

## 6 · MODELAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE O AMBIENTE CONSTRUÍDO, A ACESSIBILIDADE E A MOBILIDADE EM CIDADES DE MÉDIA DIMENSÃO

David Vale, Mauro Pereira, Miguel Saraiva, Rui Alves

A partir do estudo do ambiente construído e das atitudes de mobilidade manifestadas pelos inquiridos nas cidades em estudo, desenvolveram-se diversas análises estatísticas para melhor compreender as inter-relações entre o ambiente construído e os padrões de mobilidade observados. Os resultados encontrados foram apresentados em eventos científicos e publicados em revistas da especialidade, remetendo-se para este capítulo, um resumo dos mesmos e dos aspetos considerados mais relevantes. Recomenda-se aos mais interessados na temática uma leitura mas atenta desses artigos, indicados ao longo deste capítulo.

Tendo em conta os padrões de mobilidade da população das cidades médias em estudo - especialmente a importância dos modos ativos, as deslocações pedonais, a facilidade de deslocação em automóvel em todas elas e o peso reduzido das deslocações em transportes públicos - a medição das condições de acessibilidade multimodal tornou-se particularmente complexa. De facto, nestas cidades, os tempos de deslocação em automóvel são muito reduzidos, o que torna este indicador pouco útil para distinguir as várias áreas da cidade, em termos da sua acessibilidade. Desta forma, foi desenvolvida investigação sobre a medição da acessibilidade pedonal, que deve ter em conta a percepção que os indivíduos têm das distâncias percorridas a pé.

A modelação estatística das relações entre o ambiente construído e a mobilidade centrou-se no uso da acessibilidade como variável-chave destas inter-relações. De acordo com o *Modelo Comportamental do Ambiente*, o ambiente construído e as condições de acessibilidade pedonal que ele apresenta foram analisados, considerando tanto as origens (residência), como os destinos (emprego ou escola), com o intuito de avaliar a significância e importância relativa de ambos os locais na explicação dos padrões de mobilidade observados.

### 6.1 · MEDIÇÃO DA ACESSIBILIDADE ATIVA

Como foi referido no estado da arte, os padrões de mobilidade são determinados por fatores que incluem questões demográficas, sócio-económicas e atitudes, mas também pelo ambiente construído do território das origens e dos destinos. A razão da influência do ambiente construído nos padrões de mobilidade, designadamente, na escolha modal, prende-se com a acessibilidade multimodal que ele oferece aos indivíduos quando localizados num determinado local e a uma determinada hora.

Em geral, os territórios que apresentam características de baixa densidade, baixa diversidade funcional

ou desenho urbano com baixa conectividade (os três Ds) oferecem condições deficitárias de acessibilidade em todos os modos. Ao aumentar-se as distâncias entre origens e os destinos, a acessibilidade pedonal e ciclável reduz-se significativamente, pois não é possível aceder, em tempo e distância aceitáveis, aos destinos desejados a pé ou em bicicleta. De igual forma, os territórios que apresentam baixas densidade ou diversidade funcional não suportam a existência de serviços de transporte público de qualidade, reduzindo também a acessibilidade em transporte público. Finalmente, mesmo em automóvel (embora este tipo de locais ofereçam boas condições de estacionamento) o acréscimo das distâncias também irá, de alguma forma, reduzir a acessibilidade em automóvel. Contudo, numa perspectiva multimodal, as condições de acessibilidade em automóvel, num contexto de aumento da distância a percorrer entre origens e destinos, são, na maior parte dos casos, francamente superiores às condições de acessibilidade em outros modos, contribuindo para o acréscimo da dependência do automóvel.

Contrariamente, os territórios com densidades mais elevadas, maior diversidade funcional e melhor desenho urbano, ou seja, maior conectividade, oferecem melhores condições de acessibilidade em todos os modos e menores disparidades de acessibilidades entre modos distintos. Desta forma, a compreensão e medição da acessibilidade em vários modos é fundamental para a compreensão dos padrões de deslocação dos indivíduos.

A medição da acessibilidade em modos motorizados está amplamente estudada, mas o mesmo não acontece com a acessibilidade em modos ativos – aqui designada por acessibilidade ativa – que se revela bem mais complexa e pode ser influenciada de diferentes formas por diversos aspetos do ambiente construído. De facto, ao contrário da acessibilidade em automóvel, que é determinada essencialmente pelo tempo de deslocação, a acessibilidade ativa é também condicionada por outros aspetos do ambiente construído, como as suas características estéticas, a perceção de segurança rodoviária e pessoal, a topografia dos espaços, o estado de conservação e de limpeza dos passeios e passadeiras, etc. (figura 6.1).

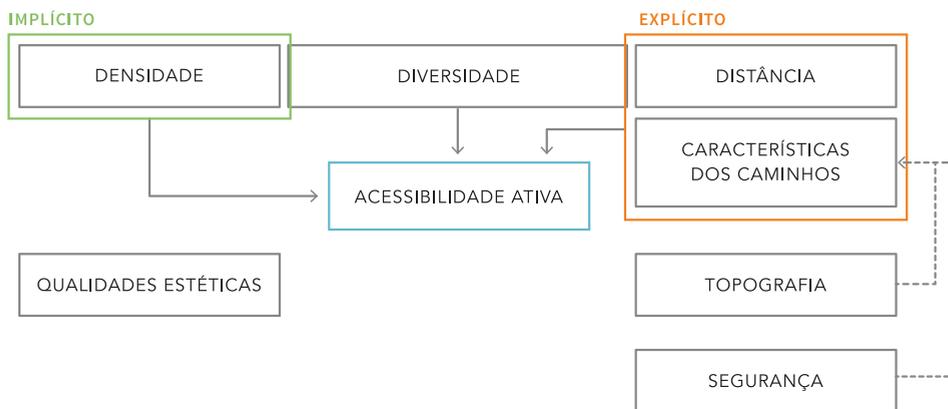


FIG. 6.1 -

Relação entre fatores do ambiente construído e de acessibilidade em modos ativos.

Como referido no no capítulo dois, existem quatro tipos de metodologias para medir a acessibilidade do ambiente construído. Algumas baseadas na distância, outras que utilizam medidas de acessibilidade gravitacional ou potencial, outras que usam medidas topológicas que se focam exclusivamente nas características da rede pedonal, e outras que utilizam algoritmos próprios como o índice de caminhabilidade (*walkability index*) ou o *Walkscore*®, designadas de medidas compostas.

Qualquer destas tipologias tem problemas distintos na medição da acessibilidade e vantagens e desvantagens na sua utilização, por acrescentarem informação adicional umas às outras, na avaliação da acessibilidade do ambiente construído. Existe, ainda, uma quinta tipologia de metodologias, que combinam técnicas de medição das anteriores, designadas de metodologias híbridas (Vale, Saraiva e Pereira, 2016).

No quadro do trabalho desenvolvido foram utilizadas “medidas de oportunidades acumuladas”, que correspondem a um caso particular de medidas da acessibilidade baseadas em modelos gravitacionais ou de acessibilidade potencial, nos quais a função de impedância é uma função retangular.

Estas medidas de acessibilidade gravitacional ou potencial são amplamente utilizadas no planeamento de transportes (Hansen, 1959; Miller, 2005) e assentam nos princípios da lei da gravidade, pesando as oportunidades de acordo com uma função de impedância, através da seguinte expressão:

$$A_i = \sum O_j f(C_{ij})$$

Na expressão,  $A_i$  corresponde à acessibilidade do lugar  $i$ ;  $O_j$  refere-se à oportunidades relevantes encontradas nos locais  $j$ ;  $C_{ij}$ , o custo de deslocação entre  $i$  e  $j$ ; e  $f(C_{ij})$ , uma função de impedância que reflete a separação espacial entre  $i$  e  $j$ .

