



Bike-index - um índice de acessibilidade urbana para a bicicleta

Eduardo Natividade-Jesus

ISEC - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

ednativi@isec.pt

Nuno Sousa

Universidade Aberta

nunosousa@dec.uc.pt

Rita Rêgo

Departamento de Engenharia Civil / FCTUC

ritaacrego@hotmail.com

João Coutinho-Rodrigues

Departamento de Engenharia Civil / FCTUC

coutinho@dec.uc.pt



BIKE-INDEX - UM ÍNDICE DE ACESSIBILIDADE URBANA PARA A BICICLETA

Eduardo Natividade-Jesus, Nuno Sousa, Rita Rêgo, João Coutinho-Rodrigues

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho um índice para avaliar a acessibilidade de uma cidade relativamente ao modo de transporte bicicleta. Este é um modo de transporte ativo e flexível, competitivo para distâncias curtas e com vantagens para o ambiente, economia e saúde, reconhecido pelos decisores políticos como fundamental para um desenvolvimento urbano mais sustentável. A metodologia proposta baseia-se em três princípios fundamentais: acessibilidade como impedância entre origens e destinos, esforço metabólico como medida dessa impedância e expressão da acessibilidade como um valor numérico – Bike-index – para cada origem. A metodologia é aplicada à cidade de Coimbra, Portugal, recorrendo a um sistema de informação geográfica. São obtidas três variantes de bike-index para Coimbra, que revelam que a acessibilidade está dependente não só centralidade das origens, mas também do relevo, que penaliza zonas de encosta e planaltos mal servidos de equipamentos urbanos.

1 INTRODUÇÃO

Para que haja um bom planeamento urbano das cidades é importante que seja dada resposta às necessidades de procura e variação dos meios de transporte da população residente (Frade e Ribeiro, 2014). O funcionamento destes centros urbanos encontra-se ligado a dois conceitos diferentes que devem ser estudados como independentes e como um todo. Os dois conceitos são a Mobilidade e a Acessibilidade (Morais, 2013). A mobilidade pode ser definida como a capacidade de deslocação humana entre dois pontos, usando vários tipos de transporte (Costa, 2007, citado em Morais, 2013). Este conceito é frequentemente ligado ao fenómeno da urbanização, sendo que muitos autores defendem que a urbanização está intrinsecamente interligada com a democratização da mobilidade. O termo acessibilidade é um conceito-chave em todo o mundo quando se fala de políticas dos transportes. Como tal, é importante que as entidades responsáveis pela organização dos transportes de cada país tenham isso em conta nas suas prioridades. Devido à sua crescente importância na sociedade atual, múltiplas áreas de investigação têm vindo a estudar a acessibilidade de várias maneiras, apresentando diversas definições para o conceito e diferentes métodos de cálculo de indicadores capazes de serem aplicados no mundo real (van Wee, 2016).

O uso do modo de transporte bicicleta, ou modo ciclável, varia de cidade para cidade, sendo que essa variação depende de vários fatores, tais como o relevo, a cultura, o clima, a economia e a política de cada país. Segundo a OCDE (2004), estes fatores, e outros a

seguir apresentados, podem ser considerados barreiras no desenvolvimento e promoção deste transporte ativo.

1. Segurança – Os ciclistas são vulneráveis ao tráfego de automóveis, devido às altas velocidades e infraestruturas que este tipo de veículos motorizados utiliza;
2. Distâncias – À medida que existe uma expansão urbana, as distâncias entre as várias partes da cidade têm tendência a aumentar. O aumento do espaço entre as diversas funções da cidade provoca uma menor adesão ao uso dos transportes ativos;
3. Saúde – Aquando do uso da bicicleta, existe uma maior propensão para a inalação de gases nocivos libertados pelos veículos motorizados e por outras fontes industriais;
4. Estatuto Social – O ciclismo pode ser visto como uma atividade praticada pelas pessoas de classes mais baixas, que não tenham a possibilidade de comprar um automóvel;
5. Clima – O clima pode favorecer ou desincentivar o uso da bicicleta. Precipitação frequente e temperaturas baixas ou muito elevadas reduzem a propensão para usar este meio de transporte;
6. Relevo – A existência de encostas é altamente condicionante do uso deste tipo de transporte.

Este último fator, o relevo de uma cidade, é uma das características essenciais no estudo da mobilidade ativa, em especial para o modo bicicleta (Parkin *et al.*, 2008; Rietveld e Daniel, 2004). Segundo AASHTO (1999), os declives superiores a 5% influenciam a capacidade de escolha de uma rota de bicicleta, visto que é reconhecidamente extenuante pedalar numa via com declives de 6% ou 7%, sendo estas inclinações aceitáveis apenas em secções de vias consideravelmente curtas.

O caso de estudo a que aqui se aplica a metodologia desenvolvida – a cidade de Coimbra, Portugal – é, como se pode ver no mapa altimétrico da Figura 1, uma cidade bastante declivosa, onde se nota a existência de várias encostas à volta das principais zonas da cidade, como é o caso da zona dos Olivais, da Baixa ou da Solum. Apesar de isoladamente apresentarem uma orografia que facilita a mobilidade ciclável, essas zonas têm entre si diferenças significativas da altitude, o que condiciona a circulação entre as várias partes da cidade.

2. METODOLOGIA

Neste estudo foi utilizado um conceito clássico de acessibilidade, mais concretamente a medida de acessibilidade como uma desutilidade (Geurs e Rietsma van Eck, 2001); i.e. quanto maior a distância, mais desfavorável é a acessibilidade. A forma genérica desta abordagem é exprimida por

$$A_i = \sum_j I_{ij} w_j \quad (1)$$

Onde:

A_i : acessibilidade da origem i .

