



**Departamento de Engenharia Civil  
Escola de Engenharia  
Universidade do Minho**

# **AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DE ACESSIBILIDADE EM AMBIENTE SIG**

**Daniel Souto Rodrigues**

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Municipal

**Braga, 2001**



**Departamento de Engenharia Civil  
Escola de Engenharia  
Universidade do Minho**

# **AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DE ACESSIBILIDADE EM AMBIENTE SIG**

**Daniel Souto Rodrigues**

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Municipal

Orientador científico:  
Professor José Fernando Gomes Mendes

Co-Orientador científico:  
Professor Rui António Rodrigues Ramos

**À Isabel**

# Agradecimentos

Em primeiro lugar, desejo manifestar o meu reconhecimento ao Professor José Mendes, supervisor científico deste trabalho, e ao Professor Rui Ramos, co-supervisor científico, pelas orientações, sugestões e críticas, pela disponibilidade e empenho constante em transmitir-me seus vastos conhecimentos que inequivocamente contribuem para a valorização da minha formação. Este apoio e orientação dedicada muito contribuíram para atingir os objectivos inicialmente planeados.

À Universidade do Minho, na pessoa do seu Reitor, e ao Departamento de Engenharia Civil, na pessoa do seu Director, agradeço as boas condições de trabalho encontradas nomeadamente no Laboratório de Sistemas de Informação Geográfica do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.

Ao Gabinete de Instalações Definitivas da Universidade do Minho pela cedência da planta do campus em formato digital.

A todos os inquiridos, constituintes da amostra da comunidade utente interveniente na definição do modelo, pela disponibilidade e contribuição prestadas sem as quais a realização deste trabalho não teria sido possível.

A todos os colegas do Grupo Disciplinar de Planeamento e Arquitectura, do DEC-UM, pelo apoio concedido durante o decurso dos trabalhos.

Aos restante colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho pelo incentivo e pelo ambiente de amizade e de entreaajuda proporcionado.

De uma forma muito especial, agradeço à Isabel que desde o início me apoiou e encorajou, merecendo todo o meu carinho e admiração pela compreensão evidenciada nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos, obrigado simplesmente por serem meus amigos.

Por último, um obrigado muito especial aos meus Pais, aos meus Sogros, ao Fabien e à Helena pelas suas palavras de encorajamento e de apoio que se revestem, do ponto de vista pessoal, de uma importância extrema.

# Resumo

Ao longo dos últimos anos, o crescimento contínuo das comunidades universitárias atingiu proporções tais que motivaram a expansão e a actualização dos campi universitários. Visando uma melhoria da oferta de instalações e serviços, quer qualitativa quer quantitativa, essa expansão tomou contornos tão expressivos que justificam uma avaliação da acessibilidade interna. O objectivo desta análise é procurar identificar áreas ou, mais especificamente, locais que apresentem um eventual défice de acessibilidade, do ponto de vista pedonal (por este ser modo de locomoção predominante). Os resultados servirão de apoio na procura de medidas no sentido de corrigir ou prevenir este tipo de problema. A título de exemplo, apontam-se algumas das causas, a saber, a edificação de novas instalações em zonas de baixa acessibilidade sem que aconteça um reajuste dos acessos ou, simplesmente, a diminuição da acessibilidade global (em relação ao campus remodelado) do espaço inicialmente atribuído a um serviço fundamental, impondo-se assim a sua realocação para uma zona mais conveniente.

O objectivo geral desta dissertação é o desenvolvimento de um modelo de avaliação multicritério da acessibilidade interna de um campus universitário que integre o ponto de vista da comunidade utente.

Os objectivos específicos da dissertação são: (i) especificar o modelo para a avaliação multicritério da acessibilidade interna; (ii) integrar no modelo a análise de risco na avaliação multicritério; (iii) integrar no modelo a componente espacial, de forma a cartografar a acessibilidade; (iv) aplicar o modelo ao campus universitário da Universidade do Minho como caso de estudo.

Palavras Chave: Acessibilidade, Avaliação Multicritério, Sistemas de Informação Geográfica.

# Abstract

Over the last years, the continuous growth of academic communities got such a proportion that motivated expansions and adjustments in the university campi. With the purpose of improving the offer of facilities and services, both qualitatively and quantitatively, this expansion became so relevant that it justifies an evaluation of the internal accessibility. The objective of this analysis is to identify areas or, more specifically, spots that present an eventual deficit of accessibility, from the pedestrian point of view (being this way of locomotion the predominant one). The results will serve of support in the research of measures to correct or prevent that kind of problem. Some examples of causes are the building of new facilities in zones with low accessibility without a readjustment of the accesses or, simply, a decrease of the global accessibility (in relation to the remodelled campus) of the location initially allocated to a fundamental service, turning imperative its relocation to a more convenient zone.

The main goal of this dissertation is the development of a multicriteria evaluation model for the internal accessibility of an university campus, which integrates the user community viewpoint.

The specific objectives are: (i) to specify a model for the multicriteria evaluation of the internal accessibility; (ii) to integrate in the model the risk analysis on the multicriteria evaluation; (iii) to integrate in the model the spatial component in a way that allows to map the accessibility; (iv) to apply the model to the university campus of the University of Minho as a case study.

Keywords: Accessibility, Multicriteria Evaluation, Geographical Information System.

# Índice

Agradecimentos .....	iii
Resumo .....	iv
Abstract.....	v
Índice .....	vi
Índice de figuras.....	ix
Índice de quadros .....	xi
<b>Capítulo 1 - Introdução</b>	
1.1 Objectivo .....	1
1.2 Estrutura da dissertação .....	2
<b>Capítulo 2 - Acessibilidade</b>	
2.1 Conceitos de acessibilidade .....	4
2.2 Índices de acessibilidade .....	10
2.2.1 Índice de Ingram .....	10
2.2.2 Índice de Allen <i>et al.</i> .....	11
2.2.3 Índice de Davidson .....	12
2.2.4 Índice de Tagore & Sikdar .....	12
<b>Capítulo 3 – Avaliação Multicritério</b>	
3.1 Introdução .....	15
3.2 Avaliação de pesos para os critérios .....	16
3.2.1 Métodos baseados no ordenamento de critérios .....	16
3.2.2 Métodos baseados em escalas de pontos .....	17
3.2.3 Métodos baseados na distribuição de pontos .....	18
3.2.4 Método baseado na comparação de critérios par-a-par .....	18
3.3 Normalização de critérios .....	20
3.4 Combinação de critérios .....	22
3.4.1 Combinação Linear Pesada – WLC .....	23
3.4.2 Média Pesada Ordenada - OWA.....	23
<b>Capítulo 4 – Sistemas de Informação Geográfica</b>	
4.1 Definição de SIG .....	28
4.1.1 Perguntas de base a que um SIG deverá responder .....	30
4.1.2 Definição de Informação Geográfica .....	31
4.1.2.1 A componente espacial .....	32
4.1.2.2 A componente temática .....	33
4.1.2.3 A componente temporal .....	34
4.1.3 Qualidade da informação geográfica.....	35
4.1.3.1 Qualidade absoluta, qualidade relativa .....	35
4.1.3.2 Os parâmetros da qualidade .....	35

4.2 Aplicações típicas dos SIG .....	36
4.3 Componentes dum SIG .....	37
4.4 Estruturas de dados espaciais .....	39
4.4.1 Representação abstracta da realidade .....	39
4.4.2 Geometria .....	39
4.4.3 Estruturas para a gestão de atributos .....	41
4.4.3.1 O modelo Relacional .....	42
4.4.3.2 Modelação de dados por tabelas .....	44
4.4.3.3 O Modelo Orientado ao Objecto .....	46
4.4.4 SIG vectorial .....	48
4.4.4.1 Modelação da realidade .....	48
4.4.4.2 Estrutura de dados no modelo vectorial .....	48
4.4.4.3 Entrada de dados .....	56
4.4.4.4 Funcionalidade básicas .....	58
4.4.4.5 Operações de análise espacial .....	60
4.4.4.6 Análise de redes .....	63

## Capítulo 5 – Modelo de avaliação da acessibilidade

5.1 Introdução .....	72
5.2 Modelo adoptado .....	72
5.3 Dados de base .....	76
5.4 Implementação em ambiente SIG .....	77

## Capítulo 6 – Caso de Estudo

6.1 Introdução .....	79
6.2 Dados para a implementação do modelo .....	81
6.2.1 Preparação da rede em SIG .....	81
6.2.2 Destinos-chave .....	83
6.2.3 Inquérito aos utilizadores do Campus .....	85
6.2.4 Pesos .....	85
6.2.5 Normalização .....	86
6.2.6 Impedâncias .....	88
6.3 Implementação do modelo em SIG vectorial .....	89
6.3.1 Tabelas .....	89
6.3.2 Programação .....	91
6.4 Cenários de avaliação .....	94
6.4.1 ANÁLISE I .....	96
6.4.1.1 Mapas de base .....	96
6.4.1.2 Mapas dos cenários de avaliação .....	98
6.4.2 ANÁLISE II .....	100
6.4.2.1 Mapas de base .....	100
6.4.2.2 Mapas dos cenários de avaliação .....	102
6.4.3 ANÁLISE III .....	104
6.4.3.1 Mapas de base .....	104
6.4.3.2 Mapas dos cenários de avaliação .....	106
6.5 Discussão de resultados .....	108

## Capítulo 7 – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

7.1 Modelo .....	111
7.2 Conclusões relativas ao Caso de Estudo .....	112
7.3 Desenvolvimentos futuros .....	113

Referências Bibliográficas .....	114
----------------------------------	-----



---

**Anexo A - Inquérito**

A.1 Formulários do inquérito.....	120
A.2 Quadros de resultados .....	123

**Anexo B - *Scripts em Avenue***

B.1 Introdução.....	139
B.2 <i>Script</i> Distâncias.....	139
B.3 <i>Script</i> ScoreNormalizadoPesado .....	141
B.4 <i>Script</i> ScoreGrupo .....	142
B.5 <i>Script</i> ScoresFinais.....	143

# Índice de figuras

Fig. 2.1 – A tipologia dos indicadores de acessibilidade .....	6
Fig. 3.1 – Escala de sete pontos .....	17
Fig. 3.2 – Escala de comparação de critérios .....	19
Fig. 3.3 – Funções <i>fuzzy</i> .....	21
Fig. 3.4 – Controlo do risco .....	25
Fig. 3.5 – Controlo do <i>trade-off</i> .....	25
Fig. 3.6 – Espaço estratégico de decisão (OWA) .....	26
Fig. 3.7 – Pontos de decisão .....	26
Fig. 4.1 – Componentes de um SIG .....	37
Fig. 4.2 – Primitivas de representação .....	40
Fig. 4.3 – Representação de pontos .....	41
Fig. 4.4 – Representação de linhas .....	41
Fig. 4.5 – Representação de áreas .....	41
Fig. 4.6 – Nomenclatura dos diagramas do modelo Entidades-Relações .....	43
Fig. 4.7 – Exemplo de estrutura relacional de base de dados cadastral .....	45
Fig. 4.8 – Modelo Geo-Relacional .....	48
Fig. 4.9 – Estrutura de dados “Spaghetti” .....	50
Fig. 4.10 – Estrutura de dados por vértices .....	51
Fig. 4.11 – Estrutura de dados arco-nó .....	53
Fig. 4.12 – Estrutura de dados vectoriais (TIN) .....	56
Fig. 4.13 – Dissolução de fronteiras .....	59
Fig. 4.14 – Relações espaciais .....	60
Fig. 4.15 – Exemplos de <i>buffers</i> .....	62
Fig. 4.16 – Sobreposição polígono-sobre-polígono .....	62
Fig. 4.17 – Sobreposição ponto-sobre-polígono .....	63
Fig. 4.18 – Sobreposição linha-sobre-polígono .....	63
Fig. 4.19 – Alguns exemplos de redes .....	64
Fig. 4.20 – Exemplo de um grafo, um multigrafo e de um pseudografo .....	65
Fig. 4.21 – Exemplo de um digrafo .....	67
Fig. 4.22 – Exemplos de caminhos mínimos .....	70
Fig. 4.23 – Exemplo de uma área de serviço .....	71
Fig. 5.1 – Implementação do modelo em SIG vectorial .....	78

---

Fig. 6.1 – Campus da Universidade do Minho em Gualtar - Braga .....	80
Fig. 6.2 – Rede pedonal do Campus .....	82
Fig. 6.3 – Pontos avaliados .....	83
Fig. 6.4 – Distância percorrida num lance de escadas .....	88
Fig. 6.5 – Estruturas das novas tabelas.....	90
Fig. 6.6 – Pontos de decisão.....	92
Fig. 6.7 – Acessibilidade aos Complexos Pedagógicos, Institutos e Departamentos – Análise I .....	97
Fig. 6.8 – Acessibilidade aos serviços – Análise I .....	97
Fig. 6.9 – Acessibilidade aos acessos – Análise I .....	98
Fig. 6.10 – Cenários de avaliação da Análise I.....	99
Fig. 6.11 – Histogramas dos cenários de avaliação A, B, C, referentes à Análise I (áreas).....	100
Fig. 6.12 – Acessibilidade aos Complexos Pedagógicos, Institutos e Departamentos – Análise II ..	101
Fig. 6.13 – Acessibilidade aos serviços – Análise II .....	101
Fig. 6.14 – Acessibilidade aos acessos – Análise II .....	102
Fig. 6.15 – Cenários de avaliação da Análise II.....	103
Fig. 6.16 – Histogramas dos cenários de avaliação A, B, C, referentes à Análise II (áreas).....	104
Fig. 6.17 – Acessibilidade aos Complexos Pedagógicos, Institutos e Departamentos – Análise III .	105
Fig. 6.18 – Acessibilidade aos serviços – Análise III .....	105
Fig. 6.19 – Acessibilidade aos acessos – Análise III .....	106
Fig. 6.20 – Cenários de avaliação da Análise III.....	107
Fig. 6.21 – Histogramas dos cenários de avaliação A, B, C, referentes à Análise III (áreas).....	108

# Índice de quadros

Quadro 3.1 – Escala de comparação de critérios segundo Saaty.....	19
Quadro 3.2 – Exemplo de agregação OWA - factores.....	25
Quadro 3.3 – Exemplo de agregação OWA - resultados.....	25
Quadro 3.4 – <i>ANDness</i> e <i>Trade-off</i> para vários pontos de decisão .....	27
Quadro 4.1 – Coordenadas da estrutura de dados “Spaghetti” .....	50
Quadro 4.2 – Ficheiros de dados da estrutura de dados por vértices .....	52
Quadro 4.3 – Topologia de polígonos .....	53
Quadro 4.4 – Topologia de nós.....	53
Quadro 4.5 – Topologia de arcos.....	53
Quadro 4.6 – Coordenadas dos arcos .....	53
Quadro 4.7 – Tabelas da estrutura de dados vectoriais (TIN).....	56
Quadro 4.8 – Relações espaciais entre primitivas.....	61
Quadro 6.1 – Destinos-chave.....	84
Quadro 6.2 – Pesos dos destinos-chave e funcionalidades .....	86
Quadro 6.3 – Distâncias máximas .....	87
Quadro 6.4 – <i>ANDness</i> e <i>Trade-off</i> para vários pontos de decisão .....	95

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Objectivo

Motivada pelo crescimento da comunidade universitária e pela necessidade e vontade de oferecer mais e melhores instalações e serviços, a expansão dos campi universitários em Portugal é de tal forma relevante que justifica uma avaliação da sua acessibilidade interna, por forma a, na escolha da localização de futuras edificações, procurar corrigir ou minorar eventuais situações de isolamento ou afastamento.

Neste quadro, esta dissertação centra essencialmente o seu estudo na modelação da avaliação da acessibilidade, numa perspectiva de análise multicritério. O desenvolvimento do modelo procura integrar, através de um inquérito, o ponto de vista da comunidade utente, nomeadamente no que diz respeito ao grau de importância dos destinos-chave da área em estudo, na perspectiva da sua utilização, e envolve: o cálculo de custos, em termos de distâncias, uma vez que predomina o modo de deslocação a pé na área em estudo e pelo facto de que a distância foi identificada como sendo o motivo mais comum para não caminhar (Goldsmith, 1992; Hawthorne, 1989), e conjugadas com o índice de fricção (resistência ao movimento); a normalização dos custos recorrendo a funções *fuzzy* que, quando calibradas, representam com maior fidelidade o efeito das distâncias nas decisões; a combinação dos custos (distâncias) envolvendo o peso relativo dos destinos-chave; o desenvolvimento de cenários de avaliação, reflectindo a adopção de diversos níveis de risco e *trade-off*.

Dado que é bem patente o envolvimento de fenómenos espacialmente referenciados no problema, considerou-se apropriado o desenvolvimento do modelo de avaliação num ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica).

Quer porque a avaliação multicritério da acessibilidade, na perspectiva enunciada, está ainda pouco divulgada; quer porque não existe ainda uma metodologia consolidada no que respeita à sua implementação em ambiente SIG; considera-se oportuno e interessante a elaboração desta dissertação de mestrado.

Assim, o objectivo geral da dissertação é a avaliação multicritério de acessibilidade num ambiente SIG, com especial ênfase nas metodologias para o desenvolvimento da rede de fluxos, cálculo dos índices de acessibilidade e análise espacial dos resultados.

É também objectivo da dissertação o desenvolvimento dum caso de estudo, que incide sobre o Campus de Gualtar da Universidade do Minho, em Braga.

## **1.2 Estrutura da dissertação**

A dissertação desenvolve-se ao longo de sete capítulos e dois anexos, constituindo a presente Introdução o primeiro capítulo.

No capítulo 2 procede-se à apresentação de uma revisão bibliográfica que contempla o tema basilar, a acessibilidade, e onde se apresentam alguns índices de acessibilidade.

No capítulo 3 são abordados e discutidos os aspectos relevantes da avaliação multicritério. Esta abordagem incide mais concretamente sobre as técnicas disponíveis para a avaliação de pesos de critérios, para a normalização dos critérios e para a respectiva agregação. O procedimento de agregação de critérios que permite desenvolver cenários de avaliação com base em diferentes atitudes de risco e *trade-off* merece um destaque particular.

O capítulo 4 é dedicado aos Sistemas de Informação Geográfica. São apresentadas e discutidas as diferentes estruturas de dados disponíveis para a

modelação do espaço e dos fenómenos espacialmente referenciados, bem como as operações de análise espacial, com particular ênfase para a análise de redes.

No capítulo 5 procede-se ao desenvolvimento do modelo teórico para a avaliação multicritério da acessibilidade em ambiente SIG, resultado da combinação dos três eixos teóricos: a análise da acessibilidade, a análise multicritério e os Sistemas de Informação Geográfica. Começa-se por apresentar os fundamentos conceptuais que servem de suporte ao modelo; de seguida, enumeram-se os principais pontos teóricos para a avaliação da acessibilidade que se procuraram englobar no modelo; procede-se finalmente à sua especificação, a qual prevê a avaliação para agrupamentos de destinos-chave e a introdução de cenários de risco.

O capítulo 6 é dedicado ao Caso de Estudo, que consiste na aplicação do modelo teórico desenvolvido no capítulo 5 ao Campus Universitário de Gualtar, da Universidade do Minho, em Braga. Procura-se assim efectuar uma avaliação multicritério da acessibilidade aos diversos destinos-chave existentes no Campus, do ponto de vista pedonal. O capítulo inicia-se com uma muito breve apresentação do Campus, após o que se definem todos os dados necessários à implementação do modelo: rede, destinos-chave, pesos, elementos de calibração das funções *fuzzy* e impedâncias. Procede-se então à implementação do modelo em ambiente SIG vectorial, apresentando as tabelas e os elementos de programação subjacentes. São depois apresentados os vários cenários de avaliação desenvolvidos, seguindo-se uma discussão dos resultados à luz dos níveis de risco e *trade-off* assumidos em cada cenário.

Finalmente, o Capítulo 7 é reservado às conclusões da dissertação. Apresentam-se conclusões relativamente ao Caso de Estudo, quer em termos de aplicabilidade do modelo, quer em termos dos resultados obtidos para o caso particular do Campus da Universidade do Minho; tecem-se, por fim, considerações relativamente a desenvolvimentos futuros.

No anexo A é apresentado o inquérito desenvolvido para o Caso de Estudo.

Por seu turno, o Anexo B contém todas as rotinas implementadas em *Avenue*.

# Capítulo 2

## Acessibilidade

### 2.1 Conceitos de acessibilidade

Quando se pretende efectuar uma pesquisa no catálogo de qualquer boa biblioteca e introduz o termo ACESSIBILIDADE no campo de procura, advém uma resposta que se pode classificar de surpreendente. A consulta fornece referências inseridas em áreas de conhecimento tão distintas como biologia, sociologia, psicologia, engenharia mecânica, medicina, informática, química, ciências políticas, ciências de comunicação e física, só para citar algumas (Silva, 1998).

Focando apenas o conceito de acessibilidade no âmbito dos transportes – por ser esse o que se procura neste dissertação – descobre-se a existência de uma multiplicidade de definições e de uma diversidade alargada de tipos de uso para a acessibilidade. Este facto só não é considerado uma surpresa porque, como demonstra o trabalho de Hoggart (1973) ao citar artigos sobre este tema escritos em 1826, 1903 e 1909, trata-se de um tema que é discutido e objecto de estudo há cerca de duzentos anos. Nesse trabalho e apesar da variedade de usos dados ao conceito, é apresentada pela autora uma espécie de definição geral de acessibilidade:

*“A aplicação do termo tem em comum a interpretação, implícita ou explícita, da facilidade de contacto com oportunidades de alguma forma distribuídas no espaço. Assim sendo, a acessibilidade parece depender não somente da localização das oportunidades, mas também da facilidade com que se ultrapassa a separação espacial entre o indivíduo e locais específicos.”* (tradução livre de Silva, 1998).



Não somente por apresentar esta definição, o trabalho de Hoggart (1973) revela-se deveras interessante por incluir também uma revisão ampla sobre o tema até a data da sua publicação.

Igualmente no início da década de 70, Ingram (1971) apresentou um trabalho no qual surge uma definição de acessibilidade que, nas últimas duas décadas, é sem dúvidas uma das mais citadas. Segundo este autor, a acessibilidade pode ser definida:

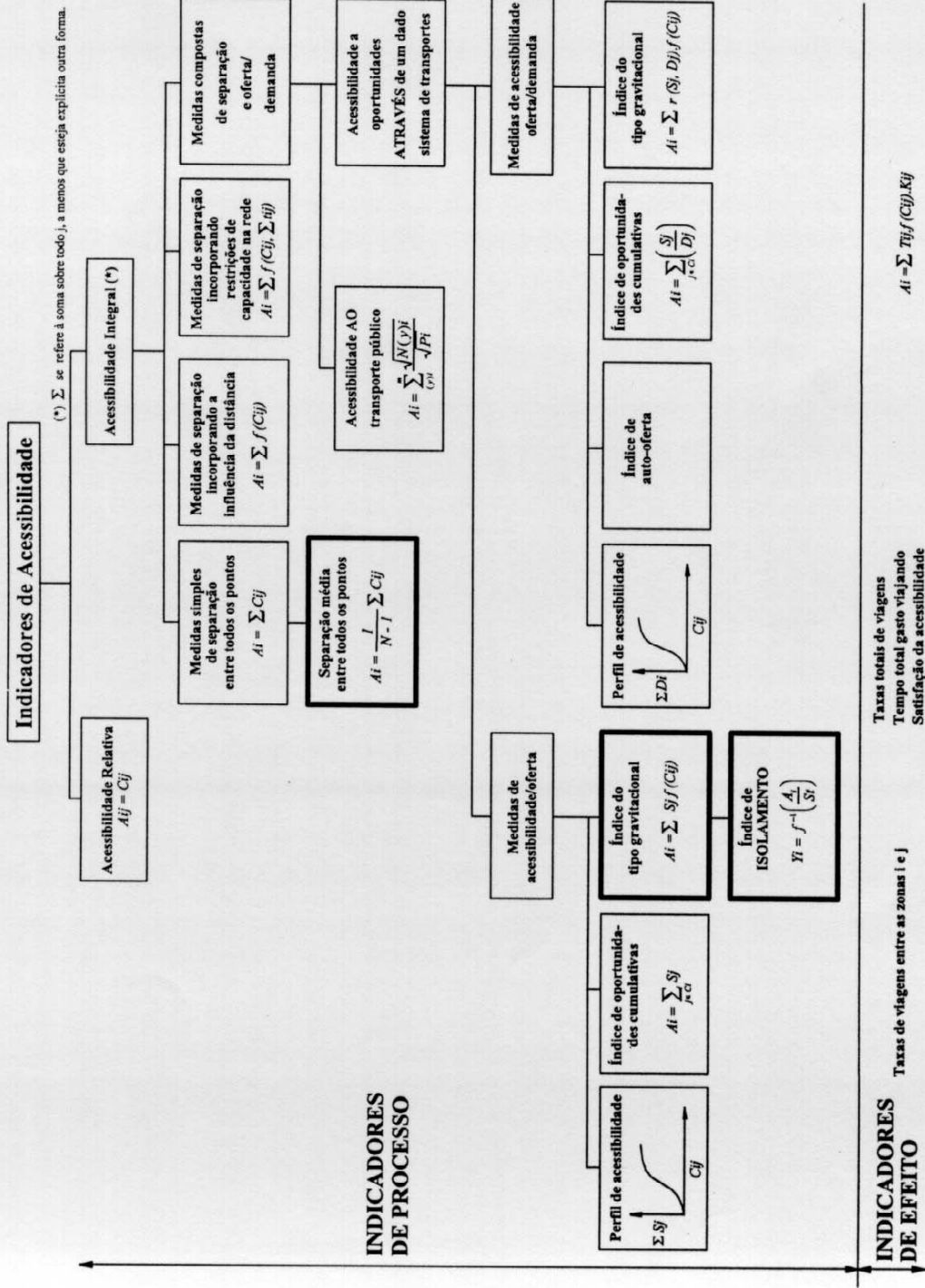
*“como a característica (ou vantagem) inerente de um local no que diz respeito a vencer alguma forma de resistência de natureza espacial ao movimento (por exemplo, tempo e/ou distância)”* (tradução livre de Silva, 1998).

Por outro lado, Ingram (1971) também estabeleceu uma distinção entre acessibilidade relativa, referente ao grau de conexão entre dois pontos na mesma superfície (ou rede), e acessibilidade integral ou total, inerente ao grau de interconexão entre um ponto e todos os restantes da mesma superfície (ou rede).