Quando aplicada a modos ativos, o custo,  $(C_{ij})$ , ou a viagem, é medido somente para as deslocações a pé ou de bicicleta. Essas medidas assumem que a viagem é uma procura derivada e que existe uma relação inversa entre o benefício dado pela oportunidade e o custo de deslocação a essa oportunidade, a partir de uma determinada origem. Por outras palavras, as oportunidades mais próximas são mais valorizadas do que as oportunidades mais distantes, sendo que as oportunidades também podem ser distinguidas em função do seu tamanho ou da sua importância. As medidas de oportunidades acumuladas são um caso particular desse tipo, em que  $f(C_{ij})$  é uma função retangular, assumindo o valor 1 se a distância for inferior a um determinado valor pré-definido e o valor 0 caso seja superior.

Desta forma, nesta tipologia de metodologias, existem duas subcategorias resultantes de diferentes funções de impedância utilizadas: com ou sem atenuação das oportunidades em função da distância. No caso das medidas que atenuam as oportunidades em função da distância, identificam-se ainda dois sub-tipos com base em semelhanças metodológicas: (1) métodos que não distinguem oportunidades, em que o resultado é o número de oportunidades ponderadas pela sua distância à origem; (2) métodos que consideram oportunidades de diferentes pesos (atratividade), podendo utilizar diferentes unidades na função de impedância. A maioria dos autores mede a impedância em termos de tempo de viagem. Desta forma, a acessibilidade representa a atratividade das oportunidades ponderadas pelo tempo necessário para se viajar da origem ao destino. Este grupo de metodologias está longe de ser homogêneo, em termos do limite de tempo de viagem considerado, medido entre 5 e 30 minutos. Além disso, as medidas da atratividade do destino variam consideravelmente,

alternando entre uma escala de valores dada a tipos específicos de uso do solo e a sua área (em metros quadrados) ou o número de empregos.

Como referido anteriormente, podem, ainda, ser consideradas outras unidades, como a distância de viagem ou “distância axial topológica”, como funções de impedância. A “distância axial topológica” é um dos indicadores da sintaxe espacial (*space syntax*) e representa o “custo informativo” necessário para se deslocar através da rede viária (Hillier & Hanson, 1984).

A segunda subcategoria é composta por metodologias que usam uma função retangular, ou seja, medidas de oportunidades acumuladas em que todas as oportunidades na área de influência recebem o mesmo peso. A acessibilidade é medida pela contagem das oportunidades que se encontram a determinada distância de uma origem como o número de supermercados que se encontram a 800 m (ou a 10 minutos) de um determinado local.

## 6.2 · INFLUÊNCIA DA FUNÇÃO DE IMPEDÂNCIA NA MEDIÇÃO DE ACESSIBILIDADE PEDONAL

No modelo gravitacional de medição das acessibilidades, a escolha do limite a considerar ou dos pesos a atribuir a cada destino em função da sua distância pode influenciar o valor de acessibilidade a calcular. Para ultrapassar este problema ou mitigar os seus efeitos no cálculo da acessibilidade, foram analisados os impactos que os diversos modelos matemáticos que representam a função de impedância tinham nos resultados dos indicadores de medição da acessibilidade (figura 6.3). Em concreto, para refletir sobre a impedância da distância na medição de acessibilidade pedonal, foram analisadas vinte funções matemáticas resultantes da aplicação de quatro funções de impedância, nas quais se fez variar quatro parâmetros associados. Como exemplo analítico, foram escolhidas escolas como destinos, na cidade de Santarém, pelo que as medidas analisadas representam a acessibilidade pedonal a equipamentos escolares (as oportunidades) - Quadro 6.1.

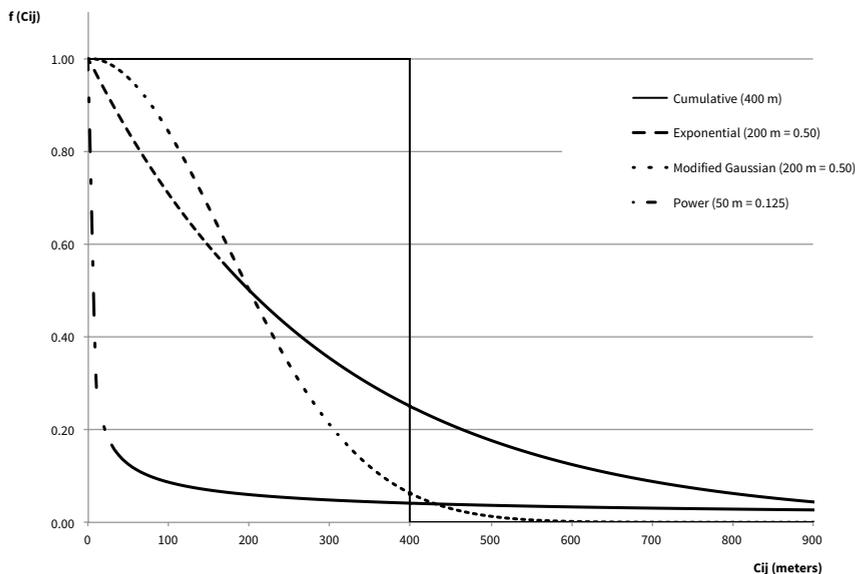


FIG. 6.2 · Principais funções de impedância usadas na medição de acessibilidade.

TYPE OF MEASURES AND IMPEDANCE FUNCTION	NAME OF MEASURE	PARAMETER(S)	CRITERIA
Power $A_i = \sum O_j C_{ij}^{-\alpha}$	Pow1	a = 0.354	50 m = 0.250
	Pow2	a = 0.532	50 m = 0.125
	Pow3	a = 0.709	50 m = 0.062
	Pow4	a = 0.886	50 m = 0.031
Exponential $A_i = \sum O_j e^{(-\beta C_{ij})}$	Exp1	b = 0.003	200 m = 0.500
	Exp2	b = 0.005	200 m = 0.375
	Exp3	b = 0.007	200 m = 0.250
	Exp4	b = 0.010	200 m = 0.125
Gaussian $A_i = \sum O_j e^{-\frac{(C_{ij})^2}{v}}$	Gauss1	v = 14427	100 m = 0.500
	Gauss2	v = 57708	200 m = 0.500
	Gauss3	v = 129843	300 m = 0.500
	Gauss4	v = 230831	400 m = 0.500
Cumulative $A_i = \sum O_j \delta_{ij}$ $\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{for } C_{ij} \leq a \\ 0 & \text{for } C_{ij} > a \end{cases}$	Cum1	a = 400	400 m
	Cum2	a = 600	600 m
	Cum3	a = 800	800 m
	Cum4	a = 1000	1000 m
Cumulative-Gaussian $\begin{cases} A_i = \sum O_j \delta_{ij}, & \text{for } C_{ij} \leq a \\ A_i = \sum O_j e^{-\frac{(C_{ij}-a)^2}{v}}, & \text{for } C_{ij} > a \end{cases}$	CuGa1	a = 200 m ; v = 57708	acceptable: 200 m; decay: 400 m = 0.500
	CuGa2	a = 200 m ; v = 129843	acceptable: 200 m; decay: 500 m = 0.500
	CuGa3	a = 400 m ; v = 57708	acceptable: 400 m; decay: 600 m = 0.500
	CuGa4	a = 400 m ; v = 129843	acceptable: 400 m; decay: 700 m = 0.500

Quadro 6.1.