I_{ij}, w_j : impedância entre a origem i e o destino j ; importância (peso, *weight*) do destino j .

Posto isto, e inspirada na medida (1), a acessibilidade foi calculada de forma absoluta e relativa, dando origem a quatro indicadores globais para a cidade, conforme será descrito neste capítulo. Todos os cálculos referentes à análise da acessibilidade foram efetuados

recorrendo a um sistema de informação geográfica (SIG), contendo, entre outros, a rede viária de Coimbra e a localização dos equipamentos urbanos da cidade. O presente estudo foi desenvolvido em quatro fases que estão indicadas na Figura 2 abaixo apresentada.

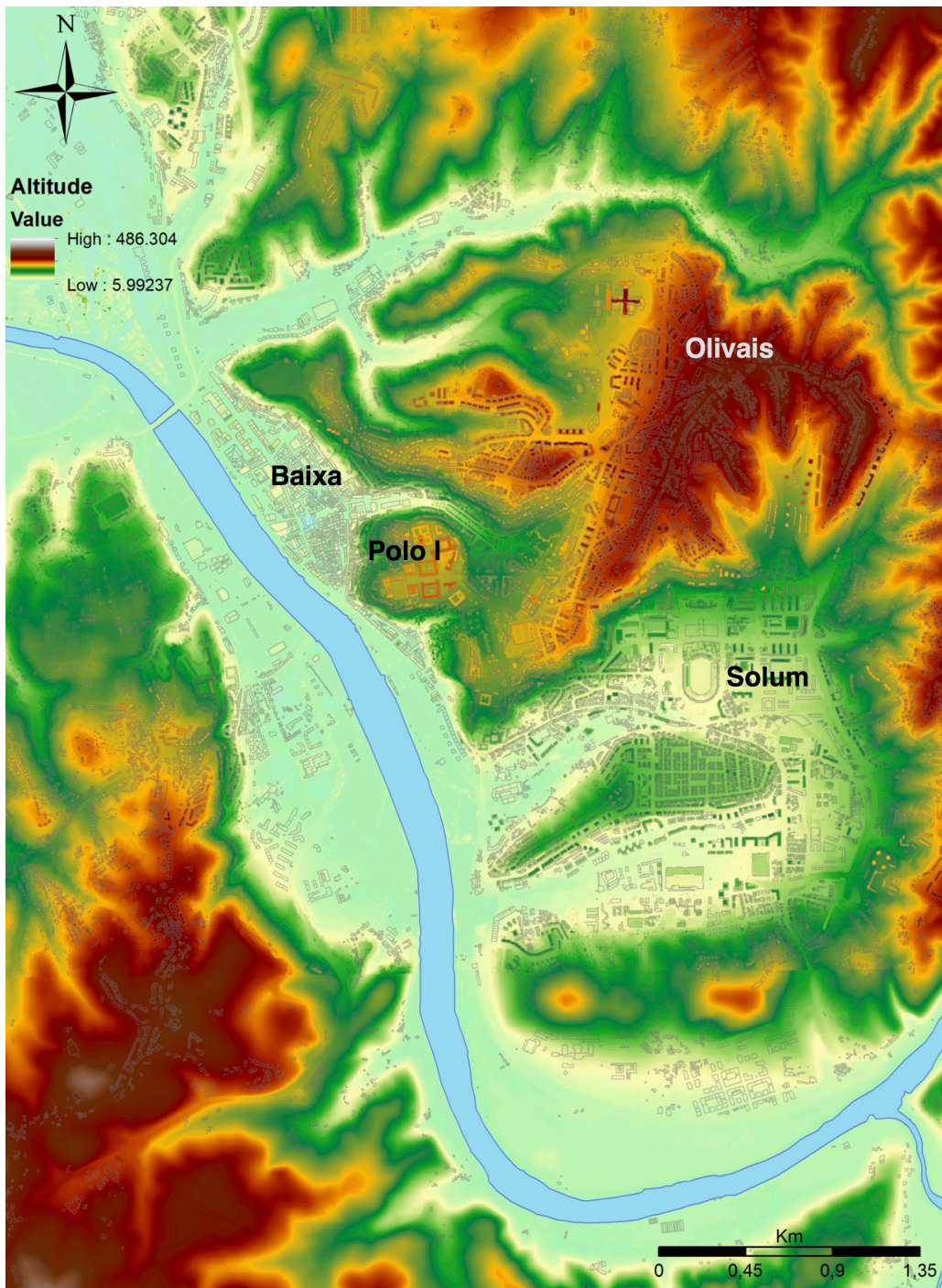


Fig. 1 Mapa altimétrico da Cidade de Coimbra

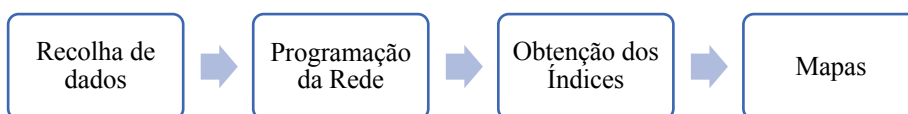


Fig. 2 Fluxograma da Metodologia

2.1 Recolha de Dados

Na primeira fase foi feita a recolha e preparação dos dados no ambiente SIG ArcGIS. Foram introduzidas *shapefiles* da rede viária de Coimbra e equipamentos urbanos (*facilities*) e o respetivo mapa satélite. Construiu-se também uma grelha poligonal de 50 m × 50 m e respetivos centróides. Do ponto de vista da fórmula (1), os centróides e equipamentos tomam o papel respetivamente de origens e destinos. Em seguida, procedeu-se ao cálculo da distância dos centróides à rede viária e foram removidos todos os elementos (polígonos e centróides) que se encontrassem a mais de 100 m da rede, de modo a evitar que zonas despovoadas fossem mais tarde representadas nos mapas de acessibilidade. Foram também definidos os pesos de 19 tipos de equipamento (w_j), tendo em consideração a importância que cada tipo tem no quotidiano de uma pessoa. Estes valores são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Peso dos diversos tipos de equipamento urbano