Considerando que a forma como a acessibilidade é avaliada depende do objectivo a atingir, Morris *et al* (1979) mostram uma classificação e uma formulação extensivas das medidas de acessibilidade relativa e integral. A última inclui: medidas de separação entre todos os pontos; medidas de separação incorporando a influência da distância; medidas de separação incorporando restrições de capacidade na rede; medidas compostas de separação e oferta/procura. Na Figura 2.1, os indicadores são agrupados em dois tipos: de processo (relativos às medidas das características de oferta do sistema) e de efeito (relacionados com o nível corrente de uso e de satisfação).

Após um curto período menos produtivo no que concerne à actividade ligada a este tema, surgem nos anos 90 novamente vários estudos onde a acessibilidade é medida de forma bastante diversificada.

Alguns destes estudos recorrem a medidas bastantes simples. Num deles, de Love & Lindquist (1995), foram empregues duas medidas conceptualmente simples para avaliar a acessibilidade de idosos a hospitais: o número de hospitais dentro de uma distância de  $y$  milhas a partir de um quarteirão  $i$ ; a distância mínima entre o quarteirão e o hospital. No que se refere à última, foram consideradas as distâncias Euclidianas ou em linha recta e não através de uma rede.



**LEGENDA:**

$i, j$  = zonas, 1, ..., n  
 $A_{ij}$  = acessibilidade da zona i relativa a zona j  
 $A_i$  = acessibilidade total da zona i  
 $C_{ij}$  = separação espacial entre as zonas i e j (tempo, distância, custo, etc.)  
 $N$  = número de zonas  
 $f(C_{ij})$  = função de impedância entre as zonas i e j, em que a forma precisa é definida empiricamente para refletir o efeito amplo da área na separação espacial sobre as mudanças entre zonas (potência, exponencial, etc.)  
 $f(C_{ij}, \Sigma t_{ij})$  = função do efeito combinado da separação espacial sobre os padrões de viagens e desses (congestionamento) na separação espacial  
 $C_{ij}$  = intercâmbio de viagens entre as zonas i e j  
 $N(y)$  = frequência de serviços de transporte, y, servindo a zona i  
 $m$  = número de serviços de transporte, y, servindo a zona i  
 $P_i$  = área física da zona i (metros quadrados, etc.)  
 $S_j$  = atratividade de oportunidades na zona j (número de empregos, etc.)  
 $Y_i$  = isolamento na zona i  
 $S_t$  = total de atividades na área de estudo  
 $j \in C_i$  = conjuntos de zonas, j, dentro do limite de viagens em torno da zona i, tal que  
 $0 \leq C_{ij} \leq C_{max}$   
 $D_j$  = nível de demanda na zona j (número de pessoas, etc.)  
 $r(S_j, D_j)$  = função da influência combinada das oportunidades atratoras e da demanda competindo na zona j  
 $T_{ij}$  = número de viagens atraídas pela zona j  
 $K_{ij}$  = fator de ajuste específico zona-a-zona que leva em conta, nos padrões de viagens, o efeito de aspectos sociais ou econômicos não contemplados na fórmula do modelo gravitacional

Figura 2.1 - A tipologia dos indicadores de acessibilidade (adaptado de Morris et al., 1979).

fonte: Silva, 1998

Medidas simples de acessibilidade também podem ser encontradas no trabalho de Oppong & Hodgson (1994). Com o intuito de avaliar a acessibilidade espacial a instalações de saúde no distrito de Suhum, no Gana, recorreram a dois indicadores de acessibilidade: distâncias médias percorridas (de pólos populacionais a instalações de saúde) e distâncias de cobertura (pessoas situadas a menos de uma distância específica das instalações de saúde). Salientando que predomina na área em estudo o modo a pé como meio de locomoção, estes autores justificaram o uso de um algoritmo simples para calcular distâncias Euclidianas entre pontos. Apesar de simples, as medidas de acessibilidade empregues produziram resultados interessantes.

Motivados pelo facto de que nem a acessibilidade relativa nem a integral possuem a faculdade de capturar o nível de acesso de uma área inteira ou de estabelecer comparações entre áreas, Allen *et al.* (1993) decidiram aprofundar o trabalho de Ingram (1971). Desta feita, propõem um “índice global de acessibilidade para uma área” capaz de indicar a acessibilidade de uma região inteira e, por conseguinte, de estabelecer comparações entre as regiões, e não somente entre pontos de uma mesma região. No entanto e em ambos os casos, a acessibilidade apenas se define como uma medida de esforço para transpor a separação espacial entre pontos numa determinada área. Continuando a ignorar nos seus modelos características da oferta e da procura, ou ainda, aspectos comportamentais, minimizaram assim a quantidade de dados exigível para o cálculo, levando a que a medida de acessibilidade apresentada seja qualificada de bastante simples (Silva, 1998).

Com suporte em modelos teóricos e exibindo testes empíricos, Allen *et al.* (1993) demonstraram que, à medida que aumenta o número de pontos utilizados no cálculo do índice, este último converge rapidamente para um valor estável. A seu favor, aponta-se também a aptidão para medir a acessibilidade de uma área e, por inerência, potenciar comparações entre áreas.

Optando por iniciar o seu trabalho com uma descrição dos índices mais comuns de acessibilidade encontrados na literatura, incluindo medidas pesadas pela dimensão (por exemplo população), Pooler (1995) tece, de seguida, críticas ao conteúdo da publicação de Allen *et al.* (1993). Quando se refere ao índice que propuseram, as críticas tornam-se mais incisivas ao afirmar que esse índice não constitui nenhuma novidade, uma vez que não passa de um tempo médio de

viagem. No tocante à revisão da literatura apresentada por Allen *et al.*, salienta ser muito limitada porque, ao restringirem o período contemplado a apenas trinta anos, não conseguiram ir ao encontro das raízes reais do índice em que se baseia a sua medida de acessibilidade. Segundo Pooler, a revisão deveria abranger um período de cinquenta ou sessenta anos, passando a incluir o trabalho de Shimble (1953) que incide sobre a teoria de grafos, a suposta base real do seu índice. Para terminar, enfatiza que, apesar de comumente empregue em análises espaciais quantitativas, esse índice é muitas vezes ponderado por variáveis de oferta e procura.

Abordando o tema de forma distinta, Geertman & Van Eck (1995) sugerem o recurso a um modelo potencial para estimar a acessibilidade. Quociente entre duas fórmulas de potencial clássicas baseadas num padrão de interação do tipo gravitacional, a aplicação deste modelo na região Randstad Holland da Holanda veio mostrar que uma simbiose entre modelos externos e um Sistema de Informação Geográfica não só é possível, bem como amplia a capacidade de análise espacial do SIG e aumenta o seu desempenho no tratamento de problemas relacionados com acessibilidade. Por outro lado, a interpretação do “modelo potencial modificado” é bastante facilitada pela adopção de uma dimensão idêntica à do tempo de viagem (medidas em minutos).

Apresentando algumas diferenças sobrevenientes da necessidade de ajuste às aplicações em que foram envolvidas, algumas medidas de acessibilidade, por lidarem com problemas bastante específicos, mereceram particular atenção. Entre elas, encontram-se as medidas de acessibilidade no contexto das viagens com múltiplos propósitos (Arentze *et al.* 1994a e 1994b), a inclusão do conceito de mobilidade como parte da medida de acessibilidade (Tagore & Sikdar, 1995) e o uso do isolamento ao invés da acessibilidade para avaliar uma rede de transportes (Davidson, 1995).

Função das características do uso do solo e da performance do sistema de transporte, Shen (1998) advoga que a acessibilidade representa a facilidade com que as oportunidades espacialmente distribuídas podem ser alcançadas a partir de um determinado local, através de um determinado sistema de transporte. Apesar de ter enfrentado dificuldades metodológicas na medição da acessibilidade e na distinção da acessibilidade como causa ou efeito do emprego, no seu estudo centralizado sobre a acessibilidade ao emprego dos trabalhadores de baixos

rendimentos de Boston, Shen (1998) concluiu que a separação espacial deixa de ser uma barreira à medida que o custo associado ao transporte e o tempo despendido em viagens diminuem, diminuição por sua vez estreitamente ligada à evolução tecnológica galopante.

Bruinsma & Retveld (1998) estudaram a acessibilidade de sete capitais europeias, tendo os resultados indicado que as diferenças nos padrões de acessibilidade das cidades provinham das diferenças nas redes de infra-estrutura e no tipo de transporte principal adoptado.

Talen & Anselin (1998) fizeram dos parques da cidade de Tulsa (Oklahoma) o seu estudo de caso, mas ignoraram factores como a mobilidade residencial e a rede de interacção de serviços, que tornariam a análise deveras mais complexa.

Schoon *et al.* (1999) desenvolveram um estudo piloto em Northeast Hampshire onde a acessibilidade foi definida simplesmente com o “o conforto e a conveniência para alcançar um determinado destino”. Foi considerada pelos autores a ponderação de vários factores: tempo e custo de viagem, localização do destino, frequência do serviço prestado, segurança e conforto da viagem, confiança e disponibilidade do serviço durante todo o dia, todos os dias. Salienta-se também que consideraram aspectos relacionados com a acessibilidade para pessoas com deficiências físicas, como a possibilidade de usar fisicamente as facilidades disponíveis.

No estudo realizado na cidade de Eindhoven, na Holanda, Van der Waerden *et al.* (1999) verificaram a correlação entre medições objectivas e avaliações subjectivas de acessibilidade. As primeiras foram obtidas a partir de um índice médio de separação e de índice do tipo gravitacional, aplicados a redes de transporte motorizado e de bicicletas; as segundas por intermédio de questionários aplicados a uma amostra da população da cidade (aproximadamente 18.750 domicílios) em 1995.

Em desenvolvimento desde finais dos anos 80, o indicador de Conexão (ICON) foi apresentado por Turró *et al.* (2000). Este indicador visa corrigir as limitações dos indicadores de acessibilidade convencionais e tem por objectivo avaliar o impacto

territorial das redes de transporte. Em vez de recorrer à distância geográfica, tem em linha de conta o conceito de conexão relativa de cada um dos pontos às redes básicas e fornece o valor de conexão de um determinado ponto às redes de transportes, medindo, entre outros, o tempo de acesso da origem ao ponto mais próximo da rede.

## 2.2 Índices de acessibilidade

Para além da conceptualização da acessibilidade, cuja cronologia foi sintetizada na secção anterior, importa apresentar algumas formulações matemáticas de índices. Optou-se aqui por apresentar quatro índices de complexidade crescente, que vão desde a simples medida de distâncias até à introdução dos conceitos de isolamento e de mobilidade. Não é objectivo a apresentação ou discussão das deduções matemáticas que resultaram nas expressões finais para avaliação da acessibilidade.

### 2.2.1 Índice de Ingram

Para Ingram (1971), faz todo o sentido distinguir a acessibilidade relativa e a integral. Enquanto que a acessibilidade relativa representa o grau de interligação entre dois pontos de uma rede, a acessibilidade integral é o grau de interligação de cada ponto da rede com todos os restantes. Assim:

$$A_i = \sum_j^n a_{ij} \quad (2.1)$$

onde,

$A_i$  : acessibilidade integral do ponto  $i$

$a_{ij}$  : acessibilidade relativa do ponto  $i$  ao  $j$

$n$  : número total de pontos da rede.

No caso de estudo da cidade de Ontário, Ingram (1971) utilizou como medida de fricção a distância média entre dois pontos. Este efeito afecta o grau de acessibilidade relativa entre os mesmos, podendo inclusive manifestar-se de diversas formas, como por exemplo tempo ou custo de viagem. Com o intuito de

encontrar a forma de representar com maior precisão os valores da acessibilidade relativa, testou diversos tipos de curvas e concluiu que a mais adequada é a curva do tipo normal ou gaussiana. Por outro lado, observou também que o recurso a funções lineares como medidas de distância tende a fornecer resultados mais próximos da realidade.

### 2.2.2 Índice de Allen *et al.*

Baseando-se no trabalho de Ingram (1971), Allen *et al.* (1993) desenvolveram um novo índice de acessibilidade para uma dada área. Este novo índice, designado por  $E$ , obtém-se pela integração normalizada da acessibilidade integral dos diversos locais da área, ou uma integração dupla normalizada da acessibilidade relativa. Dado que fornece uma medida do grau de interconexão entre as localidades que pertencem à área,  $E$  também é definido como o índice de acessibilidade total de uma área.

De forma a obter um índice de acessibilidade total que espelhe mais fielmente a realidade, é fundamental atender a dois aspectos muito importantes. O primeiro prende-se com a sensibilidade do índice em relação ao número de localidades abrangidas pela área em estudo. Se, para a obtenção de uma medida estável do índice, fosse requisito um elevado número de localidades, o cálculo de  $E$  tornar-se-ia muito provavelmente impraticável, envolvendo elevados custos e grande dispêndio de tempo. Por sua vez, o segundo relaciona-se com a capacidade do índice reflectir o nível de acessibilidade total de uma área, nomeadamente quando o cálculo envolve apenas um número reduzido de localidades. Para uma dada zona  $i$ , a acessibilidade integral é dada por:

$$A_i = \frac{1}{N-1} \sum_j^N C_{ij} \quad (2.2)$$

onde:

- $A_i$ : acessibilidade da zona  $i$ ;
- $N$ : número de localidades (pontos) utilizadas no cálculo;
- $C_{ij}$ : custo despendido para deslocar-se entre as zonas  $i$  e  $j$ .

Este índice interpreta-se como sendo uma medida do esforço despendido na transposição da separação espacial entre os diversos pontos de uma região. Apesar de não usufruir de fundamentação comportamental, goza de popularidade pelo facto de operacionalmente ser bastante simples e de fornecer resultados de fácil interpretação.

### 2.2.3 Índice de Davidson

No âmbito de testes de alternativas de transportes e de organização do uso do solo, Davidson (1995) recomenda que o índice de acessibilidade seja definido da forma mais completa possível e, para obter um índice que seja uma imagem rigorosa da realidade, apenas sejam envolvidos dados consistentes que realmente estejam disponíveis. Matematicamente, fornece a seguinte definição:

$$A_i = \sum_j^n S_j \times f(C_{ij}) \quad (2.3)$$

onde:

- $A_i$ : acessibilidade da zona  $i$ ;
- $S_j$ : medida da atractividade na zona  $j$ ;
- $C_{ij}$ : custo despendido para viajar da zona  $i$  à zona  $j$ ;
- $f$ : função impedância (potência ou exponencial).

Partindo da expressão da acessibilidade, determina-se a sua função inversa, o isolamento:

$$Y_i = f^{-1}(A_i / S_T) \quad (2.4)$$

onde:

- $Y_i$ : isolamento da zona  $i$ ;
- $S_T$ : soma total de  $S_j$ .
- $A_i$ : acessibilidade da zona  $i$

### 2.2.4 Índice de Tagore & Sikdar

Segundo Tagore & Sikdar (1995), existem três componentes essenciais para a caracterização da acessibilidade:



1. a localização e a caracterização da população residente;
2. a distribuição geográfica e a intensidade das actividades económicas;
3. as características do sistema de transportes existentes.

Ao inserir no seu estudo a influência da mobilidade, os autores obtiveram a seguinte expressão para calcular a acessibilidade:

$$A_i = \left( \sum_j^n S_j \times f(t_{ij}) \times e^{(\gamma \times M_i)} \right) / \sum_j^n S_j \quad (2.5)$$

Trata-se de uma variação do modelo gravitacional que inclui a mobilidade e onde:

- $A_i$ : acessibilidade da zona  $i$ ;
- $S_j$ : alguma medida de actividade da zona  $j$ ;
- $f(t_{ij})$ : função de calibração de viagens entre  $i$  e  $j$ ;
- $M_i$ : mobilidade da zona  $i$ ;
- $\gamma$ : coeficiente de calibração de mobilidade;
- $n$ : número total de zonas.

Num caso de estudo que incidiu sobre a cidade de Bombaim na Índia, analisaram cinco variáveis com o intuito de quantificar a mobilidade:

1. disponibilidade de autocarros;
2. disponibilidade de comboios;
3. rendimentos da família;
4. densidade da rede de transportes públicos;
5. número de estações de comboios na zona em estudo.

Recolhida a informação pretendida, procederam ao cálculo da mobilidade parcial (respeitante a cada uma das variáveis enumeradas) através da divisão da frequência de ocorrência da variável na zona  $i$  pela ocorrência total em todas as zonas:

$$m_i^k = F_i^k / \sum_j^n F_j^k \quad (2.6)$$

onde,

- $m_i^k$ : mobilidade relativa à variável  $k$  na zona  $i$ ;
- $n$ : número total de zonas;
- $F_i^k$ : frequência de ocorrência da variável  $k$  na zona  $i$ .

De seguida, obtêm a mobilidade em cada zona ( $M_i$ ) efectuando o somatório das respectivas mobilidades relativas:

$$M_i = \sum_k^5 m_{i(k)} \quad (2.7)$$

No caso de estudo supracitado, os autores calcularam a acessibilidade utilizando:

$$\begin{aligned} \gamma &= 1; \\ f(t_{ij}) &= e^{\alpha t_{ij}} t_{ij} \beta \end{aligned}$$

onde,

$t_{ij}$ : tempo de viagem entre as zonas  $i$  e  $j$ , e  
 $\alpha, \beta$ : factores de calibração.

# Capítulo 3

## Avaliação Multicritério

### 3.1 Introdução

No âmbito da Teoria da Decisão, 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. Os critérios podem ser de dois tipos: Exclusões ou Factores.

Uma Exclusão é um critério que limita as alternativas em consideração na análise. Importa salientar que existem 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 pré-estabelecidas.

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.

Ao procedimento que define como combinar os critérios para obter uma determinada avaliação, inclusive como comparar as avaliações com o intuito de tomar decisões, dá-se o nome de 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 uma regra que rege a comparação entre alternativas com base nesse índice.

Enquadradas no contexto de um Objectivo específico, as regras de decisão estruturar-se-ão de forma a que, ao longo de todo o processo, sejam respeitadas as motivações do ou dos interessados na decisão.

Com a finalidade de atingir um determinado objectivo, é frequentemente necessário avaliar e combinar diversos critérios. Os procedimentos que permitem efectuar essas operações designam-se por Avaliação Multicritério (Voogd,1983; Carver, 1991).

### **3.2 Avaliação de pesos para os critérios**

Num processo de decisão envolvendo múltiplos critérios, a atribuição de um peso a cada critério visa quantificar a importância relativa de cada um. Se, para diferentes decisores, um mesmo critério pode possuir graus de importância diversos, uma cuidadosa atribuição de pesos é fundamental para que as preferências apontadas sejam fielmente conservadas.

Não existindo um método consensual para a definição de pesos, encontram-se na literatura várias propostas de procedimentos para este efeito (Voogd, 1983; von Winterfeldt e Eduards, 1986; Malczewski, 1999). Nas secções seguintes são apresentados quatro métodos baseados, respectivamente, no ordenamento de critérios, em escalas de pontos, na distribuição de pontos e, finalmente, em comparações par-a-par.

#### **3.2.1 Métodos baseados no ordenamento de critérios**

Ordenar os critérios de acordo com a ordem de importância atribuída pelo decisor, isto é, atribuir a cada critério uma ordem crescente em função do decréscimo da importância (ao critério mais importante é atribuído a ordem 1, ao segundo mais importante a ordem 2, ...), apresenta-se como um método de grande simplicidade. Após estabelecer-se o ordenamento, procede-se ao processo de geração dos pesos, para o qual existem diversos procedimentos. A título de exemplo, citam-se (Stillwell *et al.*, 1981) o *rank sum*, que utiliza a ordem no ranking, e o *rank reciprocal*, que utiliza o inverso da ordem.

As equações que permitem obter os vectores de pesos são as seguintes:

$$\text{Rank sum: } w_j = \frac{n - r_j + 1}{\sum_k (n - r_k + 1)}; \quad (3.1)$$

$$\text{Rank recíprocal: } w_j = \frac{1/r_j}{\sum_k (1/r_k)}; \quad (3.2)$$

onde  $w_j$  é o peso normalizado do critério  $j$ ,  $r_j$  a ordem do mesmo critério e  $n$  o número de critérios.

Apesar de atractivos dada a sua simplicidade, em geral e à medida que o número de critérios cresce, o emprego destes métodos torna-se inadequado (Voogd, 1983). Para um exemplo de cálculo de pesos por estes métodos, ver Malczewski (1999, p.179).

### 3.2.2 Métodos baseados em escalas de pontos

Sempre que uma avaliação directa é possível, a escala de pontos surge como uma alternativa muito simples de atribuir pesos a critérios.

Osgood *et al.* (1957) desenvolveram inicialmente este método entendendo que uma diferenciação em sete níveis é suficiente para expressar preferências. Neste método, para cada critério, é escolhido um valor pertencendo a uma escala de um a sete, sendo o significado de cada um dos valores interpretado com o recurso ao princípio da semântica diferencial (a escala é marginada por duas expressões opostas – ver Figura 3.1).

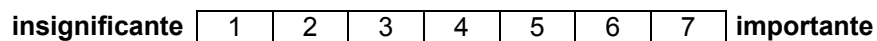


fig. 3.1 – Escala de sete pontos

Atribuído um valor da escala a cada critério, procede-se à normalização desses valores por forma a gerar um conjunto de pesos.

Posteriormente, surgiram variações onde a escala é convertida de forma arbitrária em escala de  $n$  pontos. Podem ser encontrados em Findlay *et al.* (1988) e em Mendes (1999a) exemplos da utilização com uma escala de 5 pontos, aplicados a estudos de avaliação multicritério de qualidade de vida urbana.

### 3.2.3 Métodos baseados na distribuição de pontos

Segundo este método, o decisor é incumbido de distribuir, pelos diferentes critérios, pontos cujo total foi definido à partida. Deste modo, quanto maior o número de pontos atribuídos a um critério, maior é a sua importância relativa. Por exemplo, recorrendo a um total de 100 pontos, atribuí-los todos apenas a um critério significará que apenas esse é tido em conta para a tomada de decisão; em contrapartida, a atribuição de 0 pontos implica que o critério será ignorado.

Easton (1973) introduziu uma alteração ao método designada de *procedimento de estimativa de rácios*. Atribuída uma pontuação arbitrária ao critério mais importante (determinado através de um processo de ranking), são sucessivamente atribuídas pontuações proporcionalmente inferiores aos restantes critérios. A menor pontuação, associada ao critério com menor relevância, serve então de base para o cálculo dos rácios. Por outras palavras, a pontuação de cada critério é dividida pela pontuação mais baixa, resultando desta forma o rácio de cada critério. Para obter os pesos finais, esses rácios são normalizados através da divisão pelo seu total.

Para um exemplo de utilização deste método, ver Malczewski (1999, p.181).

### 3.2.4 Método baseado na comparação de critérios par-a-par

Desenvolvida por Thomas Saaty (1977, 1980, 1987) no contexto dum processo de tomada de decisão denominado AHP (*Analytic Hierarchy Process*), a metodologia de comparação par-a-par é deveras mais complexa, mas também mais promissora.

Sendo  $n$  o número de critérios a comparar, esta técnica apoia-se numa matriz quadrada de comparação de  $n \times n$ , onde ao longo das linhas e das colunas estão dispostos os critérios segundo a mesma ordem. Tem-se assim que  $a_{ij}$  representa a importância relativa do critério da linha  $i$  face ao critério da coluna  $j$ . Dado que a matriz é recíproca, apenas é necessário analisar a metade triangular inferior.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad \wedge \quad a_{ii} = 1, \quad \forall i, j \in \{1, \dots, n\} \quad (3.3)$$

Com o intuito de normalizar todas as comparações par-a-par efectuadas, Saaty (1980) propôs uma escala de comparação de critérios alicerçada em nove níveis

numéricos (Quadro 3.1 e Figura 3.2), invocando uma maior fiabilidade desta escala face a outras mais curtas.

Quadro 3.1 – Escala de comparação de critérios segundo Saaty

Valor	Definição e explicação
<b>1</b>	- <b>Igual importância:</b> os dois critérios contribuem de uma forma idêntica para o objectivo;
<b>3</b>	- <b>Pouco mais importante:</b> a análise e a experiência mostram que um critério é um pouco mais importante que o outro;
<b>5</b>	- <b>Muito mais importante:</b> a análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro;
<b>7</b>	- <b>Bastante mais importante:</b> a análise e a experiência mostram que um critério é predominante para o objectivo;
<b>9</b>	- <b>Extremamente mais importante:</b> sem qualquer dúvida, um dos critérios é absolutamente predominante para o objectivo;
<b>2,4,6,8</b> Valores recíprocos dos anteriores	- <b>Valores intermédios:</b> o compromisso é sempre aceitável; - Se um critério <i>i</i> possui um dos valores anteriores quando comparado com o critério <i>j</i> , então o critério <i>j</i> possui o valor recíproco quando comparado com o critério <i>i</i> .

Nota: Valores de 1.1, 1.2, ..., 1.9, ou ainda mais refinados, podem ser utilizados para comparação de critérios extremamente próximos em grau de importância, tal como para 2.0 até 2.9, etc.

Fonte: Adaptado de Saaty (1980)

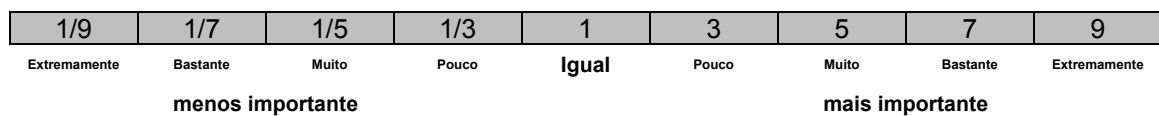


Fig. 3.2 – Escala de comparação de critérios

A determinação dos pesos processa-se ao longo de sete etapas:

- Etapa 1: Construção da matriz de comparação par-a-par;
- Etapa 2: Cálculo do *eigenvector* principal;
- Etapa 3: Cálculo do máximo *eigenvalue*;
- Etapa 4: Cálculo do Índice de Consistência (*CI-Consistency Index*);
- Etapa 5: Cálculo do Índice de Aleatoriedade (*RI-Random Index*);
- Etapa 6: Cálculo do Grau de Consistência (*CR-Consistency Ratio*) através de  $CI/RI$ ;
- Etapa 7: Eventual reavaliação da matriz de comparação se  $CR$  superior a 0.1.

Embora seja um método mais complexo e demorado, que por vezes impõe a iteração para garantir um grau de consistência aceitável, os resultados e o próprio procedimento adequam-se perfeitamente a problemas em que os critérios se encontram hierarquizados, traduzindo o processo de decisão. Deste modo, apenas se estabelecem comparações par-a-par entre critérios de nível hierárquico idêntico.

