

AValiação MULTICRITÉRIO DA ACESSIBILIDADE: UM ESTUDO DE CASO NA SUB-REGIÃO DO VALE DO CÁVADO, NORTE DE PORTUGAL

Josiane Palma Lima

Universidade de São Paulo
EESC – Departamento de Transportes

Rui A. R. Ramos

Daniel S. Rodrigues

José F. G. Mendes

Universidade do Minho - Braga, Portugal
Departamento de Engenharia Civil

RESUMO

Um dos factores estruturais mais importantes para a promoção do desenvolvimento é sem dúvida a acessibilidade, considerada quer ao nível nacional/internacional quer ao nível regional/local. O objectivo deste artigo é apresentar um modelo de avaliação dos níveis de acessibilidade existentes numa determinada região. A acessibilidade é avaliada recorrendo a técnicas multicritério, permitindo assim diferenciar a importância relativa dos vários destinos. O modelo de avaliação multicritério da acessibilidade é implementado em ambiente SIG, permitindo assim uma avaliação espacial contínua da acessibilidade bem como a respectiva representação cartográfica. Através do estudo de caso apresentado, é possível identificar as potencialidades deste modelo no apoio à decisão no Planeamento Territorial. O estudo de caso, desenvolvido para a sub-região Portuguesa do Vale do Cávado, permite avaliar a acessibilidade local aos centros urbanos de relevância supra-regional, externos à sub-região.

ABSTRACT

Accessibility is one of the most important structural factors for the development promotion, considered or in the national/international level or in regional/local level. The goal of this article is to present an evaluation model of the accessibility levels in a particular region. The accessibility is evaluated using multicriteria techniques that allow differentiating the relative importance of multiples destinations. The accessibility multicriteria evaluation model is implemented in a GIS environment, thus allowing a continuous space evaluation of the accessibility as well as an appropriate cartographic representation. Through the case study presented is possible to identify the potentialities of this model as a support for Territorial Planning decision process. The case study developed for the Cávado Valley, a North Portuguese sub-region, evaluate the local accessibility to the main regional urban centers, externals to the sub-region.

1. INTRODUÇÃO

Em Portugal as directrizes da política rodoviária até 1985 estavam contidas no Plano Rodoviário Nacional (PRN) de 1945. No entanto e devido ao grande crescimento do tráfego automóvel e ao rápido avanço tecnológico, tornou-se necessária a sua revisão. O novo PRN foi então reformulado e consagrado em 1985, tendo sido efectuada a última revisão em 2000. O Plano representa a mais importante directiva nacional no domínio do sistema de transportes rodoviários e traduz as opções de rede viária ao nível do ordenamento do território. Uma vez que o Plano é desenvolvido para o nível nacional, justifica-se que, para sub-regiões se desenvolvam metodologias de avaliação da acessibilidade ajustadas à realidade local, atendendo à sua especificidade viária e sócio-económica.

O modelo aqui apresentado insere-se no contexto da necessidade de avaliação territorial das acessibilidades existentes em sub-regiões, o que permitirá à posteriori desenvolver estudos capazes de antecipar medidas e constituir um instrumento de suporte à tomada de decisão em matéria de planeamento da rede viária. Os objectivos consagrados no desenvolvimento do modelo são:

- a) avaliar, de forma integrada, os níveis de acessibilidade de uma determinada sub-região à rede viária regional e nacional;

- b) implementar ferramentas de monitorização dos níveis de acessibilidade que permitam actualizações periódicas em face de alterações nas variáveis relevantes.

Para a implementação da avaliação é desenvolvida uma modelação multicritério em ambiente SIG, o que permite uma melhor caracterização espacial da rede viária e dos dados complementares, bem como, uma mais fácil actualização posterior de todos os dados relevantes.

2. AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DA ACESSIBILIDADE

A acessibilidade é um tema que não deveria ser esquecido por aqueles que estudam e discutem o planeamento de uma região, sendo ela de pequena ou de grande dimensão. O conceito de acessibilidade vem sendo discutido à muitos anos por vários autores, salientando-se as definições seguintes. Ingram (1971) definiu acessibilidade como sendo a característica (ou vantagem) inerente a um local no que diz respeito a vencer alguma forma de resistência ao movimento. Ingram (1971) também estabeleceu a diferença entre acessibilidade relativa, que considera o grau de conexão entre dois pontos na mesma superfície, e acessibilidade integral (ou global), que considera o grau de conexão entre um ponto e todos os outros pontos na mesma superfície.

Hoggart (1973) sustenta que a acessibilidade refere-se à interpretação, implícita ou explícita, da facilidade de contacto com oportunidades de alguma forma distribuídas no espaço. Isto significa que a acessibilidade depende não somente da localização das oportunidades, mas também da facilidade com que se ultrapassa as separações espaciais entre as origens e os destinos. Mais tarde, Morris *et al.* (1979) apresentam uma classificação e formulação de medidas de acessibilidade relativa e acessibilidade integral. Na última, incluem medidas de separação entre todos os pontos de uma rede, medidas de separação incorporando a influência da distância, medidas de separação incorporando restrições de capacidade na rede e medidas compostas de separação e oferta/procura. A classificação proposta por Morris *et al.* (1979) abriu caminho para vários outros autores definirem medidas de acessibilidade de acordo com objectivos específicos a alcançar e de formas muito diversificadas (ver Allen *et al.*, 1993; Love e Lindquist, 1995 e Waerden *et al.*, 1999).

A acessibilidade pode ser avaliada de várias maneiras, em função do propósito que se pretende atingir. Podemos considerar três níveis de relacionamento entre as variáveis associadas às actividades e ao sistema de transporte na determinação de índices de acessibilidade (Rosado e Ulisséa Neto, 1999):

- interacção espacial, cuja magnitude evidencia-se pelo número de viagens realizadas;
- acessibilidade, cujo índice reflecte um potencial de interacção espacial e
- mobilidade, cuja medida traduz o grau de impedância ao deslocamento.