Equipamentos de 1ª Importância ($w_j = 3$)	Equipamentos de 2ª Importância ($w_j = 2$)	Equipamentos de 3ª Importância ($w_j = 1$)
Equipamentos Escolares 1 (Infantários e Escolas Primárias)	Equipamentos Escolares 3 (Ensino Secundário)	Associações Culturais e Desportivas
Mercearias	Centros Comerciais	Câmara Municipal
Padarias e Pastelarias	Entretenimento	Correios
Equipamentos Escolares 2 (Escolas de 2º e 3º Ciclo)	Acesso Primário de Saúde	Equipamentos Escolares 4 (Ensino Superior)
	Farmácias	Equipamentos Desportivos
	Restaurantes	Forças de Segurança
		Igreja
		Juntas de Freguesia
		Lares e Associações Sociais

2.2 Programação da Rede

Dada a declividade da cidade de Coimbra, foi considerada como impedância não a distância entre origens e destinos, mas sim o esforço, ou energia metabólica, para percorrer essa distância, pois esse esforço é, no fundo, a verdadeira barreira à realização da viagem em bicicleta. O uso do esforço humano como impedância já foi proposto em Sousa *et al.* (2017).

Para obter impedâncias é, portanto, necessário programar a rede viária com informação relativa ao esforço que o ciclista tem de exercer para percorrer os arcos dessa rede. Foram consideradas cinco grandezas fundamentais no SIG da rede viária de Coimbra, nomeadamente os comprimentos a subir, a descer e no plano de cada arco da rede, respetivamente L_{up} , L_{down} , L_0 , e os declives médios (ponderados ao comprimento) dos segmentos ascendentes e descendentes de cada arco (s_{up} , s_{down}). Todas estas grandezas são relativas ao sentido *From-To* dos arcos, tal como inscrito na rede viária, e arredondadas ao inteiro mais próximo, por razões que se tornarão claras mais adiante. As supracitadas grandezas foram em seguida usadas para o cálculo da energia metabólica necessária para cruzar cada arco da rede, em ambos os sentidos, atendendo as seguintes premissas:

A. O ciclista realizará o seu percurso montado na bicicleta, desde que o declive a vencer não seja excessivo, tanto a subir como a descer. Assim, para valores (inteiros) de declives

inferiores a -13% ou superiores a 8%, considera-se que o ciclista desmontará da bicicleta e fará o percurso a pé, no primeiro caso por razões de segurança e no segundo caso por os 8% serem o ponto a partir do qual a energia metabólica consumida por unidade de tempo a pedalar passa a ser superior à energia consumida a andar. Nas ocasiões de desmonte, para o cálculo da energia a andar foi usada a fórmula de Minetti *et al.*, (2002) (baseada numa regressão polinomial de quinta ordem) para um peso de 95 kg, correspondente a ciclista + bicicleta.

B. Para declives em que o ciclista segue a sua viagem montado na bicicleta (-12% a +7%), a energia metabólica foi calculada a partir dos valores da potência mecânica média passada às rodas da bicicleta, como função do declive, para um conjunto ciclista + bicicleta de 95 kg (Parkin e Rotherham, 2010). Para declives entre -12% e -3% a energia metabólica é zero, uma vez que o ciclista rola apenas por efeito da gravidade. Para declives entre -2% e +7% a energia metabólica foi obtida de $E = PL/\eta v$, com P a potência mecânica, L o comprimento do segmento de arco, v a velocidade média e η o rendimento metabólico, que para o pedalar se situa entre os 20 e 25%. É sabido que este rendimento diminui à medida que o esforço aumenta, razão pela qual se considerou um rendimento de 25% entre -2% e 2% de declive e uma diminuição de 1% no rendimento por cada 1% de declive positivo adicional. Todos estes valores são resumidos na Tabela 2.

Tabela 2 Potência mecânica e rendimento metabólico como funções do declive

Declive (%)	Velocidade média, v (m/s)	Potência mecânica nas rodas à velocidade média, P (W)	Rendimento metabólico, η (%)
-3	6,72	0	25
-2	6,49	54	25
-1	6,25	104	25
0	6,01	151	25
1	5,61	183	25
2	5,21	211	25
3	4,81	232	24
4	4,41	248	23
5	4,01	259	22
6	3,61	263	21
7	3,21	261	20

C. Para declives de 6 e 7% é sabido que o ciclista apenas está disposto a percorrer, em média, um comprimento máximo de 120 m e 240 m, respetivamente (AASHTO, 1999). Assim, para arcos que apresentem declives s_{up} nestes valores e que tenham L_{up} superiores aos limites AASHTO, considera-se que o ciclista percorre esses comprimentos montado e que desmonta da bicicleta para o comprimento a subir remanescente do arco.

