



Acessibilidades do transporte individual aos principais polos geradores de viagens da Cidade de Guimarães

Luís António Pena Jardim Gonçalves

Universidade do Minho

id7227@alunos.uminho.pt

Paulo Jorge Gomes Ribeiro

Universidade do Minho

pauloribeiro@civil.uminho.pt



ACESSIBILIDADE EM TRANSPORTE INDIVIDUAL AOS PRINCIPAIS PONTOS DE INTERESSE DA CIDADE DE GUIMARÃES

Luís Gonçalves e Paulo Ribeiro

RESUMO

As comunidades a nível mundial enfrentam atualmente um rápido e elevado crescimento populacional, em especial nas cidades. Este aumento populacional tem um impacto direto no funcionamento dos sistemas de transportes urbanos, levando a um aumento dos volumes de tráfego rodoviário. Assim, o aumento rápido dos volumes de tráfego associado a uma reduzida capacidade das infraestruturas rodoviárias conduz a fenómenos frequentes de congestionamento que, representam graves consequências em diferentes domínios do funcionamento de um sistema urbano, como a redução dos níveis de acessibilidade. Este condicionamento tem maior impacto no acesso aos principais pontos de interesse e principais polos geradores de viagens dos centros urbanos, como hospitais, campi universitários, interfaces de transporte, superfícies comerciais, entre outros. Assim, neste artigo pretende-se estudar e caracterizar a acessibilidade do transporte individual na área urbana da Cidade de Guimarães aos seus principais polos geradores de viagens na principal hora de ponta - a tarde.

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas que a sociedade moderna enfrenta atualmente é o crescimento de grandes cidades, prevendo-se um aumento significativo nas próximas décadas. Atualmente, esta percentagem ronda os 54%, prevendo-se um aumento a rondar 66% até ao ano de 2050, podendo materializar-se em 2,5 mil milhões de pessoas para as zonas urbanas (ONU, 2018). No entanto, o processo de urbanização é um fenómeno-chave para o desenvolvimento económico que leva a uma significativa concentração de recursos humanos, atividades económicas e consumo de recursos nas cidades. Porém, embora cobrindo cerca de 2% da superfície do planeta, as cidades são responsáveis por cerca de 75% do consumo mundial de recursos (Madlener e Sunak, 2011).

Este aumento populacional está diretamente ligado a uma maior deslocação e movimento populacional e, um conseqüente aumento da procura por transportes, sendo este crescimento intolerável, tendo em conta a escassez de recursos energéticos, bem como a alteração das condições climáticas (Nakamura e Hayashi, 2013). Com isto, os volumes de tráfego, cada vez maiores, criam constantemente mais problemas relacionados com a mobilidade urbana, tais como congestionamento, poluição ambiental e sonora, e acidentes que, são especialmente elevados nas áreas urbanas (Farahani *et al.*, 2013). Deste modo, os congestionamentos afetam diretamente o movimento de pessoas e mercadorias, contribuindo para baixos níveis de acessibilidade e mobilidade. Para além disso,

contribuem para o aumento da ineficiência dos sistemas e consequentes perdas de tempo e energia, aumento da poluição e stress, diminuindo assim a produtividade e aumentando os custos para a sociedade (Rao e Rao, 2012). Por outro lado, os níveis de ruído provenientes do tráfego rodoviário afetam diretamente a qualidade de sono dos residentes (Sygna *et al.*, 2014), contribuindo para o aumento de acidentes vasculares cerebrais e de doenças cardiovasculares (Sørensen *et al.*, 2014). Como principal fonte de poluição atmosférica, o tráfego rodoviário contribui para o aumento de doenças respiratórias e alérgicas da população (Cepeda *et al.*, 2017).

A redução dos congestionamentos, atrasos médios e poluição e, consequente aumento das acessibilidades, melhora significativamente o desempenho dos sistemas rodoviários urbanos, contribuindo positivamente para o funcionamento dos serviços de emergência médica e o acesso aos hospitais (Novak e Sullivan, 2014). Por outro lado, as melhorias na acessibilidade promovem o crescimento populacional e facilitam os fluxos populacionais, aumentando o crescimento económico das cidades (Rode *et al.*, 2017). Neste sentido, as entidades governamentais necessitam planejar adequadamente as suas redes de transportes, bem como controlar os movimentos do tráfego urbano de forma a garantir uma boa mobilidade e consequente acessibilidade urbana (Farahani *et al.*, 2013). Assim sendo, um dos principais problemas de planeamento das infraestruturas de transporte consistem em determinar as melhores decisões de investimento a serem tomadas em relação, entre outros aspetos, à melhoria de uma rede rodoviária (Santos, Antunes e Miller, 2010). Exemplo disso é o caso da Finlândia, em que a população se concentrou em áreas com elevado potencial de acessibilidade viária, especialmente desde a abertura da economia finlandesa nos anos 90 (Kotavaara, Antikainen e Rusanen, 2011). Neste sentido, a prática atual passa pela melhoria da operacionalização de medidas de acessibilidade mais avançadas, baseadas em sistemas de informação geográfica (SIG) (Wang *et al.*, 2012), economicamente eficientes, relativamente fáceis de serem interpretadas por investigadores e políticos (Langford *et al.*, 2008).