O estudo desenvolvido concentra-se neste terceiro nível, a mobilidade, permitindo avaliar os níveis de acessibilidade considerando os destinos a que as populações normalmente se deslocam (destinos-chave) e as dificuldades à mobilidade encontradas ao longo do percurso. Os destinos-chave são ainda hierarquizados e agrupados de acordo com as necessidades das populações af se deslocarem, motivadas pelas funcionalidades disponibilizadas. A impedância, por seu lado, identifica as dificuldades ao deslocamento tanto pelas características da rede viária existente como pela morfologia do território.

Para a avaliação da acessibilidade admite-se que:

- a acessibilidade avalia-se por objectivo, neste caso, a necessidade de se aceder a determinados destinos-chave;
- o índice de acessibilidade é uma medida que incorpora o efeito da distância e resulta da combinação das distâncias a um conjunto de destinos-chave;
- os destinos-chave são caracterizados pelo objetivo/propósito em se af deslocar, pelo que possuem importâncias diferentes (pesos dos destinos-chave);
- os destinos-chave são alcançados através da rede viária existente, podendo os seus segmentos apresentar níveis de impedância diferenciados (por exemplo, devido às condições das vias, devido às velocidades praticadas, ao volume de tráfego instalado, etc.);
- as distâncias-custo resultam da aplicação da impedância às distâncias medidas ao longo da rede;
- o índice de acessibilidade de cada ponto da rede resulta da soma ponderada das distâncias-custo normalizadas, através de funções *fuzzy*, aos destinos-chave considerados.

A forma adoptada para a quantificação da importância dos vários destinos-chave, ou seja a sua importância na avaliação da acessibilidade e a forma de agregação, é estabelecida no modelo desenvolvido recorrendo a técnicas de Avaliação Multicritério (MCE - *Multicriteria Evaluation*). No modelo admite-se que os destinos-chave funcionam como critérios na avaliação da acessibilidade, ou seja, que possuem importâncias distintas que serão traduzidas em contribuições diferenciadas no valor final do índice de acessibilidade. Num processo MCE os aspectos críticos são a avaliação de pesos para os diferentes critérios considerados, a normalização dos valores obtidos para os vários critérios e a sua agregação. Para uma melhor compreensão destes aspectos, incluindo uma descrição detalhada das metodologias possíveis, ver Lima *et al.* (2000), Mendes (2000, 2001), Ramos (2000) e Rodrigues (2001).

A quantificação do índice de acessibilidade (A_i) em cada ponto (i) da rede é traduzido pela equação (1) e resulta da agregação dos vários valores (c_{ij}) obtidos na avaliação dos critérios, isto é, os valores de distâncias-custo a cada destino-chave (j), admitindo a sua normalização por funções *fuzzy* ($f(c_{ij})$) e pesos (w_j) para a hierarquização dos destinos-chave (j).

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

A equação (1) corresponde a uma Combinação Linear Pesada (WLC - *Weighted Linear Combination* - Voogd, 1983) que permite aos critérios compensar entre eles as suas qualidades (*trade-off*). No caso do índice de acessibilidade, este tipo de agregação admite que a pior acessibilidade a um destino mais procurado pode ser compensada pela existência de melhores acessibilidades a múltiplos destinos de procura inferior. No entanto, os vários destinos-chave em análise podem ser complementares ou equivalentes, pelo que, dever-se-á considerar o seu agrupamento em valências funcionais. Nesta situação, a agregação não deverá ser feita para todos os destinos-chave, mas sim para grupos de destinos-chave com funcionalidades similares. Deste modo, o índice de acessibilidade passa a ser avaliado por grupos de destinos-chave.

Mantendo o processo de agregação WLC, a equação (1) é ajustada de modo a ser avaliada a acessibilidade a cada grupo de destinos-chave, ou seja, a equação (2). Nesta nova equação, o índice de acessibilidade (A_i^g) passa a ser quantificado para cada grupo g de destinos-chave e

os pesos (w_j^g) são definidos para cada destino j dentro de cada grupo g , sendo n_g o número de destinos-chave pertencentes ao grupo g considerado.

$$A_i^g = \sum_j^{n_g} f(c_{ij})w_j^g \quad (2)$$

Para se obter então o índice de acessibilidade global, deverá ser novamente implementada a agregação WLC aos índices de acessibilidade obtidos para cada um dos grupos. Nesta agregação serão considerados diferentes pesos para os diferentes grupos (w_g), obtendo-se então o índice de acessibilidade global (A_i) para cada um dos nós i da rede através da equação (3):

$$A_i = \sum_g A_i^g w_g \quad (3)$$

Para que os valores das distâncias-custo possam ser agregados é necessária a sua normalização. O processo de normalização aqui proposto é idêntico ao processo de *fuzzification* introduzido pela lógica *Fuzzy*, segundo o qual um conjunto de valores expresso numa dada escala é convertido num outro comparável e expresso numa escala normalizada (por exemplo 0-1). O resultado expressa um grau relativamente à pertença a um conjunto (designado por *fuzzy membership* ou possibilidade) que varia de 0 a 1, indicando um crescimento contínuo desde não-pertença até pertença total, na base do critério submetido ao processo de *fuzzification*. *Fuzzification* é a expressão original apresentada por Zadeh (1965), para a qual não se adoptou qualquer tradução. O mesmo se passa para a palavra *fuzzy*.

Para a normalização, várias são as funções que se podem utilizar para reger a variação entre o valor máximo e o ponto mínimo, ponto a partir do qual a distância-custo, neste caso, se torna irrelevante e portanto não traz qualquer contributo ao processo de decisão. Neste estudo a função adoptada, representada na Figura 1, é do tipo sigmoidal decrescente, pois considera-se ser a que melhor se adapta à *fuzzification* da variável distância-custo.