Aplicando as considerações nas alíneas A, B e C, foi em seguida usada a ferramenta *field calculator* do ArcGIS para obter duas energias metabólicas, E_{bike_FT} e E_{bike_TF} , tendo em conta a divisão dos arcos em segmentos ascendente, descendente e plano e usando a informação em L_{up} , L_{down} , L_0 , s_{up} , s_{down} . As energias metabólicas foram guardadas na tabela associada da rede viária e correspondem à energia necessária para o ciclista percorrer cada arco da rede, em ambos os seus sentidos, respetivamente *From-To* e *To-from*.

O último passo na programação da rede consistiu na criação de um *Bike Network Dataset* no ArcGIS (um *Network Dataset* é usado pelos SIG para cálculos de roteamento). Este

Bike Network Dataset foi embebido com a informação dos campos *Ebike_FT* e *Ebike_TF* e comprimentos dos arcos da rede.

2.3 Obtenção dos Índices

A programação da rede definiu a impedância *Ebike* para o modo ciclável, arco-a-arco. Esta informação foi então utilizada para definir e calcular os indicadores de acessibilidade em tecnologia SIG. Foram definidos quatro indicadores, o primeiro dos quais avalia a acessibilidade absoluta de cada polígono da grelha em que a cidade foi dividida. Os outros três avaliam, de diferentes formas, a acessibilidade relativa, no sentido da fração de equipamentos ao alcance de cada polígono. Aqui “alcance” é o valor fixo de 200 kJ, correspondente à energia metabólica despendida numa viagem pedonal de ida e volta a um equipamento localizado a 500 m do centróide desse polígono (esforço total: 1000 m = 500 m ida + 500 m volta), embora num dos índices esta distância de 500 m varie consoante a importância do equipamento. Vejamos agora a definição destes quatro indicadores.

Bike Index 0

Este indicador dá-nos o esforço metabólico médio necessário para aceder ao conjunto de todos os tipos de equipamento, pesado pela importância de cada tipo. O acesso dá-se desde o centróide i em consideração, até ao equipamento do tipo j mais próximo. A energia metabólica será, em joules, a energia despendida a ir e voltar em bicicleta do centróide ao equipamento, através do caminho mais curto, calculado pela ferramenta *Closest Facility* do módulo *Network Analyst* do ArcGIS. Note-se que não se minimizou a energia porque isto levaria a trajetos potencialmente mais longos, logo mais morosos, que não serão na prática a escolha do ciclista, cujo objetivo é minimizar o tempo de viagem e não o esforço a ela associado. Este procedimento, minimizar distância e acumular energia (impedância), foi seguido em todos os indicadores *Bike Index*.

Bike Index 1 e 2

O *Bike Index 1* é um indicador relativo, de certa forma mais humano, dado que nos dá a fração de equipamentos ao alcance de uma viagem de bicicleta, pesados pela sua importância. O valor deste indicador oscilará entre 0 e 1, com 0 a significar nenhum equipamento ao alcance da bicicleta e 1 que todos os tipos de equipamento estão ao alcance da bicicleta. Um valor de, p.ex. $B_i^1 = 0,75$, significará que 75% dos equipamentos, tendo em conta o peso da sua importância, estarão ao alcance do polígono cujo centróide é i . Também se pode definir um *Bike Index 2*, cujo mapa não será apresentado neste trabalho por razões de espaço, que permite avaliar liberdade de escolha para cada tipo de equipamento ao alcance da bicicleta. Assim, se um centróide i tiver três equipamentos do mesmo tipo ao alcance, terá 100% de contribuição deste equipamento para o índice. Se tiver apenas dois, terá 90%. Se apenas um tiver ao alcance, 70%. Tal como o *Bike Index 1*, este indicador oscilará entre 0 e 1, sendo que 1 indica que para todos os tipos de equipamento o centróide tem três deles ao alcance.

Bike Index 3

Por último, calculou-se um indicador que reflete a frequência das deslocações. Considerou-se que os equipamentos mais importantes são visitados mais frequentemente, pelo que a disponibilidade do ciclista para realizar trajetos longos é menor. Assim, os equipamentos de peso 3, mais importantes, portanto frequentados mais regularmente, só estarão em alcance se o esforço de ida e volta em bicicleta for inferior ao esforço pedonal de ida e volta no plano correspondente a 333 m (equipamento a 166,5 m; 333 m no total ida-e-

volta). Idem para os equipamentos de peso 2, desta feita para 500 m (equipamento a 250 m), e para os equipamentos de peso 1, mais raramente frequentados, até 1000 m (equipamento a 500 m, como nos *Bike Index 1 e 2*). Este índice situa-se também entre 0 e 1, e considera, tal como o *Bike Index 2*, os três equipamentos mais próximos, com contribuições 70/20/10%.

2.4 Mapas de resultados

Calculados os índices de acessibilidade, a sua representação no mapa é feita em SIG, pintados em escalas de cor. É através destes mapas que se consegue efetuar uma análise global da acessibilidade na cidade, e de onde se poderão tirar conclusões sobre ações de melhoramento, seja da rede viária, seja da localização de equipamentos.

3 CASO DE ESTUDO – A CIDADE DE COIMBRA

Coimbra é uma cidade declivosa, localizada na região centro de Portugal que se expandiu a partir do centro histórico. É conhecida internacionalmente por alojar uma das Universidades mais antiga da Europa e, por isso, tem registado aproximadamente 106 000 habitantes na zona urbana (censos 2011), sendo que 30 000 são estudantes.