No entanto, o setor dos transportes apresenta problemas referentes ao desenvolvimento sustentável, principalmente em relação ao uso do transporte privado em áreas urbanas (Redman *et al.*, 2013). Contudo, a implementação de políticas economicamente eficientes, é um importante desafio para os decisores políticos (Faherty e Morrissey, 2014). Porém, uma vez que os fluxos de viagens têm sofrido alterações significativas nas últimas décadas, os padrões tornam-se cada vez mais complexos e difíceis de prever e gerir (Silva, Reis e Pinho, 2014), sendo um obstáculo na implementação de planos e ações de âmbito mais generalista. Deste modo, os estudos de tráfego representam uma importante ferramenta de apoio (Miller, 2010), na implementação sustentada de certas soluções. Por conseguinte, tendo em conta os fatores enunciados, torna-se importante que as entidades que gerem a rede rodoviária procedam ao desenvolvimento de modelos de transportes para resolver certos problemas de tráfego, particularmente em zonas de grande procura das cidades – os centros urbanos, áreas históricas e outras áreas nobres dos tecidos urbanos.

Por conseguinte, neste artigo pretende-se apresentar um estudo e caracterização da acessibilidade do transporte individual na área urbana da Cidade de Guimarães, nomeadamente aos seus principais pontos de interesse e polos geradores de viagens, para a hora de ponta da tarde, que, habitualmente, corresponde ao período mais carregado do dia nesta cidade. A caracterização dos fluxos de circulação automóvel entre as diversas zonas da cidade tem por base apenas dados de contagens de tráfego rodoviário devidamente estratificadas, contudo não existe um levantamento/ conhecimento da matriz Origem-

Destino entre as diferentes zonas da área em análise. Assim, será apresentado um modelo de tráfego assente no modelo de transportes clássico de 4 passos, sendo utilizado para esse efeito o software PTV Visum. Neste âmbito, será apresentado e caracterizado o procedimento de cálculo, calibração e validação do modelo de afetação de tráfego encontrado para rede e discutidos os respetivos resultados referentes à rede viária distribuidora da cidade. Para além disso, este trabalho tem como principal objetivo desenvolver, avaliar e discutir os resultados do modelo dessa rede para estimar os níveis de acessibilidade em transporte individual na cidade de Guimarães. Por último, serão alvo de análise os resultados da matriz Origem-Destino gerada pelo software utilizando o processo de equilíbrio dinâmico no processo de afetação e geração e convergência dos valores dessas matrizes, para a hora de ponta da tarde.

2 CONSTRUÇÃO DO MODELO

Nesta secção será apresentada a metodologia utilizada neste estudo, desde a criação do modelo até à estimação da matriz OD, recorrendo ao software de modelação PTV Visum.

2.1 Características Físicas da Rede

Para a construção do modelo foram desenhadas e caracterizadas de acordo com as características físicas reais das vias e interseções, os seguintes elementos:

- Nós (*Nodes*) – representam os cruzamentos entre os movimentos definidos na rede;
- Arcos (*Links*) – definem as estradas, ligando os nós da rede;
- Viragens (*Turns*) – representam os movimentos possíveis em cada nó da rede;
- Zonas (*Zones*) - os pontos de origem e/ou destino de viagens.

A construção e desenho os elementos da rede seguiu o seguinte processo metodológico:

- Criação dos nós necessários nos pontos singulares (interseções, mudanças de características das vias, etc.);
- Construção dos arcos da rede, atribuindo-lhe o tipo e, automaticamente, as suas características;
- Construção dos conectores de ligação das zonas à rede viária, em um número não excessivo que não impeça a calibração desta;
- Eliminação das viragens não permitidas, nó a nó, para impedir movimentos não existentes.

Assim, para a modelação da rede viária foi necessário definir e caracterizar diferentes tipos de arcos como se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de arcos utilizados na modelação (Ramos, 2008)

Tipo	Descrição	Velocidade base (Km/h)	Capacidade (Veh/h/por sentido)
0	IC – duas Vias por sentido	80	3500
10	Variante – duas vias por sentido	70	3000
20	Rampa de acesso – uma via	50	900
30	Via estruturante – duas vias por sentido	50	1200
31	Via estruturante – uma via por sentido	40	600
32	Via estruturante – três vias em sentido único	50	1700
33	Via estruturante – duas vias em sentido único	40	1300
40	Outras vias urbanas – duas vias por sentido	50	1000

41	Outras vias urbanas – uma via por sentido	40	400
42	Outras vias urbanas – uma via por sentido	30	500

2.2 Afetação do modelo

Para efetuar a afetação do tráfego aos elementos da rede viária, tendo por base um modelo mesoscópico, é necessário definir a Matriz Origem-Destino (OD) base, uma vez que a informação contida nessa matriz define o número de utilizadores que se pretendem deslocar entre as diferentes zonas da rede. Assim, torna-se necessário para o período em análise definir:

- Zonamento – definição de zonas que descrevam áreas com características e usos do solo, homogêneos e semelhantes, descrevendo, a posição dos utilizadores na rede viária, correspondendo aos pontos de Origem e Destino das viagens, cujo seu centro se denomina “centróide”;
- Matriz OD inicial – no caso de não ser conhecida a matriz O-D real, torna-se necessário introduzir uma matriz inicial que permita a convergência dos métodos de construção e estimação de uma hipotética matriz tendo por base contagens de tráfego num vasto grupo de elementos da rede viária.