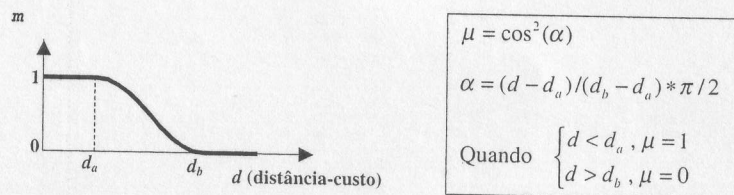


Figura 1: Função *fuzzy* sigmoidal decrescente

Os pontos a e b da curva *fuzzy* adoptada constituem pontos de controle e devem ser calibrados em cada situação. O ponto a é o ponto a partir do qual se considera que começa a ser relevante o afastamento ao destino-chave e o ponto b é o ponto a partir do qual o afastamento deixa de ter significado para a decisão.

Para a avaliação contínua do espaço é desenvolvida uma generalização dos valores obtidos pontualmente para o território. Nesta generalização admite-se que o espaço não é homogêneo e que portanto fora da rede principal de estradas a deslocação é acentuadamente mais difícil. A avaliação, para as zonas fora da rede considerada, é feita recorrendo a uma superfície de fricção, a qual traduz a dificuldade na deslocação viária fora da rede considerada. A fricção resulta fundamentalmente das características morfológicas do território em análise.

Para aplicar o modelo é necessário que sejam conhecidos os seguintes dados: a rede viária existente, os destinos-chave, as funcionalidades dos destinos-chave, os pesos a aplicar aos destinos-chave e aos grupos de destinos-chave, as funções de normalização a adoptar e a morfologia do território.

3. APLICAÇÃO DO MODELO EM AMBIENTE SIG

O NCGIA (1990) definiu Sistema de Informação Geográfica (SIG) como um sistema de *hardware*, *software* e procedimentos definidos para realizar a captura, armazenamento, manipulação, análise, modelação e apresentação de dados referenciados espacialmente, visando a resolução de problemas complexos de gestão e planeamento. Este tipo de ferramenta revolucionou a monitorização e gestão dos recursos naturais e uso do solo, não sendo portanto surpreendente o interesse crescente no desenvolvimento de abordagens de suporte à decisão baseadas em SIG (Janssen e Rietveld, 1990; Carver, 1991; Honea *et al.*, 1991; Eastman *et al.*, 1993, 1994, 1998). Os SIG podem ser facilmente utilizados para implementar análises espaciais complexas, através de operações lógicas e matemáticas sobre grande quantidade de informação e de diversas origens, e facilitando a visualização dos resultados através de imagens (mapas ou cartas) ou tabelas alfanuméricas (Ramos, 2000).

O modelo para avaliação multicritério da acessibilidade apresentado anteriormente é de fácil integração em ambiente SIG, visto que, após a digitalização dos dados espaciais e a organização dos dados alfanuméricos em tabelas é possível recorrer à análise de redes e à álgebra de mapas para implementar o modelo em causa. A Figura 2 representa a estrutura (modelo) utilizada para a avaliação multicritério da acessibilidade em ambiente SIG.

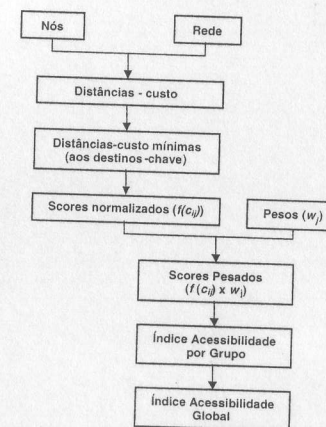


Figura 2: Modelo de avaliação multicritério da acessibilidade

Após a digitalização da rede, o primeiro passo consiste em calcular as distâncias-custo em função da impedância dos arcos, podendo-se assim obter as distâncias-custo mínimas (c_{ij}) de cada nó a cada destino-chave. Em seguida é feita a normalização desses valores recorrendo às funções *fuzzy* adotadas e devidamente calibradas, obtendo-se os *scores* $f(c_{ij})$. Da aplicação dos pesos de cada destino-chave aos *scores* obtidos resultam os respectivos *scores* pesados.

Recorrendo à equação (2) obtêm-se então os índices de acessibilidade para cada grupo de destinos-chave e, finalmente, o índice de acessibilidade global (A_{ij}), através da equação (3). As Figuras 3 e 4 representam a modelação utilizada na generalização dos índices de acessibilidade a todo o território. A Figura 3 exemplifica como se pode obter a superfície de fricção e o mapa de índices de acessibilidade. Neste exemplo apenas se considera o efeito do relevo como impeditivo à boa circulação viária, considerando quatro classes de valores para a fricção e considerando um valor unitário nas estradas. A partir do mapa de declives, derivado do modelo numérico do terreno, e implementando uma reclassificação, obtém-se o mapa de fricção territorial. Como os valores considerados para a reclassificação do declive, e apresentados na figura 3, apenas devem ser aplicados fora da rede viária, o mapa final de fricção resulta de uma operação de sobreposição (*1st cover 2nd except where zero*) entre o mapa em que as estradas possuem o valor um e fora das estradas o valor zero e o mapa com a superfície de fricção territorial a considerar. Por fim, a partir do mapa da acessibilidade a destino-chave e do mapa de fricção, obtém-se o mapa com os índices de acessibilidade para a totalidade do território em análise.