Medidas de acessibilidade pedonal analisadas.

A análise estatística efetuada aos valores de acessibilidade calculados com base nestas vinte fórmulas demonstrou que existe forte correlação entre todos os valores de acessibilidade calculados, uma vez que todas as medidas são exemplos concretos de possíveis métodos de cálculo da acessibilidade e estão, de certa forma, a representar exatamente a mesma coisa. Contudo, através de uma análise fatorial dos resultados, foi possível identificar dois grandes grupos de medidas, os quais se distinguem fundamentalmente com base na distância (máxima) na qual a função atinge o valor zero.

A representação espacial dos valores de acessibilidade calculados revelou que todas as medidas produzem mapas de indicadores de acessibilidade semelhantes sendo comuns entre eles a identificação de zonas altamente acessíveis e o inverso. As maiores diferenças encontram-se nas zonas de valores médios dos indicadores de acessibilidade, as quais serão mais sensíveis à escolha da função de impedância (figuras 6.4 e 6.5).

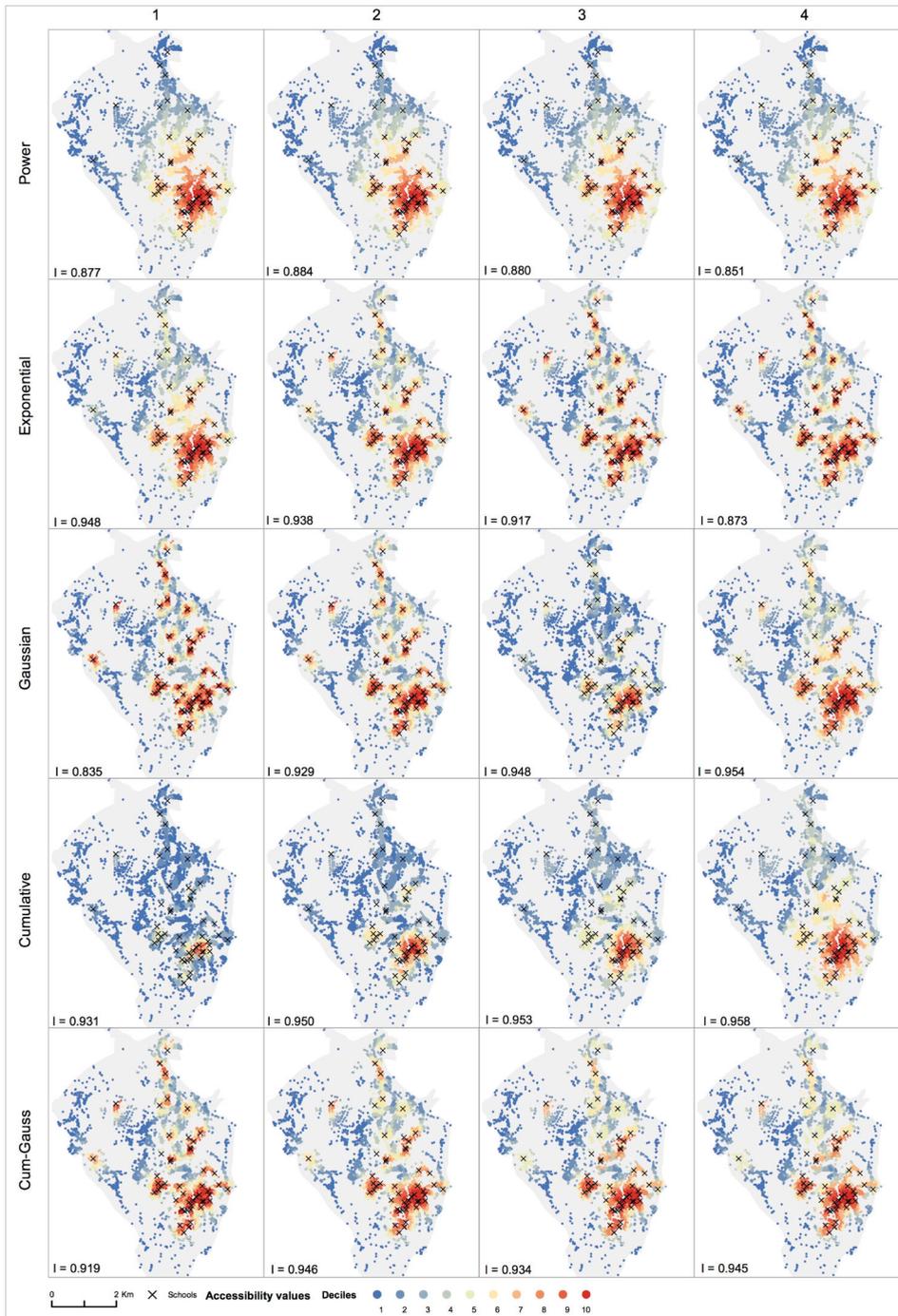


FIG. 6.3

Representação espacial das medidas de acessibilidade, com indicação do valor de I de Morgan.