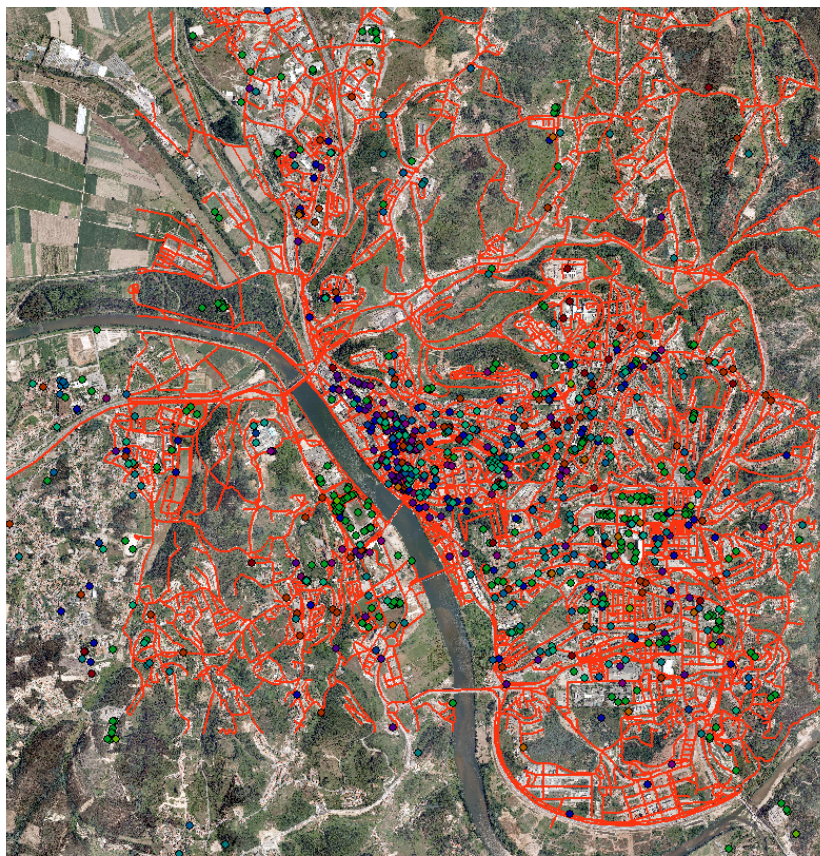


Fig. 3 Rede viária de Coimbra e equipamentos urbanos existentes

Na Figura 3 apresenta-se o mapa da cidade de Coimbra com dois dos conjuntos de dados necessários para o estudo da acessibilidade, nomeadamente a rede viária, a vermelho, e a localização dos 19 tipos de equipamentos. Como se pode ver, existe uma maior concentração destes na zona da Baixa, Olivais e Solum. Se por um lado a Solum e a Baixa

são zonas relativamente planas, por outro os Olivais, apesar de bem servida de equipamentos, encontra-se numa zona declivosa, pelo que a acessibilidade desta zona é, à partida, uma incógnita.

Os mapas abaixo apresentam a acessibilidade de Coimbra, no modo ciclável, calculada como indicado na metodologia.

3.1 Bike Index 0

No mapa apresentado na Figura 4 estão representados, em formato de mapa, os resultados obtidos para o indicador *Bike Index 0*. A unidade da legenda é o joule.