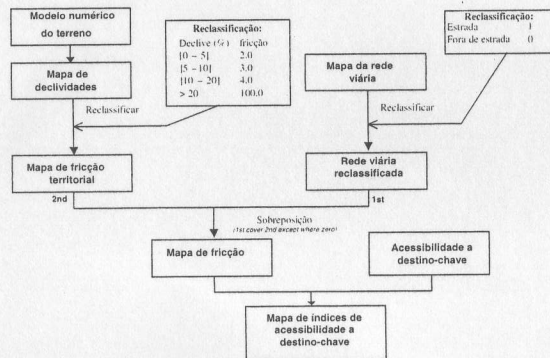


Figura 3: Generalização territorial da acessibilidade a destino-chave

A Figura 4 mostra como se obtém o Mapa de Acessibilidade Global para todo o território. Começa-se por normalizar os valores obtidos nos mapas de distâncias-custo a cada destino-chave, seguindo-se a sua agregação atendendo aos respectivos pesos. Depois de se terem obtido os mapas de distâncias-custo normalizados e pesados para cada grupo de destinos-chave é feita nova agregação, mas desta vez atendendo aos pesos de cada grupo de destinos-chave.

4. CASO DE ESTUDO: ACESSIBILIDADE NO VALE DO CÁVADO

Numa área de aproximadamente 2370 Km² na região Norte de Portugal, com cerca de 410 mil habitantes, localiza-se a sub-região do Vale do Cávado (ver Figura 5), estendendo-se no sentido nascente-foz do Rio Cávado. A Associação de Municípios do Vale do Cávado (AMVC), que agrupa nove Concelhos, Amares, Barcelos, Braga, Esposende, Montalegre, Terras de Bouro, Póvoa de Lanhoso, Vieira do Minho e Vila Verde, foi constituída visando facilitar a realização de objectivos comuns e deste modo coordenar políticas de desenvolvimento para a sub-região. Às Câmaras Municipais de Portugal é conferido um papel interventivo na definição e execução das políticas de transportes locais. Neste quadro, em 1999, surgiu o Plano de Desenvolvimento Integrado do Vale do Cávado (PDIVC), procurando

estabelecer uma expressão substantiva a uma estratégia para o desenvolvimento do território de intervenção da AMVC.

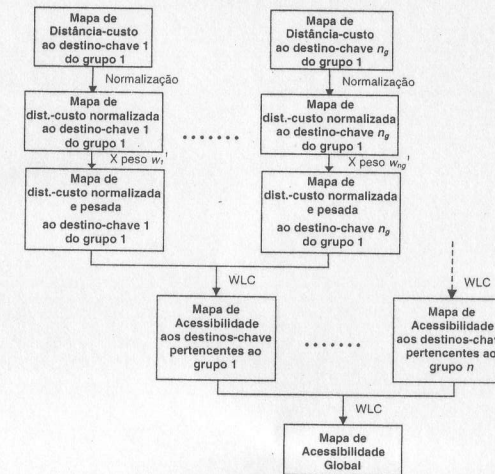


Figura 4: Mapa de acessibilidade global

Para avaliar a acessibilidade na sub-região do Vale do Cávado foi utilizada a metodologia apresentada anteriormente. A avaliação é feita para destinos-chave externos à região, mas com características funcionais para todo o Norte de Portugal. Na Figura 5 é identificada a localização dos vários municípios que englobam a sub-região e a respectiva rede viária.

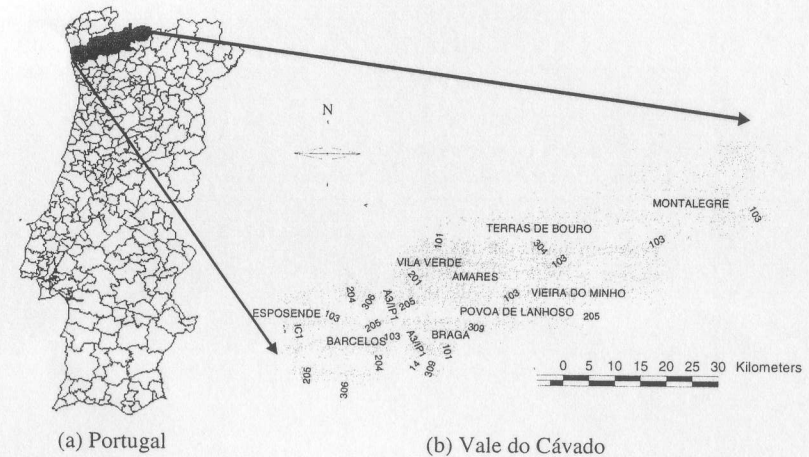


Figura 5: Vale do Cávado – Localização, Municípios e estradas principais

Pela análise da rede viária constata-se que esta é mais densa na zona Oeste (litoral) e que existem predominantemente ligações Norte-Sul, que ligam a parte Norte do País e a Galiza à região a sul do vale do Cávado onde se situa a cidade do Porto, a segunda maior cidade do País. Na zona Este existem menos ligações, apenas uma estrada faz a ligação à região Nordeste do País. Uma das principais razões para este facto é sem dúvida esta zona ser bastante montanhosa e existir uma menor densidade populacional que no litoral, onde se concentram os principais aglomerados urbanos da sub-região. Braga, que é o principal centro urbano da sub-região concentra as principais ligações Este-Oeste e Norte-Sul, situando-se a 30km da linha de costa. Na Figura 6 é apresentada a rede viária interna à sub-região considerada no estudo efectuado.