Existem vários modelos para executar a afetação da Matriz OD ao modelo. Desde modelos dinâmicos a modelos estáticos. Os mais utilizados são os modelos estáticos, em concreto o modelo de equilíbrio. O modelo de equilíbrio efetua a distribuição da procura de tráfego baseando-se no primeiro princípio de John Wardrop, segundo o qual cada condutor escolhe o caminho de forma que a sua viagem tenha a menor duração/custo possível. Este modelo é principalmente utilizado em redes congestionadas, com um elevado grau de, sendo este modelo mais adequado para redes pequenas com poucas alternativas (Anagnostopoulos, 2012).

Para que os resultados das contagens de tráfego estimadas pelos modelos de afetação se aproximem o mais possível dos valores reais das contagens. O software PTV Visum permite a utilização do Algoritmo *TFlowFuzzy* que possibilita a utilização de contagens de tráfego para corrigir e/ou estimar os fluxos da matriz OD, de modo que os resultados das afetações gerem fluxos nos arcos, ou viragens selecionadas. O *TFlowFuzzy* corrige a matriz OD inicial, comparando os fluxos de tráfego nos arcos e viragens resultantes da afetação com as contagens de tráfego carregadas. Tendo como objetivo, validar essas contagens através do ajustamento da matriz OD, para aproximar o melhor possível os volumes de tráfego modelados aos volumes de tráfego reais. Para a atualização, os valores da contagem são comparados com os volumes de tráfego modelados, resultantes da afetação pré-calculada da matriz OD com valores 10. A diferença entre os valores das contagens e os valores modelados são equilibradas pelo ajuste da matriz OD. Este é um processo iterativo, pois começa com a diminuição na margem de erro. O processo termina quando não for possível minimizar mais o volume de tráfego dos arcos ou viragens. Durante a implementação do algoritmo deve-se considerar a calibração dos elementos da rede possuam fluxos e contagens de tráfego (GROUP, 2017).

2.3 Calibração do modelo

A calibração dos modelos envolve o ajuste das matrizes OD, de forma que os valores modelados coincidam, ou se aproximem, dos valores das contagens de tráfego dentro de uma margem de erro pequena e aceitável. Esta comparação deve ser feita em diferentes

elementos da rede viária (pontos de contagem). Os parâmetros correntemente utilizados para a calibração do modelo são o GEH, RMSE e o gráfico de dispersão. O GEH compara dois conjuntos de volumes de tráfego (contado e modelado) inspirando-se no teste do qui-quadrado (χ^2), podendo ser calculado individualmente para cada arco ou como uma medida global para toda a rede e é dado pela equação 1 (N.S.W., 2013):

$$GEH = ((2 \times (V_m - V_0)^2) / (V_m + V_0))^{1/2} \quad (1)$$

- V_m : Volume de tráfego modelado numa hora;
- V_0 : Volume de tráfego observado numa hora.

O Erro Quadrático Médio, RMSE (*Root Mean Squares Error*) e o *R-square*, R^2 são medidas estatísticas da correlação entre a totalidade dos dados de contagem definidos e a totalidade dos volumes modelados. O RMSE aplica-se a todo o conjunto de dados de comparação e é expressa como um valor único, equação 2 (N.S.W., 2013):

$$RMSE = ((\sum (V_0 - V_m)^2 / (C - 1))^{1/2} / (\sum V_0 / C)) \times 100 \quad (2)$$

- V_m : Volume de tráfego modelado numa hora;
- V_0 : Volume de tráfego observado numa hora;
- C : Número de locais de contagem.

Para uma melhor uma interpretação dos resultados associa-se um gráfico (Gráfico de Dispersão), onde se representa os valores das variáveis observadas e modelados. Facilitando a realização da análise visual. A sua representação consiste na introdução de uma reta de regressão linear, com declive igual a 1. Quanto mais próximos os pontos estiverem dessa reta, ou seja, quanto maior o coeficiente de R^2 , melhor é a qualidade da simulação (Vilarinho, 2008).

Para a validação dos resultados, devem ser respeitados os seguintes critérios (N.S.W., 2013):

- 95 % dos arcos devem ter um $GEH \leq 5.0$;
- 85 % das viragens devem ter $GEH \leq 5.0$;
- Todos os arcos e viragens devem ter um $GEH \leq 10$;
- Comparação dos valores modelados vs. Valores das contagens observados;
- Valor de $R^2 > 0.9$;
- No gráfico de dispersão devem estar todos os valores (modelados e observados);
- O valor de $RMSE < 30,0 \%$.

3 APLICAÇÃO A UM ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE GUIMARÃES

O estudo de caso é referente à modelação da rede distribuidora da cidade de Guimarães, Portugal. Esta rede incide sobre a rede de vias distribuidoras principais, cobrindo a área do centro histórico e sua envolvente, delimitada pela Variante e pelo Monte da Penha. A área de estudo foi dividida em 27 zonas, na Figura 1 apresentam-se 14 zonas internas (“coloridas”) que visam representar o funcionamento e os principais fluxos que se geram no interior da rede com base nos seus usos do solo, e 13 zonas externas (“a branco”) que pretendem caracterizar os pontos de entrada e saída da rede. Por outro lado, em detrimento

da não existência de uma matriz OD inicial, a afetação será efetuada com base na estimação da matriz OD a partir das contagens de tráfego realizadas em várias interseções.

