	Baixa
	0.3 – 0.7	Moderada

	0.7 – 1.5	Elevada	
	≥ 1.5	Muito elevada	

C.2 – Mapas da compacidade

Designação	G100_HW.shp		
Descrição	Razão H/W, grelha de 100 x 100 m		
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100 m		
Índice	Razão H/W		
Método analítico	Razão entre a altura média dos edifícios (H) e a distância entre eles (W)		
Fontes de dados	Edificado (planimetria e altimetria) – CM Lisboa (2019) Cartografia biodiversidade, v. 4. – CM Lisboa (2019)		
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)		
Formato	Esri Shapefile		
Representação espacial	Vetorial		
Geometria	Polígono		
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha HW: valor da razão H/W Classe (Compacidade): classificação da razão H/W de acordo com a descrição que se segue		
Classes de compacidade	H/W	Compacidade	
	≤ 0.1	Muito baixa	
	0.1 – 0.3	Baixa	
	0.3 – 0.75	Moderada	
	0.75 – 1.0	Elevada	
	≥ 1.0	Muito elevada	

Designação	BGRI_HW.shp		
Descrição	Razão H/W, BGRI		
Unidade de análise	Subsecção estatística – BGRI		
Índice	Razão H/W		
Método analítico	Média ponderada do valor de H/W das células da grelha de 100x100m contidas em cada subsecção estatística		
Fontes de dados	Razão H/W, grelha de 100 x 100 m Cartografia biodiversidade, v. 4. – CM Lisboa (2019) Base Geográfica de Referência da Informação 2011, INE		
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)		
Formato	Esri Shapefile		
Representação espacial	Vetorial		
Geometria	Polígono		
Atributos	BGRI11: código identificador de cada subsecção estatística HW: valor da razão H/W Classe (Compacidade): classificação da razão H/W de acordo com a descrição que se segue		
Classes de compacidade	H/W	Compacidade	
	≤ 0.1	Muito baixa	
	0.1 – 0.3	Baixa	

	0.3 – 0.75	Moderada
	0.75 – 1.5	Elevada
	≥ 1.0	Muito elevada

C.3 – Mapas do índice volumétrico

Designação	G100_IV.shp	
Descrição	Índice volumétrico, grelha de 100 x 100 m	
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100m	
Índice	Índice volumétrico	
Método Analítico	Razão entre a volumetria do edificado e a volumetria máxima na célula	
Fontes de dados	Edificado (planimetria e altimetria) – CM Lisboa (2019) Cartografia biodiversidade, v. 4. – CM Lisboa (2019)	
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)	
Formato	Esri Shapefile	
Representação espacial	Vetorial	
Geometria	Polígono	
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha IV: valor do índice de volumetria em m ³ Classe: classificação do índice volumétrico de acordo a descrição que se segue	
Classes do índice volumétrico	IV	Classe
	≤ 0.2	Baixo
	0.2 – 0.4	Moderado
	0.4– 0.7	Elevado
	0.7– 1.0	Muito elevado

Designação	BGRI_IV.shp	
Descrição	Índice volumétrico, BGRI	
Unidade de análise	Subsecção estatística – BGRI	
Índice	Índice volumétrico	
Método Analítico	Média ponderada do valor de IV das células da grelha de 100 x 100 m contidas em cada subsecção estatística	
Fontes de dados	Índice volumétrico, grelha de 100x100m Cartografia biodiversidade, v. 4. – CM Lisboa (2019) Base Geográfica de Referência da Informação 2011, INE	
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)	
Formato	Esri Shapefile	
Representação espacial	Vetorial	
Geometria	Polígono	
Atributos	BGRI11: código identificador de cada subsecção estatística IV: valor do índice de volumetria em m ³	

	Classe: classificação do índice volumétrico de acordo a descrição que se segue	
Classes do índice volumétrico	IV	Classe
	≤ 0.2	Baixo
	0.2 – 0.4	Moderado
	0.4– 0.7	Elevado
	0.7– 1.0	Muito elevado

C.4 – Mapas da densidade urbana para fins climáticos

Designação	G100_DU.shp
Descrição	Densidade urbana, grelha de 100x100m
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100m
Índice	Densidade Urbana para fins climáticos
Método Analítico	Análise de hierárquica de clusters
Fontes de dados	Mapa do comprimento de rugosidade Mapa da Razão H/W Mapa do índice volumétrico Parâmetros morfométricos adicionais: densidade do edificado, densidade da área frontal, altura do deslocamento Cartografia biodiversidade, v. 4. – CM Lisboa (2019)
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha Classe: classificação da densidade urbana

Designação	BGRI_DU.shp
Descrição	Índice volumétrico, BGRI
Unidade de análise	Subsecção estatística – BGRI
Índice	Densidade Urbana para fins climáticos
Método Analítico	Frequência de ocorrência das classes de densidade das células da grelha de 100x100m contidas em cada subsecção estatística
Fontes de dados	Densidade urbana, grelha de 100x100m Cartografia biodiversidade, v. 4. – CM Lisboa (2019) Base Geográfica de Referenciação da Informação 2011, INE
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vectorial
Geometria	Polígono
Atributos	BGRI11: código identificador de cada subsecção estatística Classe: classificação da densidade urbana