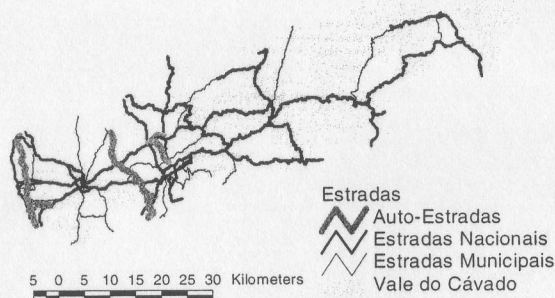


Figura 6: Vale do Cávado – Rede viária

Neste estudo a escolha dos destinos-chave foi feita tendo como base as opções tomadas no Plano Estratégico de Desenvolvimento do Vale do Cávado (1995), sendo estes agrupados de acordo com a lógica da sua funcionalidade e divididos em quatro grandes grupos: (1) centros urbanos sedes de distrito ou equiparados; (2) centros urbanos de influência supra-concelhia; (3) centros urbanos relevantes na vizinha Espanha; e (4) portos e aeroportos. A presença das cidades espanholas deve-se à grande interligação sócio-económica existente entre o Norte de Portugal e a vizinha Galiza.

Os pesos adoptados para cada destino-chave foram idênticos dentro de cada um dos grupos, por se considerar que possuem importâncias idênticas. Os pesos adoptados para os grupos foram diferenciados, tendo-se considerado maior peso para o grupo 1, um peso ligeiramente inferior para o grupo 2 e um peso ainda menor quer para o grupo 3 quer para o grupo 4. Na Tabela 1 são apresentados os vários destinos-chave em análise com os respectivos pesos, bem como os quatro grupos considerados e também os seus respectivos pesos. A Tabela 2 apresenta os pontos de controle das funções *fuzzy* sigmoidal utilizadas para normalizar os valores das distâncias-custo aos destinos-chave. Admitiu-se que destinos-chave pertencentes a um mesmo grupo possuem os mesmos pontos de controle.

Com base no Modelo Numérico do Terreno, da sub-região, é derivado o Mapa de fricção, apresentado na Figura 7, que atende à reclassificação proposta na Figura 3.

Tabela 1: Vale do Cávado - Grupos de Destinos-chave, Destinos-chave e respectivos pesos

Grupo de destinos-chave	Pesos	Destinos-chave	Pesos
1 - Sede de distrito e centros urbanos equiparados	0.33	Guimarães	0.25
		Porto	0.25
		Viana do Castelo	0.25
		Vila Real	0.25
2 - Centros urbanos de influência supra-concelhia	0.25	Chaves	0.20
		Felgueiras	0.20
		Póvoa de Varzim	0.20
		Vila do Conde	0.20
		Vila Nova de Famalicão	0.20
3 - Centros urbanos no país vizinho	0.21	Vigo	0.50
		Orense	0.50
		Porto de Leixões	0.20
4 - Portos e Aeroportos	0.21	Porto de Viana do Castelo	0.20
		Porto de Vigo	0.20
		Aeroporto Sá Carneiro	0.20
		Aeroporto de Vigo	0.20

Tabela 2 – Vale do Cávado - Pontos de controle da função *fuzzy*

Grupo de destinos-chave	d_a (km)	d_b (km)
1 - Sede de distrito e centros urbanos equiparados	0	60
2 - Centros urbanos de influência supra-concelhia	0	90
3 - Centros urbanos no país vizinho	0	120
4 - Portos e Aeroportos	60	150

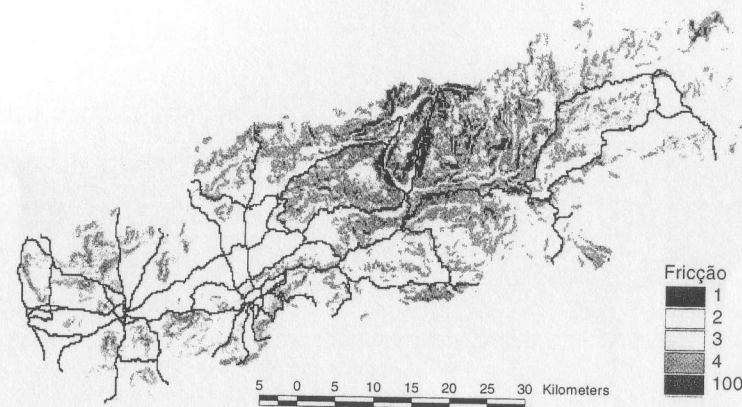


Figura 7: Vale do Cávado – Mapa de fricção

Para a implementação do modelo obtiveram-se os mapas de distância-custo aos vários destinos-chave considerados, procedendo-se em seguida à sua normalização. Na Figura 8 é apresentada a normalização para o caso do destino-chave Guimarães, cidade a sul da sub-região e situada a cerca de 15km da sua fronteira. Pela comparação das duas imagens fica perceptível o processo de *fuzzification*, em que se admitiu um valor de d_b igual a 90km, pois a parte mais escura do mapa, onde estão as zonas que possuem pior acessibilidade a Guimarães, aumentou após a normalização.

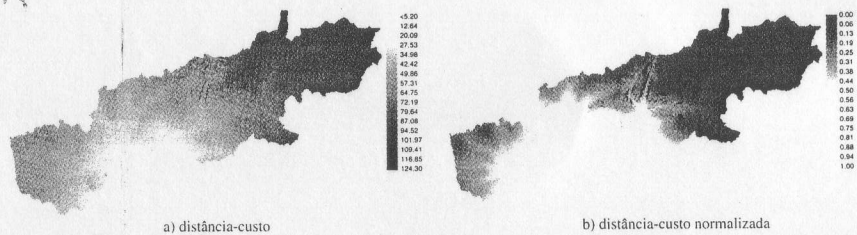


Figura 8: Vale do Cávado – Mapas do destino-chave Guimarães, antes e após normalização

Na Figura 9 são apresentados os mapas obtidos para os quatro grupos de destinos-chave considerados. Pela sua análise constata-se que a acessibilidade aos destinos dos Grupos 1 e 3 é baixa para quase a totalidade da região, exceptuando as zonas próximas das Auto-estradas (ver Figura 6) e das estradas a elas conectadas. Relativamente aos Grupos 2 e 4 a acessibilidade melhora, mas por razões diferentes para os dois grupos. No caso do Grupo 2 a principal razão é a proximidade desses destinos à sub-região e o aproveitamento de toda a rede viária existente. Relativamente ao grupo 4, a razão principal é a de os destinos-chave se situarem num raio de cerca de 120km a partir do centro da sub-região, e mais junto à região Oeste, e a função adoptada para a normalização admitir distâncias elevadas para os pontos de controlo (ver Tabela 2).