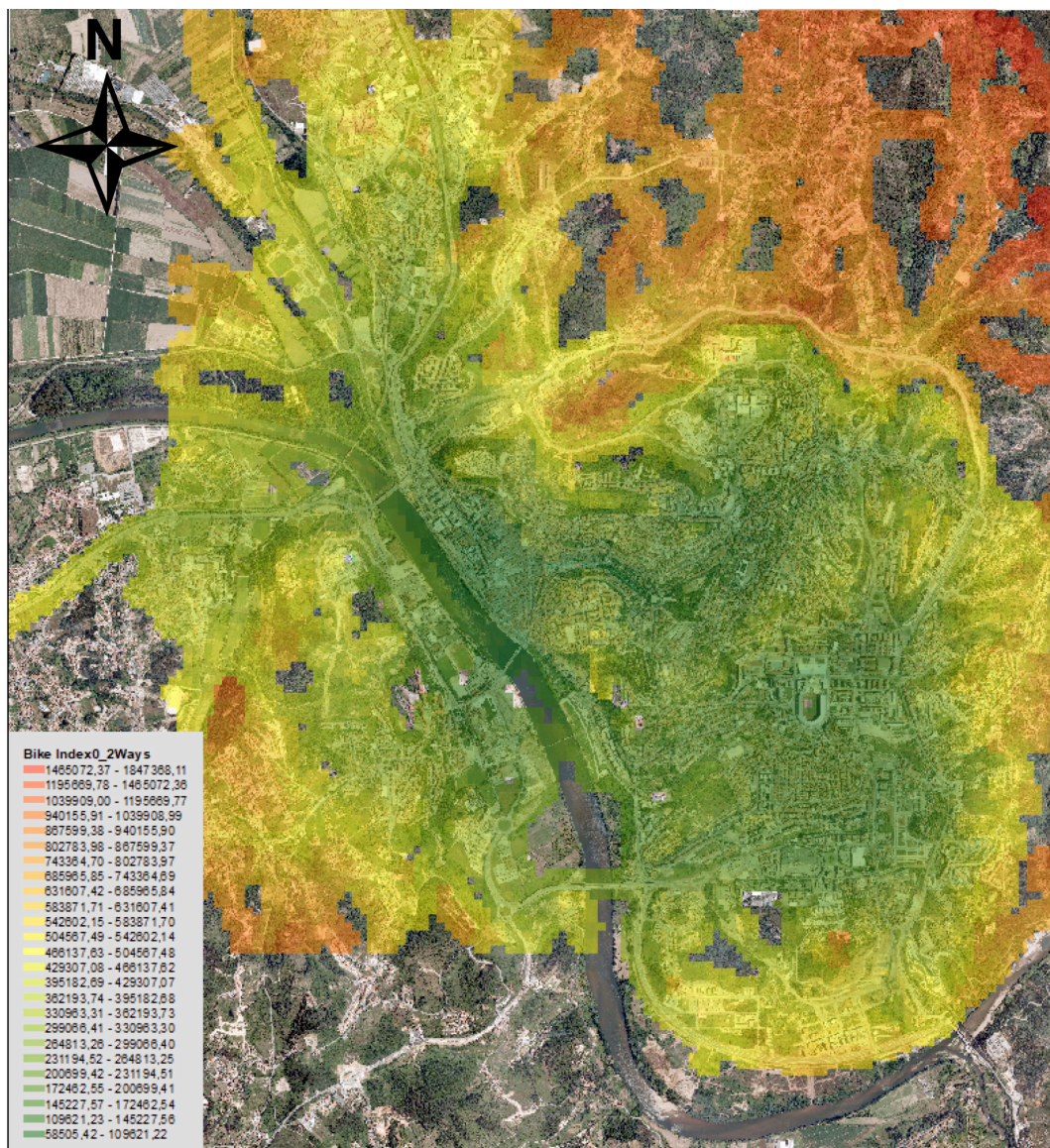


Fig. 4 Mapa para o Bike Index 0 (acessibilidade absoluta)

Através da análise deste primeiro mapa podemos verificar que as zonas menos acessíveis são as zonas remotas da periferia da cidade, que apresentam valores de esforço médio entre 5 a 10 vezes maiores do que o esforço máximo admissível (recorde-se, 200 kJ). Os habitantes destas zonas, como não têm disponíveis equipamentos suficientes nas suas

redondezas, têm de se deslocar ao centro da cidade, o que é praticamente impossível em modo ciclável. Dentro dos locais mais bem servidos, existem zonas de planalto e de encostas, algumas com piores índices comparativamente às outras mais planas, como seria de esperar. Estas zonas de planalto e de encosta com pior índice apresentam valores de esforço médio aproximadamente duas vezes superior ao valor máximo admissível.

3.2 Bike Index 1

Na Figura 5 encontram-se representados os valores obtidos do *Bike Index 1*.