### 3.3 Normalização de critérios

Dado que a avaliação dos diferentes critérios resulta habitualmente em gamas de grandezas e valores não comparáveis, torna-se necessário proceder à sua normalização para uma mesma escala, no sentido de se proceder, posteriormente, à respectiva combinação.

Inserida numa gama de curvas de normalização que utilizam os valores máximo e mínimo, a variação linear é a forma mais simples de definir uma escala (Eastman, 1997):

$$x_i = \frac{(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} \times \text{Intervalo\_normalizado}, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, \quad (3.4)$$

onde  $R_i$  é o valor de *score* a normalizar e  $R_{min}$  e  $R_{max}$  são respectivamente os *scores* mínimos e máximos.

Quando o número de *scores* permite o cálculo de médias e desvios padrões com algum significado, pode recorrer-se ao processo de normalização denominado *z-score* (Bossard, 1999), que se expressa através da seguinte equação (Mendes *et al.*, 1999a):

$$Zscore = a \frac{r - \mu[r]}{\sigma[r]} \quad (3.5)$$

onde  $r$  é o valor do *score* a normalizar,  $\mu[r]$  é a média dos *scores* das diferentes alternativas em consideração e  $\sigma[r]$  o respectivo desvio padrão. A variável  $a$  assume o valor +1 quando maiores valores do *score* do critério contribuem positivamente para o objectivo em causa, e o valor -1 quando maiores valores do *score* contribuem negativamente para o objectivo.

Assim definido, o *z-score* é o número de desvios padrões que o *score* do critério está acima ou abaixo da média dos *scores* de todas as alternativas consideradas. Uma utilização extensiva deste conceito pode ser consultada em Mendes *et al.* (1999a, 1999b) e Ramos (2000).



Idêntico na sua essência ao processo de normalização, o processo de *fuzzification*<sup>1</sup>, introduzido pela lógica *fuzzy*, também é empregue para normalizar avaliações de critérios. A conversão de um conjunto de valores expresso numa determinada escala num outro comparável e enquadrado numa escala normalizada (por exemplo 0-1), permite traduzir o grau de pertença<sup>2</sup> que, variando entre 0 e 1, indica um crescimento contínuo desde a não-pertença até à pertença total, na base do critério submetido ao processo de *fuzzification*.

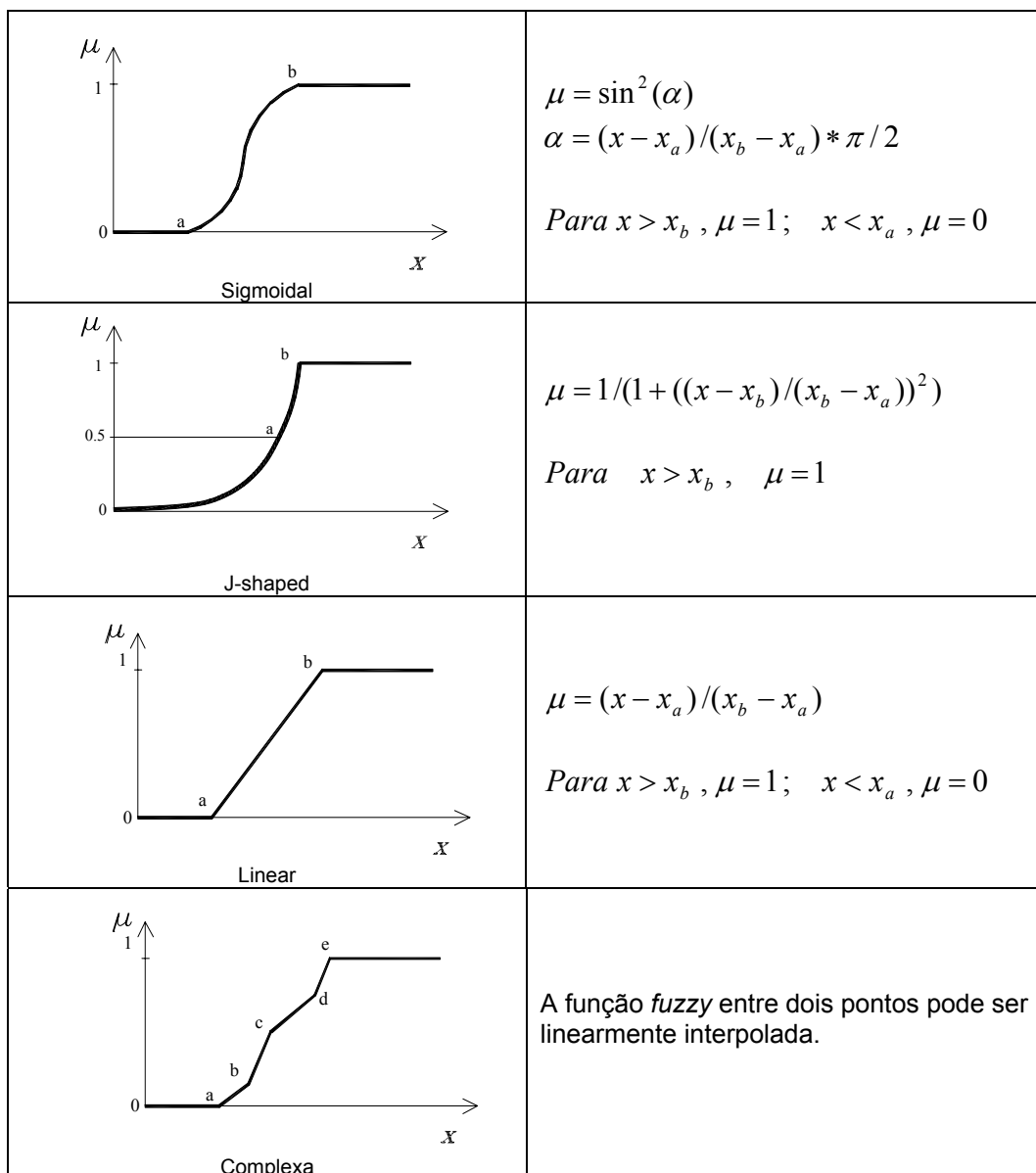


Fig. 3.3 - Funções *fuzzy*

<sup>1</sup> *Fuzzification* é a expressão original apresentada por Zadeh (1965), para a qual não se adoptou qualquer tradução. O mesmo sucede para a palavra *fuzzy*.

<sup>2</sup> Designado por *fuzzy membership* ou possibilidade.

Para reger a variação entre o ponto mínimo<sup>3</sup> e o ponto máximo<sup>4</sup> da curva de normalização, são várias as funções que podem ser utilizadas (por exemplo, Sigmoidal, J-Shaped, Linear e Complexa) também designadas por funções *fuzzy*<sup>5</sup> (Zadeh, 1965; Eastman, 1997; Mendes, 2001). A Figura 3.3 apresenta as formas e respectivas formulações matemáticas, ilustrando também os pontos de controlo mínimo (a) e máximo (b).

A propósito da Figura 3.3, considera-se relevante referir que apenas são apresentadas formas de curvas crescentes, isto é, aquelas cujo *score* normalizado cresce com o *score* original. No caso inverso, quando uma variação positiva dos *scores* originais provoca uma variação negativa dos *scores* normalizados, a curva é decrescente e a respectiva equação deve ser devidamente ajustada.

Em função da natureza do critério, deverá ser escolhida a função adequada, sendo que a função sigmoidal é a mais utilizada. Para além desta escolha cuidada, é fulcral uma selecção rigorosa dos pontos de controlo. Este rigor impõe-se uma vez que, de certa forma, são importantes na calibração da função para critérios e realidades particulares. Um exemplo poderá ser encontrado em Ramos (2000).

### 3.4 Combinação de critérios

Uma vez normalizados para um intervalo fixado (0 a 1, ou outro qualquer), os *scores* dos critérios podem ser agregados de acordo com a regra de decisão. Para tal, existem diversas classes de operadores para a combinação de critérios (para uma descrição extensiva, ver Malczewski, 1999). Nas secções seguintes apresentam-se dois procedimentos considerados mais relevantes no âmbito dos processos de decisão de natureza espacial: a Combinação Linear Pesada (WLC<sup>6</sup>) e a Média Pesada Ordenada (OWA<sup>7</sup>).

---

<sup>3</sup> Ponto a partir do qual *scores* contribuem para a decisão.

<sup>4</sup> Ponto a partir do qual *scores* superiores não fornecem contribuição adicional para a decisão.

<sup>5</sup> Mais genericamente e na terminologia anglo-saxónica, *fuzzy set membership functions*.

<sup>6</sup> WLC deriva de *Weighted Linear Combination*. Por ser uma sigla reconhecidamente associada a este procedimento de agregação, será utilizada ao longo da dissertação.

<sup>7</sup> OWA deriva de *Ordered Weighted Average*. Por ser uma sigla reconhecidamente associada a este procedimento de agregação, será utilizada ao longo da dissertação.

### 3.4.1 Combinação Linear Pesada - WLC

O procedimento WLC (Voogd, 1983) combina os factores através duma média pesada, dada pela equação:

$$S = \sum_i^n w_i x_i \quad (3.6)$$

em que  $S$  é o valor final do *score*,  $w_i$  é o peso do factor  $i$ ,  $x_i$  é o valor normalizado para o mesmo factor e  $n$  é o número de factores. Dado que o somatório dos pesos é a unidade, o *score* final vem calculado na mesma escala dos *scores* normalizados dos factores.

Quando, para além dos factores (expressos em escalas de *scores* contínuas), se aplicam também exclusões (expressas em escala binária - 0 ou 1), o procedimento pode sofrer uma alteração, multiplicando o *score* calculado com base nos factores pelo produtório das exclusões:

$$S = \sum_i^n w_i x_i \times \prod_j^m c_j \quad (3.7)$$

onde  $c_j$  é o *score* (0/1) da exclusão  $j$  e  $m$  o número de exclusões.

O facto de permitir que uma qualidade (*score* a respeito dum critério) muito pobre possa ser compensada por um conjunto de boas qualidades (*scores* mais altos a respeito de outros critérios), designado por compensação entre critérios (*trade-off*), constitui a característica mais importante do procedimento WLC (Ramos, 2000).

### 3.4.2 Média Pesada Ordenada - OWA

Com a apresentação de um novo procedimento de agregação de factores, Yagger (1988) introduziu uma nova perspectiva de análise. Esta técnica não só recorre aos pesos de critérios usados no procedimento WLC mas também a outro conjunto de pesos que não estão especificamente ligados a quaisquer factores. Após a aplicação normal do primeiro conjunto de pesos, o segundo conjunto é

aplicado seguindo uma ordem que é estabelecida em função dos valores dos *scores* para cada um dos factores.

Este procedimento denomina-se OWA e os novos pesos denominam-se *order weights*, fazendo alusão à dependência da sua aplicação da ordenação dos factores que agregam (Yagger, 1988, Eastman *et al.*, 1998).

Tal como no procedimento WLC, da aplicação do primeiro conjunto de pesos aos factores resultam os *scores* pesados. Após ordenados de forma crescente, aplica-se a cada factor o respectivo *order weight*. Trata-se portanto de pesar factores com base na sua ordem, do mínimo para o máximo (Ramos, 2000).

Permitindo a variação dos *order weights*, o procedimento OWA faculta a implementação de uma gama infinita de operadores de agregação. Num processo de decisão que envolva três factores, Eastman *et al.* (1998) referem que se produz uma solução adversa ao risco (dita pessimista ou conservadora), equivalente ao operador lógico AND, quando se recorre ao vector de *order weights*  $[1\ 0\ 0]$ , aplicando desta forma todo o peso ao factor com menor *score*. Pelo contrário, o emprego de um vector de *order weights*  $[0\ 0\ 1]$ , aplicando todo o peso ao factor de mais alto *score*, produzirá uma solução de elevado risco (dita optimista), equivalente ao operador OR. Por sua vez, aplicando igual peso a todos os factores ao utilizar um vector de *order weights*  $[0.33\ 0.33\ 0.33]$ , levará à obtenção de uma solução de risco neutro (intermédia), equivalente ao operador WLC. Ao considerar apenas os *scores* extremos (mínimo e máximo), nos dois primeiros casos, está-se em presença de um caso de ausência de *trade-off*, dado que os factores não se podem compensar uns aos outros. No entanto, no terceiro caso existe *trade-off* total obtido pelo recurso a um vector de *order weights* perfeitamente equilibrado, permitindo aos factores compensarem-se mutuamente (maus *scores* nuns factores podem ser compensados por bons *scores* noutros factores). Equivalente a este último caso, o procedimento WLC não é mais do que um caso particular do procedimento OWA.

A título ilustrativo, apresenta-se um pequeno exemplo de agregação através do procedimento OWA. Considere-se três factores com os *scores* e os pesos do Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Exemplo de agregação OWA - factores

Factor	Score	Peso	Avaliação
A	100	0.5	50

B	200	0.1	20
C	150	0.4	60

A avaliação dos factores após a aplicação dos respectivos pesos conduz à seguinte ordenação, do menor para o maior: [B A C]. A aplicação de três conjuntos de *order weights* conduz aos resultados apresentados no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 - Exemplo de agregação OWA - resultados

Factor	Avaliação (1ª fase)	Order weight	Avaliação (2ª fase)	Score final (soma pesada)
B	20	1	20	20 (avaliação pessimista)
A	50	0	0	
C	60	0	0	
B	20	0	0	60 (avaliação optimista)
A	50	0	0	
C	60	1	60	
B	20	0.333	6.7	43.4 (WLC)
A	50	0.333	16.7	
C	60	0.333	20.0	

Os *order weights* não estão obviamente restringidos aos três casos apresentados no parágrafo anterior; na verdade, qualquer combinação é possível desde que o seu somatório seja a unidade. Por outro lado, a deslocação relativa dos *order weights* no sentido do mínimo ou do máximo controla o nível de risco – também designado por ANDness (Figura 3.4); enquanto que a homogeneidade da distribuição dos *order weights* pelas posições do vector controla o nível global de *trade-off* (Figura 3.5).



Fig. 3.4 - Controlo do risco

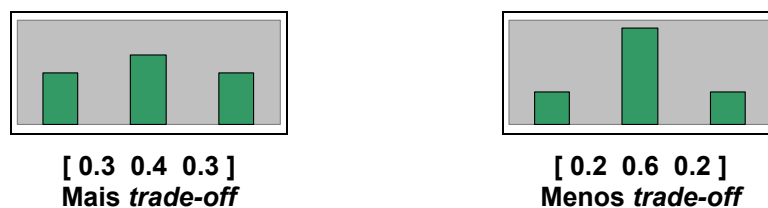


Fig. 3.5 - Controlo do *trade-off*

Na Figura 3.6 pode ser observado que o resultado é um espectro estratégico de decisão, aproximadamente triangular, definido por um lado pela atitude de risco e, por outro lado, pelo nível de *trade-off* (Eastman *et al.*, 1998).

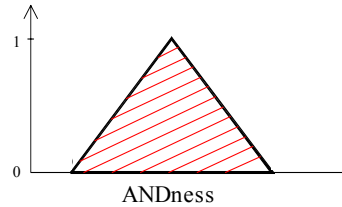


Fig. 3.6 - Espaço estratégico de decisão (OWA)

A variável *ANDness* mede a atitude de risco e é dada pela equação (Eastman *et al.*, 1998):

$$ANDness = \frac{1}{n-1} \sum_i^n [(n-i)O_i] \quad (3.8)$$

e o *trade-off* é dado por:

$$Tradeoff = 1 - \sqrt{\frac{n \sum_i^n (O_i - 1/n)^2}{n-1}} \quad (3.9)$$

onde  $n$  é o número total de factores,  $i$  é a ordem do factor e  $O_i$  é o peso (*order weight*) para o factor de ordem  $i$ .

Para seis pontos de decisão, são apresentados os valores de *ANDness* e *trade-off* no Quadro 3.4, cujo posicionamento no espectro estratégico de avaliação corresponde ao da Figura 3.7.

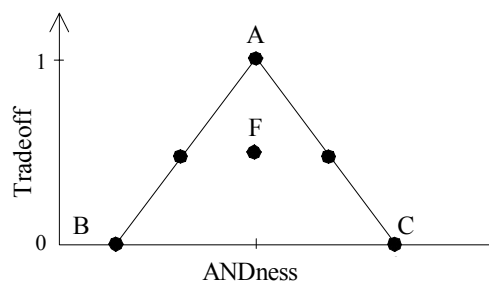


Fig. 3.7 - Pontos de decisão

Quadro 3.4 - ANDness e trade-off para vários pontos de decisão

Ponto	Order weights		ANDness	Trade-off	Tipo de avaliação
A	[ 0.20 0.20 0.20 0.20 0.20 ]		0.50	1.00	Risco neutro Trade-off total
B	[ 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 ]		0.00	0.00	Risco máximo (optimista) Sem Trade-off
C	[ 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00 ]		1.00	0.00	Risco mínimo (pessimista) Sem Trade-off
D	[ 0.55 0.25 0.10 0.05 0.05 ]		0.80	0.53	Baixo risco Algum Trade-off
E	[ 0.05 0.05 0.10 0.25 0.55 ]		0.20	0.53	Alto risco Algum Trade-off
F	[ 0.05 0.15 0.60 0.15 0.05 ]		0.50	0.49	Risco neutro Algum Trade-off

# Capítulo 4

## Sistemas de Informação Geográfica

### 4.1 Definição de SIG

De acordo com Mendes (1994), Denègre e Salgé (1996) e Puebla e Gould (1994), entende-se que um Sistema de Informação Geográfica (SIG) possa ser considerado um caso particular e especial dos sistemas de informação em geral. Usando como base a definição de sistema de informação – sistema de comunicação que permite comunicar e tratar informação (norma internacional ISO 5127-1-1983) ou, segundo Martin (1991), um conjunto de rotinas de programação, ou conjuntos integrados de subrotinas de programação, desenvolvidas para representar ou gerir grandes quantidade de dados que traduzem o mundo real – temos que um SIG é um sistema que permite comunicar e tratar informação geográfica, isto é, recorrendo à etimologia da palavra, que descreve o mundo terrestre.

Vocacionado para informar o utilizador acerca do território, um SIG recorre a um parâmetro essencial: a localização (este objecto é vizinho daquele, determinado fenómeno afecta uma determinada área e sobrepõe-se a uma outra, etc.).

Um SIG tem por objectivo final o apoio à decisão, suportada por conhecimentos geográficos e de meios de tratamento, de representação e de comunicação das mesmas (Denègre e Salgé, 1996, p. 5)

Iniciada no final da década de 60, a informatização da produção cartográfica originou o surgimento de uma nova tecnologia, a geomática, cujo objectivo primário é a automatização da cartografia.

De forma progressiva e devido à necessidade de um processamento mais eficaz e completo, os dados cartográficos foram organizados em bases de dados



que a Associação Francesa de Normalização (AFNOR) (1989), no seu *Dicionário de Informática*, definiu da seguinte forma: *estrutura de dados permitindo armazenar e fornecer, a pedido, dados a múltiplos utilizadores independentes*. Da gestão combinada de diversas bases de dados emergiu o conceito de sistema informático capaz de garantir a sua síntese, gestão, alimentação, arquivo, actualização, etc.

Portador das funcionalidades referidas, um SIG possui ainda duas particularidades:

- a capacidade de gerir e tratar as relações espaciais entre objectos ou fenómenos no espaço terrestre, implicando a existência de funções de análise espacial e de síntese para o apoio à decisão;
- a representação do espaço e suas componentes sob a forma de uma carta ou de uma planta, o que implica a disponibilidade de funções de construção e produção cartográfica.

Apenas no decorrer da década de 80, os Sistemas de Informação Geográfica conseguem impor-se como objectivo geral da geomática, abrangendo o conjunto dos elementos, relações e funções ligadas à exploração de conhecimentos sobre o espaço terrestre.

O *National Center for Geographic Information and Analysis* (NCGIA), dos Estados Unidos da América, refere que um SIG é “um sistema de *hardware*, *software* e procedimentos definidos para realizar a captura, ou introdução, armazenamento, manipulação, análise, modelação e apresentação de dados referenciados espacialmente, visando a resolução de problemas complexos de gestão e planeamento” (NCGIA, 1990).

Didier (1990), num estudo para o Conselho Nacional de Informação Geográfica (CNIG) de França, definiu um SIG como um conjunto de dados referenciados no espaço, estruturado de forma a se poder extrair comodamente sínteses úteis à decisão.

Peuquet e Marble (1991) apresentam uma definição baseada na descrição das principais componentes funcionais, excluindo da classe dos SIG os sistemas que incluem apenas parte das características dessas componentes. Segundo este autor, um SIG deve integrar:

1. Um subsistema para a entrada dos dados, que realiza a aquisição de dados espaciais provenientes de mapas existentes, sensores remotos, etc.

2. Um subsistema de armazenamento e recuperação, que organiza os dados espaciais por forma a poderem ser rapidamente extraídos pelo utilizador para subsequente análise, bem como permitem a realização de actualizações e correcções de forma rápida e rigorosa.
3. Um subsistema de manipulação e análise, que realiza várias tarefas tais como alterar a forma dos dados de acordo com regras de agregação definidas pelo utilizador, ou produzir estimativas de parâmetros para modelos de simulação ou optimização do tipo espaço-tempo.
4. Um subsistema de apresentação da informação, capaz de apresentar a totalidade ou parte da base de dados original ou dados já processados, e ainda os resultados de modelos de análise espacial em forma de tabela ou de mapa.

Estas definições evidenciam duas facetas importantes dos SIG: as funções técnicas e o apoio ao utilizador. Um SIG deve assim ser capaz de responder eficazmente às necessidades dos profissionais da cartografia cujo objectivo é de automatizar a sua produção, face ao crescimento do consumo do seu produto, e as necessidades, de tamanho e diversidade quase ilimitadas, dos utilizadores finais de SIG que neles se pretendem apoiar para tomar decisões.

#### **4.1.1 Perguntas de base a que um SIG deverá responder**

Quando um problema envolve a componente de localização, poderão surgir aos utilizadores questões como as seguintes (Denègre e Salgé, 1996):

- ONDE? este objecto, este fenómeno, onde se encontra? (inventário dum tipo de objecto em todos os locais onde estiver presente, realce da sua distribuição espacial).
- O QUÊ? neste local, o que se encontra? (inventário de todos os objectos ou fenómenos presentes num determinado território, realce das sobreposições e das proximidades).
- COMO? que relações existem ou não entre os objectos ou fenómenos? Será que a sua distribuição no espaço geográfico relata outros fenómenos subjacentes? Trata-se da problemática da análise espacial.
- QUANDO? em que momento ocorreram alterações ou fenómenos? Quais são a idade e a evolução de um determinado objecto ou fenómeno? (actualização dos dados e conservação histórica dos mesmos: análise temporal).
- E SE? o que resultaria se determinado cenário de evolução acontecesse? Em função da sua localização, que consequências afectariam os objectos

ou fenómenos em causa? (estudos de impacto, estudo de projectos, simulação, projecção no futuro)

Ao ler estas perguntas, facilmente se depreende que existe uma multiplicidade de domínios de aplicação possíveis para os SIG.

Entre estas cinco perguntas “elementares”, denota-se uma diferença de nível de complexidade. As duas primeiras traduzem directamente o acto de leitura de uma carta ou plano, recorrendo a funções simples de selecção. Para poder dar resposta às questões para o qual ele foi destinado, um SIG deverá conter toda a informação relativa aos objectos ou fenómenos que, directa ou indirectamente, sejam objectos de estudo. Por sua vez as outras três perguntas, ao recorrer à análise espacial, ao estudo da evolução, à simulação e à prospectiva para obter resposta, traduzem a necessidade de tratamentos e processamentos bem mais complexos e sofisticados. Pelas características descritas, não restam dúvidas que um SIG é muito mais do que simples cartografia informatizada e, tendo sempre presente o objectivo de apoio à decisão, deve ser apto a reproduzir a parte automatizável da perícia humana.

#### 4.1.2 Definição de Informação Geográfica

Em 1991, a *Association for Geographic Information* do Reino-Unido definiu a informação geográfica da seguinte forma: “Informação geográfica é informação que pode ser relacionada a uma localização (definida em termos de ponto, área ou volume) na Terra, em particular informação acerca de fenómenos naturais, culturais e recursos humanos”.

Esta definição foi retomada pela Comissão Europeia que lhe juntou a dimensão temporal – o mundo não é um local estático. Na sua tese sobre “cartografia numérica e informação geográfica” e de forma concisa, Quodverte (1994) enuncia uma definição muito próxima: “A informação geográfica é a representação dum objecto ou de um fenómeno real, localizado no espaço num determinado momento.”

Consultando estas duas definições bem como outras utilizadas um pouco por todo o mundo, são sempre encontrados dois termos cuja relação define o conceito de informação geográfica:

- a *informação* relativa a um objecto ou a um fenómeno do mundo terrestre, descrito de forma mais ou menos pormenorizada pela sua natureza, aspecto

e atributos (por exemplo, uma estrada será descrita pelo seu tipo, nome, piso, sentido, número de faixas de rodagem, etc.); por outro lado, essa descrição pode incluir relações com outros objectos ou fenómenos (por exemplo, um edifício pertence a um determinado proprietário, etc.). Qualifica-se este termo de semântico, isto é, descreve-se o objecto ou fenómeno, independentemente da sua localização;

- a sua *localização* na superfície terrestre, descrita num sistema de referência explícito (por exemplo, um sistema de coordenadas ou um endereço postal). Diz-se que este termo é do tipo geométrico, no sentido etimológico da palavra, isto é, reporta-se às medidas da posição dos objectos à superfície da Terra, bem com as suas formas e dimensões.

Após esta descrição, ficou evidente que a informação geográfica encerra características únicas. Logo, a sua colecção, compilação e análise dão origem a problemas únicos: a realidade por ela representada é frequentemente contínua e sempre infinitamente complexa, levando à necessidade de a “discretizar”, abstrair, generalizar ou interpretar para o seu posterior tratamento e análise (Kemp, Goodchild e Dodson, 1992).

#### **4.1.2.1 A componente espacial**

A componente espacial engloba quer a localização geográfica e as propriedades espaciais dos objectos, quer as relações espaciais que existem entre eles.

##### **a) a localização geográfica**

A localização geográfica dos objectos no espaço é expressa mediante um sistema de coordenadas. Para todos os níveis de informação a que se recorre para representar uma área em estudo e por razões óbvias de compatibilidade entre elas, é imperioso que esse sistema seja sempre comum. No entanto, e sempre que necessário e possível, um SIG poderá converter dados expressos num dado sistema de coordenadas para um outro.