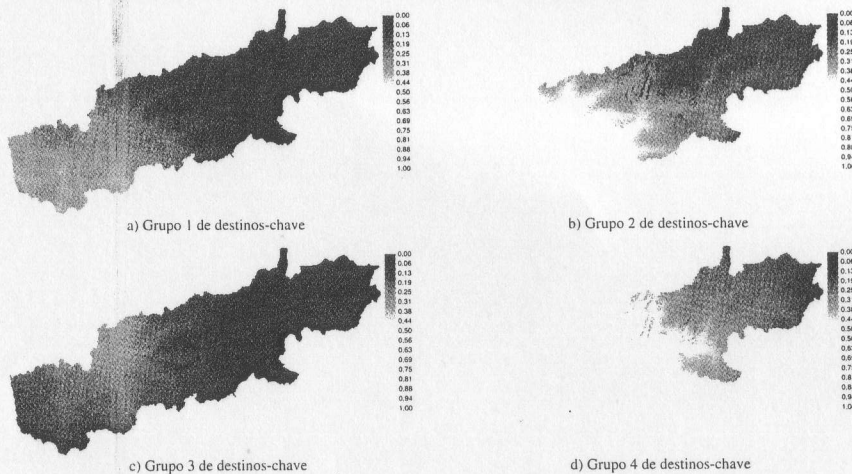


Figura 9: Vale do Cávado – Índice de acessibilidade por grupo de destinos-chave

O Mapa explicitando os Índices de Acessibilidade Global é apresentado na Figura 10, em que se representa ainda a rede viária e os principais aglomerados urbanos da sub-região.

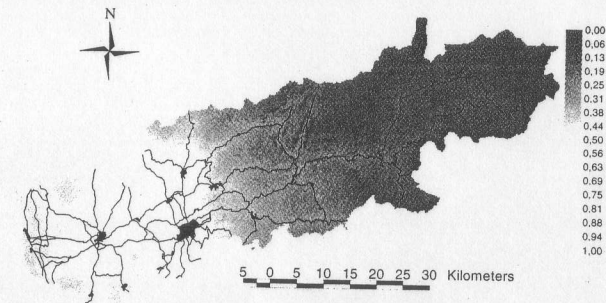


Figura 10: Vale do Cávado - Índice de Acessibilidade Global, rede viária e principais aglomerados urbanos

Pela análise do Mapa verifica-se que a zona Oeste, sensivelmente até metade da sub-região, possui índices de acessibilidade relativamente uniformes mas que para Este os valores dos índices se aproximam muito do zero. Analisando a distribuição espacial dos principais aglomerados urbanos sobre o mapa constata-se que poucos se situam no interior Este, ou seja, a maioria se situa na zona de índices quase uniformes. O elevado número de vias existentes na região Oeste contribui fortemente para a uniformidade do Índice de Acessibilidade nessa zona. No entanto, algumas das vias dessa zona são de construção recente, o que parece demonstrar ter havido opções de planeamento territorial para a sub-região que contemplam de forma diferenciada o interior e o litoral. O Mapa mostra ainda a existência de lacunas na articulação entre estas duas zonas, o que poderá vir a estimular dinâmicas repulsivas e a menor fixação de recursos humanos na parte interior da sub-região. Estas dinâmicas populacionais poderão ser brevemente verificadas aquando da publicação dos Censos de 2001, confrontando os novos valores da distribuição da população com os dos Censos de 1991.

5. CONCLUSÕES

Do ponto de vista instrumental, o modelo apresentado afigura-se interessante pelo facto de emular de forma simples o conceito de acessibilidade, para além de o integrar numa ferramenta poderosa de análise espacial. A exploração do modelo pode assumir formatos de utilização prática como: (i) A identificação de zonas de baixa acessibilidade em sub-regiões não estudadas por planos mais abrangentes; (ii) apoio à decisão em políticas de ordenamento territorial através da comparação de resultados para múltiplas alternativas de soluções para novas opções viárias. Pelo Caso de Estudo apresentado a aplicabilidade do modelo ficou amplamente demonstrada, quer na perspectiva da sua operacionalidade, quer na perspectiva da sua utilidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para Ciência e Tecnologia – Portugal, pelo apoio financeiro que possibilitou o desenvolvimento desse Projecto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, W. B.; D. Liu e Singer, S. (1993) Accessibility measures of U.S. metropolitan areas. *Transportation Research, Part B, Methodological*, v. 27, n. 6, p. 439-50.
- Carver, S. J. (1991) Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographic Information Systems*, v. 5 n. 3, p. 321-339.