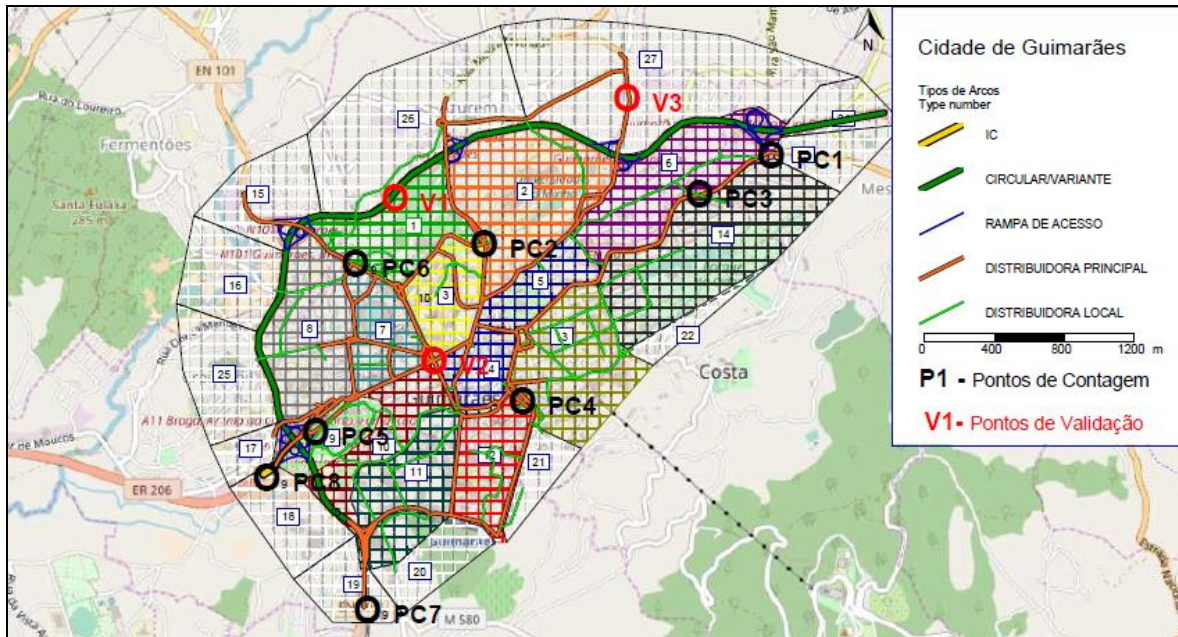


Figura 1 Mapa da rede da Cidade de Guimarães

3.1 Dados de entrada

Os dados de entrada utilizados neste estudo foram a matriz OD e Contagens de tráfego. Para a rede da cidade de Guimarães não foi possível obter uma matriz OD, visto que os estudos de tráfego e transportes realizados abrangem uma área de estudo muito maior, tendo-se adotado uma matriz OD inicial de valor 10, com diagonal nula e dimensão (27X27). As contagens de tráfego utilizadas são referentes ao estudo de mobilidade do Quadrilátero Urbano de Barcelos, Braga, Famalicão e Guimarães, em 2013, selecionando-se os dados correspondentes à área de estudo. Os dados selecionados são referentes à hora de ponta da tarde (17h00 – 18h00), estando subdivididas em 4 subclasses, motocicletas (MC), ligeiros (LIG), pesados (PES) e Autocarros (BUS). Estes foram posteriormente tratados e inseridos no modelo. Foram utilizados 8 pontos de contagem, Figura 1, que totalizam 57 movimentos direcionais (Turns) e 4 links. No processo de modelação, o tráfego foi homogeneizado para unidade de veículo ligeiro equivalente (u.v.e), tendo por base os fatores de equivalência descritos por Martins *et al.* (2006), sendo adotados os seguintes valores, 1 para motocicletas, 1 para veículos ligeiros, 2 para veículos pesados de mercadorias e 1,5 para veículos pesados de mercadorias

3.2 Resultados da calibração do modelo

Aplicando a metodologia de calibração apresentada é possível extrair um vasto conjunto de informação, nomeadamente, os volumes de tráfego que se apresentam no mapa da Figura 3. Com base na comparação entre os volumes observados e modelados traduzidos no cálculo dos parâmetros GEH, RSME (Tabela 3) e da análise do gráfico de dispersão (Figura 2) é possível concluir que o modelo está calibrado.

Tabela 2 Validação das contagens pelos Parâmetros GEH e RMSE, hora de ponta da tarde

	GEH		RMSE (%)
	Nº de contagens	Percentagem (%)	
GEH<5	59	97%	5,71 %
5<GEH<10	2	3%	<30%
GEH>10	0	0	OK!!!