##### **b) as propriedades espaciais**

De acordo com a sua natureza, os objectos utilizados para representar a realidade possuem determinadas propriedades espaciais. Por exemplo, o

comprimento, a forma, a inclinação e a orientação são algumas das propriedades espaciais de uma linha. Para um polígono, podem citar-se a área, o perímetro, a forma, a inclinação e a orientação. Quanto se trata de um SIG *raster*, que recorre a células, são constituídas zonas (conjunto de células adjacentes com igual valor do atributo) que são utilizadas no seu todo e pelas suas propriedades espaciais para posterior análise espacial.

c) as relações espaciais

Baseando-se no espaço, a conectividade, a contiguidade e a proximidade são exemplos de relações que podem existir entre objectos espaciais. Dada elevada quantidade de relações possíveis, um sistema de informação geográfico não as armazena todas. Algumas estão explicitamente definidas num SIG, outras serão calculadas quando requeridas ou simplesmente não são disponibilizadas (Aronoff, 1989). A título de exemplo, existem numerosos SIG que armazenam explicitamente a relação topológica de contiguidade entre polígonos. Em contrapartida, a relação de proximidade entre dois objectos pode ser calculada quando requerida, recorrendo à geometria e à localização dos objectos em causa e aos critérios fornecidos pelo utilizador (personalização do conceito de proximidade).

Sendo assim, é possível estabelecer uma distinção entre dois tipos de relações espaciais: topológicas, de tipo qualitativo, e geométricas, calculadas a partir das coordenadas do objecto.

#### **4.1.2.2 A componente temporal**

O tempo constitui sem dúvida uma característica particularmente importante no contexto dos sistemas de informação geográfica. Uma vez que os dados de localização e os atributos descritivos podem variar ao longo do tempo e de forma independente (os atributos podem alterar-se enquanto se mantém a mesma localização espacial ou vice-versa), compreende-se que a gestão de dados espaciais pode tornar-se bastante complexa.

#### 4.1.2.3 A componente temática

a) a variação dos valores temáticos no espaço e no tempo

Como já referido anteriormente, aos objectos empregues para representar as alterações do mundo real estão associados atributos que visam ilustrar determinadas características. Os valores desses atributos muitas vezes não seguem variações aleatórias e muitas vezes é possível descortinar padrões de regularidade dessa variação, tanto no espaço como no tempo. Neste âmbito, existem dois princípios que importa salientar:

i) autocorrelação espacial

Preconizando que os valores temáticos tendem a ser mais parecidos entre objectos próximos no espaço do que entre objectos afastados, este princípio leva à existência de uma certa ordem no espaço.

ii) autocorrelação temporal

Proveniente do facto que os valores temáticos não se alteram apenas no plano espacial, mas também no do tempo, este princípio diz que, tal como acontece no espaço, as mudanças que podem ocorrer ao longo do tempo aconteceram seguindo uma tendência gradual. Por outras palavras, os dados mais próximos no tempo são mais parecidos entre si do que com outros mais remotos.

b) tipos de variáveis e escalas de medida

Trata-se de um ponto importante porque afecta quer a geração de mapas pelo utilizador de um SIG, quer os tipos de análise que se podem efectuar com a informação temática. As variáveis contempladas por essa informação podem ser tipificadas atendendo basicamente a dois critérios:

- variáveis contínuas e variáveis discretas;
- variáveis fundamentais (obtidas directamente) e variáveis derivadas (resultado de alguma operação matemática entre pelo menos duas variáveis fundamentais).

As mesmas variáveis podem ser medidas em escalas distintas:

- escala nominal (trabalha com nomes);
- escala ordinal (para além de permitir distinguir, também estabelece uma hierarquia entre as unidades espaciais);

- escala de intervalo (distingue, hierarquiza, mas também identifica a distância existente entre as diferentes unidades espaciais).

#### **4.1.3 Qualidade da informação geográfica**

Genericamente, a qualidade de um produto é avaliada em função da sua capacidade de responder às necessidades do utilizador. A AFNOR (1989) definiu-a assim: “Conjunto de propriedades e características de um produto ou serviço que lhe conferem aptidão a satisfazer necessidades expressas ou implícitas.”

Impulsionados pela constante melhoria de desempenho da informática, consequência de uma evolução vertiginosa, e por uma diversidade quase ilimitada dos domínios de aplicação, os SIG são objectos de uma difusão e utilização em crescimento contínuo. Sendo a ferramenta bem conhecida, a preocupação incide agora sobre a qualidade dos dados a tratar (em função da qual serão eventualmente impostas limitações). Caso isso não aconteça, o utilizador sujeitar-se-á a obter resultados absurdos ou aberrantes ou mesmo incontroláveis.

##### **4.1.3.1 Qualidade absoluta, qualidade relativa**

A qualidade absoluta de um conjunto de dados geográficos pode ser definida pela fidelidade apresentada por esse conjunto perante a realidade que, captada através das especificações, pretende representar. A qualidade relativa do mesmo mede o afastamento entre o que é oferecido e as necessidades reais.

##### **4.1.3.2 Os parâmetros da qualidade**

A qualidade dos dados é descrita em função de um conjunto de conceitos tais como a verdade temporal (ou actualidade), precisão da descrição dos objectos, fidelidade da geometria (forma e posição, relativa e absoluta), coerência topológica (respeito das vizinhanças, das intersecções, ...), coerência lógica (coerência interna dos dados), genealogia.

## 4.2 Aplicações típicas dos SIG

Neste ponto, pretende-se ilustrar quão vasto é o domínio de aplicação de SIG e como o seu uso se torna fundamental em diversas áreas. De seguida, apresentam-se algumas aplicações extraídas de artigos apresentados na Conferência do Utilizador ESRI (Zeiler, 1999, p. 48-50):

- Agricultura: imagens de satélite mostrando o uso do solo combinadas com modelos de oscilação do estado do tempo para o *El Niño* para prever efeitos na agricultura;
- Defesa: a força aérea dos Estados Unidos utiliza a tecnologia SIG para gerir, manter e visualizar milhões de registos climatéricos;
- Distribuição de água e recursos hídricos: o crescimento demográfico e a expansão da agricultura no Egipto exigem uma gestão da água. Um ministério está a construir um sistema para gerir o canal do rio Nilo, os restantes canais, os esgotos e as bombas;
- Ecologia e conservação: no Kenya, um SIG revelou que mamíferos de grande porte da savana dispersam-se na estação húmida e concentram-se numa bacia durante a estação seca. Desta forma, é possível estudar e compreender os padrões das migrações sazonais, condição fundamental para uma boa gestão do acesso à água por parte da fauna selvagem;
- Electricidade e gás: a cidade de Beirute está analisando a sua rede de energia de forma a minimizar as perdas e aumentar os níveis de voltagem. O SIG modela cenários de colocação de novos dispositivos para otimizar a melhoria;
- Exploração mineira e Geociências: uma empresa do ramo utiliza um SIG para criar bases de dados tridimensionais para a monitorização de depósitos de desperdícios nucleares, programas de exploração mineira e águas subterrâneas;
- Gestão de emergências: em 1997, a nave espacial Cassini foi lançada com a missão de explorar Saturno. Um SIG foi utilizado para avaliar o risco que representaria um acidente envolvendo o plutónio dos geradores que estavam a bordo;
- Gestão do ambiente: uma grande barragem está em construção na Turquia. O SIG é utilizado numa avaliação completa dos efeitos que provocará na



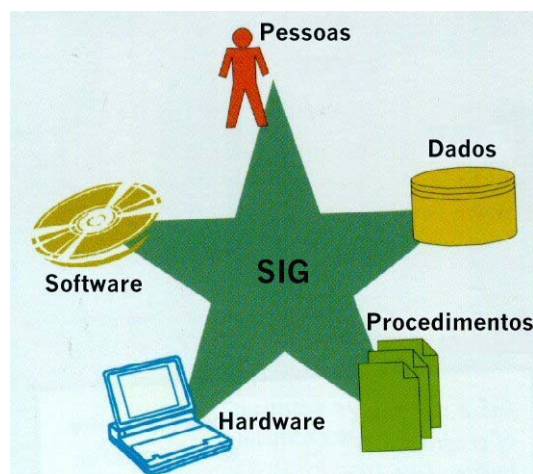
irrigação, produção de energia hidroeléctrica, saúde, exploração mineira, educação, turismo e telecomunicações;

- Oceanografia, zonas costeiras e recursos marinhos: o *U.S. Naval Oceanographic Office* utiliza dados sobre a temperatura dos mares obtidos de forma remota para estudar frentes e correntes oceânicas;
- Saúde pública: um investigador universitário recorre ao SIG para analisar a epidemiologia de doenças raras e estimar a exposição de indivíduos aos factores ambientais de risco;
- Telecomunicações: na Indonésia, um SIG é empregue para gerir a radiodifusão ao estudar a localização de estações, a demografia das áreas servidas e a manutenção do equipamento;
- Transportes: na Coreia, um SIG monitoriza o tráfego em tempo real de forma a mitigar engarrafamentos nas vias rápidas.

### 4.3 Componentes dum SIG

“Um sistema de informação geográfica é a combinação de pessoas qualificadas, dados espaciais e descritivos, métodos analíticos, programa e *hardware* – todos organizados para automatizar, gerir e fornecer informação através de apresentações geográficas” (tradução livre de Zeiler, 1999, p. 46).

Desta descrição, identificam-se cinco componentes fundamentais que compõem um SIG: a parte física do sistema (*hardware*), o programa (*software*), os métodos analíticos, os dados e a componente humana (*liveware*) (Figura 4.1).



adaptado de Zeiler, 1999

Fig. 4.1 – componentes de um SIG.

A parte física pretende dar resposta a diversas facetas de um SIG. Por um lado, é necessária uma plataforma (desde um simples computador pessoal até uma rede de potentes estações de trabalho) onde é instalado o programa propriamente dito, armazenados toda a informação e projectos desenvolvidos, e disponibilizados os resultados e os dados para acesso via internet. Por outro lado, é preciso apetrechar essa plataforma com periféricos específicos que permitam quando necessário, proceder à aquisição de dados (mesas de digitalização, scanners, etc.) e à apresentação de resultados (impressoras, plotters, projectores, etc.).

O *software* é a componente que permite operar e manipular os dados. Com a maior divulgação e utilização dos SIG, surgiram no mercado inúmeros produtos que, na generalidade, oferecem funcionalidades semelhantes. No entanto, ou não fossem desenvolvidos por *software houses* diferentes, distinguem-se pela forma como armazenam os dados espaciais, pelas operações “não comuns” que disponibilizam e a forma como foram implementadas, pela facilidade de utilização e pelo apoio pós-venda prestado, muitas vezes menosprezado mas que se verifica a longo prazo fundamental.

Os especialistas que operam com SIG recorrem a procedimentos que são indispensáveis ao bom funcionamento do sistema. A ciência aplicada num contexto espacial, tal como hidrologia, meteorologia ou epidemiologia, procedimentos para garantir a qualidade dos dados (actualizados, consistente e correctos), algoritmos que resolvem problemas espaciais em redes lineares ou em topologias de polígonos, ou ainda os conhecimentos para aplicar princípios de *design* cartográfico na obtenção de apresentações de mapas excelentes são alguns exemplos de procedimentos.

Os dados, representação abstracta e em geral simplificada do mundo real, são geralmente a componente crítica de um SIG, uma vez que todas as operações são executadas sobre eles e a utilidade dos resultados depende da sua qualidade. Para além deste aspecto, Rowley e Gilbert (1989) salientam que a obtenção de um conjunto de dados operacionais pode custar cerca de 70% do custo total de um projecto, o que apenas serve para reforçar o aspecto vital desta componente.

Por fim, o *liveware* engloba todos aqueles que planificam, desenvolvem, implementam ou são meros utilizadores finais (que podem estar a usar SIG sem o saber, por exemplo via internet).

## 4.4 Estruturas de dados espaciais

Interligação entre semântica e geometria, a informação geográfica descreve a realidade com um grau mais ou menos elevado de abstracção (Denègre e Salgé, 1996).

Sendo que o mundo real é muito diversificado e cada investigador necessita de simplificar essa realidade para definir um modelo que permita atingir os objectivos da análise pretendida (Puebla e Gould, 1994). Por outro lado, é importante ter presente que um modelo que contemple de forma complexa e muito completa a realidade, poderá não ser o que produz melhores resultados (Ramos, 2000).

### 4.4.1 Representação abstracta da realidade

Para representar um fenómeno real que, na maioria dos casos, é de natureza infinita e não numerável, o raciocínio humano procura considerar um conjunto de hipóteses que, simplificando a realidade, permitem torná-la finita e numerável.

Um bom exemplo do mundo físico é o relevo. Transposto para uma superfície matemática a duas dimensões, o relevo é representado por curvas de nível constantes e equidistantes. Essas linhas caracterizam-se por serem quebradas, isto é, uma cadeia de segmentos de recta. Para reconstruir a superfície inicial, é necessário recorrer às hipóteses de interpolação (linear, bicúbica ou outra) para estimar em qualquer ponto  $(x,y)$  a altitude  $z$ .

Assim, a visão abstracta da realidade é uma superfície matemática construída a partir de linhas quebradas representando pontos equipotenciais às quais é associada uma fórmula de interpolação. Esta abstracção é definida por uma série de parâmetros (equidistância, tipo de interpolação, etc.) (Denègre e Salgé, 1996)

### 4.4.2 Geometria

No domínio dos SIG, existem duas abordagens básicas para representar a realidade: os modelos vectorial e *raster*. Encontra-se desde logo uma tendência para a simplificação ao nível da representação, reflectindo a necessidade de traduzir de forma abstracta a complexidade do espaço que nos rodeia.

No modelo vectorial, a posição dos objectos é definida por coordenadas expressas num dado sistema de coordenadas. A forma dos objectos é expressa por intermédio de três primitivas geométricas: o ponto, a linha (ou arco) e o polígono (ou área) (Figura 4.2).

A um ponto está associado um só par de coordenadas que fornecem a sua posição no espaço bidimensional, ou três coordenadas no espaço tridimensional.

A uma linha está associado uma série ordenada de pontos (coordenadas). A forma é obtida pela ligação entre cada ponto da série e o seguinte por um segmento de recta, obtendo-se na realidade uma linha quebrada.

Um polígono é delimitado pelo seu perímetro (ou contorno) que não é mais do que uma linha que se “fechou” (os pontos inicial e final coincidem).

No modelo *raster*, a realidade é representada por uma malha que é sobreposta sobre o mundo real e pela atribuição de um atributo (definido pela sobreposição) a cada célula da malha (pixel) (Figura 4.2). Dado que apenas é possível atribuir um atributo a cada célula, é necessário gerar várias malhas para representar diversas características de uma mesma área. Por outro lado, um ponto é identificado por um pixel rodeado por pixels com o valor de atributo diferente. Uma linha é representada por uma série conexa de pixels com valor de atributo igual e tendo no máximo dois vizinhos com valor de atributo igual. Uma área é um conjunto conexo, sem restrição de vizinhança, de pixels cujo valor do atributo é idêntico, rodeado de pixels com valor do atributo diferente.

Sendo assim, diz-se que a informação armazenada pelos dois modelos é georeferenciada: a sua localização no espaço é conhecida (Figura 4.3).

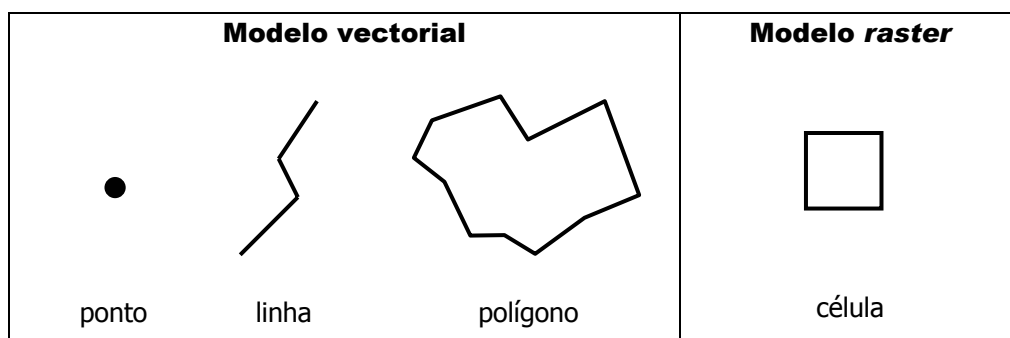


fig 4.2 – Primitivas de representação

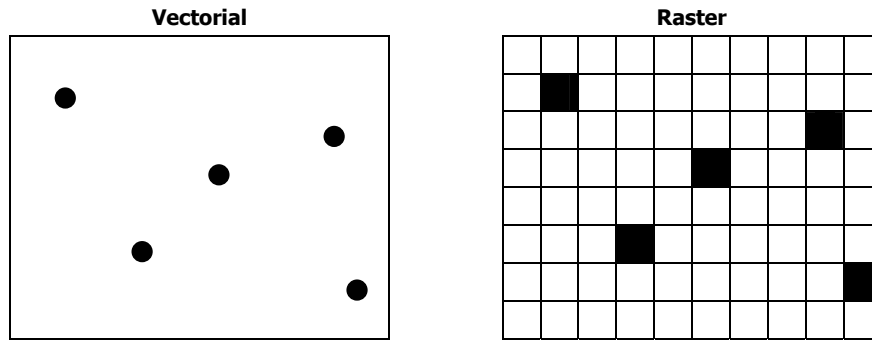


Fig. 4.3 - Representação de pontos

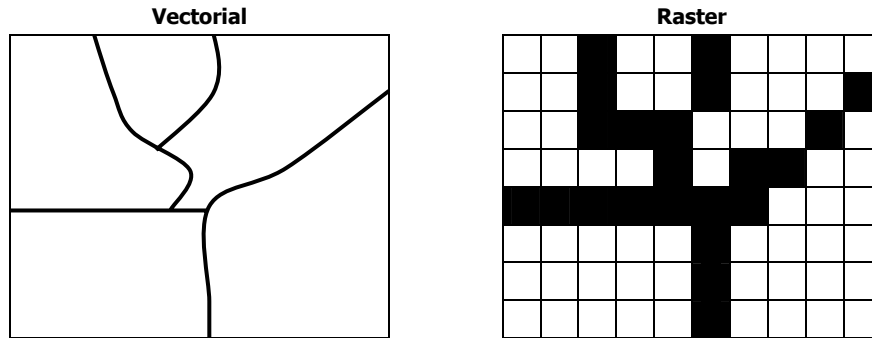


Fig. 4.4 - Representação de linhas

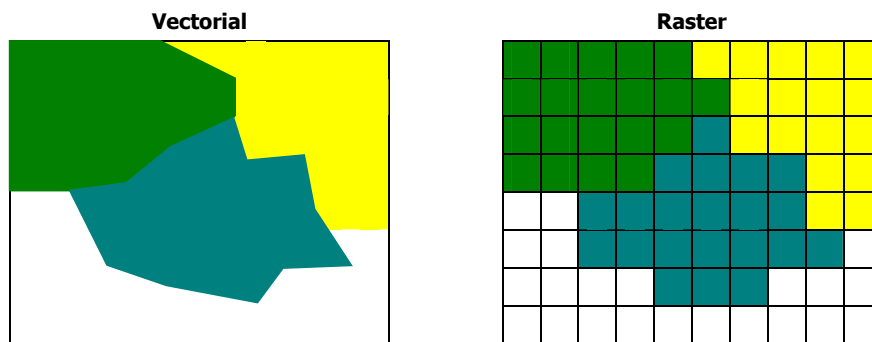


Fig. 4.5 - Representação de áreas

#### 4.4.3 Estruturas para a gestão de atributos

Se no modelo *raster* o atributo da célula é o veículo da semântica, o modelo vectorial faculta a possibilidade de armazenar todas as propriedades das entidades existentes no mundo real. Guarda-se assim a informação relativa à definição espacial (forma e localização) e a informação referente aos atributos. Mas, é ainda necessário criar uma ligação entre ambas, sem a qual os dados andarão “desencontrados” e tornar-se-ia quase impossível reconstituir uma representação da realidade inicial.

Neste ponto, considera-se importante diferenciar os conceitos de bases de dados (informação armazenada), e de sistema de gestão de bases de dados (o sistema informático utilizado para armazenar, tratar e recuperar essa informação) (Healey, 1991).

Um sistema de base de dados oferece as seguintes vantagens face ao acesso directo aos ficheiros a partir do sistema operativo (Cebrián, 1988 e Star e Estes, 1991):

- Independência dos dados: os programas (interface com o utilizador) são independentes da forma física como os dados são armazenados, uma vez que o utilizador efectua uma utilização “transparente” da base de dados, já que o acesso é efectuado através do sistema de gestão de bases de dados;
- Controlo de integridade: visa controlar a entrada de dados por forma a evitar eventuais contradições na base de dados. Este controlo materializa-se principalmente pela validação das entradas mediante restrições ou imposições (que também deverão ser armazenadas) previamente definidas;
- Controlo da redundância: caso não acontecesse, surgiam de imediato dois inconvenientes que muito facilmente se tornariam em problemas mais ou menos graves (em função do tamanho da base de dados): consumo desnecessário de espaço físico e complicação da tarefa de actualização da informação da base de dados;
- Sincronização: acedido por mais de um utilizador, previne-se que um registo só possa ser alterado por um utilizador de cada vez;
- Segurança: nem todos os utilizadores têm as mesmas permissões (consulta, escrita, ...) de acesso a base de dados, quer de forma parcial ou total.

Com a globalização da informação através da internet, os dois últimos pontos estão cada vez mais na ordem do dia.

#### **4.4.3.1 O modelo Relacional**

A modelação conceptual dos dados a integrar numa base é habitualmente realizada através de uma abordagem formal conhecida pela designação de modelo entidades-relações (Chen, 1976). Trata-se de um processo de organizar e esquematizar informação que se baseia no seguinte conjunto de conceitos:

- entidades e classes de entidades;

- relações entre entidades ou classes de entidades;
- atributos das entidades e das relações;
- cardinais das relações;

Uma entidade é uma pessoa, local, coisa ou acontecimento. Um lote, um edifício, uma freguesia, um lugar ou um licenciamento são exemplos de entidades do mundo real. Estas podem agrupar-se em classes de acordo com algum critério definido (Mendes, 1994).

Aplicáveis a entidades individuais ou a classes, as relações são associações entre fenómenos, por exemplo, as relações lote-edifício e freguesia-lugar.

Quer as entidades quer as relações podem ter atributos que descrevem as suas características específicas, tal como a área do lote, o número de pisos do edifício ou o nome do lugar.

Os cardinais são expressos por quatro valores que definem o mínimo e o máximo número de entidades que ocorrem num relação, em ambos os sentidos. Normalmente, os mínimos são 0 ou 1; quando o máximo é desconhecido, utiliza-se a letra N.

A representação gráfica típica do modelo entidades-relações pode ser observada na Figura 4.6 .

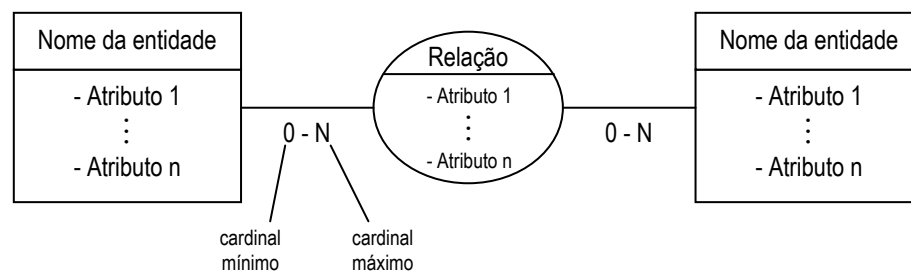


Fig. 4.6 - Nomenclatura dos diagramas do modelo entidades-relações

No processo de criação de uma base de dados, à modelação conceptual dos dados deve seguir-se a modelação lógica. Este nível de modelação constitui uma base matemática, por um lado, e corresponde à transformação do modelo conceptual no sentido do armazenamento dos dados, utilizando as ferramentas do modelo lógico.

Nos últimos vinte e cinco anos, as abordagens disponíveis para a modelação lógica de dados têm sido as seguintes:

- o modelo hierárquico, baseado numa estrutura em árvore e permitindo apenas estabelecer relações através de ramos hierárquicos;
- o modelo em rede, cuja base de modelação é o conjunto, unidade particularmente apropriada para o estabelecimento de relações do tipo um-para-muitos;
- o modelo relacional, no qual a estrutura básica é a tabela;
- o modelo orientado ao objecto.

Actualmente, os dois primeiros já caíram em desuso quase total e o último está despontando. O modelo relacional continua assim como o mais consagrado e divulgado no que toca à organização do armazenamento de informação.

#### **4.4.3.2 Modelação de dados por tabelas**

A tabela consiste em linhas, colunas e células. As colunas, usualmente referidas como campos, contêm atributos. As linhas, por vezes renomeadas de registos, contêm ocorrências particulares de uma entidade. As células, identificadas pela linha e coluna a que pertencem, contêm valores de um atributo de uma entidade.

Cada coluna (atributo) se expressa num único domínio (tipo de dados representativo dos valores que poderá tomar o atributo). Os números inteiros, reais, as datas, os valores lógicos e as imagens são alguns dos tipos de dados mais frequentemente utilizados.

É importante referir que este modelo recorre à atribuição de uma chave (que não é mais do que um atributo “especial”) a cada ocorrência, por forma a identificá-las de forma inequívoca. Por outras palavras, a cada ocorrência é atribuída uma e uma só chave e a cada chave só corresponde uma e uma só ocorrência. Quando a informação assim o obriga, por vezes utilizam-se chaves múltiplas, integrando diversos atributos.

Se duas ou mais tabelas tiverem um campo (coluna) comum, então sempre que ocorram valores iguais para esse atributo fica estabelecida uma relação (associação) entre as tabelas ou, mais concretamente, entre os registos respectivos.



Para evitar redundância de informação, esse campo comum deverá sempre ser uma chave.

A Figura 4.7 apresenta um exemplo de uma estrutura relacional de uma base de dados cadastral, onde se estabelecem diversas associações entre tabelas.