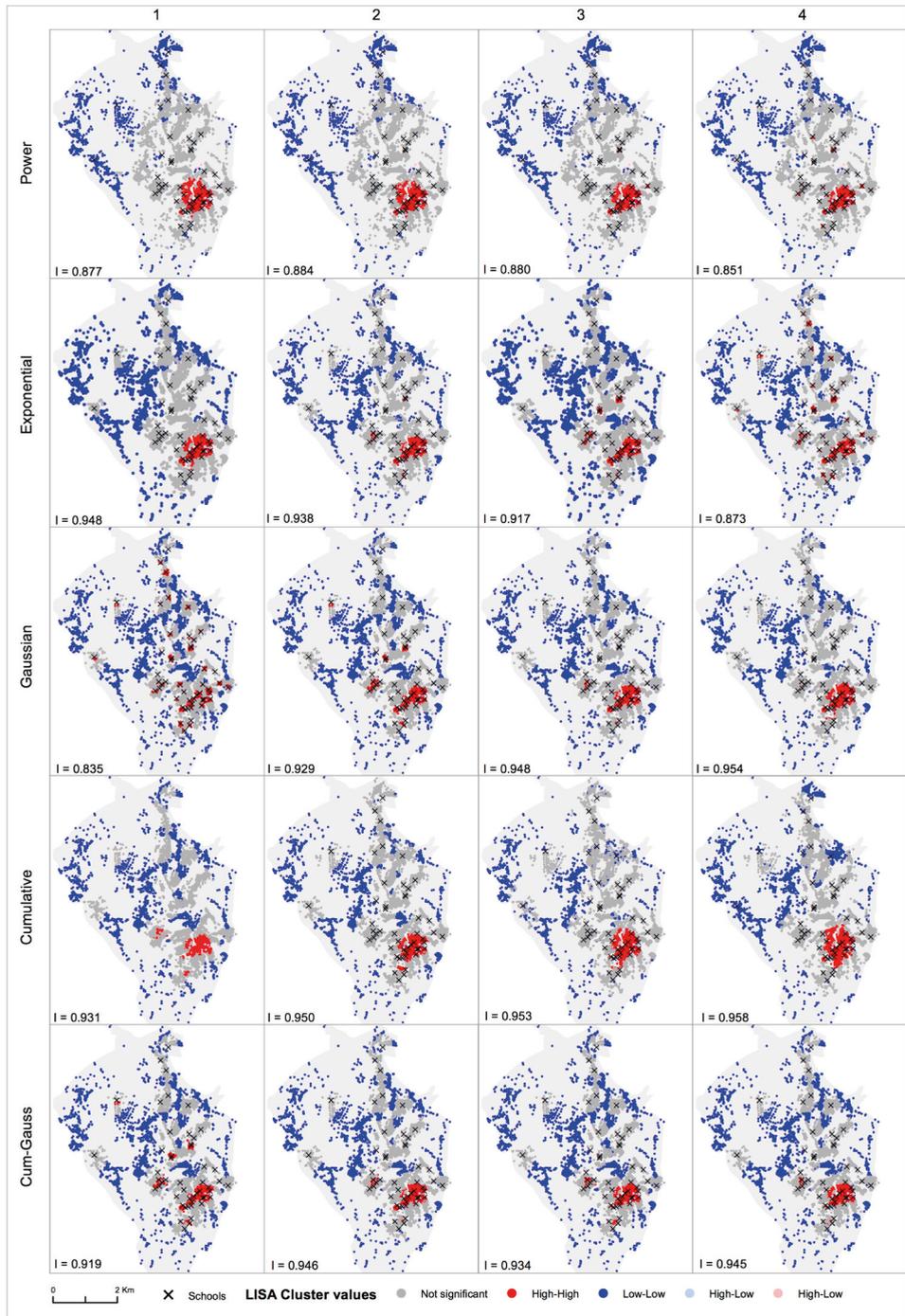


FIG. 6.4 · Indicadores locais de associação espacial (LISA) para os indicadores de acessibilidade.

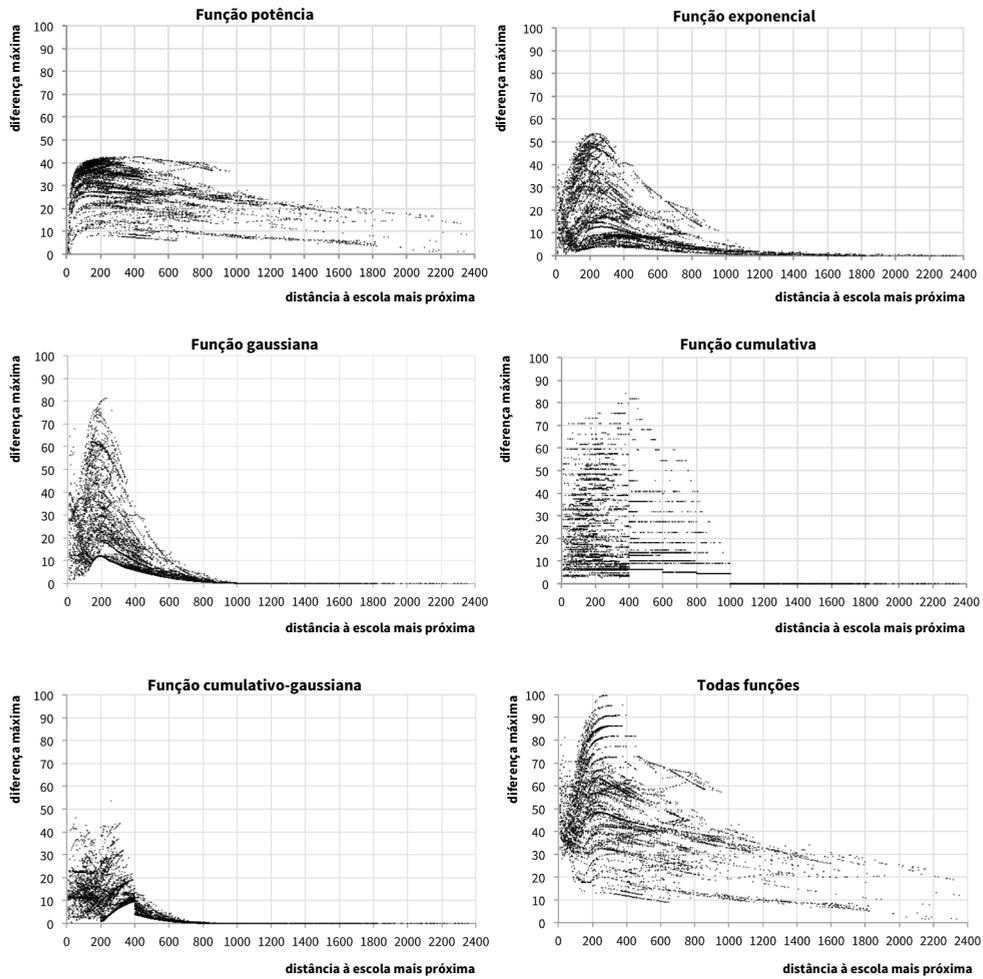


FIG. 6.5 -

Diferença máxima no valor de cada medida de acessibilidade e a sua relação com a distância à escola mais próxima, para cada edifício analisado.

---

Os resultados variam no que diz respeito à robustez das medidas. Em concreto, conforme se pode observar na figura 6.6., os locais que distam entre 200 e 400 m de uma oportunidade (neste caso uma escola) são mais sensíveis ao tipo de função de impedância utilizada, os quais podem apresentar diferenças de valores que podem variar cerca de 80%. Nesse sentido, utilizou-se uma função de impedância composta designada “cumulativo-gaussiana” que poderá contribuir positivamente para a melhoria da medição da acessibilidade pedonal com base em modelos gravitacionais ou de acessibilidade potencial (Vale & Pereira, 2017).

Esta função “cumulativo-gaussiana” assume que, no caso dos modos ativos, existe uma distância (e uma duração de viagem) de indiferença inicial que o indivíduo não reconhece como impeditiva para as suas deslocações em modo ativo, seguindo-se, então, uma distância que influencia a acessibilidade a uma determinada oportunidade. Ou seja, até determinada distância (200 m, por exemplo) é indiferente para o indivíduo qual a oportunidade (neste caso a escola) que se encontra mais próxima, pois, para ele, esta não será mais acessível do que outra que se encontre dentro daquela distância (figura 6.7).

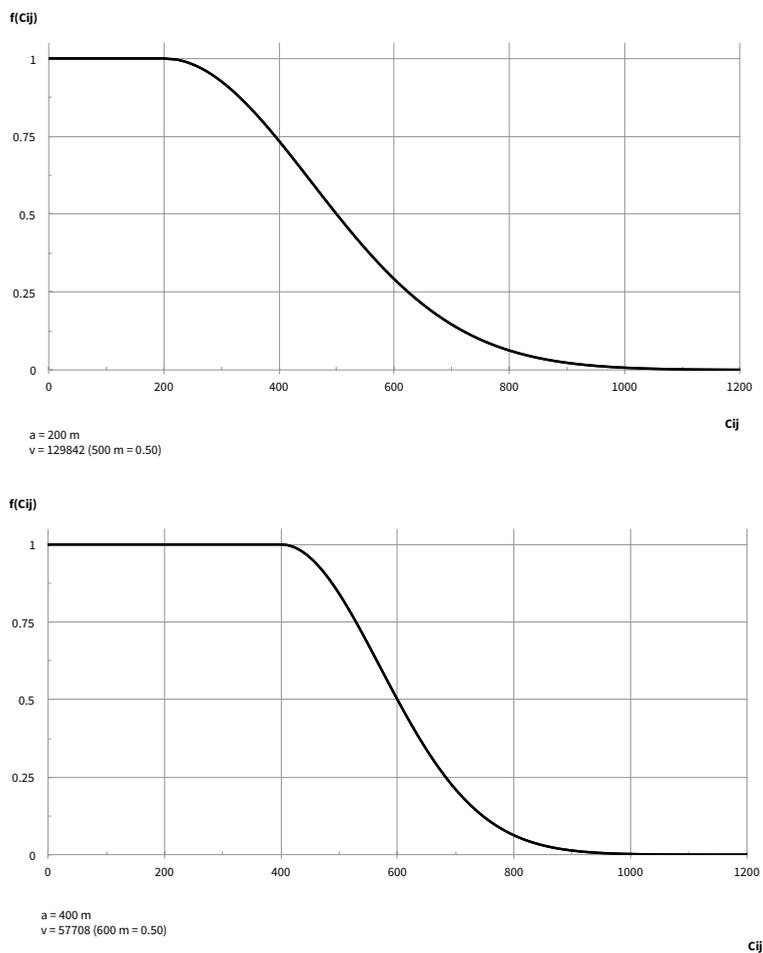


FIG. 6.6 ·  
Função cumulativo-gaussiana com duas especificações.