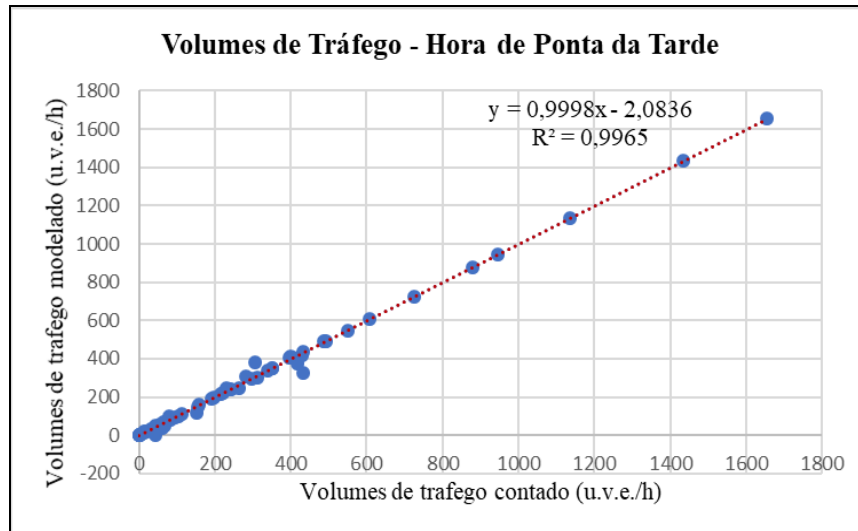


Figura 2 Gráfico de dispersão

Posteriormente validou-se o modelo efetuando-se contagens de tráfego em três pontos relevantes da rede – V1, V2 e V3 (Figura 1) e a respetiva comparação com os valores modelados aplicando o critério de validação - GEH, cujo resultado se apresenta na Tabela 4. É de salientar que, ao contrário do que se sucedeu com as outras contagens, estas não entraram no processo de calibração. Apenas foram utilizados para validar o modelo.

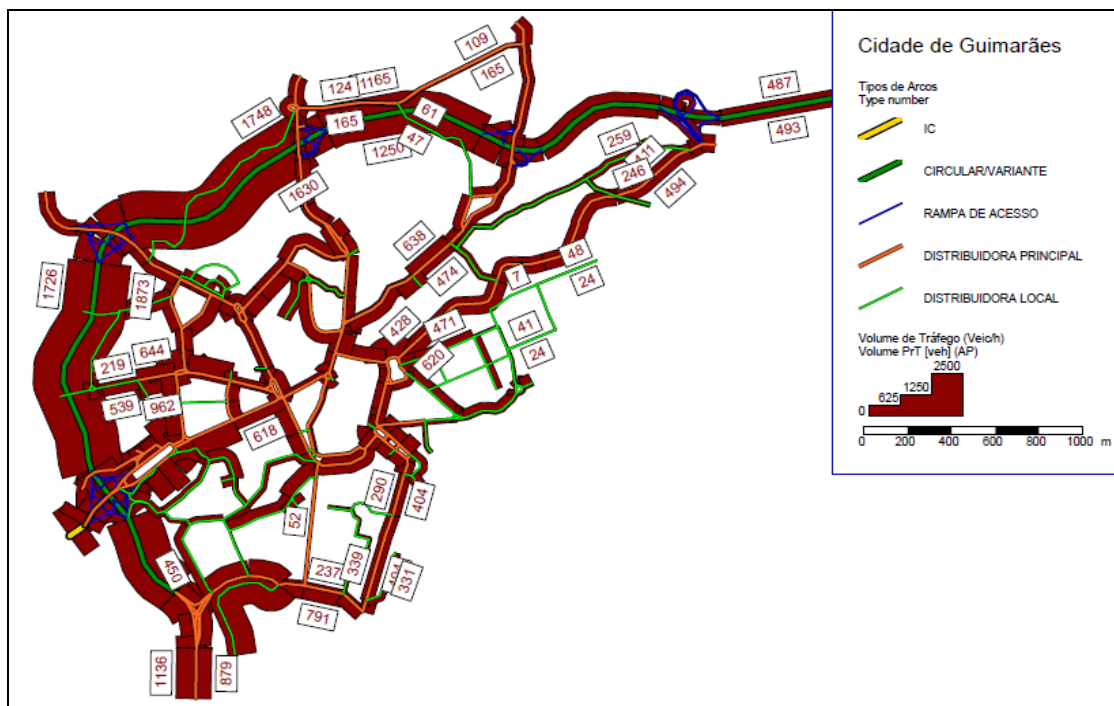


Figura 3 Volumes de tráfego do modelo

Tabela 3 Validação do modelo

Pontos de Validação				
Rua (Ponto de Validação)	Sentido	Trafego contado (u.v.e./h)	Trafego modelado (u.v.e./h)	GEH
Variante (V1)	Fafe->Guimarães	1771	1748	1
	Guimarães-> Fafe	1510	1630	3
Alameda Dr. Alfredo Pimenta (V2)	Centro->PSP	463	397	3
	PSP->Centro	399	398	0
Rua S. Gonçalo (V2)	Estádio->Centro	150	216	5
	Centro->Estádio	375	320	3
Av. Conde Margaride (V2)	Via de sentido único	571	618	2
Rua Gil Vicente (V2)	Via de sentido único	288	293	0
Av. Paio Galvão (V2)	Via de sentido único	698	806	4
Rua Nsa. Senhora Mãe de Deus (V3)	S. Torcato -> Guimarães	274	310	2
	Guimarães-> S. Torcato	288	347	1