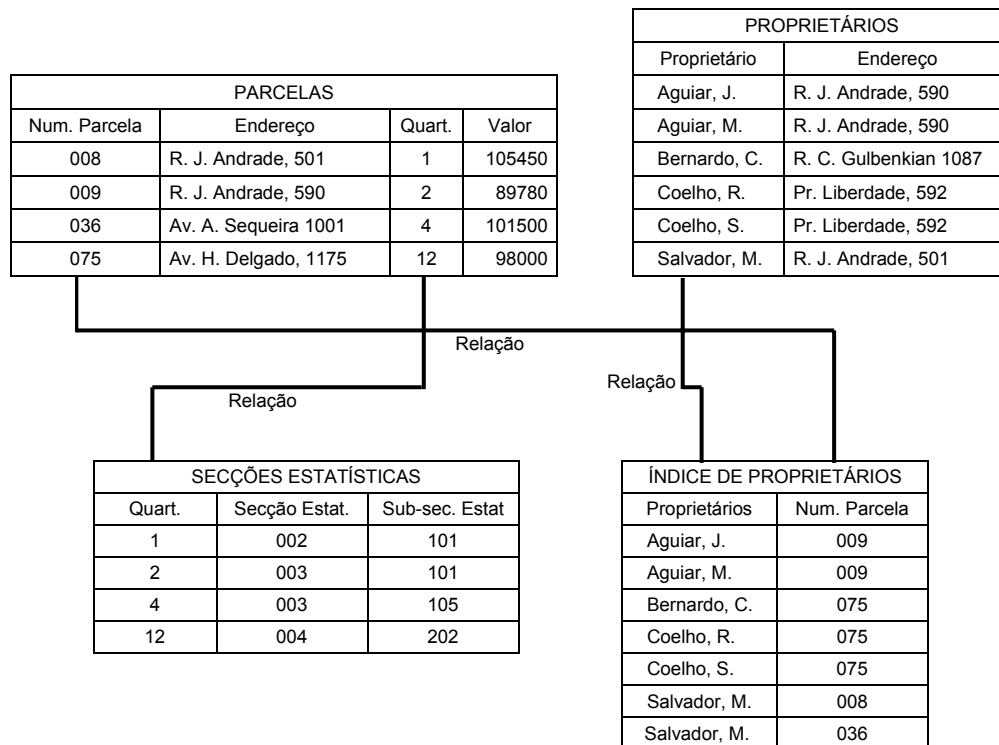


Fig. 4.7 – Exemplo de estrutura relacional de base de dados cadastral

Para a manipulação das relações são necessários operadores organizados numa álgebra. Os principais operadores da álgebra relacional são a intersecção, a união, a diferença, a junção, a projecção relacional, a restrição e a divisão. Apresenta-se uma síntese do seu significado (Laurini e Thompson, 1992):

- Intersecção - Considerando duas relações R1 e R2, cujos atributos são definidos nos mesmos domínios, as ocorrências resultantes da sua intersecção são comuns a ambas;
- União - A união de duas relações R1 e R2, cujos atributos são definidos nos mesmos domínios, tem como resultado todas as ocorrências que estão presentes em R1 e R2;
- Diferença - A diferença entre as relações R1 e R2, cujos atributos são definidos nos mesmos domínios, corresponde à lista das ocorrências que estão presentes em R1 e não estão presentes em R2;

- Junção - Uma junção entre duas relações R1 e R2, que têm pelo menos um atributo definido no mesmo domínio, tem como resultado uma lista de ocorrências cujos atributos comuns pertencem a ambas as relações;
- Projecção relacional - A projecção relacional consiste na operação de selecção de um ou mais atributos e uma relação, permitindo assim obter um subconjunto vertical da tabela;
- Restrição - A restrição de uma relação R1 selecciona as ocorrências que satisfazem uma determinada condição expressa por operadores Booleanos, obtendo-se um subconjunto horizontal da tabela;
- Divisão - A divisão de uma relação R1 por uma relação R2, com um atributo definido no mesmo domínio, tem como resultado as ocorrências de R1 cujo atributo comum toma todos os valores do mesmo atributo em R2.

#### 4.4.3.3 O Modelo Orientado ao Objecto

Alguns dos problemas que normalmente se apontam aos modelos convencionais de bases de dados, incluindo o modelo relacional, são, entre outros, as suas limitações em termos de capacidade de modelação. Nomeadamente, o modelo relacional é considerado demasiado simples para poder modelar de forma adequada “objectos” complexos (Pereira, 1998).

Por outro lado, a incapacidade de suportar tipos de dados definidos pelo utilizador é igualmente um problema associado aos modelos convencionais. Permitindo apenas a utilização de um reduzido conjunto fixo de dados predefinidos, limitam assim o seu âmbito de aplicação, não sendo adequados à manipulação de tipos de dados com formatos complexos (Pereira, 1998).

Após a publicação de um artigo em 1984 intitulado “*Making Smalltalk a Database System*” (Copeland and Maier, 1984), surgiu o conceito de base de dados *Object-Oriented* (OO). Vários grupos, independentes uns dos outros, iniciaram trabalhos de desenvolvimento do conceito. A pesquisa por linhas orientadoras divergentes originou vários desenvolvimentos separados e distintos entre si. Não existindo uma definição única do modelo OO com fundamentação teórica de suporte, descrevem-se de seguida, alguns conceitos comuns e fundamentais aos vários modelos propostos (Pereira, 1998).

Um objecto pretende representar directamente uma entidade do mundo real. Cada objecto tem associado a si um conjunto de operações, designadas métodos, que definem o seu comportamento; um conjunto de atributos, que descrevem a estrutura e cujos valores representam o estado desse objecto; um conjunto de mensagens a que o objecto responde, traduzindo os serviços que este disponibiliza ao exterior.

Ao definir estruturas de dados e métodos comuns, uma classe agrupa objectos idênticos. Pode dizer-se então que um objecto é uma instância de uma classe. Dado que os objectos de uma classe partilham uma definição comum, diminui-se a redundância de informação guardando com a definição da classe as propriedades comuns.

O encapsulamento é a propriedade de integrar, num único elemento, o objecto, a estrutura de dados e o código que o manipula, permitindo definir o objecto completamente, em termos das suas propriedade estáticas e dinâmicas (Pereira, 1998). O acesso a um objecto é limitado aos métodos definidos na sua interface (conjunto de métodos públicos), “ocultando” a sua implementação dos restantes objectos. Torna-se assim possível uma alteração interna do objecto sem afectar o resto do sistema.

Num modelo OO, as classes estão hierarquizadas. Numa hierarquia de classes, o mecanismo de herança permite que as classes possuam, além dos seus atributos e métodos próprios, os atributos e métodos das suas superclasses, podendo mesmo redefinir as propriedades herdadas. A herança pode ser simples ou múltipla, ou seja, uma classe pode ter uma ou várias superclasses no nível imediatamente superior da hierarquia.

Os conceitos de generalização e especialização estão associados ao conceito de herança de propriedades. A descrição de um objecto é de maior especialização à medida que diminui o nível na hierarquia, e de maior generalização quanto mais alto for o nível na hierarquia.

Uma mesma mensagem enviada a dois objectos pertencentes a classes diferentes origina comportamentos distintos, o que define a propriedade denominada de polimorfismo. Isto é, em função do objecto que receber a mensagem, serão desencadeadas diferentes acções.

#### 4.4.4 SIG vectorial

##### 4.4.4.1 Modelação da realidade

Como já foi referido (ver secção 4.4.2), o modelo vectorial representa as entidades espaciais através de linhas, pontos e polígonos. Também prevendo o armazenamento de informação descritiva, interessa manter a relação existente na realidade entre as entidades geográficas e os seus atributos descritivos. Esse processo consiste em atribuir um identificador a cada entidade, o que permite estabelecer uma correspondência unívoca entre os registos espaciais e os registos dos atributos.

Esta ligação, considerada como a essência do modelo híbrido denominado geo-relacional, permite inquirir o mapa sobre informação alfanumérica (atributos) associada às entidades geográficas, ou criar mapas com base em condições impostas aos atributos.

Sempre que partilhem um atributo comum, o conceito relacional pode ser estendido no sentido de ligar diferentes bases de dados (Fig. 4.8).

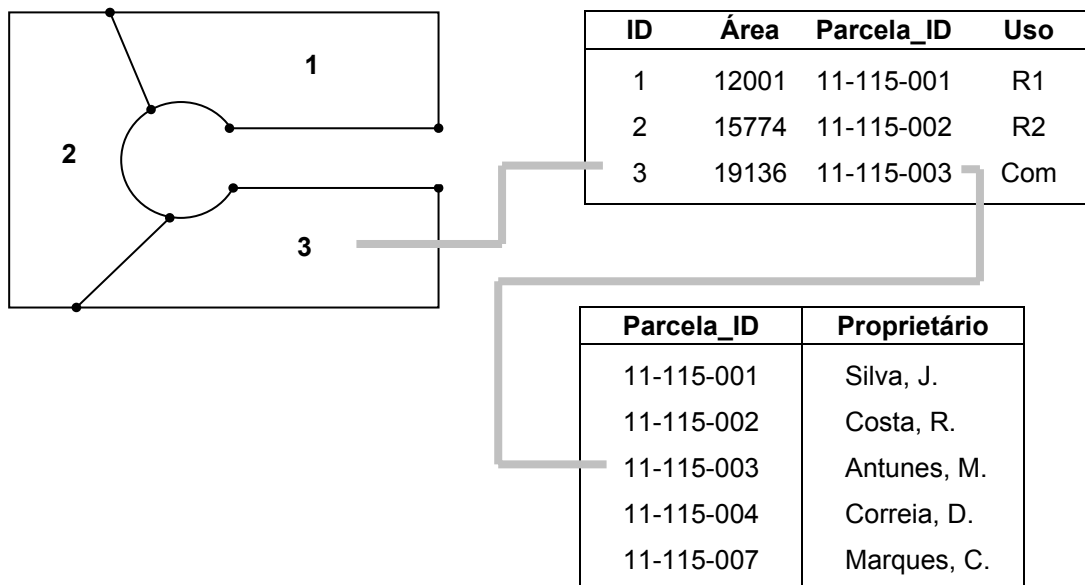


Fig. 4.8 – Modelo geo-relacional

##### 4.4.4.2 Estrutura de dados no modelo vectorial

No modelo vectorial, as estruturas de dados dividem-se em dois tipos: cartográficas e topológicas. Nas primeiras, armazena-se unicamente a geometria, isto é, as coordenadas, enquanto que nas segundas são armazenadas também as

relações topológicas, isto é, quando armazena pelo menos uma das seguintes relações:

- Conectividade dos arcos nas intersecções;
- Existência de conjuntos ordenados de arcos formando os limites dos polígonos;
- Relações de contiguidade entre polígonos.

Portanto, quando nenhuma das relações referidas está presente, temos somente uma estrutura cartográfica. É importante salientar que é possível converter uma estrutura de dados cartográfica em topológica mediante um processo denominado “construção de topologia” que envolve o cálculo e armazenamento das relações supracitadas. O sistema deve ser capaz de determinar a intersecção de duas linhas, para, nesses pontos, marcar os nós correspondentes e a partir destes identificar os arcos. Usando arcos e nós como base, já é possível guardar relações topológicas.

#### 4.4.4.2.1 Estruturas não topológicas

##### a) Estrutura de dados “spaghetti”:

Para cada objecto espacial, é armazenado um identificador, seguido por uma lista das coordenadas dos vértices (pontos) que definem a sua posição no espaço. As características da lista de coordenadas modifica-se em função do tipo de objecto espacial a que se reporta: no caso dos pontos, a lista não é mais do que um conjunto de pares de coordenadas; no caso das linhas, deverá incluir pelo menos dois pares de coordenadas, sendo o primeiro distinto do último, bem como a sequência dos pontos; por fim, no que diz respeito aos polígonos, incluirá pelo menos quatro pares de coordenadas, iniciando-se e terminando pelo mesmo par (com três pares define-se um triângulo – três vértices – e o último, sendo idêntico ao primeiro, corresponde ao fecho do polígono; caso contrário, tratar-se-ia de uma linha). Na Figura 4.9, estão representados quatro objectos: um ponto, uma linha e dois polígonos, cujas coordenadas são armazenadas conforme apresentado no Quadro 4.1:

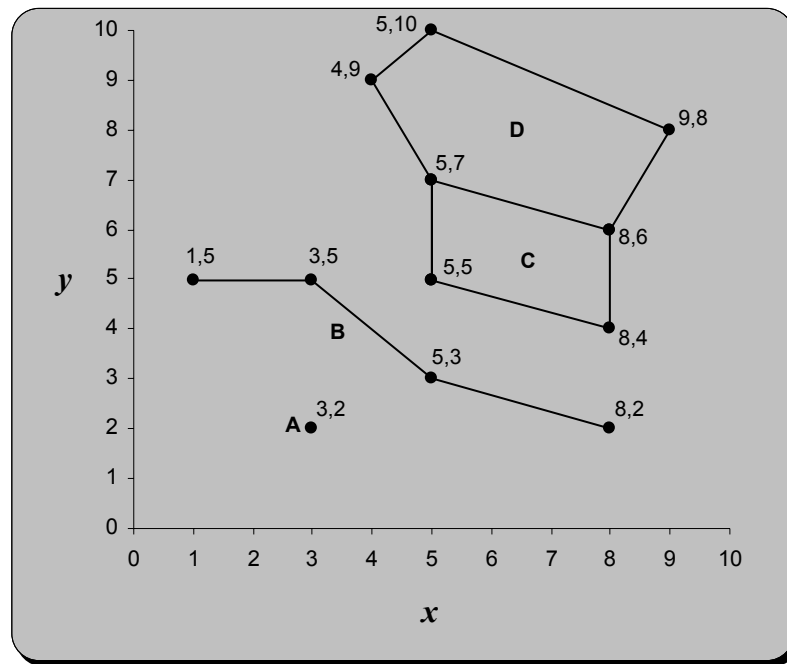


Fig 4.9 - Estrutura de dados "spaghetti"

Quadro 4.1- Coordenadas da Estrutura de dados "spaghetti"

Objecto	Identificador	Coordenadas X,Y
Ponto	A	3,2
Linha	B	1,5 3,5 5,3 8,2
Polígono	C	5,7 8,6 8,4 5,5 5,7
Polígono	D	5,10 9,8 8,6 5,7 4,9 5,10

Dado que esta estrutura é a mais simples e facilmente interpretada, gozou de grande popularidade na cartografia automática. No entanto, possui desvantagens importantes. A primeira é que o sistema armazena informação acerca da localização dos elementos mas não sobre as relações que possam existir entre eles. Por outras palavras, guarda-se a geometria mas não a topologia. Pelo facto dos dados se apresentarem como uma colecção de elementos mais ou menos desordenados, surgiu a denominação de estrutura de dados *spaghetti*: é como se se tratasse de um conjunto de "linhas" *spaghetti* num prato, umas sobre as outras mas sem conexão entre elas. Consequentemente, as relações espaciais não são guardadas de forma explícita, implicando que tenham de ser calculadas (quando possível), tornando esta estrutura de dados muito pouco eficiente em operações de análise.

A segunda desvantagem desta estrutura é que gera muita informação redundante. Por exemplo, quando dois polígonos possuem um lado em comum, a

informação referente aos pontos que definem esse lado aparece nas listas de ambos os polígonos. Outro caso será o de um ponto que, partilhado por três polígonos, verá as suas coordenadas incluídas nas listas dos três polígonos. Gerar muita informação repetida possui uma carga negativa não só pelo facto de ocupar de forma desnecessária recursos físicos, mas sobretudo porque devido a eventuais erros de digitalização, um mesmo ponto poderá ser armazenado com coordenadas diferentes em dois objectos distintos, originando por sua vez estruturas inconsistentes.

b) Dicionário de vértices.

Esta estrutura socorre-se de dois ficheiros de dados para representar um mapa: no primeiro, é construída uma relação de vértices, onde constam as suas coordenadas X e Y; no segundo são especificados os vértices que definem cada objecto (Figura 4.10 e Quadro 4.2).

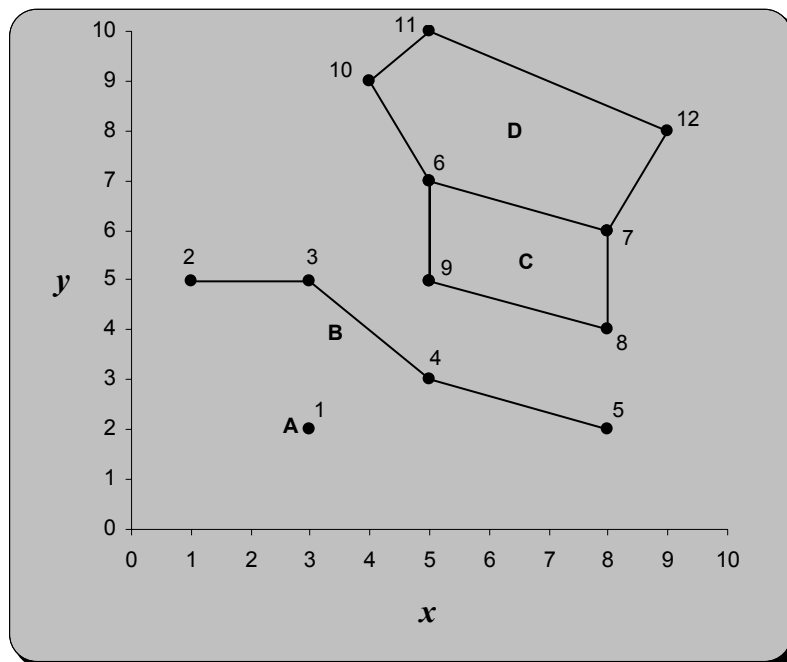


Fig. 4.10 – Estrutura de dados por vértices

Apesar de resolver os problemas inerentes à repetição de coordenadas que surgiam na estrutura *spaghetti*, isto porque as coordenadas de cada vértice são armazenadas apenas uma só vez, do ponto de vista topológico, esta estrutura é muito pobre, acarretando assim um problema de falta de eficiência no que toca a determinados tipos de análises.

Quadro 4.2 - Ficheiros de dados da estrutura de dados por vértices

<b>Coordenadas dos vértices</b>		
<b>Vértices</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	3	2
2	1	5
3	3	5
4	5	3
5	8	2
6	5	7
7	8	6
8	8	4
9	5	5
10	4	9
11	5	10
12	9	8
<b>Vértices dos objectos</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Identificador</b>	<b>Vértices</b>
Ponto	A	1
Linha	B	2, 3, 4, 5
Polígono	C	6, 7, 8, 9, 6
Polígono	D	10, 11, 12, 7, 6, 10

#### 4.4.4.2.2 Estruturas topológicas

Como já referido na secção 4.4.4.2, trata-se de estruturas que para além da geometria, também permitem armazenar relações topológicas.

##### a) Estrutura arco-nó.

Baseada fundamentalmente no objecto gráfico arco e recorrendo a tabelas distintas, esta estrutura armazena não somente informação relativa às relações topológicas, mas também relativa à geometria.

A Figura 4.11 e os Quadros 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 ilustram o recurso à utilização de tabelas distintas para armazenar a informação.



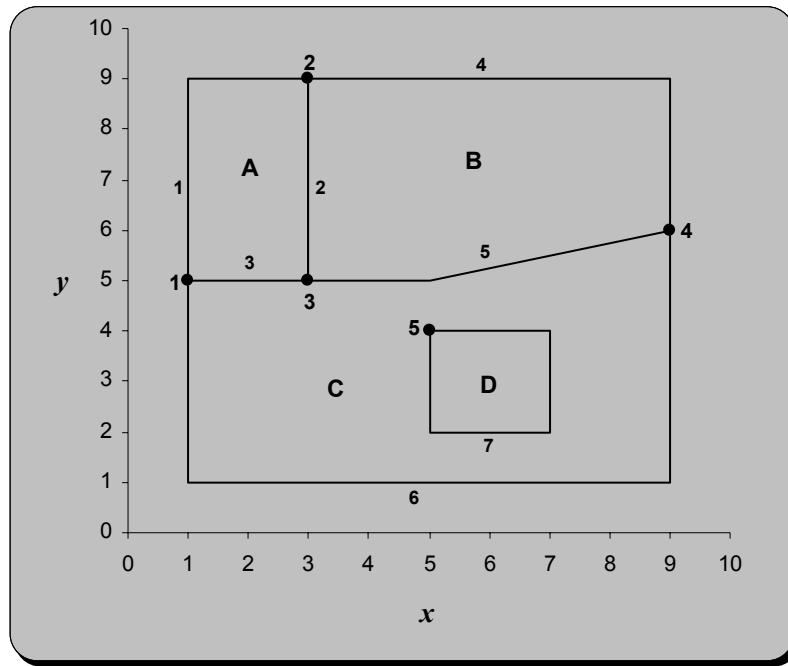


Fig. 4.11 – Estrutura de dados arco-nó

Quadro 4.3 - Topologia de polígonos

Polígonos	Arcos
A	1, 2, 3
B	2, 4, 5
C	3, 5, 6, -7
D	7
E	pol. universo

Quadro 4.4 - Topologia de nós

Nós	Arcos
1	1, 3, 6
2	1, 2, 4
3	2, 3, 5
4	4, 5, 6
5	7

Quadro 4.5 - Topologia de arcos

Arco	Nó inicial	Nó final	Políg. Esq.	Políg. Dir.
1	1	2	E	A
2	2	3	B	A
3	3	1	C	A
4	2	4	E	B
5	4	3	C	B
6	4	1	E	C
7	5	5	C	D

Quadro 4.6 - Coordenadas dos arcos

Arcos	Nó inicial x,y	Vértices intermédios x,y	Nó final x,y
1	1,5	1,9	3,9
2	3,9		3,5
3	3,5		1,5
4	3,9	9,9	9,6
5	9,6	5,5	3,5
6	9,6	9,1 1,1	1,5
7	5,4	7,4 7,2 5,2	5,4

Usualmente no sentido dos ponteiros do relógio, são inscritos na tabela de topologia de polígonos os arcos que delimitam um polígono. Na Figura 4.11, o

polígono A é definido pelos arcos 1, 2 e 3, o B pelos arcos 2, 4 e 5, o C pelos arcos 3, 5, 6 e -7 (um arco precedido do sinal negativo indica que este define uma fronteira com outro polígono que está contido) e o D por sua vez está contido no C e é delimitado pelo arco 7. Por fim, o polígono E, cuja área se encontra fora dos limites do mapa, donde não são explicitados os seus limites, é denominado de polígono universo.

Por sua vez, a tabela de topologia de nós descreve uma relação entre nós e respectivos arcos que os partilham. Exemplificando, o nó 3 marca um dos extremos dos arcos 2, 3 e 5, enquanto que o nó 5 constitui a origem e o destino do arco 7, delimitando assim um polígono interior.

Finalmente, o conteúdo da tabela de topologia dos arcos explicita as relações dos arcos com os nós e os polígonos. Assim, a cada entrada da tabela, estão associados os nós que delimitam as extremidades de cada arco, bem como os polígonos esquerdo e direito. A título de exemplo, verifica-se que o arco 2 tem por origem o nó 2 e termina no nó 3, encontrando-se à sua esquerda o polígono B e a sua direita o polígono A.

Se até agora apenas foi focada a vertente relativa ao armazenamento da topologia, é necessário não descurar a geometria. Para tal, existe uma tabela de coordenadas dos arcos. Cada linha da tabela relaciona um arco e as coordenadas de todos os pontos que o definem. A ordem pela qual as coordenadas se apresentam é a seguinte: nó inicial, vértices e finalizando com o nó final. Com o intuito de recriar com a maior fidelidade possível um arco, não existe limite ao número de vértices intermédios. Tomando como exemplo o arco 1, este define-se pelas coordenadas 1,5 (nó inicial), 1,9 (vértice intermédio) e 3,9 (nó final).

Se, por um lado, na implementação deste estrutura se pode apontar como inconveniente a repetição das coordenadas de nós comuns a diversos arcos, em contrapartida do ponto de vista topológico apresenta-se muito completa e eficaz. Em suporte desta opinião está o facto de, para além de disponibilizar conjuntos ordenados de arcos que delimitam polígonos, serem armazenadas as relações de contiguidade, conectividade e definição de áreas. A contiguidade de polígonos é obtida de forma directa através da tabela de topologia de arcos – em cada linha são armazenados os polígonos esquerdo e direito de um determinado arco, resultando que os mesmos são adjacentes. Na mesma tabela fica bem patente a conectividade dos arcos, já que nela constam as conexões entre arcos e nós. Através disto, é

possível procurar todos os arcos que se iniciem ou terminem num determinado nó, obtendo como resultado arcos directamente conectados entre si através desse nó.

Posteriormente e recorrendo ao processo de análise de redes poderão ser deduzidas conexões indirectas a partir das conexões directas. A definição de áreas é directa na tabela de topologia de polígonos, sabendo que cada linha da mesma é constituída pelo identificador do polígono e os respectivos arcos que o delimitam. É ainda de salientar que normalmente são assinalados com o sinal negativo ou com o dígito 0 os arcos que criam uma ilha dentro de um polígono.

Associado ao armazenamento da topologia, surge um grande aumento de desempenho do sistema aquando da realização de muitas operações espaciais que já não necessitam de recorrer à geometria. No entanto, no caso de uma base de dados espacial ser actualizada com grande frequência, acarreta o inconveniente de, após cada actualização, ser necessário reconstruir a topologia.

#### b) Rede Irregular de Triângulos (TIN, de *Triangulated Irregular Network*)

Uma rede irregular de triângulos interconectados, onde é armazenado o valor da cota (z) e as coordenadas planas (x e y) dos nós que definem os triângulos, bem como a contiguidade dos mesmos, é uma estrutura de dados vectoriais principalmente vocacionada para a representação de modelos digitais de terreno.

Recorrendo à Figura 4.12 e respectivas tabelas (Quadro 4.7), de forma a interpretar melhor esta estrutura topológica, constata-se que a informação é guardada e organizada em quatro tabelas: *tabela de nós* constituída por trios de nós que, unidos por segmentos de recta, originam um triângulo; *tabela de vizinhança* onde a cada triângulo são associados os triângulos que lhe são contíguos (estes serão sempre em número de três, excepto no caso dos triângulos que se encontrem nas margens da rede, onde esse número será apenas de dois ou um); *tabela de coordenadas* onde constam as coordenadas de cada nó e, por fim, a *tabela de cotas* que reúne a informação respeitante à cota de cada nó. Alicerçada nestes moldes, a Rede Irregular de Triângulos constitui um caso particular da estrutura arco-nó.