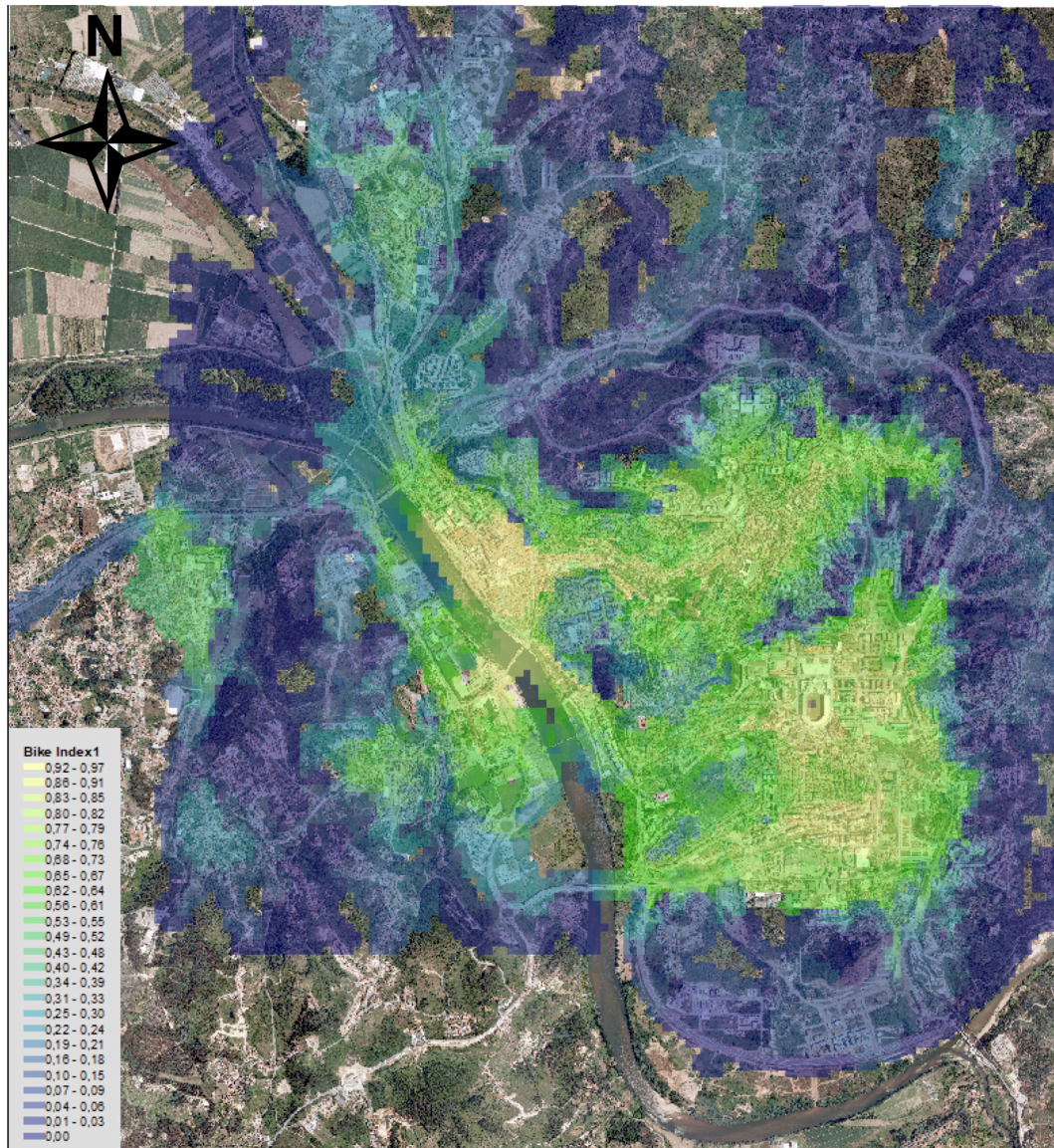


Fig. 5 Mapa para o Bike Index 1 (acessibilidade relativa)

Através da análise deste mapa podemos ver que as zonas com melhor acessibilidade são as zonas da Solum, da Baixa e dos Olivais (representadas a amarelo claro). Este facto vem comprovar, mais uma vez, que a centralidade é crucial para o acesso às várias oportunidades. No entanto, para além disto, este mapa evidencia claramente duas conclusões que já se notavam no mapa do *Bike Index 0*: as encostas saem prejudicadas (note-se os maus valores do índice nas encostas dos Olivais) e os planaltos, quando mal

servidos de equipamentos, saem também prejudicados, mesmo estando em localizações centrais. Um exemplo deste fenómeno é a zona do Pólo I da Universidade. Já os planaltos bem servidos são menos afetados, com o comprova p.ex. o planalto dos Olivais, uma zona bem servida, que mantém bons índices de acessibilidade, apesar de ter altitudes médias bastante elevadas.

3.3 Bike Index 3

Na Figura 6 encontram-se representados os valores obtidos do *Bike Index 3*.

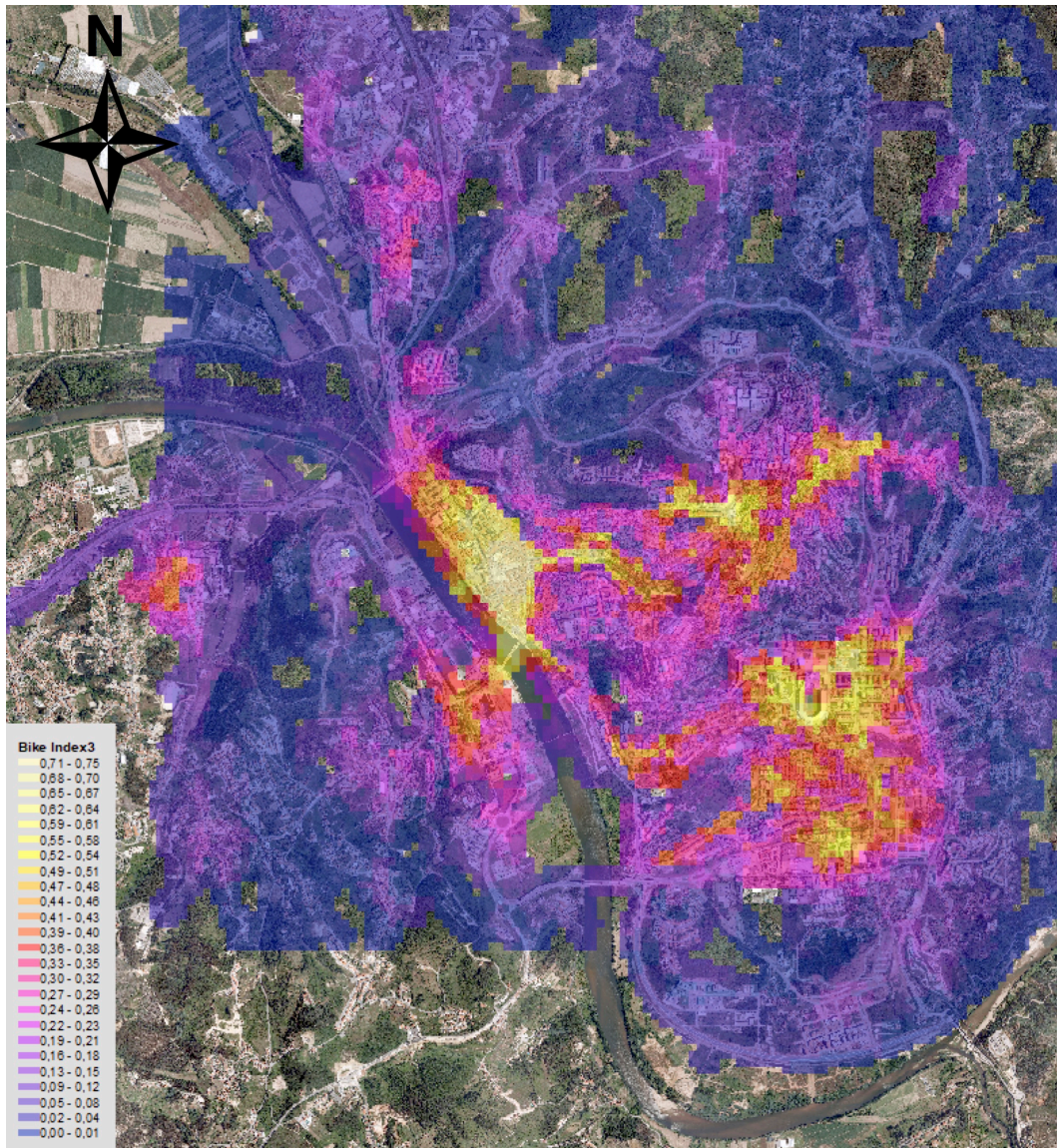


Fig. 6 Mapa para o Bike Index 3 (acessibilidade relativa frequentista)