3.3 Avaliação da acessibilidade aos principais pontos de interesse e polos geradores de viagens da cidade de Guimarães

Nesta secção é apresentada a análise da acessibilidade dos principais pontos de interesse e polos geradores de viagens da cidade de Guimarães. Deste modo, foram selecionados os 6 principais pontos, que correspondem a 6 importantes equipamentos da cidade, nomeadamente, a estação de camionagem / Guimarães shopping, a estação de caminhos-de-ferro, o hospital da Senhora da Oliveira, os Bombeiros/ Esquadra da Polícia de Segurança Pública, o Campus da Universidade do Minho e o Centro Histórico de Guimarães. Com esta análise, pretende-se analisar como é que a rede se comporta e permite que as pessoas se desloquem a alguns desses pontos de interesse, mas sobretudo pretende-se identificar o nível de prontidão e socorro no território da cidade de Guimarães, especialmente com a avaliação das isócronas em relação ao Hospital, Bombeiro e Polícia. Como variável de análise da acessibilidade da rede, utilizou-se o tempo de viagem com a rede carregada de tráfego que, com a utilização do software *PTV Visum 17* pode ser obtida de forma imediata com o levantamento da variável *tCur*. Assim, na figura 4 apresentam-se os mapas de acessibilidade dos pontos selecionados para a restante rede modelada. Importa destacar que fenómenos de congestionamento da rede, na hora de ponta da tarde, terão uma importante influência no tempo gasto nas deslocações das diversas áreas da cidade para os respetivos equipamentos em análise.

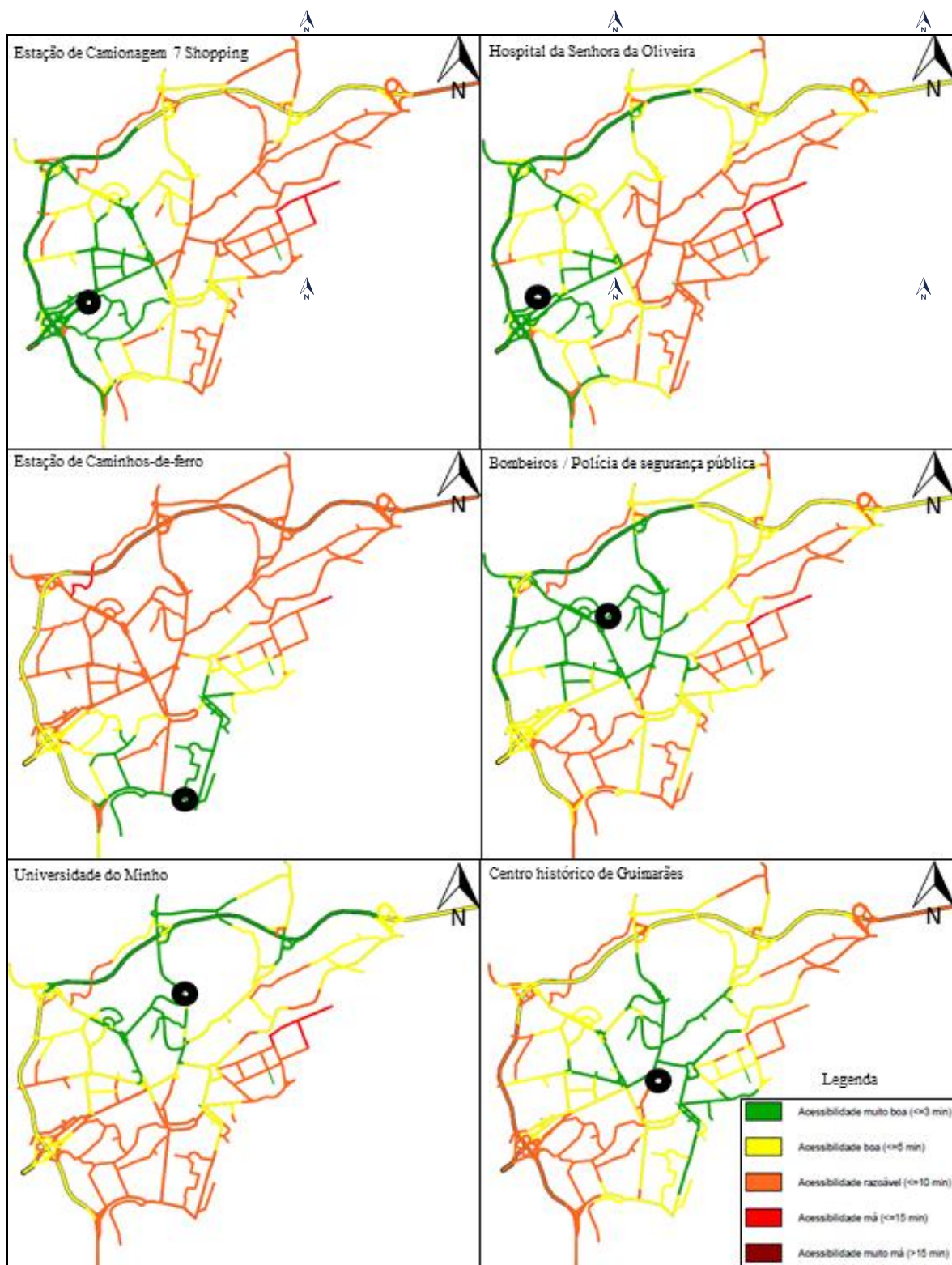


Figura 4 Acessibilidade dos principais pontos de interesse e polos geradores de viagem da cidade de Guimarães na hora de ponta da tarde