- Eastman, J. R.; W. Jin; P. A. K. Keyem e J. Toledano (1993) GIS and decision making, explorations. *In Geographic Information System Technology*, v. 4. Geneve: UNITAR – The United Nations Institute for Training and Research.
- Eastman, J. R.; W. Jin; P. A. K. Keyem e J. Toledano (1994) Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 61, n. 5, p.539-547.
- Eastman, J. R.; H. Jiang e J. Toledano (1998) Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS. *In: Beinart, E. e P. Nijkamp (eds.) Multicriteria Analysis for Land-Use Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 227-251.
- Hoggart, K. (1973) *Transportation accessibility: some references concerning applications, definitions, importance and index construction*. Monticello, Council of Planning Librarians: Exchange Bibliography 482, 42p.
- Honea, R. B.; R. C. Hake e R. C. Durfee (1991) Incorporating GIS into decision support systems: where have we come from and where do we need to go. *In: Heit, M. e A. Shortreid (eds.) GIS Applications in Natural Resources*. Fort Collins: GIS World Inc.
- Ingram, D. R. (1971) The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies*, v. 5, n. 2, p. 101-7.
- Janssen, R. e P. Rietveld (1990) Multicriteria analysis and GIS: an application to agricultural land use in the Netherlands. *In: Scholten, H. J. e J. C. H. Stillwell (eds.) Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p.129-139.
- Lima, R. S.; J. F. G. Mendes; A. N. R. Silva e A. L. M. Silva (2000) Uma avaliação da qualidade de vida em São Carlos – SP. *Anais do IX Congresso Ibero-americano de Urbanismo*, Recife-PE (anais eletrônicos)
- Love, D. e P. Lindquist (1995) The geographical accessibility of hospitals to the aged: a Geographic Information Systems analysis within Illinois. *Health Services Research*, v. 29, n. 6, p. 629-652.
- Mendes, J. F. G. (2001) Multicriteria accessibility evaluation using GIS as applied to Industrial Location in Portugal. *Earth Observation Magazine*, v. 10, n. 2, p. 31-35.
- Mendes, J. F. G. (2000) Decision strategy spectrum for the evaluation of quality of life in cities. *In: Seik, F. T.; L. L. Yuan e G. W. K. Mie (eds.) Planning for a Better Quality of Life in Cities*, p. 35-53, School of Building and Real Estate, NUS, Singapore.
- Morris, J. M.; P. L. Dumble e M. R. Wigan (1979) Accessibility indicators for transport planning. *Transportation Research. Part A, Policy and practice*, v. 13, n. 2, p. 91-109.
- NCGIA – National Center of Geographic Information and Analysis (1990). *NCGIA Core Curriculum*. Santa Barbara: University of California.
- PDIVC (1995) Estudo da Rede Viária, Relatório Sectorial de 1ª fase. *Plano de Desenvolvimento Integrado do Vale do Cávado*. TecnicaVado, Braga, Portugal.
- Ramos, R. A. R. (2000) *Localização Industrial – Um Modelo Espacial para o Noroeste de Portugal*. Tese (Doutorado). Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- Rodrigues, D. S. (2001) *Avaliação Multicritério da Acessibilidade em ambiente SIG*. Dissertação de mestrado. Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- Rosado, M. C. e I. Ulisséa Neto (1999) Determinação de índices de acessibilidade a serviços de educação utilizando Sistema de Informação Geográfica. *Anais do XIII Congresso da Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, São Carlos, v.1, p 29-39.
- Voogd, H. (1983) *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. London: Pion Ltd.
- Waerden, P. van der.; A. Borgers; H. Timmermans; J. Smeets e A. N. R. Silva (1999) The validity of conventional accessibility measures: objective scores versus subjective evaluations. *Anais do XIII Congresso da Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, São Carlos, v. 1, p. 40-49.
- Zadeh, L. A. (1965) Fuzzy Sets. *Information and Control*, v. 8, p.338-353.

Endereço dos autores:

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de S. Carlos, Depto. de Transportes
Av. Trabalhador São-carlense, 400
13566-590 – S. Carlos, SP, Brasil

Fone: (16)273-9601
Fax: (16)273-9602
E-mail: jpalma@sc.usp.br

Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Gualtar
4710-057 –Braga, Portugal

Telefone: +351.253.604720
Fax: +351.253.604721
E-mail: rui.amos@civil.uminho.pt

AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO E SIG VECTORIAL: UMA ALTERNATIVA PARA PLANEAMENTO DE TRANSPORTES

Daniel Souto Rodrigues ¹
Antônio Néelson Rodrigues da Silva ²
José Fernando Gomes Mendes ¹

¹ Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil
² Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes

RESUMO

Este trabalho tem por objectivo apresentar um modelo concebido para permitir a integração de métodos de avaliação multicritério em ambiente SIG vectorial. A avaliação da acessibilidade, aqui modelada, para além de ser um problema típico, complexo e quase permanente no planeamento de transportes, adequa-se bem ao modelo concebido pelo fato de conter alguns dos principais elementos que caracterizam os problemas de transportes (caso da análise de fluxos em rede). O modelo proposto, além de basear-se na medição de afastamento incluindo o efeito da distância, permite também o desenvolvimento de cenários de avaliação baseados na atitude de risco e compensação entre critérios, obtendo-se desta forma um espectro estratégico de avaliação. Por fim, um exemplo de aplicação que consiste na avaliação interna de um campus universitário em Portugal, aponta o potencial do modelo proposto para a avaliação da acessibilidade, abrindo perspectivas para sua aplicação em outros problemas de transportes.

ABSTRACT

The aim of this work is to present a model built to allow the integration of multicriteria evaluation methods into a vector GIS environment. The accessibility assessment, which was explored here, in addition to be a typical, complex and almost permanent problem of transport planning, fits well to the conceived model because it contains some of the main elements that characterize transport models (such as flow network analysis). The proposed modeling approach, which is more than merely a measure of separation incorporating the effect of distance, allows the development of evaluation scenarios based on different trade-off and risk attitudes, i.e., a decision strategy spectrum. Finally, an application example, which consists in the internal evaluation of a university campus in Portugal, reveals the potential of the proposed model for evaluating accessibility, therefore opening perspectives to its application to other transport problems.