A função “cumulativo-gaussiana” combina uma função retangular utilizada nas medidas de oportunidades acumuladas, modelando, assim, a distância aceitável que se estende até um determinado valor de proximidade de percepção, com uma função Gaussiana modificada que reflete a influência (negativa) da distância desde esse valor de proximidade até à distância máxima pedonal aceitável ou observada. A função é dada expressão abaixo, sendo  $C_{ij}$  o custo de deslocação entre os locais  $i$  e  $j$ ;  $a$  o limiar da componente retangular da função; e  $v$  um parâmetro a ser determinado.

$$\begin{cases} f(C_{ij}) = 1, & \text{para } C_{ij} \leq a \\ f(C_{ij}) = e^{-\frac{(C_{ij}-a)^2}{v}}, & \text{para } C_{ij} > a \end{cases}$$

A partir dos resultados podem ser reiteradas algumas conclusões (Vale & Pereira, 2017). Em primeiro lugar, mais do que a forma e a inclinação da função de impedância, o parâmetro sensível é o valor de corte da função, isto é, a distância na qual a função atinge o valor zero ou quase zero. Este resultado dá força aos críticos da utilização dos 400 m como regra de medição da acessibilidade pedonal, sugerindo que outros valores devem ser testados ou utilizados. Adicionalmente, sugere que a calibração da função de impedância deve dar mais importância aos valores de distância mais elevados e não aos valores.

Em segundo, embora as correlações encontradas sejam elevadas e significativas, as diferenças nos valores normalizados são maiores do que as diferenças nas posições de classificação respectivas (confirmado pelo coeficiente de correlação de Spearman). Assumindo que a acessibilidade é uma característica comparativa de diferentes locais, a posição relativa dentro de uma classificação ordenada é mais significativa do que o valor absoluto. Nesse caso, as medidas de acessibilidade são ainda mais semelhantes e a escolha da função de impedância perde importância para a medição da acessibilidade pedonal. Por outras palavras, independentemente da função de impedância escolhida, alguns lugares são consistentemente colocados nas posições superiores (por exemplo o centro da cidade) e alguns são consistentemente colocados nas posições inferiores (as periferias da cidade).

Em terceiro, apesar de existir consistência geral na posição, as diferenças nos valores observados normalizados (entre 0 e 100) são relevantes pois o valor de acessibilidade de algumas áreas/espacos foi alterado até 99.72 na escala normalizada quando são comparadas várias oportunidades, e até 80 em casos onde se fixa uma determinada função de impedância e apenas se altera um parâmetro.

Estes resultados enfatizam a discussão sobre o significado e a interpretação dos valores de acessibilidade calculados. De facto, mesmo aumentando a facilidade de comunicar um valor de acessibilidade através do uso de uma escala normalizada, o valor final de acessibilidade pode não ter sentido em si mesmo, uma vez que o seu significado é dado apenas em comparação com valores de outros locais, com valores médios ou medianos, ou com um valor de referência predeterminado. As medidas de oportunidades acumuladas e as medidas baseadas na distância são exceções a este argumento pois são facilmente compreendidas e explicadas, o que em parte justifica a sua utilização continuada.

Em quarto, o impacto no valor final do cálculo de um indicador de acessibilidade em resultado da escolha de uma determinada fórmula para representar a função de impedância não é igual do ponto de vista espacial. Locais próximos de oportunidades apresentam sempre valores de indicadores de acessibilidade pedonal elevados. O contrário também é verdadeiro, ou seja, locais situados longe de oportunidades apresentam sempre indicadores de fraca acessibilidade. Por outro lado, as localizações a uma certa distância de várias oportunidades são extremamente sensíveis à escolha da função de impedância e do parâmetro associado. Em concreto, locais que distam entre 200 e 400 m de uma oportunidade têm a maior variação de valores mensurados, seguidos pelos que distam entre 400 e 600 m.

Em quinto, usando a variabilidade máxima do indicador de acessibilidade calculado como índice da robustez da medida de acessibilidade, os resultados sugerem que a função gaussiana e a função exponencial são os modelos mais robustos. No entanto, ambos revelam alta variabilidade para locais que distam entre 200 e 600 m da oportunidade mais próxima. Neste sentido, a função cumulativo-gaussiana parece adaptar-se melhor do que estas duas funções por dois motivos: mostra menor variabilidade global e modela explicitamente uma indiferença em relação a uma distância inicial.

Por último, para medir a acessibilidade pedonal, a função cumulativo-gaussiana pode e deve ser entendida como uma alternativa à função exponencial negativa amplamente utilizada. Os resultados obtidos por estas duas funções de impedância são significativos e altamente correlacionados e a sua distribuição espacial também o é, sendo sensíveis à presença de uma única oportunidade e destacando o agrupamento ou proximidade de várias oportunidades. No entanto, a função cumulativo-gaussiana é uma medida mais robusta e inclui explicitamente o conceito de “tolerância de viagem”, que reflete melhor a forma como os peões percecionam as distâncias.

Em conclusão, reconhece-se que é necessária mais investigação para validar e generalizar os resultados obtidos. No entanto, como sugerido também por outros autores, argumenta-se que o uso de uma função ‘em forma de s’ é, provavelmente, a abordagem mais adequada para medir a acessibilidade pedonal, podendo a função cumulativo-gaussiana ser entendida como um exemplo. Com esta função é possível calcular a acessibilidade pedonal sem um conhecimento detalhado das distâncias pedonais reais e percecionadas e incluir explicitamente o conceito da “tolerância à distância” e a forma como os indivíduos a percecionam, proporcionando resultados robustos e semelhantes aos obtidos com outras metodologias e métodos que exigem muitos mais dados. Finalmente, apesar de a investigação ter sido desenvolvida especificamente para deslocações pedonais, seguindo a hipótese de “utilidade positiva da deslocação”, a função cumulativo-gaussiana pode também ser usada e testada para o cálculo da acessibilidade noutros modos de transporte.

### 6.3 · RELAÇÃO ENTRE AMBIENTE CONSTRUÍDO E MOBILIDADE EM CIDADES DE MÉDIA DIMENSÃO

Nas cidades de média dimensão os modos ativos constituem muitas vezes uma alternativa viável para grande parte das deslocações, representando normalmente uma parte importante da repartição modal, o que poderá constituir em si mesmo uma mais valia do ponto de vista ambiental pois, tal com refere Alves (2008), os padrões de mobilidade destas cidades apresentam uma dependência muito grande do automóvel particular, em parte porque a oferta de transportes públicos é muito residual.