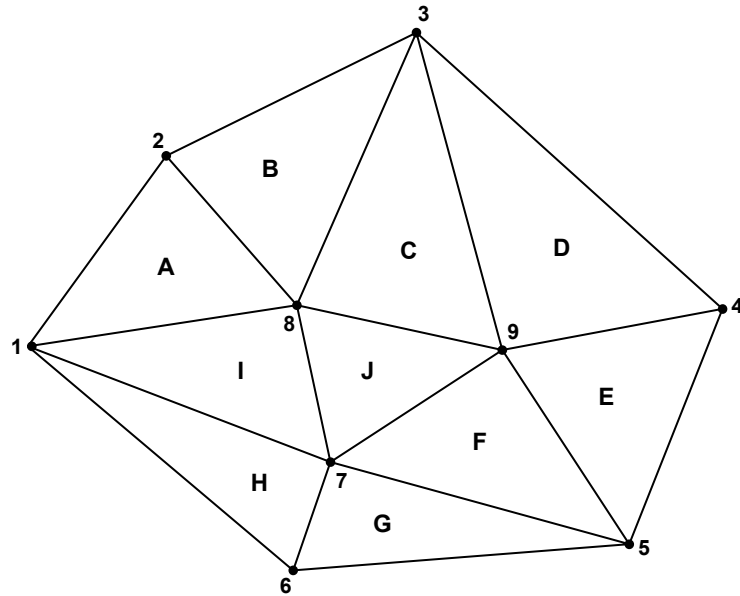


Fig. 4.12 – Estrutura de dados vectoriais (TIN)

Quadro 4.7 - Tabelas da estrutura de dados vectoriais (TIN)

Tabela de nós		Tabela de vizinhança		Tabela de coordenadas x,y		Tabela de cotas	
triângulos	nós	triângulos	triângulos contíguos	nós	coorden.	nós	cotas
A	1, 2, 8	A	B, I	1	x <sub>1</sub> , y <sub>1</sub>	1	z <sub>1</sub>
B	2, 3, 8	B	A, C	2	x <sub>2</sub> , y <sub>2</sub>	2	z <sub>2</sub>
C	3, 8, 9	C	B, D, J	3	x <sub>3</sub> , y <sub>3</sub>	3	z <sub>3</sub>
D	3, 4, 9	D	C, E	4	x <sub>4</sub> , y <sub>4</sub>	4	z <sub>4</sub>
E	4, 5, 9	E	D, F	5	x <sub>5</sub> , y <sub>5</sub>	5	z <sub>5</sub>
F	5, 7, 9	F	E, G, J	6	x <sub>6</sub> , y <sub>6</sub>	6	z <sub>6</sub>
G	5, 6, 7	G	F, H	7	x <sub>7</sub> , y <sub>7</sub>	7	z <sub>7</sub>
H	1, 6, 7	H	G, I	8	x <sub>8</sub> , y <sub>8</sub>	8	z <sub>8</sub>
I	1, 7, 8	I	A, H, J	9	x <sub>9</sub> , y <sub>9</sub>	9	z <sub>9</sub>
J	7, 8, 9	J	C, F, I				

#### 4.4.4.3 Entrada de dados

##### 4.4.4.3.1 Informação digital disponível

Como já referido anteriormente, a crescente utilização de SIG nas mais variadas áreas leva a uma contínua geração de informação digital que se encontra

cada vez mais acessível, nomeadamente através da banalização do recurso à internet que vê melhorar regularmente o seu desempenho e sua capacidade de transmissão de informação. Por outro lado, é mais frequente e simples converter (ou mesmo só utilizar) dados gerados por um software em dados para outro software. Alguns dos formatos mais empregues hoje em dia são os seguintes:

- Formatos de CAD (dwg, dxf, etc.);
- Formatos vectoriais de alguns SIG comerciais de ampla difusão que praticamente já são considerados como standard (ARC/Info, ARC/View, Intergraph MGE, etc.);
- Formatos raster de certos SIG de ampla divulgação (ERDAS, Idrisi, etc.);
- Formatos de grande divulgação para imagens em geral (tif, bmp, etc.).

#### 4.4.4.3.2 Digitalização manual

Quando a informação não está disponível em formato digital, mas apenas em formato analógico, é necessário recorrer à digitalização. Existem duas formas de a realizar: automaticamente através de um *scanner*, ou manualmente por intermédio de uma mesa digitalizadora. No primeiro caso, obtém-se um ficheiro *raster* que, caso o objectivo seja trabalhar em modo vectorial, deverá ainda sofrer um processo de conversão raster-vectorial. No segundo caso, obtém-se directamente um ficheiro com informação vectorial cartográfica pronto a utilizar.

#### 4.4.4.3.3 GPS

Captando os sinais emitidos por vários satélites, o GPS (*Global Positioning System*) permite determinar as coordenadas sobre o terreno através dum receptor. Mediante determinados cálculos de triangulação e com uma margem de erro que pode inclusivamente ser inferior a um metro, o receptor obtém e regista a posição onde se encontra. Dado que a posição é calculada sobre um espaço tridimensional, o GPS também é utilizado para determinar com exactidão a altitude do local. Possibilitado o uso destes receptores em movimento, a sua aplicação torna-se de grande utilidade e interesse em áreas como a da elaboração de cartografia precisa de estradas ou, em qualquer momento, conhecer a localização de comboios, autocarros, aviões ou barcos.

#### **4.4.4.3.4 Atributos temáticos**

Após a digitalização, é necessário construir a topologia. Este processo leva o sistema a gerar uma base de dados apenas composta por campos correspondentes aos identificadores e a algumas variáveis geométricas – área do polígono ou comprimento do arco – que são calculados automaticamente.

Para além desses campos, podem então ser acrescentados atributos temáticos que, numa fase posterior, possibilitaram em muitos casos a obtenção de outras variáveis por derivação das existentes. Os valores dos novos campos são atribuídos de forma manual (tarefa fastidiosa e demorada em função da amplitude do projecto) ou através da importação de informação de uma base de dados existente.

Por fim, é indispensável proceder a uma correcção de eventuais erros cuja detecção passará por consultas directas à base de dados (implementando perguntas absurdas) ou por representação dos atributos no mapa e confrontação com a realidade.

#### **4.4.4.4 Funcionalidades básicas**

##### **4.4.4.4.1 Apresentação da Informação**

Constituindo uma das principais funções desempenhadas por um SIG, um utilizador necessitará inúmeras vezes de apresentar a informação que foi armazenada no sistema ou os resultados obtidos de uma análise espacial. O conteúdo da apresentação poderá incluir as seguintes componentes:

- Geometria e topologia, isto é, focando a componente espacial da informação (ex: mapa de estradas)
- Informação temática, recorrendo a histogramas ou listagens (ex: contagens de tráfego);
- Informação espacial e temática em simultâneo, constituindo a razão de ser dos SIG (ex: combinando os dois exemplos anteriores e espessuras em função dos valores temáticos).

##### **4.4.4.4.2 Generalização cartográfica**

Surge por vezes a necessidade de trabalhar com mapas mais “leves” do que o mapa original, quer porque o número de pontos que definem os objectos é excessivo

e não relevante para o fim a que se destina, quer porque a variável em estudo inclui um número demasiado elevado de categorias. A generalização disponibiliza operações de agregação e de amaciamento (*smoothing*) de entidades e as operações inversas. De entre as diversas funções existente para o efeito, referem-se a título de exemplo, o amaciamento de linhas, a dissolução de fronteiras entre polígonos adjacentes (Fig. 4.13) e a substituição dos valores de um atributo pelo seu valor médio.

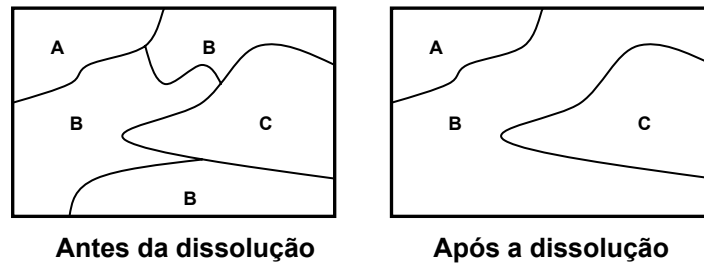


Fig. 4.13 – Dissolução de fronteiras

#### 4.4.4.4.3 Ajustes de folhas

Existem funcionalidades para realizar este ajuste de fronteiras (*edge matching*) entre dados gerados em folhas separadas, quer de forma manual (conectando uma a uma as fronteiras), quer de forma automática (definindo previamente uma determinada tolerância ou distância na qual serão efectuados os ajustes automaticamente).

#### 4.4.4.4.4 Medições espaciais sobre objectos

As linhas e os polígonos possuem algumas propriedades espaciais que podem ser medidas. Assim destacam-se para as linhas o comprimento e a sinuosidade (quociente entre o comprimento e a distância entre os extremos), e para os polígonos o perímetro, a área e o centróide (ponto central).

#### 4.4.4.4.5 Inquéritos à base de dados

Um SIG é uma potente ferramenta de análise pelas diversas razões já expostas, sendo uma delas a potencialidade de incluir bases de dados de

informações temáticas e espaciais de quantidade e diversidade quase ilimitada. Por essa razão, não teria muito cabimento não aproveitar esta faceta de instrumento de consulta. Essa consulta pode efectuar-se de duas formas:

- sobre a base de dados, dita consulta por atributos, combinando filtros que são constituídos por operações lógicas aplicadas aos atributos ou por definição de domínios espaciais aplicados à localização das entidades, de forma a obter a informação pretendida.
- a partir do mapa, dita consulta espacial, onde se seleccionam objectos. Essa selecção pode efectuar-se com o rato, objecto a objecto, ou utilizando algumas funções de selecção disponibilizadas pelo sistema (por exemplo, polígonos contíguos a um polígono previamente seleccionado ou que intersectam uma área definida pelo utilizador).

#### 4.4.4.5 Operações de análise espacial

Em termos conceptuais, as relações espaciais ao nível gráfico podem classificar-se em três tipos (Figura 4.14):

- inclusão de uma entidade dentro dos limites de outra entidade;
- distância entre duas entidades;
- intersecção entre duas entidades.

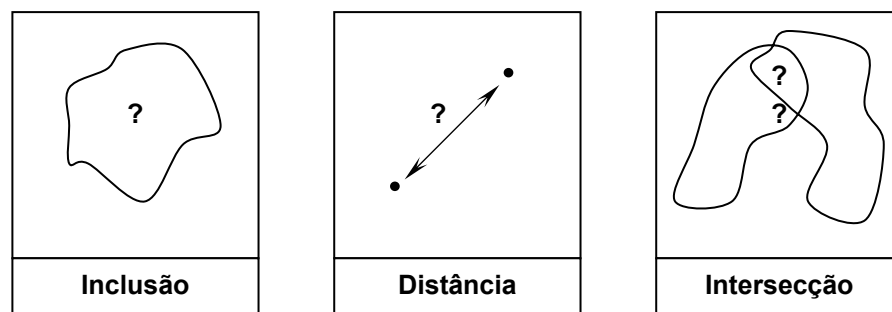


Fig. 4.14 – Relações espaciais

De acordo com a primitiva de representação da entidade (ponto, linha ou polígono), os três tipos de relações podem ou não ser possíveis. Assim, por exemplo, não faz sentido estabelecer uma relação de inclusão entre duas entidades pontuais.



O Quadro 4.8 apresenta as possibilidades de relação espacial, de acordo com a natureza gráfica da entidade.

Quadro 4.8 – Relações espaciais entre primitivas

	<b>Ponto</b>	<b>Linha</b>	<b>Polígono</b>
<b>Ponto</b>	distância	distância intersecção	distância inclusão
<b>Linha</b>	distância intersecção	distância intersecção	distância intersecção inclusão
<b>Polígono</b>	distância	distância intersecção	distância intersecção inclusão

Implementadas nos SIG através de operadores, as relações que se podem estabelecer entre entidades dão origem àquilo que se designa por álgebra ou processamento de mapas.

#### 4.4.4.5.1 Distâncias entre objectos

Dado que nos SIG vectoriais, os objectos espaciais estão localizados mediante coordenadas, medir a distância em linha recta (distância euclidiana) que separa dois objectos afigura-se uma tarefa simples. Desta feita, não se calcula apenas a distância que separa dois pontos mas, da mesma forma, qualquer distância entre um par de objectos, independentemente de serem pontos, linhas ou polígonos. Quando linhas e polígonos estão envolvidos, é calculada a distância mais “curta”, isto é o segmento de menor comprimento que intersecta os dois objectos. De referir ainda que por vezes, no caso de polígonos, a distância poderá ser calculada em relação aos seus centroides, se assim se justificar.

#### 4.4.4.5.2 Análise de proximidade

Os operadores que permitem gerar domínios (*buffers*) com base em critérios de vizinhança, tomam uma determinada entidade (ponto, linha ou área) e definem um domínio (área) cuja fronteira está a uma dada distância (geralmente fixa). A Figura 4.15 apresenta alguns exemplos de *buffers*.

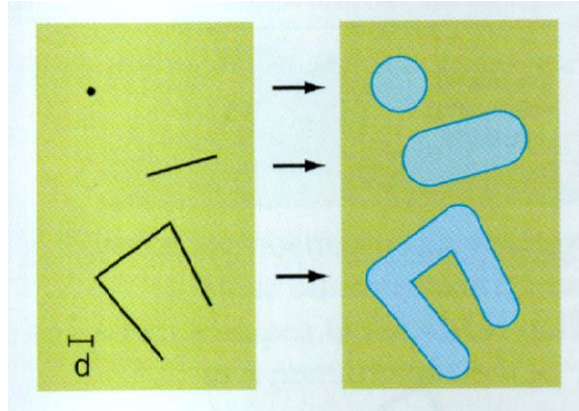


Figura 4.15 - Exemplos de *buffers*.

#### 4.4.4.5.3 Sobreposição topológica

A sobreposição topológica pode definir-se como a combinação de dois temas (níveis) diferentes, através duma operação de sobreposição cujo resultado é, por um lado, a intersecção das entidades espaciais ao nível gráfico e, por outro lado, a criação de uma nova tabela de atributos que contém a combinação dos atributos originais. As Figuras 4.16, 4.17 e 4.18 representam operações de sobreposição do tipo polígono-sobre-polígono, ponto-sobre-polígono e linha-sobre-polígono.

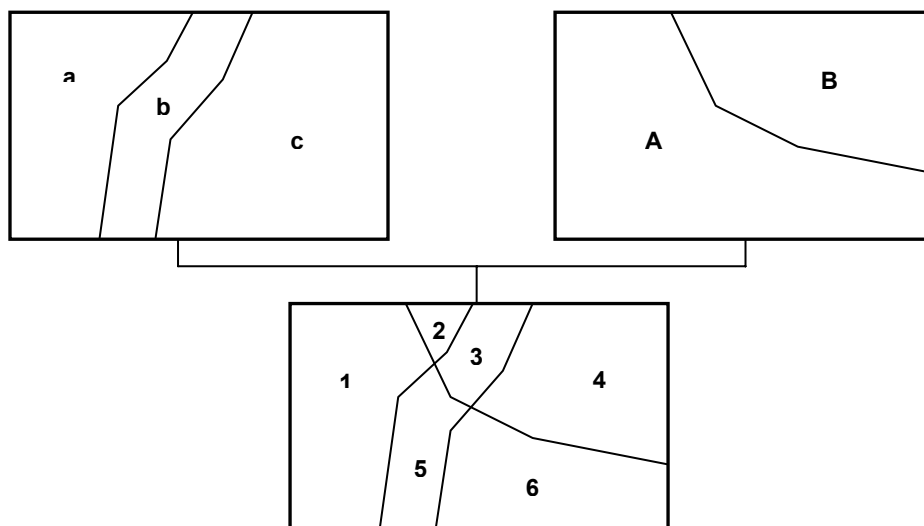


Fig. 4.16 - Sobreposição polígono-sobre-polígono

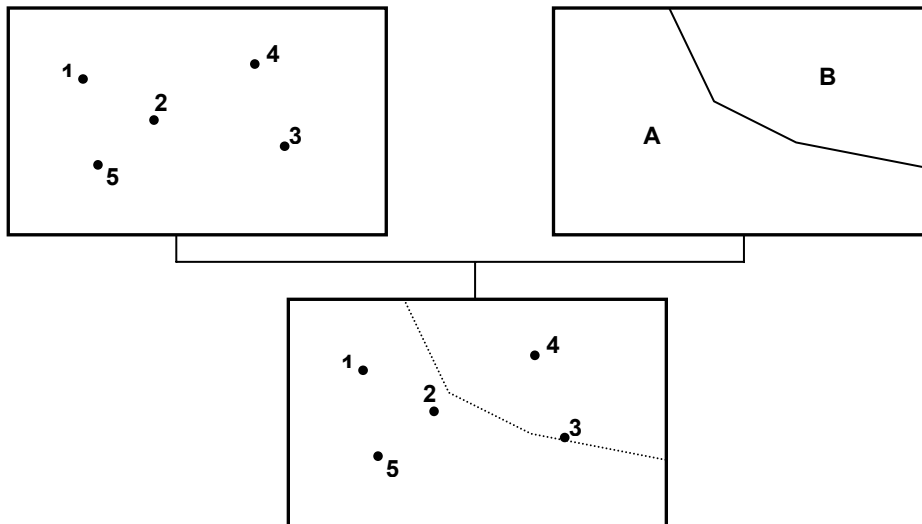


Fig. 4.17 - Sobreposição ponto-sobre-polígono

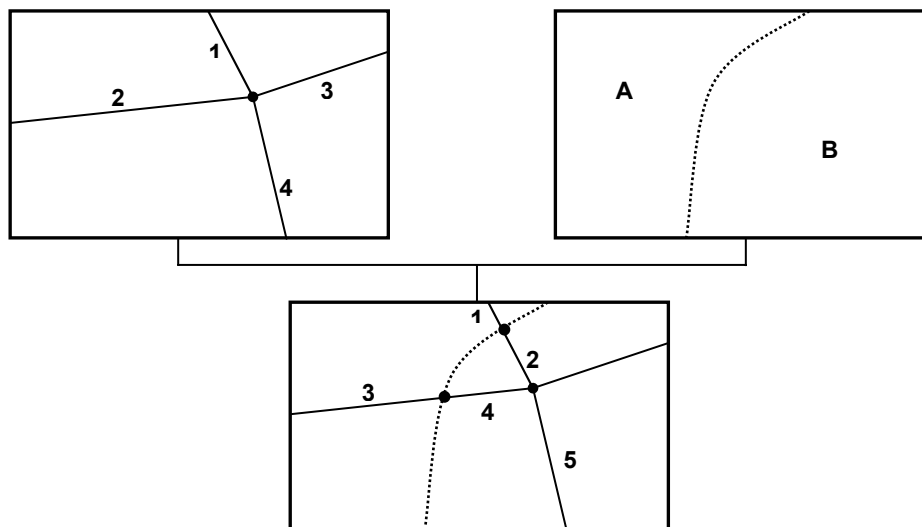


Fig. 4.18 - Sobreposição linha-sobre-polígono

#### 4.4.4.6 Análise de redes

##### 4.4.4.6.1 Definição

Uma rede, conjunto de arcos interconectados, permite, atendendo a certas restrições, a circulação ou movimento de bens, recursos, serviços, informação e pessoas. Desta feita, o papel de um SIG será o de representar a rede e simular nela o movimento dos recursos. Transportes, hidrografia, telefones, electricidade, abastecimento de água e saneamento (Figura 4.19) são apenas algumas áreas onde o emprego de redes se revela oportuno e em utilização crescente. Como exemplo, pode ser implementado um modelo hidrológico que simule o

comportamento da corrente de um rio para prevenção de cheias ou um modelo que calcule as perdas que se produzem ao longo de uma linha de alta tensão, em função da distância.

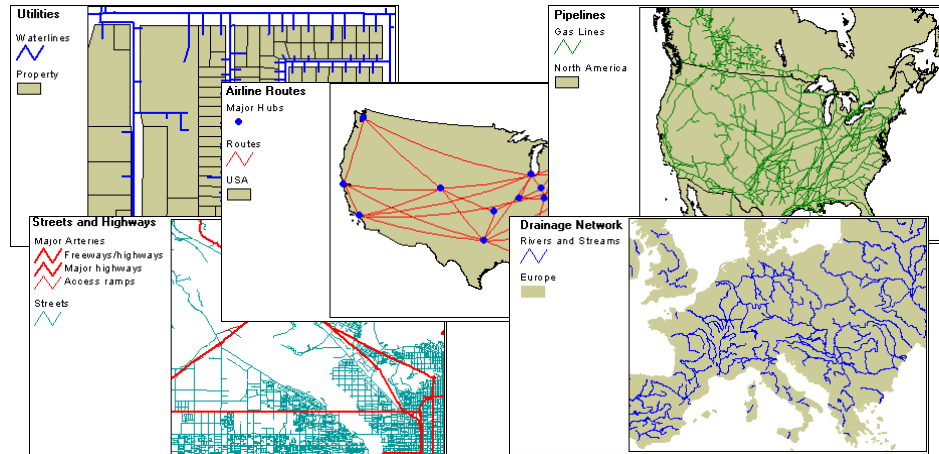


Figura 4.19 – Alguns exemplos de redes

De forma a perceber melhor o interesse e a utilidade da análise de redes, descrevem-se adiante algumas das funcionalidades mais populares: o cálculo de caminho mínimos (*routing*) e a análise de áreas de influência de centros de serviços (*allocate*).

#### 4.4.4.6.2 Teoria de grafos

A teoria de grafos é um dos poucos campos da matemática com data de nascimento perfeitamente determinada (Ore, 1995). O primeiro artigo científico relativo a grafos foi escrito pelo matemático suíço Leonhard Euler, e editado em São Petersburgo (Leninegrado) no volume do ano de 1736 de publicações da Academia Russa. Euler iniciou esse artigo discutindo um passatempo ao qual deu o nome de problema das pontes de Königsberg, cidade da Prussia Oriental situada nas margens do rio Pregel e sobre duas das suas ilhas. As diversas partes da cidade estavam ligadas entre si por sete pontes. Ao domingo, como é costume nas cidades alemãs, os habitantes da vila saiam para passear. Surge então o problema: será possível planear este passeio de forma que, partindo de casa, uma pessoa possa regressar atravessando cada ponte uma só vez? Euler demonstraria que,

independentemente do ponto de partida, não era possível deslocar-se ao longo de um percurso sem que, em algum momento, se volva sobre os próprios passos.

Após esta pequena abordagem histórica, introduzem-se alguns conceitos e propriedades da teoria de grafos.

Um Grafo  $G$  é um par  $(V, E)$  em que  $V$  é um conjunto finito não vazio cujos elementos se denominam por nós, nodos ou vértices, e  $E$  um conjunto de pares não ordenados de elementos distintos de  $V$ . Diz-se que  $G$  tem por ordem o cardinal de  $V$  e tamanho o cardinal de  $E$ . O par  $e = \{u, v\}$  de nós em  $E$  é denominado de aresta de  $G$ , e diz-se que une  $u$  e  $v$  (Bukley e Harary, 1990). Dado tratar-se de conjuntos de dois elementos, é indiferente escrever  $\{u, v\}$  ou  $\{v, u\}$ , sendo ainda por conveniência representado simplesmente por  $uv$  (ou  $vu$ ) (Chartrand e Oellermann, 1993). A um grafo com  $p$  nós e  $q$  arestas é dado o nome de  $(p,q)$ -grafo.

Se  $e = uv$  é uma aresta de  $G$ , diz-se que  $u$  e  $v$  são nós adjacentes em  $G$  (dizem-se ainda vizinhos) e extremidades da aresta  $e$ . Diz-se que uma aresta é incidente com cada uma das suas extremidades e duas arestas são adjacentes se possuem pelo menos uma extremidade em comum.

Todo o grafo pode ser representado por um diagrama cujo objectivo é de tornar mais intuitiva a sua utilização. Por conveniência, esse diagrama é referido como sendo o próprio grafo. Os nós são representados por pontos, na realidade pequenos círculos, e ligam-se dois nós por uma linha, recta ou curva, sempre que o correspondente par de vértices forma uma aresta (pertença a  $E$ ).

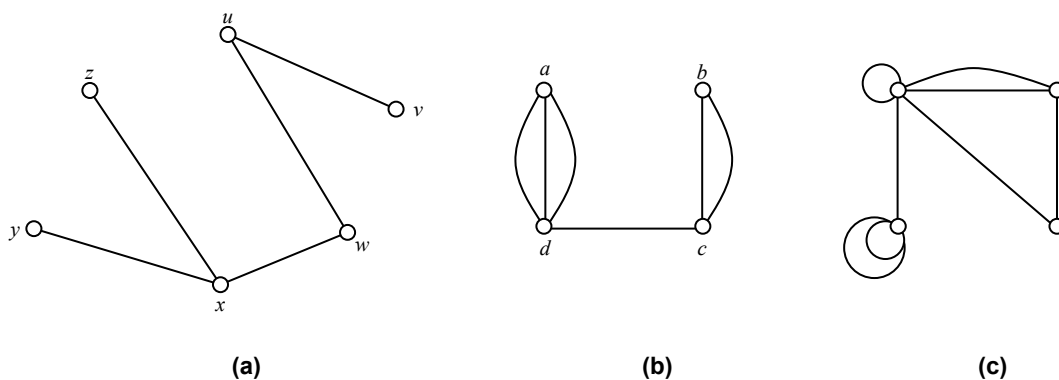


Figura 4.20 – Exemplos de um grafo (a), um multigrafo (b) e de um Pseudografo (c)  
 (Chartrand e Oellerman, 1993, p.3)

Em algumas situações, verifica-se ser mais adequado modelar a realidade por um multigrafo. Por exemplo, numa rede de estradas, duas cidades podem estar

ligadas por mais do que uma estrada directa. Permitindo que duas ou mais arestas unam dois nós, obtém-se um multigrafo (Fig. 4.20). Arestas com extremidades iguais denominam-se de arestas paralelas. Um laço (“loop”) é uma aresta que se une a si própria, isto é, cujas extremidades sejam o mesmo nó. Um pseudografo admite arestas paralelas e laços.

Para um nó  $v$  de  $G$ , define-se  $N(v)$  ou  $N_G(v)$  a vizinhança de  $v$  em  $G$  da seguinte forma:

$$N(v) = \{u \in V(G) | vu \in E(G)\}.$$

O grau de um nó traduz o número de arcos incidentes com o nó. Um nó cujo grau é igual a zero diz-se um nó isolado e um nó terminal quando o seu grau for um. Uma caminhada (*walk*) num grafo  $G$  é uma sequência alternada

$$W = v_0, e_1, v_1, e_2, \dots, v_{n-1}, e_n, v_n \quad (n \geq 0)$$

de nós e arestas, iniciando e finalizando-se em nós e onde  $e_i = v_{i-1}v_i$  para  $i = 1, 2, \dots, n$ . Diz-se que  $W$  tem por comprimento  $n$ , uma vez que  $W$  atravessou  $n$  arestas.