1. INTRODUÇÃO

Para melhor compreender os fundamentos da técnica de avaliação multicritério, foco principal deste estudo, é preciso recorrer a diversos conceitos. No âmbito da TEORIA DA DECISÃO, por exemplo, define-se DECISÃO como a escolha entre ALTERNATIVAS. As ALTERNATIVAS podem representar diferentes localizações, planos, classificações, hipóteses sobre um fenómeno, etc. Um CRITÉRIO representa uma condição que, contribuindo para a tomada de decisão, se pode quantificar ou avaliar. Existem dois tipos de critérios: EXCLUSÕES ou FACTORES. Uma EXCLUSÃO é um critério que limita as alternativas em consideração na análise. Distinguem-se ainda dois tipos de exclusões: as que definem as alternativas não elegíveis a excluir do espaço inicial de soluções possíveis (limitações ao espaço de análise) e as que visam garantir que a solução final englobe algumas características preestabelecidas. Por seu turno, um FACTOR é um critério que acentua ou diminui a aptidão de uma determinada alternativa para o objectivo em causa. Geralmente, a medida da aptidão é efectuada adoptando uma dada escala e de forma a abranger todo o espaço de solução inicialmente definido.

O procedimento que define como combinar os critérios para obter uma determinada avaliação, inclusive como comparar as avaliações com o intuito de tomar decisões, designa-se por REGRA DE DECISÃO. Na sua forma mais comum, uma regra de decisão fornece procedimentos para normalizar e combinar diferentes critérios que resultam na obtenção de um índice composto, bem como de uma regra que rege a comparação entre alternativas com base nesse índice. Enquadradas no contexto de um objectivo específico, as regras de decisão estruturar-

- Eastman, J. R.; W. Jin; P. A. K. Keyem e J. Toledano (1993) GIS and decision making, explorations. *In Geographic Information System Technology*, v. 4. Geneve: UNITAR – The United Nations Institute for Training and Research.
- Eastman, J. R.; W. Jin; P. A. K. Keyem e J. Toledano (1994) Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 61, n. 5, p.539-547.
- Eastman, J. R.; H. Jiang e J. Toledano (1998) Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS. *In: Beinat, E. e P. Nijkamp (eds.) Multicriteria Analysis for Land-Use Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 227-251.
- Hoggart, K. (1973) *Transportation accessibility: some references concerning applications, definitions, importance and index construction*. Monticello, Council of Planning Librarians: Exchange Bibliography 482, 42p.
- Honea, R. B.; R. C. Hake e R. C. Durfee (1991) Incorporating GIS into decision support systems: where have we come from and where do we need to go. *In: Heit, M. e A. Shortreid (eds.) GIS Applications in Natural Resources*. Fort Collins: GIS World Inc.
- Ingram, D. R. (1971) The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies*, v. 5, n. 2, p. 101-7.
- Janssen, R. e P. Rietveld (1990) Multicriteria analysis and GIS: an application to agricultural land use in the Netherlands. *In: Scholten, H. J. e J. C. H. Stillwell (eds.) Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p.129-139.
- Lima, R. S.; J. F. G. Mendes; A. N. R. Silva e A. L. M. Silva (2000) Uma avaliação da qualidade de vida em São Carlos – SP. *Anais do IX Congresso Ibero-americano de Urbanismo*, Recife-PE (anais eletrônicos)
- Love, D. e P. Lindquist (1995) The geographical accessibility of hospitals to the aged: a Geographic Information Systems analysis within Illinois. *Health Services Research*, v. 29, n. 6, p. 629-652.
- Mendes, J. F. G. (2001) Multicriteria accessibility evaluation using GIS as applied to Industrial Location in Portugal. *Earth Observation Magazine*, v. 10, n. 2, p. 31-35.
- Mendes, J. F. G. (2000) Decision strategy spectrum for the evaluation of quality of life in cities. *In: Seik, F. T.; L. L. Yuan e G. W. K. Mie (eds.) Planning for a Better Quality of Life in Cities*, p. 35-53. School of Building and Real Estate, NUS, Singapore.
- Morris, J. M.; P. L. Dumble e M. R. Wigan (1979) Accessibility indicators for transport planning. *Transportation Research. Part A, Policy and practice*, v. 13, n. 2, p. 91-109.
- NCGIA – National Center of Geographic Information and Analysis (1990). *NCGIA Core Curriculum*. Santa Barbara: University of California.
- PDIVC (1995) Estudo da Rede Viária, Relatório Sectorial de 1ª fase. *Plano de Desenvolvimento Integrado do Vale do Cávado*. TecnicaVado, Braga, Portugal.
- Ramos, R. A. R. (2000) *Localização Industrial – Um Modelo Espacial para o Noroeste de Portugal*. Tese (Doutorado). Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- Rodrigues, D. S. (2001) *Avaliação Multicritério da Acessibilidade em ambiente SIG*. Dissertação de mestrado. Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- Rosado, M. C. e I. Ulisséa Neto (1999) Determinação de índices de acessibilidade a serviços de educação utilizando Sistema de Informação Geográfica. *Anais do XIII Congresso da Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, São Carlos, v.1, p 29-39.
- Voogd, H. (1983) *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. London: Pion Ltd.
- Waerden, P. van der.; A. Borgers; H. Timmermans; J. Smeets e A. N. R. Silva (1999) The validity of conventional accessibility measures: objective scores versus subjective evaluations. *Anais do XIII Congresso da Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*. ANPET, São Carlos, v. 1, p. 40-49.
- Zadeh, L. A. (1965) Fuzzy Sets. *Information and Control*, v. 8, p.338-353.

Endereço dos autores:

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de S. Carlos, Depto. de Transportes
Av. Trabalhador São-carlense, 400
13566-590 – S. Carlos, SP, Brasil

Fone: (16)273-9601
Fax: (16)273-9602
E-mail: jpalma@sc.usp.br

Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil
Campus de Gualtar
4710-057 –Braga, Portugal

Telefone: +351.253.604720
Fax: +351.253.604721
E-mail: rui.amos@civil.uminho.pt