Atendendo a isto, procurou-se avaliar o poder explicativo que o ambiente construído tem na mobilidade da população de cidades médias, através de uma análise estatística confirmatória. Como anteriormente referido, a literatura demonstra que o ambiente construído é parcialmente responsável pela mobilidade da população, tendo sido identificados por Ewing e Cervero (2010) cinco dimensões do ambiente construído com influência nos padrões de mobilidade (5 Ds: Densidade, Diversidade, Design, acessibilidade aos Destinos e Distância aos transportes públicos). Neste trabalho foram adotadas as cinco dimensões do ambiente construído tendo sido adicionada uma nova dimensão, a topografia do lugar que exerce uma influência importante para os modos ativos. Além disso, foram ainda controlados aspetos sociodemográficos, atitudes e o potencial de mobilidade de cada indivíduo, isto é, o número de veículos e a posse de carta de condução (Vale, Alves, Bento, Rosa, & Pereira, 2015).

Dos 4500 indivíduos inquiridos nas quatro cidades, apenas 3289 realizaram pelo menos uma viagem no dia anterior. O *screening* dos dados reduziu a amostra final para 3149 inquiridos (771 de Castelo Branco, 781 de Faro, 892 de Santarém e 705 de Vila Real). Os trinta indicadores de ambiente construído calculados foram selecionados através de entrevistas a urbanistas e académicos, de forma a contemplar as seis dimensões referidas (5 Ds mais topografia), tendo por base uma análise exaustiva a catálogos de indicadores existentes (Forsyth et al., 2012; Rueda, 2008). Com base nestes indicadores, foram desenvolvidos Modelos de Equações Estruturais para avaliação da influência do ambiente construído na mobilidade, contemplando também condições socioeconómicas e avaliação de atitudes (quadro 6.2).

Tendo em conta a repartição modal destas cidades, a variável dependente (mobilidade) é considerada uma variável latente, representada através de quatro variáveis observadas: distância percorrida a pé, número de viagens a pé, distância percorrida em automóvel, e número de viagens em automóvel.

VARIÁVEIS UTILIZADAS	DESCRIÇÃO	MIN	MÁX	MÉDIA	$\sigma$	ASSIMETRIA	CURTOSE
<b>SOCIOECONÓMICAS</b>							
I_Idade	Idade do inquirido	15	91	42,5	18,1	0,46	-0,85
I_WorkStud	Ocupação = trabalhador ou estudante (dummy)	0	1	0,7	0,5	-0,79	-1,38
H_Size	Dimensão da habitação (número de quartos)	1	6	3,7	1,0	0,04	-0,19
I_CartaCond	Posse de carta de condução (dummy)	0	1	0,8	0,4	-1,28	-0,36
H_MotVehi	Presença de veículos motorizados no agregado (dummy)	0	1	0,8	0,4	-1,74	1,02
<b>ATITUDES (LIKERT SCALE)</b>							
Att_TrV14	[É agradável andar a pé no meu bairro]	1	5	4,5	0,9	-1,37	2,00
Att_BE2	[É importante haver lojas, serviços e equipamentos perto de casa]	1	5	4,3	0,9	-1,40	2,14
Att_BE4	[Valorizo a proximidade a espaços verdes e de lazer]	1	5	4,5	0,7	-1,72	4,34
Att_Hab2	[Considero a preservação ambiental um tema importante]	1	5	4,6	0,6	-1,75	4,43
Att_Hab9	[Devia andar-se mais a pé e de bicicleta por questões de saúde]	1	5	4,6	0,7	-1,89	4,86
<b>AMBIENTE CONSTRUÍDO</b>							
Den3	Índice de utilização	0,0	1,6	0,7	0,3	0,02	-0,86
Div1	Percentagem de edifícios unifamiliares	0,0	100,0	45,7	21,8	0,15	-0,56
Sq_Con4*	Percentagem de edifícios unifamiliares	5,4	12,5	7,0	0,8	1,32	2,68
Dsg2	Percentagem de área de circulação motorizada	2,0	26,1	15,5	4,6	-0,33	-0,35
Dsg7	Largura média do canal de circulação motorizada	0,0	7,7	4,2	1,3	-0,53	0,01
Top1	Percentagem de área com declive inferior a 8%	1,9	100,0	59,8	23,3	0,10	-0,86
*Variáveis transformadas através do cálculo da raiz quadrada da variável inicial							
<b>ACESSIBILIDADE</b>							
Sq_Acc1*	Distância à paragem mais próxima	1,0	51,7	13,5	5,7	1,49	6,72
Sq_Acc4*	Distância à atividade mais próxima	0,0	35,9	6,4	5,9	0,87	0,88
*Variáveis transformadas através do cálculo da raiz quadrada da variável inicial							

VARIÁVEIS UTILIZADAS	DESCRIÇÃO	MIN	MÁX	MÉDIA	$\sigma$	ASSIMETRIA	CURTÓSE
<b>MOBILIDADE</b>							
Sq_WalkDist	Total de distância percorrida a pé	0,0	99,7	17,8	22,7	1,02	0,02
WalkTrips	Número de viagens a pé	0,0	10,0	1,2	1,6	1,2	1,2
AutoDist	Total de distância percorrida em modos motorizados (m)	0,0	31 241,9	3251,2	4363,6	1,76	3,52
AutoTrips	Número de viagens em modo motorizados	0,0	10,0	1,8	1,9	1,15	1,42

Quadro 6.2 - Variáveis utilizadas nos modelos de equações estruturais para as quatro cidades em estudo.

O modelo final e os valores de estimação standardizados estão representados na figura 6.7. O modelo foi calibrado utilizando o *software* AMOS 22 através do método da máxima verosimilhança e os índices de ajustamento apresentam valores que podem ser considerados bons (CFI=.914; PCFI=.779 e GFI=.937).

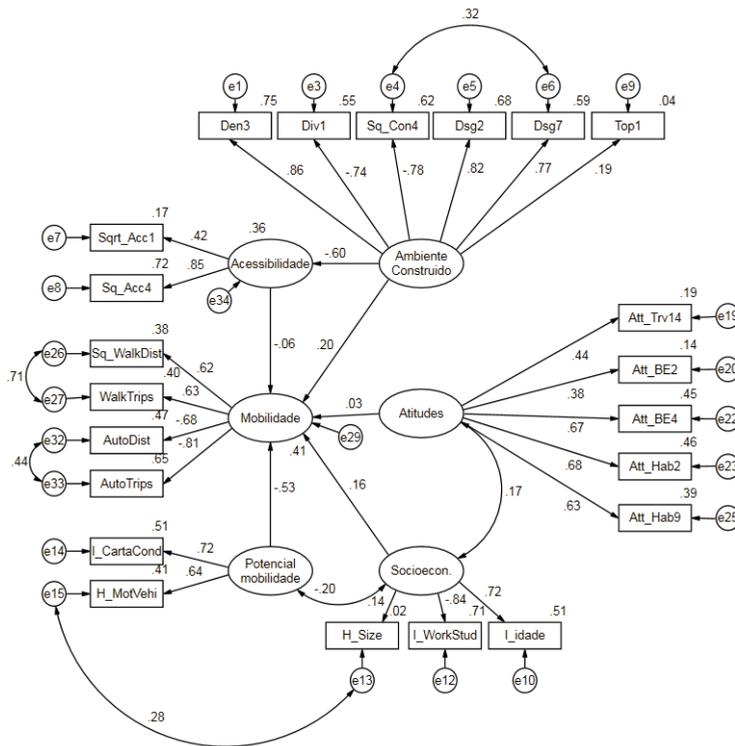


FIG. 6.7 - Estimativas standardizadas dos parâmetros do modelo dos efeitos do ambiente construído na mobilidade dos residentes das quatro cidades em estudo (n=3149)

Através do modelo observou-se que a mobilidade nas cidades de média dimensão é fundamentalmente determinada pelo potencial de mobilidade da população, nomeadamente, posse de carta de condução e de veículos motorizados ( $\beta = -.535$ ,  $p < .001$ ). Observa-se também que as características do ambiente construído do local de residência constituem um determinante da mobilidade ( $\beta = .235$ ,  $p < .001$ ), tal como as condições socioeconómicas da população ( $\beta = .162$ ,  $p < .001$ ). As condições de acessibilidade do local de residência na mobilidade também exercem um pequeno efeito sobre a mobilidade ( $\beta = -.059$ ,  $p < .05$ ). Por outro lado, as atitudes não se revelaram significativas para explicar a mobilidade ( $\beta = .031$ ,  $p = .165$ ).