Quando uma caminhada não inclui arestas repetidas, é designada por trilho (*trail*) e por caminho quando não repete nós. Um ciclo é uma caminhada de comprimento maior ou igual a três ( $n \geq 3$ ), que se inicia e finaliza no mesmo nó ( $v_0 = v_n$ ) e cujos  $n$  nós são distintos. Considera-se que  $u$  é conexo a  $v$  se existir em  $G$  um caminho entre  $u$  e  $v$ . O grafo  $G$  diz-se conexo se, para todo o par  $u, v$  de vértices,  $u$  está conectado a  $v$ .

No entanto, em determinadas ocasiões, o recurso a grafos não se revela apropriado na descrição de algumas situações. Por exemplo, um mapa de estradas em que algumas estradas são de sentido único não será representado convenientemente por um grafo. Em contrapartida, usam-se digrafos.

Um digrafo (ver Fig. 4.21) consiste num conjunto finito não vazio  $V$  de nós e um conjunto finito  $E$  de pares ordenados de nós de  $V$ . Aos elementos de  $E$  é dado o nome de arco ( $e = (u, v)$ ). Dado que  $(u, v)$  e  $(v, u)$  são arcos distintos, dois nós podem ser unidos por dois arcos diferentes cujas direcções sejam opostas.

Uma vez que a maioria das definições para grafos tem um paralelo para digrafos, apresentam-se de seguida apenas novos conceitos ou conceitos que sofreram pequenas adaptações.

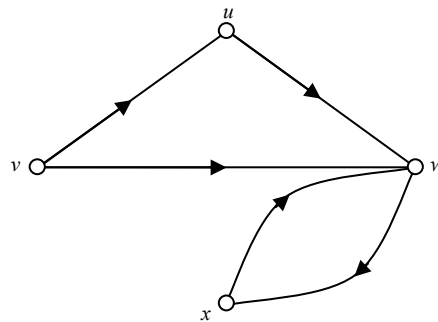


Fig. 4.21 – Exemplo de um digrafo.  
(Chartrand e Oellerman, 1993, p.32)

Um arco  $(u, v)$  é incidente de  $u$  e incidente para  $v$ . Diz-se também que  $u$  é adjacente para  $v$  (ou antecessor de  $v$ ) e que  $v$  é adjacente de  $u$  (ou sucessor de  $u$ ).

Uma caminhada (*walk*) num digrafo  $D$  é uma sequência alternada

$$W = v_0, e_1, v_1, e_2, \dots, v_{n-1}, e_n, v_n \quad (n \geq 0)$$

de nós e arcos, iniciando e finalizando-se em nós e onde  $e_i = (v_{i-1}, v_i)$  para  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Uma semicaminhada é análoga a caminhada nos grafos, isto é a direcção dos arcos é ignorada. Dois nós dizem-se conexos se existir entre eles uma semicaminhada. Um digrafo  $D$  diz-se: conexo se quaisquer dois nós de  $D$  forem conexos; unilateral ou unilateralmente conexo se entre quaisquer dois nós existir um caminho (num sentido, no outro ou em ambos); fortemente conexo se entre quaisquer dois nós existir em simultâneo o caminho em ambos os sentidos.

Na sua forma mais simples, uma rede  $N$  é um digrafo  $D$  com dois vértices especiais  $s$  e  $t$ , denominados de fonte (*source*) e o destino (*sink*), e uma função  $c$  não negativa de valores inteiros sobre  $E$ , denominada de função de capacidade de  $N$ . Num contexto mais generalizado, uma rede poderá englobar diversas funções que permitiram associar aos arcos e/ou aos nós um ou mais custos. Esse custo poderá, para além da capacidade, reflectir conceitos como a distância, o tempo, a fricção, etc.

#### 4.4.4.6.3 Distâncias em grafos

Para um grafo  $G$  e um par  $(u, v)$  de nós de  $G$ , a distância  $d_G(u, v)$  (ou  $d(u, v)$  quando o contexto o permite) entre  $u$  e  $v$  é o comprimento (número de nós) do caminho mais curto em  $G$  entre eles. Caso não exista nenhum caminho entre os nós, define-se  $d(u, v) = \infty$ . A função de distância é um sistema métrico (*metric*), isto é, projecta  $V(G) \times V(G)$  num conjunto não negativo de inteiros e satisfaz as seguintes propriedades fundamentais (Chartrand e Oellermann, 1993):

sendo  $G$  um grafo e  $u, v$  e  $w \in V(G)$ ,

$d(u, v) \geq 0$  e  $d(u, v) = 0$  se e só se  $u = v$ ;

$d(u, v) = d(v, u)$ ;

$d(u, w) + d(w, v) \geq d(u, v)$  (desigualdade triangular)

No caso de um digrafo  $D$ , a distância  $d_D(u, v)$  entre os nós  $u$  e  $v$  de  $D$  é o comprimento do caminho mais curto em  $D$  entre eles. Quando o caminho não existe,  $d(u, v) = \infty$ .

Para grafos (ou digrafos) pesados, isto é, quando foi associado a cada aresta (ou arco) um peso ou custo, a distância  $d(u, v)$  entre dois nós  $u$  e  $v$  é o menor comprimento (custo) de todos os caminhos existentes entre esses dois nós. Se não existir nenhum caminho, então  $d(u, v) = \infty$ . Este conceito também se aplica às redes, podendo ainda ser tido em conta nos cálculos um eventual custo ou peso associado a cada nó da rede.

#### 4.4.4.6.4 Cálculo de caminhos mínimos

Nos casos mais simples, o cálculo de um caminho mínimo ou óptimo entre dois nós quaisquer de uma rede equivale simplesmente a procurar o caminho mais curto (distância mínima) entre os nós. No entanto, na maioria dos casos tratar-se-á do caminho de menor impedância, sendo esta última uma medida de resistência ao deslocamento expressa de distintas formas (distância, tempo, custo, etc.).

Perante estas definições, é fácil compreender que, por exemplo, o caminho mínimo entre dois locais opostos de uma cidade será bem diferente mediante a



variável de impedância considerada: o caminho mais curto (distância) passará pelo centro da cidade, enquanto que o caminho mais rápido (tempo) provavelmente seguirá alguma via rápida de circunvalação, evitando assim o congestionamento das ruas do centro. Este pequeno exemplo permite entender que este tipo de análise é cada vez mais importante, para não dizer mesmo obrigatória, em inúmeras actividades (distribuição de mercadorias, trajectos de ambulâncias e outros veículos de emergência, transportes urbanos, etc.).

Por seu turno, a impedância numa rede de transportes procura reflectir as condições em que se realiza a circulação (Puebla e Gould, 1994). Poderá ser associada aos arcos ou aos nós da rede:

- *Impedâncias de arco*: representam a resistência em percorrer um arco de uma das extremidades a outra. Em percursos a pé, é por vezes razoável considerar como medida da impedância o comprimento dos arcos, sabendo-se que quanto mais comprido é um arco, maior é o esforço despendido para o transpor. Outras hipóteses serão a inclinação, o tipo de piso, a presença de obstáculos ou escadas, etc. No tocante a transportes motorizados, a variável mais empregue tem sido o tempo, dado que, como se referiu, o caminho mais curto nem sempre é o mais rápido. Existindo variadas possibilidades, antes de proceder à análise propriamente dita deverá sempre ser definida qual a variável a considerar como impedância de arco. É de salientar ainda que as impedâncias podem ser direccionais, facultando assim a possibilidade de caracterizar o tráfego segundo o sentido de circulação. Alguns exemplos são a existência de velocidades de circulação distintas para os dois sentidos e estradas de sentido único.
- *Impedâncias de nó*: visam geralmente simular as circunstâncias que afectam as mudanças de direcção nas intersecções. Num semáforo, virar à direita poderá levar menos tempo que continuar em frente e menos ainda do que virar à esquerda. De forma a simular esta maior ou menor dificuldade em efectuar movimentos nas intersecções, neste exemplo poder-se-ia atribuir uma impedância de 20 segundos ao movimento da direita, 40 segundos em frente e 60 segundos ao da esquerda. No caso dos caminhos de ferro, a impedância de nó poderá representar o tempo que cada comboio fica imobilizado numa estação. Deste modo, a impedância total entre dois nós da

rede será igual à soma das impedâncias de arco e nó do caminho mínimo entre ambos.

Resumindo, para calcular o caminho mínimo entre dois pontos de uma rede é necessário fornecer esses dois pontos, definir qual a variável a considerar como impedância de arco e, caso assim se pretenda, definir também a impedância de nó. De seguida, o SIG está em condições de identificar o caminho mínimo directamente sobre a rede, fornecer a impedância total do mesmo e, em muitos casos, uma relação dos arcos a percorrer e direcções a tomar.

Outra opção merecedora de destaque é a que, para além da operação já descrita, permite contemplar também a visita de pontos de paragem intermédios entre os pontos de origem e destino. Neste caso e para além do caminho mínimo, poderá solicitar-se o cálculo da carga ideal (mercadoria ou número de pessoas) a transportar e distribuir ao longo do trajecto de forma a rentabilizar ao máximo cada viagem, bem como a ordem de visita aos locais que minimiza o movimento ao longo do caminho.

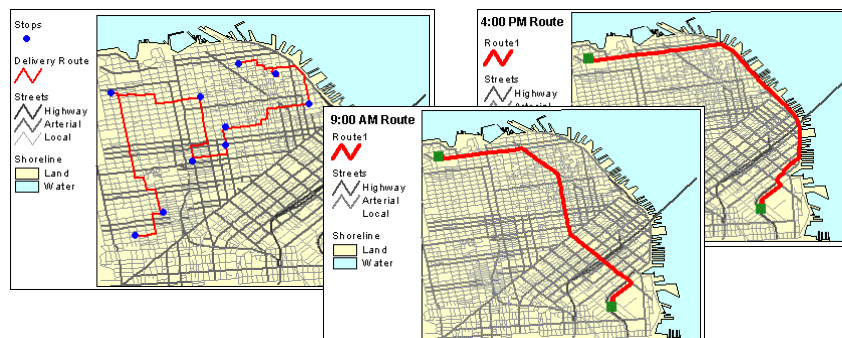


Figura 4.22 – Exemplos de caminhos mínimos

#### 4.4.4.6.5 Análise de áreas de influência de centros de serviços

A área de influência dos centros de serviços é habitualmente calculada recorrendo às distâncias euclidianas mediante a construção de polígonos de Thiessen. No entanto, procurando representar a realidade da forma mais fidedigna

possível, é por vezes mais indicado medir as distâncias através da rede que realmente canaliza os movimentos, sem ignorar as impedâncias adequadas. Considerando-se que a impedância escolhida é o tempo, tratar-se-á então de determinar desde que nós ou arcos da rede se pode alcançar, num determinado tempo, o ponto onde se situa o centro de serviços.

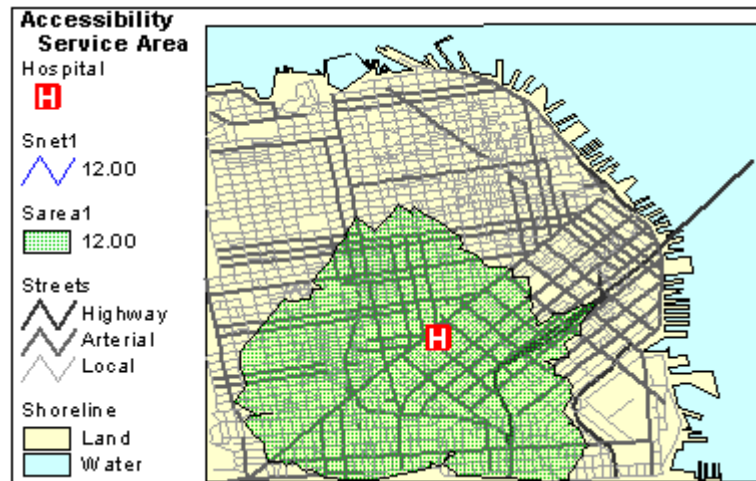


Figura 4.23 – Exemplo de uma área de serviço

# Capítulo 5

## Modelo de avaliação da acessibilidade

### 5.1 Introdução

Neste capítulo procede-se à estruturação do modelo de avaliação multicritério da acessibilidade que permite calcular índices de acessibilidade dentro de uma área de estudo em relação aos destinos-chave aí considerados.

O modelo que se apresenta resulta da combinação de três eixos teóricos abordados nos capítulos anteriores, a saber:

- avaliação da acessibilidade, nomeadamente a escolha de uma abordagem adequada ao problema;
- análise multicritério, proporcionando métodos e procedimentos de avaliação através da combinação de diversos critérios;
- sistemas de informação geográfica que, por serem detentores de potentes ferramentas de processamento e análise espacial, constituem por natureza um ambiente de desenvolvimento e implementação de modelos cartográficos.

### 5.2 Modelo adoptado

O modelo que se adopta nesta dissertação, apresentado e aplicado à avaliação da acessibilidade para a localização industrial por Mendes (2001), baseia-se na

medição de afastamento incluindo o efeito da distância. Enumeram-se de seguida os principais pontos teóricos para a avaliação da acessibilidade que se procuraram englobar no modelo (Mendes, 2001):

- i) a acessibilidade avalia-se em relação a um determinado objectivo; a título de exemplo, o objectivo pode ser a localização industrial, ou a avaliação dos níveis de acessibilidade no interior dum campus universitário;
- ii) o índice de acessibilidade a calcular resulta da combinação das distâncias a um conjunto de destinos-chave, que podem ser pontos (por exemplo paragens de autocarro), linhas (por exemplo estradas) ou áreas (por exemplo centros de serviços);
- iii) os destinos-chave estão relacionados com o objectivo e podem possuir importâncias diferentes (pesos);
- iv) os meios que permitem alcançar os destinos-chave podem apresentar diferentes níveis de resistência ao movimento (fricção). A título de exemplo, e do ponto de vista pedonal, a fricção advirá das “dificuldades” encontradas no percurso (por exemplo escadas ou rampas);
- v) as distâncias-custo aos destinos-chave resultam da combinação das distâncias reais com a fricção da superfície;
- vi) as distâncias-custo aos destinos-chave podem ser normalizadas através de funções *fuzzy* que, após a aplicação dos pesos, representam a sua contribuição no índice de acessibilidade;

Sendo  $i$  uma localização, a sua acessibilidade  $A_i$  é dada pela equação (Mendes, 2001):

$$A_i = \sum_j f(c_{ij}) \cdot w_j \quad (5.1)$$

onde,

$f(c_{ij})$ : função *fuzzy* aplicada à distancia-custo entre o local  $i$  e o destino-chave  $j$ ;

$w_j$ : peso do destino-chave  $j$ .

A definição dos pontos  $i$ , para os quais é medida a acessibilidade, depende da forma como o espaço é modelado. No caso de uma rede, são considerados todos os nós existentes na sua definição, enquanto que num espaço contínuo (superfície), cada ponto duma grelha é avaliado. Neste caso, quando é empregue um modelo *raster*, os pontos considerados não são mais do que as células da imagem *raster* e dependem da resolução adoptada.

A equação (5.1) é essencialmente uma Combinação Linear Pesada (WLC, ver secção 3.4.1) que permite aos critérios compensar entre eles as suas qualidades (*trade-off*). Acontece assim que uma qualidade muito pobre pode ser compensada pela existência de um número de fortes qualidades. Uma outra abordagem, como a Média Ordenada Pesada (OWA, ver secção 3.4.2), oferece algum controlo sobre a compensação de critérios e inclui o efeito de uma atitude de risco no processo de avaliação, podendo sempre o analista escolher em que zona do espaço estratégico de solução<sup>1</sup> se pretende situar.

Uma componente muito importante do modelo de avaliação multicritério diz respeito às prioridades/importâncias associadas aos diversos critérios intervenientes (neste caso distância aos destinos-chave), isto é, os valores dos pesos  $w_j$  da equação (5.1). O objectivo de envolver pesos na avaliação é o de quantificar a importância relativa de cada um dos critérios no conjunto de destinos-chave considerado. Desta forma é possível reflectir a sua importância na contribuição que tem para o índice de acessibilidade global.

Outra componente importante é o processo de normalização a adoptar. Neste caso e por ser o mais adequado para variáveis contínuas (distâncias), optou-se pelo recurso ao procedimento de *fuzzification*, isto é, a aplicação de uma função *fuzzy*, devidamente escolhida e criteriosamente calibrada. O objectivo é, para todos os destinos-chave, transformar qualquer escala de avaliação numa comparável onde os valores se enquadrem num intervalo normalizado. Nesta dissertação, os resultados expressam o grau de pertença a um intervalo de valores entre 0.0 e 1.0, delineando uma variação contínua desde a não pertença (nenhuma acessibilidade) até à completa pertença (acessibilidade total).

---

<sup>1</sup> ver secção 3.4.2

Os pontos de controlo das curvas *fuzzy* constituem pontos críticos que, consoante os casos, deverão ser escolhidos tendo em conta o seu significado.

No sentido de introduzir cenários de avaliação no processo, propõe-se uma avaliação da acessibilidade em duas etapas.

Numa primeira etapa e sendo os destinos-chave agrupados em função de uma determinada característica comum (por exemplo funcionalidade), passa-se a avaliar a acessibilidade de cada local em relação a cada grupo, e não em relação a todos os destinos-chave existentes na área em estudo, através da seguinte equação de agregação pelo método WLC:

$$A_i^g = \sum_j^{n_g} f(c_{ij}) \cdot w_j^g \quad (5.3)$$

onde,

$A_i^g$ : índice de acessibilidade do local  $i$  em relação ao grupo  $g$ ;

$f(c_{ij})$ : função *fuzzy* aplicada à distância-custo entre o local  $i$  e o destino-chave  $j$  incluído no grupo  $g$ ;

$w_j^g$ : peso do destino-chave  $j$  incluído no grupo  $g$ .

$n_g$ : número de destinos-chave do grupo  $g$ .

Ao considerarem-se os grupos de destinos-chave, os respectivos pesos são agora definidos em relação ao grupo em que estão inseridos, isto é, o somatório dos pesos será sempre a unidade dentro de cada grupo.

A segunda etapa destina-se ao cálculo do índice de acessibilidade global, através da combinação OWA dos valores da acessibilidade em relação aos grupos de destinos-chave  $A_i^g$ . Impõe-se, então, a consideração de dois conjuntos de pesos: um primeiro relativo à importância dos próprios grupos de destinos-chave ( $p_g$ ); um segundo constituído pelos *order weights* ( $O$ ), o qual permitirá aplicar o procedimento OWA e, considerando diferentes combinações de valores, definir cenários de avaliação.

O índice de acessibilidade global do local  $i$  será dado então pela equação:

$$A_i = A^i \times O \quad (5.4)$$

onde,

$A^i$ : vector  $[A_i^1 \cdot p_1 \ A_i^2 \cdot p_2 \ \dots \ A_i^{n_g} \cdot p_{n_g}]$  ordenado (em ordem crescente),

onde:

$A_i^g$ : índice de acessibilidade do local  $i$  em relação ao grupo de destinos-chave  $g$ ;

$n_g$ : número de grupos de destinos-chave;

$p_g$ : peso do grupo  $g$ ;

$O$ : vector dos *order weights*.

Se se pretende obter um risco mínimo no processo de avaliação da acessibilidade, isto é, próximo de *AND* (mínimo) no intervalo de variação da variável *ANDness*, dever-se-á atribuir *order weights* aos factores com os *scores* mais baixos. No caso mais extremo, a adopção do vector de *order weights*  $[1 \ 0 \ \dots \ 0]$  resulta numa avaliação pessimista ou conservadora, caracterizada por risco mínimo e *trade-off* nulo.

Ao invés, se o risco máximo for o que se pretende no processo de avaliação de acessibilidade, dever-se-á considerar o vector de *order weights*  $[0 \ \dots \ 0 \ 1]$ , ao qual corresponde um cenário de avaliação optimista, caracterizado pela assunção de risco máximo e ausência de *trade-off*.

Outro vector de *order weights* típico é aquele que possui valores todos iguais, que corresponde à agregação *WLC*. Esta seria uma avaliação neutra, relativamente ao risco, permitindo *trade-off* total.

### 5.3 Dados de base

Para aplicar o modelo é necessário que sejam conhecidos os seguintes dados: a rede, os destinos-chave (incluindo, quando aplicável, o critério de agrupamento), os pesos a aplicar, a função ou funções a empregar na normalização dos critérios de avaliação (distância-custo) e respectivos pontos de controlo.



Caso a rede não exista em suporte digital, deve-se proceder à sua digitalização de forma a que a sua representação seja processável pelo SIG adoptado. Definidos quais os destinos-chave da área em estudo e qual o critério de agrupamento dos mesmos, procede-se à elaboração de um inquérito à comunidade utilizadora da área em estudo com o intuito de determinar os restantes dados (pesos, funções *fuzzy* e pontos de controlo).

#### 5.4 Implementação em ambiente SIG

Nesta dissertação, optou-se por implementar o modelo apresentado num SIG vectorial, de acordo com o fluxograma da Figura 5.1.

O primeiro passo consiste em calcular as distâncias mais curtas ( $c_{ij}$ ) através da rede, de cada nó para todos os destinos-chave. Procede-se então à sua normalização recorrendo à ou às funções *fuzzy* adoptadas devidamente calibradas (pontos de controlo), obtendo-se os *scores*  $f(c_{ij})$ . Uma tabela onde previamente foram armazenados os pesos de cada destino-chave e o recurso à equação (5.1) permitem calcular os *scores* pesados de cada nó relativamente a cada destino-chave. De seguida, é calculado o índice de acessibilidade ( $A_i^g$ ) relativamente a cada um dos grupos de destinos-chave definidos, correspondendo ao somatório dos respectivos *scores* pesados. Finalmente, agregam-se os índices de acessibilidade dos grupos segundo o método OWA (equação 5.4), resultando os índices de acessibilidade globais ( $A_i$ ), os quais servem de base à construção dos mapas de cenários de avaliação da acessibilidade. Este passo pressupõe a construção de um vector ordenado (em ordem crescente) cujos valores advêm do produto entre os índices de acessibilidade e os pesos respectivos de cada grupo, para, de seguida, calcular-se o produto entre esse vector e o vector de *order weights*.

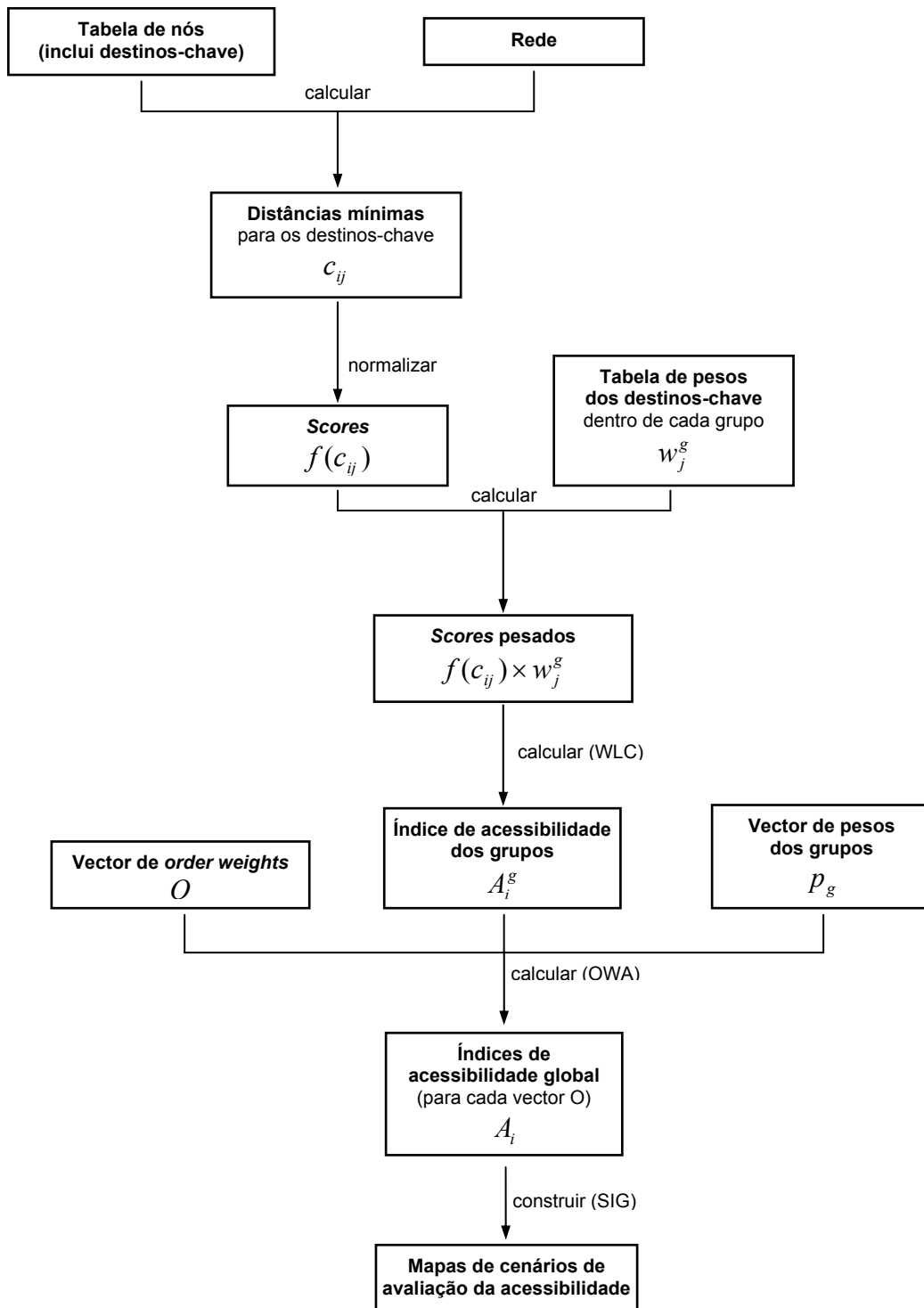


Fig. 5.1 – Implementação do modelo em sig vectorial

# Capítulo 6

## Caso de Estudo

### 6.1 Introdução

O Campus da Universidade do Minho em Gualtar localiza-se numa área limítrofe da cidade de Braga, entre a sua zona Este e a freguesia de Gualtar. A zona que actualmente está edificada e infraestruturada estende-se ao longo de doze hectares (Figura 6.1). Este pólo da Universidade abrange uma comunidade universitária de aproximadamente 13000 utentes, os quais se dividem em 12000 alunos<sup>1</sup>, 800 docentes e 300 funcionários<sup>2</sup>. Os edifícios existentes suportam a actividade académica, albergando as diversas Escolas e Institutos, três Complexos Pedagógicos e vários serviços, dois quais se podem destacar, a título de exemplo, a Biblioteca, a Cantina, o Centro de Informática, o Pavilhão Polivalente e os Serviços Académicos. O Campus possui ainda “duas portas de entrada”, comuns a peões e veículos: uma a Sul-Oeste, embora condicionada para os automóveis, e outra a Este. São disponibilizados oito parques de estacionamento, quatro dos quais condicionados ao acesso com um cartão magnético, e duas paragens de autocarro: uma no interior do Campus servida por uma linha dedicada aos utentes universitários, e outra no exterior, servida por linhas de âmbito geral.