A análise dos resultados obtidos para os pontos seleccionados permitiu retirar várias conclusões da acerca da acessibilidade da rede. A estação de camionagem localiza-se numa zona que permite uma boa acessibilidade à autoestrada A11/A7, ou seja, ao principal ponto de entrada e saída da cidade. Assim sendo, a estação de camionagem encontra-se bem localizada para fazer as ligações intermunicipais e inter-regionais. Verificando-se também

que, a zona Este apresenta um tempo de viagem de cerca de 10 minutos. A estação de caminhos-de-ferro é o ponto que apresenta uma pior acessibilidade apresentando tempos de viagem de cerca de 10 min na maior parte da rede modelada. Verifica-se que, a acessibilidade à outra principal interface modal (Estação de Camionagem da cidade carece de fiabilidade. Assim sendo, a ligação entre estes dois pontos deveria ser fortalecida. O Hospital da Senhora da Oliveira, apresenta um bom acesso às principais vias distribuidoras de acesso à cidade, a variante, EN101, EN 105 e A11/A7. Este ponto apresenta também uma razoável acessibilidade a toda a rede, onde se verifica um maior tempo de viagem na zona Este, cerca de 10 minutos. Com isto, a acessibilidade dos meios de emergência médica estão assegurados, sendo benéfico para a comunidade residente. Os Bombeiros e a Polícia apresentam um razoável acesso a toda rede da cidade de Guimarães, onde em apenas alguns casos de maior distância, o tempo de viagem é superior a 5 min, neste caso, nas zonas Sul e Este. Assim sendo, estes dois postos, com grande relevância na comunidade, estão localizados de forma a atender às necessidades de toda a comunidade com um tempo de atuação adequado. A universidade do Minho, visto que se localiza a Norte da cidade, a sua acessibilidade às restantes zonas é mais baixa quando a carga de tráfego é muito elevada. Verificando-se um tempo de viagem de cerca de 10 minutos na ligação a Vizela, EN 105 (zona Sul) e à estação de camionagem e estação de caminhos-de-ferro. Ora, devido à elevada produção e atração de viagens, e visto que a maior parte das viagens têm origem fora da rede, a sua localização mostra-se adequada na perspectiva de não ser um agente que conduza a um aumento do congestionamento e redução da acessibilidade na restante rede viária da cidade. Por último, o centro histórico devido à sua localização central, carece de acessibilidade às principais vias da rede viária estruturante. Porém, apresenta os níveis de acessibilidade dos restantes 5 pontos de interesse da cidade são bons em relação a esta área, logo para além do atrativo único que esta área incorpora a sua localização contribuí ainda muito positivamente para alavancar o comércio local. Em suma, a rede apresenta uma boa acessibilidade em relação às características dos pontos selecionados, com a exceção da estação de caminho-de-ferro que, devido à sua localização não garante bons níveis de acessibilidade à restante rede viária da cidade. Por outro lado, a zona oriental da cidade apresenta a menor acessibilidade da cidade, isto deve ao facto desta zona ser maioritariamente residencial e a mias afastada dos principais eixos rodoviários estruturantes do município, descrevendo-se numa capacidade e limites de velocidade das vias mais restritos, e assim contribuir para uma menor acessibilidade.

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi aplicada uma metodologia de modelação e estimação da matriz OD para a cidade de Guimarães com base em contagens de tráfego para a hora de ponta da tarde, com a respetiva calibração e posterior validação do modelo. Por outro lado, importa destacar a impossibilidade de validação da matriz OD, visto que não foi possível obter uma matriz OD base inicial. No entanto, o modelo foi validado estatisticamente, sendo possível fazer alguns testes e estudar a acessibilidade dos principais pontos de interesse e polos geradores de viagem da rede da cidade de Guimarães. No estudo da acessibilidade apresentado neste artigo foi possível verificar que, a rede apresenta uma boa acessibilidade em relação às características dos pontos selecionados (maior parte dos valores são inferiores a 15 minutos), com a exceção da estação de caminho-de-ferro que, devido à sua localização não garante uma boa acessibilidade à restante rede viária. A zona que apresenta a pior acessibilidade da rede é a zona oriental da cidade, pelo facto desta zona ser maioritariamente residencial, onde os limites de velocidade e capacidades das vias serem muito limitados, e consequente, aumentar os tempos de viagem, retratando-se numa menor

acessibilidade em relação às outras conas da cidade. Este tipo de análises torna-se valiosa para os gestores do território e mobilidade. Assim, apesar da limitação que o modelo possui, nomeadamente, a não existência de uma matriz OD inicial, este pode ser usado para futuras avaliações da cidade como complemento ao planeamento de transportes.