Desta forma, pode concluir-se que, tal como registado para cidades de grande dimensão, as características socioeconómicas e o potencial de mobilidade da população são, em si mesmo, um importante determinante da mobilidade das cidades médias. Contudo, nas cidades de média dimensão o ambiente construído do local de residência é também um determinante da mobilidade da população, tanto em modos ativos, como em automóvel, o que reforça a importância do planeamento regional e urbano como ferramenta de promoção da mobilidade urbana sustentável inclusive nestes contextos urbanos.

Os resultados parecem indicar que, embora a utilização de transportes públicos seja muito reduzida nestas cidades, a mobilidade pedonal pode, de facto, constituir uma prioridade para a promoção da mobilidade urbana sustentável nestas cidades. Os principais exemplos desta promoção deverão passar pela garantia da existência de boas condições de acessibilidade pedonal no território, que devem ser asseguradas através da manutenção das curtas distâncias entre origens e destinos, para as quais os instrumentos de gestão territorial e as políticas de transportes têm um papel muito importante a desempenhar.

## 6.4 · INFLUÊNCIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO DOS DESTINOS NA MOBILIDADE PEDONAL

Uma das limitações do trabalho desenvolvido no domínio da relação entre usos do solo e mobilidade prende-se com o facto de apenas se analisarem as características do ambiente construído do local de residência, ignorando-se a influência do ambiente construído dos destinos na mobilidade. Contudo, de acordo com a teoria do *Modelo Comportamental do Ambiente*, o ambiente construído influencia a mobilidade pedonal através de três componentes distintos: as origens e destinos, as características das áreas envolventes a estes, e as características dos caminhos que ligam origens e destinos (C. Lee & Moudon, 2006). No entanto, grande parte da investigação tem-se centrado apenas nas características das origens em detrimento das outras componentes. Embora alguns trabalhos se tenham focado nos destinos, demonstrando a sua importância, os resultados são ainda muito incipientes (Yang et al., 2015).

Desta forma, procurou-se também comparar as características do ambiente construído do local de residência (origens) com as características do local de trabalho (destinos), investigando os seus impactos relativos nos padrões de mobilidade (Vale & Pereira, 2016). Para o efeito foram utilizados os 1100 inquéritos da cidade Santarém tendo-se desenvolvido um Modelo de Equações Estruturais mais focado nas deslocações em modos ativos e introduzindo as características do ambiente construído do local de trabalho, tendo-se acrescentado ainda a distância casa-trabalho, uma vez que esta é determinante nos padrões de mobilidade (João de Abreu e Silva, 2014), especialmente para modos ativos (figura 6.8).

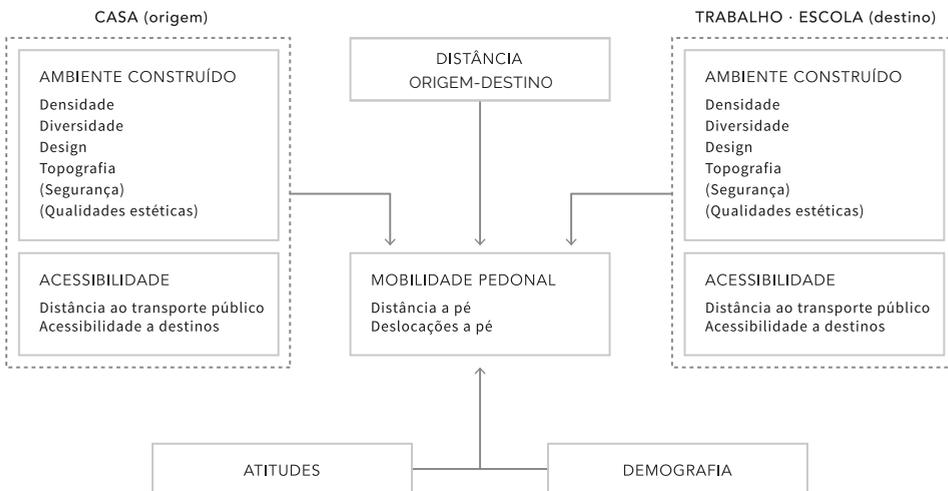


FIG. 6.8 ·

*Modelo conceptual das determinantes da mobilidade pedonal.*

O modelo final e as suas estimativas estandardizadas estão representados na figura 6.9. Os índices de ajustamento apresentam valores aceitáveis de qualidade do modelo geral ( $\beta^2 / df = 3.135$ ,  $CFI = 0.803$ ,  $PGFI = 0.722$ ). O modelo explica 69% da variável dependente (mobilidade pedonal), que se manifesta em duas variáveis observadas: distância a pé e o número de viagens a pé. As variáveis de controlo revelam influências distintas. Por um lado, no que diz respeito às atitudes, identificam-se três perfis de indivíduos distintos, que se rotulam de “ambientalista”, “amante de atividades de ar livre” e “pró-caminhada”. No entanto, o seu poder explicativo é muito pequeno e não significativo ( $\beta = 0.103$ ;  $p = 0.080$ ). Da mesma forma, a trajetória entre as características socioeconómicas e a mobilidade pedonal é muito pouco significativa, com um peso estandardizado apreciável ( $\beta = 0.295$ ;  $p = 0.051$ ). Por outro lado, das variáveis de controlo, duas são construtos significativos da mobilidade pedonal, a distância casa-trabalho ou casa-escola ( $\beta = -0.387$ ;  $p < 0.001$ ) e o potencial de mobilidade a variável com maior peso em todo o modelo ( $\beta = -0.841$ ;  $p < 0.001$ ). Assim, neste caso de estudo, são os indivíduos com maior potencial de mobilidade e que residem mais longe do local de trabalho ou da escola que apresentam uma maior probabilidade de realizar menores distâncias a pé e de realizar menos viagens a pé.