O *Bike Index 3*, sendo um indicador frequentista e de liberdade de escolha, considera distâncias de corte mais curtas para equipamentos mais importantes e estende a metodologia a três equipamentos de cada tipo, o que veio realçar a centralidade da Baixa. A Baixa mantém uma boa acessibilidade devido a ser uma zona com grande densidade e diversidade de todo o tipo de equipamentos. Já as outras duas zonas centrais da cidade, os Olivais e a Solum, que nos mapas dos índices 0 e 1 apresentavam bons valores de

acessibilidade (Figuras 4 e 5), ficam neste mapa a perder, fruto essencialmente de uma menor disponibilidade de oferta.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma metodologia inovadora para o estudo da acessibilidade de modos ativos, que pode ser bastante útil para as entidades responsáveis pelo planeamento urbano dos transportes. O objetivo do estudo, visou essencialmente analisar a acessibilidade ciclável em toda a cidade, tendo em conta o facto de esta ser declivosa e usando o esforço humano como impedância.

Através da análise dos mapas obtidos, podemos realçar dois aspetos importantes sobre a acessibilidade ciclável em Coimbra que serão, com toda a probabilidade, generalizáveis para qualquer cidade declivosa. Em primeiro lugar, comprovou-se que a centralidade é um fator decisivo para se obter bons valores de acessibilidade e que um relevo acidentado não altera isso. O segundo aspeto é o facto de que o relevo é, ainda assim, um fator importante na acessibilidade ciclável.

Concluiu-se, nomeadamente, que as zonas mais desfavoráveis ao uso da bicicleta são, em primeiro lugar, as zonas remotas, por estarem desprovidas de equipamentos ao seu alcance, seguidas das zonas mais centrais localizadas em planaltos mal servidos de oportunidades de interação e em encostas distribuídas pela área urbana, por ser inevitável para estas zonas a transposição de arcos declivosos no acesso aos equipamentos. Essa transposição acarreta um aumento do esforço do ciclista, que de acordo com as premissas deste estudo o poderá levar a desistir desse modo de transporte para aceder a alguns equipamentos, penalizando os *Bike Index*.

Agradecimentos

Trabalho parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, sob a ref.^a PEst-OE/EEI/UI308/2014.

5 REFERÊNCIAS

AASHTO (1999) Guide for the Development of Bicycle Facilities, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, USA. Disponível em https://safety.fhwa.dot.gov/ped_bike/docs/b_aashtobik.pdf (recuperado 31/abr/2018)

Costa, N. (2007) Mobilidade e Transporte Nas Áreas Urbanas. O Caso da Área Metropolitana de Lisboa, dissertação de Doutoramento em Geografia Humana, Universidade de Lisboa, Lisboa. Disponível em <http://hdl.handle.net/10451/556>

Frade, I. e Ribeiro, A. (2014) Bicycle Sharing Systems Demand, Procedia – Social and Behavioral Sciences, 111, 518-527. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.085>

Geurs, K.T. e Ritsema van Eck, J.R. (2001) Accessibility Measures: Review And Applications, RIVM Report 408505 006, National Institute of Public Health and Environment, Bilthoven. Disponível em <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/408505006.pdf> (recuperado 31/abr/2018)

Minetti, A.E., Moia, C., Roi, G.S., Susta, D. e Ferretti, G. (2002) Energy Cost of Walking and Running at Extreme Uphill and Downhill Slopes, *Journal of Applied Physiology*, 93(3), 1039-1046. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01177.2001>

Morais, P.M.B. (2013) Os SIG no Processo de Criação de Instrumentos de Apoio à Decisão, dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento, Universidade de Lisboa. Disponível em <http://hdl.handle.net/10451/17807>

OCDE (2004) National Policies to Promote Cycling, Organization for Economic Co-operation and Development, European Conference of the Ministers of Transport, Paris. Disponível em <http://www.fietsberaad.nl/library/repository/bestanden/document000088.pdf> (recuperado 31/abr/2018)

Parkin, J., Wardman, M. e Page, M. (2008) Estimation of the Determinants of Bicycle Mode Share for the Journey to Work Using Census Data, *Transportation* 31(1), 93-109. <https://doi.org/10.1007/s11116-007-9137-5>

Parkin, J. e Rotheram, J. (2010) Design Speeds and Acceleration Characteristics of Bicycle Traffic for use in Planning, Design and Appraisal, *Transport Policy*, 17(5), 335-341. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.03.001>

Rietveld, P. e Daniel, V. (2004) Determinants of Bicycle Use: do Municipal Policies Matter? *Transportation Research Part A*, 38(7), 531-550. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2004.05.003>

Sousa, N., Moreira, F.A. e Coutinho-Rodrigues, J. (2017) An Energy-Based Pedestrian Accessibility Indicator, *Proceedings Energy for Sustainability International Conference – Designing Cities & Communities for the Future 2017*, Funchal, Ilha da Madeira, Portugal, 8-10 fevereiro 2017. <http://hdl.handle.net/10400.2/6200>

van Wee, B. (2016) Accessible Accessibility Research Challenges, *Journal of Transport Geography*, 51, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.10.018>