5 REFERÊNCIAS

Anagnostopoulos, C. N. (2012) «Modeling Transport, 4th Edition (de Dios Ortuzar, J. and Willumsen, L.G.; 2011 [Book Review]», *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 4(1), pp. 40–41. doi: 10.1109/MITS.2011.2178881.

Cepeda, M. *et al.* (2017) «Levels of ambient air pollution according to mode of transport: a systematic review», *The Lancet Public Health*, 2(1), pp. e23–e34. doi: [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(16\)30021-4](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(16)30021-4).

Faherty, T. R. e Morrissey, J. E. (2014) «Challenges to active transport in a car-dependent urban environment: a case study of Auckland, New Zealand», *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(8), pp. 2369–2386. doi: 10.1007/s13762-014-0563-6.

Farahani, R. Z. *et al.* (2013) «A review of urban transportation network design problems», *European Journal of Operational Research*, 229(2), pp. 281–302. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.01.001>.

GROUP, P. T. V (2017) *PTV Visum 16 Manual*. Karlsruhe, Germany: PTV AG.

Kotavaara, O., Antikainen, H. e Rusanen, J. (2011) «Population change and accessibility by road and rail networks: GIS and statistical approach to Finland 1970–2007», *Journal of Transport Geography*, 19(4), pp. 926–935. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.10.013>.

Langford, M. *et al.* (2008) «Urban population distribution models and service accessibility estimation», *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(1), pp. 66–80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2007.06.001>.

Madlener, R. e Sunak, Y. (2011) «Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management?», *Sustainable Cities and Society*, 1(1), pp. 45–53. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2010.08.006>.

Martins, A. P. *et al.* (2006) *Manual de estudos de tráfego*. Brasil: Ministério dos Transportes.

Miller, H. J. (2010) «Measuring Space-Time Accessibility Benefits within Transportation Networks: Basic Theory and Computational Procedures», *Geographical Analysis*. Wiley/Blackwell (10.1111), 31(2), pp. 187–212. doi: 10.1111/j.1538-4632.1999.tb00976.x.

Nakamura, K. e Hayashi, Y. (2013) «Strategies and instruments for low-carbon urban transport: An international review on trends and effects», *Transport Policy*, 29, pp. 264–274. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.07.003>.

Novak, D. C. e Sullivan, J. L. (2014) «A link-focused methodology for evaluating accessibility to emergency services», *Decision Support Systems*, 57, pp. 309–319. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2013.09.015>.

ONU, O. das N. U. (2018) *Relatório da ONU mostra população mundial cada vez mais urbanizada, mais de metade vive em zonas urbanizadas ao que se podem juntar 2,5 mil milhões em 2050*. Disponível em: <https://www.unric.org/pt/actualidade/31537-relatorio-da-onu-mostra-populacao-mundial-cada-vez-mais-urbanizada-mais-de-metade-vive-em-zonas-urbanizadas-ao-que-se-podem-juntar-25-mil-milhoes-em-2050>.

Ramos, A. F. F. (2008) *Proposta de medidas para melhoria da mobilidade em transporte rodoviário urbano - o caso do barreiro, Engenharia Civil*. universidade Nova de Lisboa.

Rao, A. M. e Rao, K. R. (2012) «Measuring Urban Traffic Congestion-A Review.», *International Journal for Traffic & Transport Engineering*, 2(4).

Redman, L. *et al.* (2013) «Quality attributes of public transport that attract car users: A research review», *Transport Policy*, 25, pp. 119–127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.11.005>.

N. S. W. (2013) *Traffic Modelling Guidelines*. 1st editon. Trasport Roads & Maritime ServiceNSW Government.

Rode, P. *et al.* (2017) «Accessibility in Cities: Transport and Urban Form BT - Disrupting Mobility: Impacts of Sharing Economy and Innovative Transportation on Cities», em Meyer, G. e Shaheen, S. (eds.). Cham: Springer International Publishing, pp. 239–273. doi: 10.1007/978-3-319-51602-8_15.

Santos, B. F., Antunes, A. P. e Miller, E. J. (2010) «Interurban road network planning model with accessibility and robustness objectives», *Transportation Planning and Technology*. Routledge, 33(3), pp. 297–313. doi: 10.1080/03081061003732375.

Silva, C., Reis, J. P. e Pinho, P. (2014) «How Urban Structure Constrains Sustainable Mobility Choices: Comparison of Copenhagen and Oporto», *Environment and Planning B: Planning and Design*. SAGE Publications Ltd STM, 41(2), pp. 211–228. doi: 10.1068/b37138.

Sørensen, M. *et al.* (2014) «Combined effects of road traffic noise and ambient air pollution in relation to risk for stroke?», *Environmental Research*, 133, pp. 49–55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.05.011>.

Sygna, K. *et al.* (2014) «Road traffic noise, sleep and mental health», *Environmental Research*, 131, pp. 17–24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.02.010>.

Vilarinho, C. A. T. (2008) *Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas, Engenharia Civil*.

Wang, P. *et al.* (2012) «Understanding Road Usage Patterns in Urban Areas», *Scientific Reports*. The Author(s), 2, p. 1001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/srep01001>.