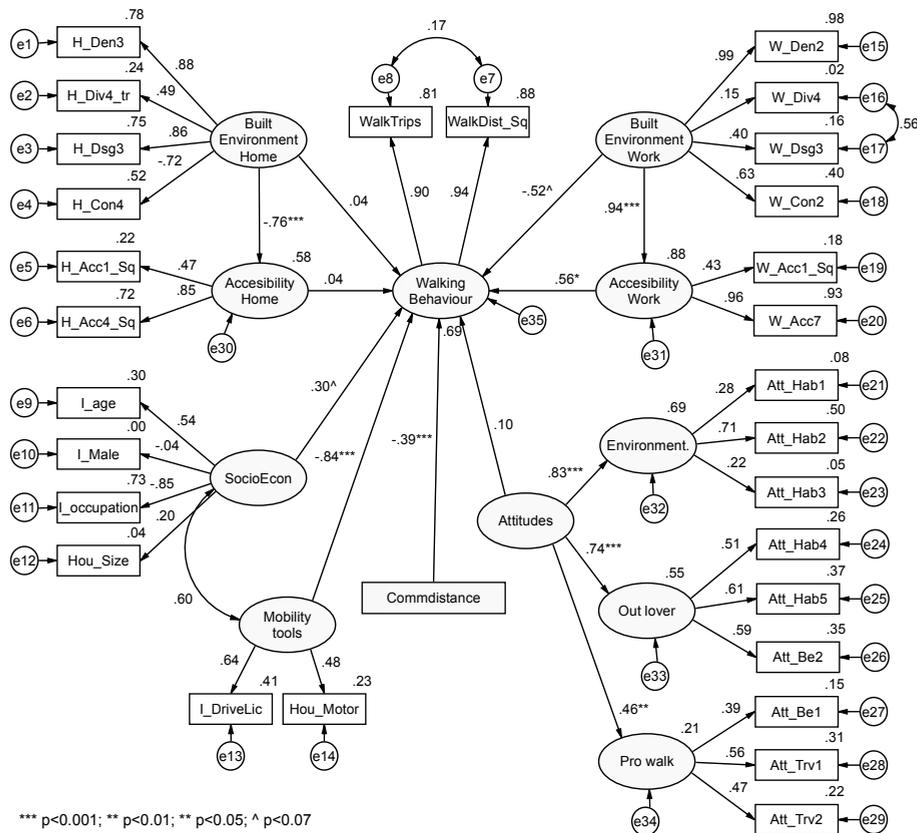


FIG. 6.9 · Estimativas estandardizadas dos parâmetros do modelo dos efeitos do ambiente construído da origem e do destino na mobilidade.

O ambiente construído demonstrou uma influência limitada na mobilidade pedonal, tanto no que se refere ao local de residência como ao local de trabalho ou estudo. O ambiente construído da residência demonstra um efeito direto ( $\beta = 0.038$ ;  $p = 0.654$ ) e um efeito mediado através das condições de acessibilidade da residência ( $\beta = 0.035$ ;  $p = 0.699$ ) na mobilidade pedonal, embora nenhum dos efeitos seja estatisticamente significativo. Ou seja, neste caso de estudo, a mobilidade pedonal não foi determinada pelas características do ambiente construído da residência.

Em contrapartida, a influência do ambiente construído do local de trabalho ou estudo é significativa e a sua acessibilidade também exerce um efeito mediador na mobilidade pedonal. O efeito direto do ambiente construído é negativo e muito pouco significativo ( $\beta = -0.518$ ;  $p = 0.064$ ). Mas o seu efeito mediado através das condições de acessibilidade é positivo e significativo ( $\beta = 0.521$ ;  $p < 0.05$ ), todavia, o seu efeito global é muito pequeno ( $\beta = 0.002$ ) – ver quadro 6.3.

VARIABLE	DIRECT EFFECT	INDIRECT EFFECT	TOTAL EFFECT
<i>Commuting distance</i>	-0,387	-	-0,387
<i>Mobility tools</i>	-0,841	-	-0,841
<i>Attitudes</i>	0,103	-	0,103
<i>Socio-economic characteristics</i>	0,295	-	0,295
<i>Home's built environment</i>	0,038	-0,027	0,012
<i>Home's accessibility</i>	0,035	-	0,035
<i>Workplace's built environment</i>	-0,518	0,521	0,002
<i>Workplace's accessibility</i>	0,556	-	0,556

Quadro. 6.3 -

*Estimativas estandardizadas diretas e indiretas na mobilidade pedonal.*

Em conclusão, os resultados revelam que, tal como demonstrado em estudos anteriores, as características individuais são fundamentais na mobilidade, não se devendo, assim, enfatizar exageradamente a importância do ambiente construído para a sua explicação. De facto, o potencial de mobilidade dos indivíduos apresenta-se como o principal determinante da mobilidade ( $\beta = -0.841$ ;  $p < 0.001$ ) e as características socioeconómicas - como idade, ocupação e dimensão da casa também - são muito pouco significativas. No caso particular de andar a pé, a distância entre origem e destino é uma variável importante ( $\beta = -0.387$ ;  $p < 0.001$ ), a qual pode, contudo, ser superada através de planeamento urbano que limite a expansão urbana de forma eficaz (seja de residências ou de locais de trabalho) e que promova o aumento da acessibilidade em transporte público aos locais de trabalho, o que, no caso das cidades médias, pode exigir soluções de transporte público inovadoras e, provavelmente, mais flexíveis, devido às características do ambiente construído destas cidades.

Porém, os resultados também enfatizam a importância do ambiente construído dos destinos para explicar a mobilidade, facto já apontado em outros estudos (J Abreu e Silva, Golob, & Goulias, 2006; Dong, Ma, & Broach, 2015; Hurvitz & Moudon, 2012; B. Lee, Gordon, Moore, & Richardson, 2011). Neste estudo, o ambiente construído do local de residência não é significativo, contradizendo vários estudos anteriores que o identificam como determinante. Quanto ao ambiente construído do local de trabalho e de acordo com alguns estudos mais recentes (Forsyth & Oakes, 2014; Kwoka, Boschmann, & Goetz, 2015; Millward, Spinney, & Scott, 2013), os resultados encontrados consideram-no um fator que exerce uma influência significativa na mobilidade pedonal, também pelas condições de acessibilidade do mesmo.

Em termos gerais, quanto mais acessível for o local de trabalho, maior a probabilidade de um indivíduo se deslocar a pé, relevando, assim, a importância da acessibilidade, tal como apontado anteriormente (Manaugh & El-Geneidy, 2011).

De facto, a acessibilidade de um lugar parece assumir um papel mediador entre o ambiente construído e a mobilidade, enfatizando a sua importância como objetivo de planeamento (Bertolini, Le Clercq, & Kapoen, 2005; Van Wee, 2011). Ao promover-se a acessibilidade multimodal num determinado tipo de ambiente construído, podem considerar-se e implementar diversas políticas de ordenamento do território e de transportes sem ter de se impor uma determinada solução de desenho urbano único para todas as cidades, a qual teria naturalmente muita dificuldade em ser aceite. Desta forma, e assumindo o papel mediador da acessibilidade, parece que os 5 Ds poderiam ser melhor concebidos como "3Ds + A", isto é, Densidade, Diversidade, Design e Acessibilidade, em que a acessibilidade é determinada pelo ambiente construído e se constitui como um mediador do relacionamento entre o ambiente construído e a mobilidade.

Finalmente, os resultados sublinham ainda que para compreender o papel do ambiente construído como determinante da mobilidade pedonal é importante considerar não apenas o local de residência, mas também o ambiente construído das principais âncoras do espaço-tempo dos indivíduos, como o seu local de trabalho ou localização da sua escola. Assim, não só se deve avaliar e considerar o ambiente construído dos principais destinos, como também se deve prestar especial atenção aos regulamentos urbanísticos e ao desenho urbano dos principais destinos, pois estes podem contribuir significativamente para a melhoria da mobilidade urbana sustentável. Neste âmbito, o estacionamento automóvel é determinante, bem como as condições de circulação pedonal (passeios, passadeiras, atravessamentos, etc.). É ainda fundamental colocar a tónica na transformação de locais de trabalho mono-funcionais isolados em bairros de uso misto, nos quais seja possível caminhar do local de trabalho para uma variedade de outros destinos diários importantes.

Em conclusão, resultante desta investigação, a qualidade do ambiente construído no local de destino influencia os padrões de mobilidade e esta deve constituir uma linha de orientação a privilegiar nas políticas urbanas.