Enumeradas as componentes principais do Campus, facilmente se identificam três grandes funcionalidades em que se podem agrupar os vários locais existentes: (1) os Complexos Pedagógicos, os Departamentos e Institutos relacionados directa

---

<sup>1</sup> fonte: Serviços Académicos da Universidade do Minho.

<sup>2</sup> fonte: Secção de Recursos Humanos da Universidade do Minho. Este número refere-se aos funcionários do quadro permanente; estima-se que trabalhem no Campus, para além destes, algumas centenas de outros funcionários, entre tarefeiros, monitores, investigadores, etc.

ou indirectamente com a leccionação e a investigação; (2) os Serviços; (3) por fim, os Acessos. Dado que no Campus as deslocações são efectuadas a pé, é oferecida uma rede pedonal com uma extensão aproximada de 5800 metros.

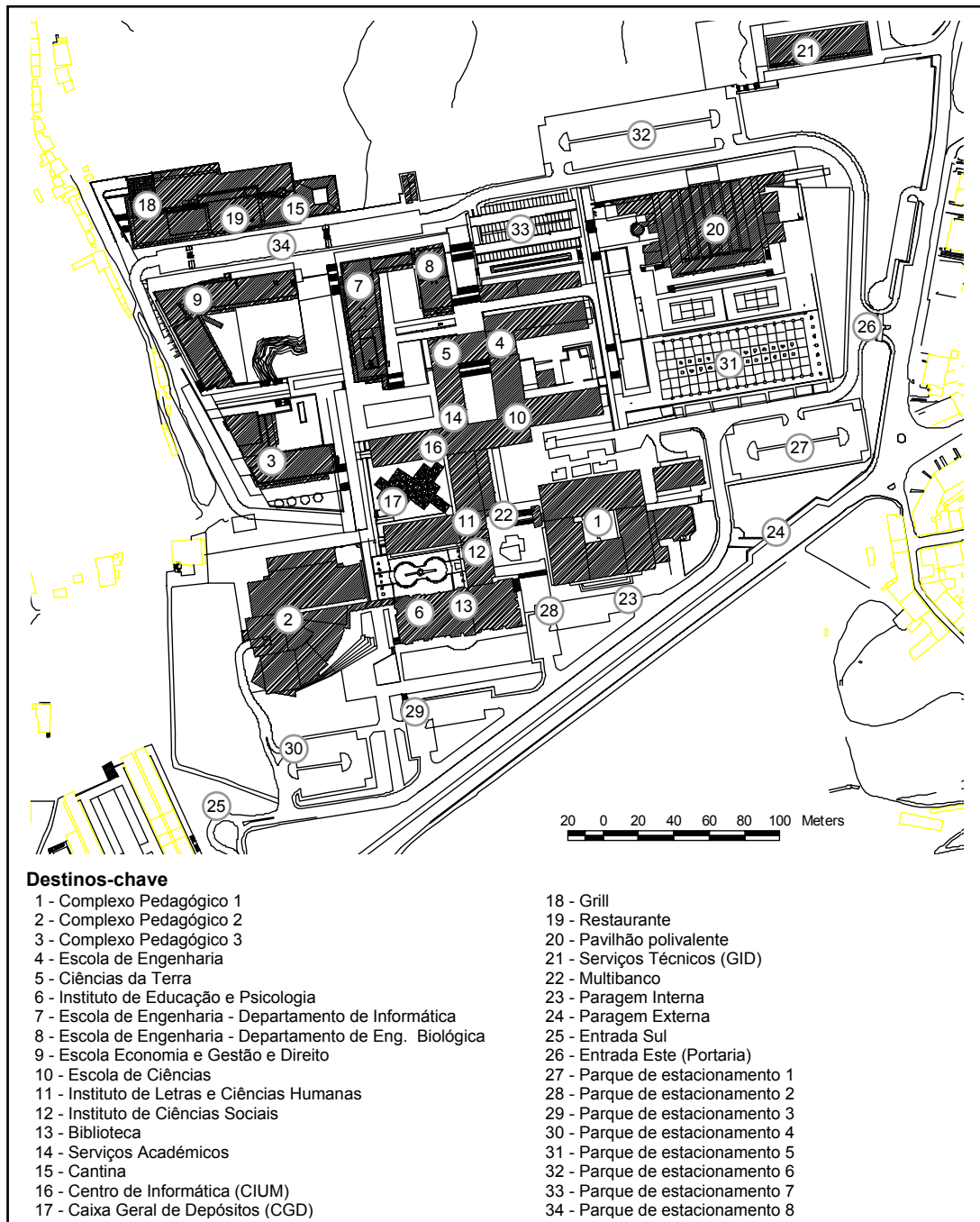


Figura 6.1 - Campus da Universidade do Minho em Gualtar - Braga

O objectivo do caso de estudo é, então, a avaliação da acessibilidade dentro do Campus Universitário de Gualtar. É implementado o modelo desenvolvido anteriormente, com as necessárias adaptações decorrentes da realidade em análise,

no sentido de gerar vários cenários de avaliação alternativos. O espaço estratégico de avaliação é comentado e discutido.

## 6.2 Dados para a implementação do modelo

A acessibilidade é medida na perspectiva da facilidade com que os utentes chegam aos vários destinos-chave, levando a que todo o estudo incida e se baseie neles. Para a situação particular do Campus da Universidade do Minho em Gualtar, os destinos-chave correspondem aos locais do Campus à volta dos quais gira toda a actividade académica. O processo de especificação do modelo teórico (ver ponto 5.2) caracteriza-se pelos seguintes passos:

- desenhar a rede;
- identificar os destinos-chave;
- estabelecer os pesos associados a cada destino-chave e aos grupos de funcionalidades;
- determinar as impedâncias a imputar à rede;
- identificar as funções *fuzzy* a aplicar na normalização;
- identificar os pontos críticos das funções *fuzzy* de forma a proceder à sua calibração;

### 6.2.1 Preparação da rede em SIG

Através de uma planta do Campus, foi efectuado um reconhecimento no terreno com o objectivo de identificar os trajectos e caminhos seguidos pelas pessoas que percorrem o Campus a pé, procurando-se assim com maior rigor e realismo o desenho da rede a adoptar.

A preparação da rede propriamente dita envolveu as seguintes etapas:

- digitalização da rede a partir da planta digital do Campus, fornecida pelo Gabinete de Instalações Definitivas da Universidade do Minho;
- criação de topologia (ver secção 4.4.4.2). Esta operação foi efectuada recorrendo ao programa ARC/INFO<sup>3</sup>. Após conversão da *layer* contendo a rede a processar num tema próprio da aplicação

---

<sup>3</sup> ARC/INFO é uma marca registada da ESRI.

(*coverage*), é efectuada sobre o último uma operação de *clean*. Esta operação cria intersecções (nós) sempre que linhas se cruzem e gera uma tabela de atributos espaciais do tema, na qual são armazenadas as relações de conectividade entre arcos e contiguidade entre polígonos.

- conversão do tema obtido no item anterior para formato ArcView<sup>4</sup>, gerando-se dois ficheiros: um referente aos arcos da rede e um segundo contendo apenas os nós da rede;
- verificação em ArcView dos temas gerados, nomeadamente confrontando-os com o esboço obtido da pesquisa no terreno, e respectivas correcções.

A Figura 6.2 mostra a rede gerada com recurso ao processo descrito.

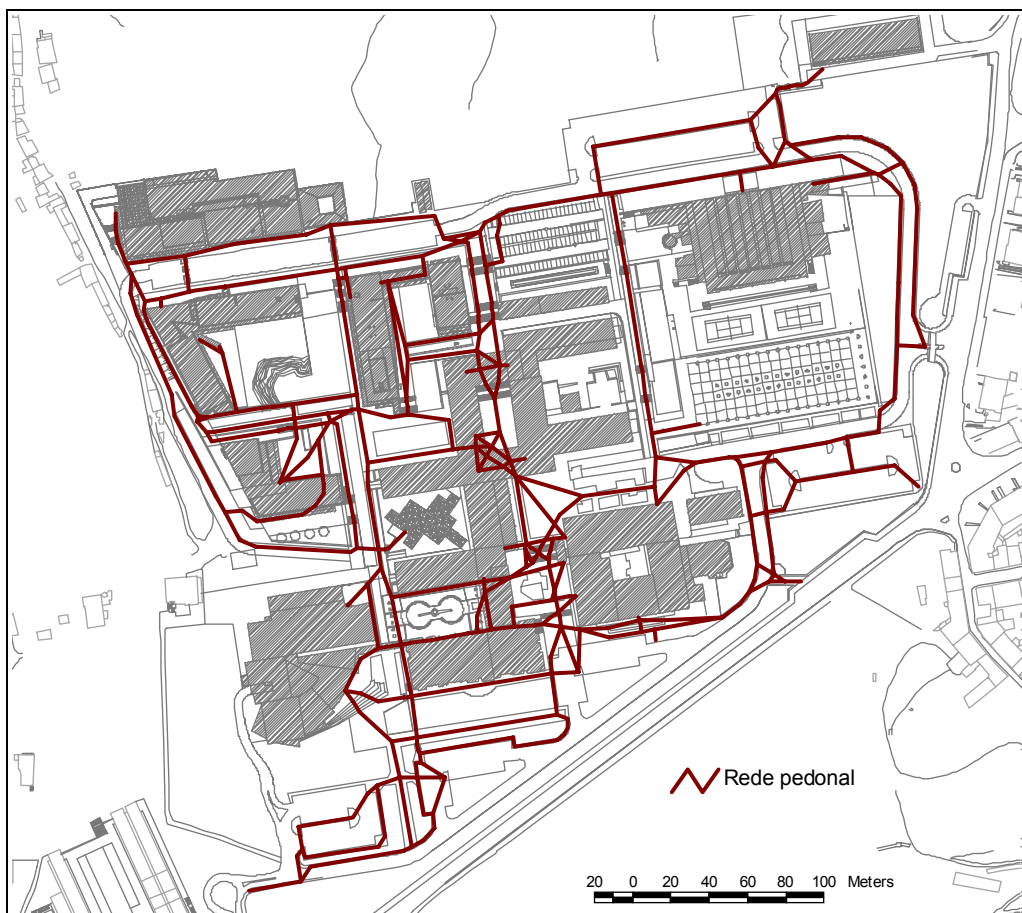


Figura 6.2 – Rede pedonal do campus

<sup>4</sup> ArcView é uma marca registada da ESRI.

Os pontos avaliados ao longo da rede correspondem a todos os nós dos arcos que surgiram ao longo do processo de digitalização e posterior construção de topologia. Desta forma, são tidos em conta 360 pontos (Figura 6.3) espalhados por toda rede que traduzem uma cobertura do Campus que se considera adequada.

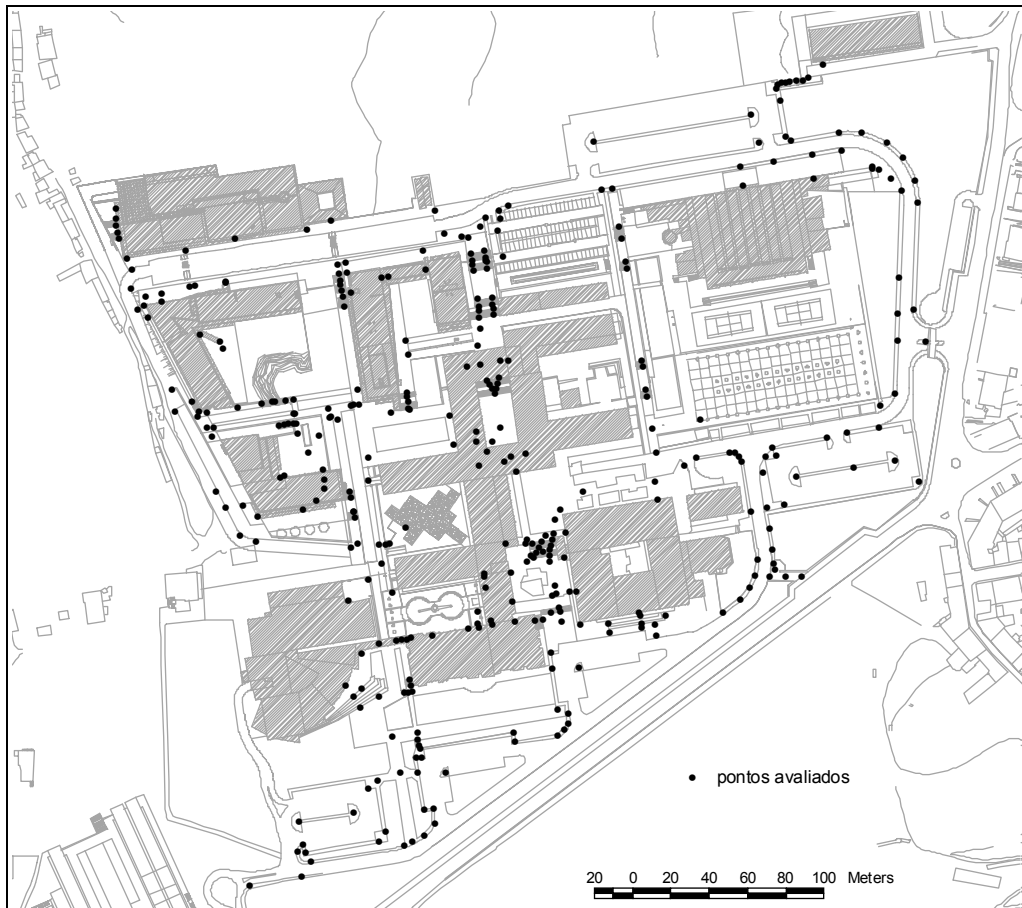


Figura 6.3 – Pontos avaliados (nós)

### 6.2.2 Destinos-chave

Observa-se no Quadro 6.1 que os destinos-chave foram agrupados em três grupos que representam as três funcionalidades fundamentais para a comunidade universitária: a primeira engloba os complexos pedagógicos, departamentos e institutos, por funcionarem em conjunto e directamente ligados à leccionação e à investigação; os serviços que, como o nome indica, estão incumbidos de prestar todos os serviços inerentes ou necessários para o funcionamento do Campus; e por fim os acessos, que constituem as "portas" de entrada ou saída em relação ao

"exterior". São identificados com códigos os vários destinos considerados, sendo o primeiro algarismo referente à funcionalidade e o segundo ao destino-chave dentro da funcionalidade.

Quadro 6.1 – Destinos-chave

Funcionalidades	Destinos-chave
Complexos Pedagógicos, Departamentos e Institutos	Complexo Pedagógico 1 (CP1)
	Complexo Pedagógico 2 (CP2)
	Complexo Pedagógico 3 (CP3)
	Escola de Engenharia
	Ciências da Terra
	Instituto de Educação e Psicologia
	Escola de Engenharia - Departamento de Informática
	Escola de Engenharia - Departamento de Eng. Biológica
	Escola Economia e Gestão e Direito
	Escola de Ciências
	Instituto de Letras e Ciências Humanas
	Instituto de Ciências Sociais
Serviços	Biblioteca
	Serviços Académicos
	Cantina
	Centro de Informática (CIUM)
	Caixa Geral de Depósitos (CGD)
	Grill
	Restaurante
	Pavilhão polivalente
	Serviços Técnicos (GID)
	Multibanco
Acessos	Paragem Interna
	Paragem Externa
	Entrada Sul
	Entrada Este (Portaria)
	Parque de estacionamento 1
	Parque de estacionamento 2
	Parque de estacionamento 3
	Parque de estacionamento 4
	Parque de estacionamento 5
	Parque de estacionamento 6
	Parque de estacionamento 7
	Parque de estacionamento 8



### 6.2.3 Inquérito aos utilizadores do Campus

De forma a obter os pesos, identificar as funções *fuzzy* a adoptar e respectivos pontos críticos, conforme referido anteriormente, foi realizado um inquérito aos vários utilizadores do Campus, tendo sido adoptada uma amostra da comunidade universitária que incluiu cem alunos, vinte docentes e vinte funcionários. Os resultados do inquérito estão apresentados no anexo A. Estes números foram escolhidos por se considerarem representativos do universo total, de quem se procura que traduzam o ponto de vista. Os alunos foram inquiridos aleatoriamente e em zonas dispersas do Campus. Mesmo assim, para evitar qualquer desvio casual, pediu-se a cada inquirido que referisse o curso que frequentava de forma a que não surgissem, no cômputo geral, alguns cursos com demasiada relevância. Por seu turno, os docentes e funcionários foram inquiridos de forma a abarcar, em termos espaciais, toda a área do Campus.

Para os vários destinos-chave definidos, foi desenvolvido o processo de avaliação de pesos, isto é, recorrendo a uma escala de dez pontos, os inquiridos atribuíram uma pontuação a cada um dos destinos-chave e funcionalidades em função da importância que lhes suscitava do ponto de vista da utilização. Em seguida, foi pedida a distância máxima que se dispunham percorrer a pé para se deslocarem até cada destino-chave. Foi ainda pedido, que identificassem qual das duas funções *fuzzy* de normalização propostas (linear e sigmoideal) melhor representava, em sua opinião, a variação da importância da distância na acessibilidade ao destino.

Deste modo foi possível identificar os pesos e o processo de *fuzzyfication* a adoptar no presente estudo, os quais são apresentados nas secções seguintes.

### 6.2.4 Pesos

Após o processamento dos resultados do inquérito foi possível obter os pesos a adoptar para cada um dos destinos-chave e funcionalidades definidas para o Caso de Estudo, os quais são apresentados no Quadro 6.2.

Quadro 6.2 – pesos dos destinos-chave e funcionalidades.

Funcionalidade	Peso	Destino-chave	Peso
Complexos pedagógicos, Departamentos e Institutos	0,37	CP1	0,14
		CP2	0,17
		CP3	0,08
		Escola de Engenharia	0,06
		Ciências da Terra	0,07
		Instituto de Educação e Psicologia	0,06
		Depart. Informática	0,08
		Eng. Biológica	0,05
		Escola Economia e Gestão e Direito	0,09
		Escola de Ciências	0,08
		Inst. de Letras e Ciências Humanas	0,06
Inst. de Ciências Sociais	0,06		
Serviços	0,34	Biblioteca	0,15
		Serviços Académicos	0,12
		Cantina	0,12
		CIUM	0,09
		CGD	0,10
		Grill	0,07
		Restaurante	0,07
		Pavilhão polivalente	0,10
		GID	0,04
Multibanco	0,14		
Acessos	0,29	Paragem Interna	0,08
		Paragem Externa	0,08
		Entrada Sul	0,15
		Entrada Este (Portaria)	0,12
		Parque de estacionamento 1	0,08
		Parque de estacionamento 2	0,06
		Parque de estacionamento 3	0,06
		Parque de estacionamento 4	0,07
		Parque de estacionamento 5	0,08
		Parque de estacionamento 6	0,08
Parque de estacionamento 7	0,07		
Parque de estacionamento 8	0,07		

### 6.2.5 Normalização

Necessária para agregar a avaliação de critérios não comparáveis entre si, a normalização efectua-se através de um processo de *fuzzification* com recurso a uma função (linear ou sigmoideal) escolhida para cada destino-chave. No entanto, aconteceu que nenhuma das curvas reuniu uma preferência clara dos inquiridos, como se pode constatar nos resultados do inquérito (Anexo A). Optou-se então por efectuar duas implementações do modelo: uma recorrendo à função sigmoideal e outra à função linear. Desta forma, será ainda possível avaliar a diferença de resultados devida ao tipo de curva adoptada para a função *fuzzy*.

Não menos importante, era a procura dos dois pontos de controlo, que permitem calibrar a função *fuzzy*. Ao primeiro foi atribuído o valor zero, dado que a

uma distância nula corresponde um *score* máximo em termos de acessibilidade e, como as distâncias a percorrer são reduzidas, admitiu-se que não existe nenhum patamar no qual se considere constante o *score* máximo. Para o segundo ponto (distância máxima), a partir do qual os *scores* passam a tomar o valor zero (acessibilidade nula), foram adoptados os valores resultantes do inquérito efectuado (médias), os quais são apresentados no Quadro 6.3.

Quadro 6.3 – Distâncias máximas.

<b>Destino-chave</b>	<b>Distância máxima (metros)</b>
CP1	306
CP2	356
CP3	227
Escola de Engenharia	119
Ciências da Terra	219
Instituto de Educação e Psicologia	156
Esc. Eng. Informática	174
Esc. Eng. Biológica	133
Escola Economia e Gestão e Direito	204
Escola de Ciências	202
Inst. De Letras e Ciências Humanas	135
Inst. De Ciências Sociais	148
Biblioteca	406
Serviços Académicos	319
Cantina	372
CIUM	199
CGD	223
Grill	167
Restaurante	138
Pavilhão polivalente	287
GID	158
Multibanco	285
Paragem Interna	144
Paragem Externa	173
Entrada Sul	295
Entrada Este (Portaria)	255
Parque 1	183
Parque 2	109
Parque 3	124
Parque 4	127
Parque 5	186
Parque 6	189
Parque 7	119
Parque 8	164

Os resultados do inquérito a este nível denotaram que os utentes do Campus são relutantes a deslocarem-se, pois as distâncias obtidas são extremamente baixas (entre 109 e 406 metros). Como referido por Aultman-Hall (1997, p.12) um percurso de 400 metros é frequentemente considerado como aceitável para percursos a pé.

Deste modo, optou-se então por implementar uma terceira vez o modelo, onde se adaptou uma curva sigmoideal (que privilegia as curtas distâncias em detrimento das longas distâncias) com uma distância máxima de 400 metros para todos os destinos-chave.

### 6.2.6 Impedâncias

A existência de diversas escadas que integram os percursos habituais efectuados pelas pessoas que frequentam o Campus, levou à inserção de impedâncias de arcos (ver secção 4.4.4.6.4) na rede. Dado que a transposição de uma escada equivale ao percurso de uma distância superior à distância horizontal sem escada (Figura 6.4), as impedâncias incidiram sobre os arcos correspondentes a lances de escadas (devidamente individualizados no processo de digitalização). Foi então medido no terreno o espelho (altura) e cobertor (comprimento percorrido) de degraus das diversas escadas. As medidas apresentaram valores semelhantes e foram então adoptadas as seguintes: 17.5 cm de espelho e 33.5 cm de cobertor. Obteve-se assim uma impedância a aplicar aos lances de escadas que agrava as distâncias em 13%.

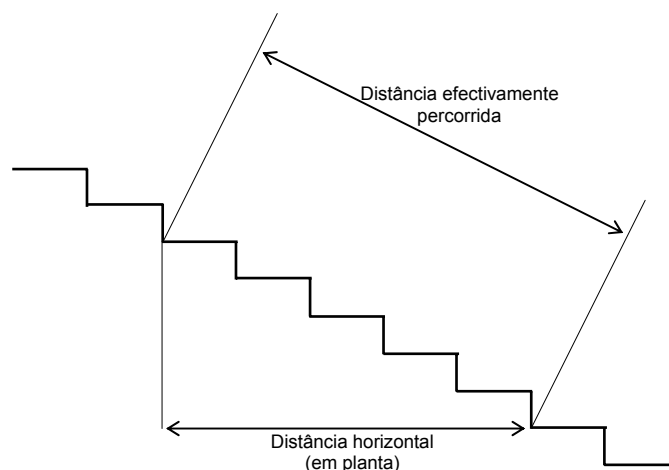


Figura 6.4 - Distância percorrida num lance de escadas

## 6.3 Implementação do modelo em SIG vectorial

### 6.3.1 Tabelas de atributos

Do processo descrito em 6.2.1, resultaram dois temas (rede e nós da rede) que serviram de base para a implementação do modelo. Associada a cada tema, encontra-se uma tabela de atributos espaciais gerada “por defeito” (*default*). É então agora necessário definir toda uma nova estrutura de suporte para o armazenamento da informação relacionada com o modelo, quer acrescentando novos atributos às tabelas existente, quer gerando novas tabelas.

Por se pretender introduzir o conceito de impedância de arcos (ver secção 6.2.6), foram acrescentados na tabela de atributos da rede dois novos campos numéricos. O primeiro associa a cada arco a respectiva impedância; por exemplo, 1.00 quando não há impedância e 1.13 para as escadas (acréscimo de 13%). O segundo visa reflectir a aplicação da impedância, tomando os valores que resultam do produto entre a distância-custo inicial do arco e a respectiva impedância, e servirá de referência para o cálculo dos caminhos mínimos.

Será também necessário gerar cinco novas tabelas de forma a armazenar não só todos os dados recolhidos para a implementação do modelo (destinos-chave, pesos, ...) mas também os valores calculados para e pelo modelo, cujas estruturas são apresentadas na Figura 6.5.

A tabela *Grupos* destina-se a armazenar a informação inerente às funcionalidades, recorrendo para isso a três atributos: *GrupoID* de tipo inteiro que implementa um identificador unívoco; *Funcionalidade* do tipo alfanumérico para armazenar o nome da funcionalidade; *Peso* do tipo real (com quatro casas decimais) para guardar o seu peso.

A estrutura da tabela *Destinos-chave*, apesar de muito semelhante, inclui as seguintes modificações: a alteração do tipo do campo relativo ao identificador (*DestID*) para alfanumérico (abreviaturas do *Nome*), por ser utilizado na designação de campos da tabela *Distancias\_Scores* e conferindo-lhes maior expressividade; a mudança da designação do atributo alfanumérico (*Nome*) destinado a armazenar o nome de cada um dos destinos-chaves; o surgimento de dois campos adicionais, um do tipo real, *Dmax*, para guardar a distância máxima que servirá de ponto de

controlo para a calibração da função *fuzzy* e o outro, *GrupoID*, do tipo inteiro, para identificar o grupo a que pertence um destino-chave.

A tabela *OWA*, como o seu nome indica, vocaciona-se para o armazenamento dos dados referentes aos diversos pontos de decisão, que definem diferentes níveis de risco e *trade-off* considerados para o estudo.

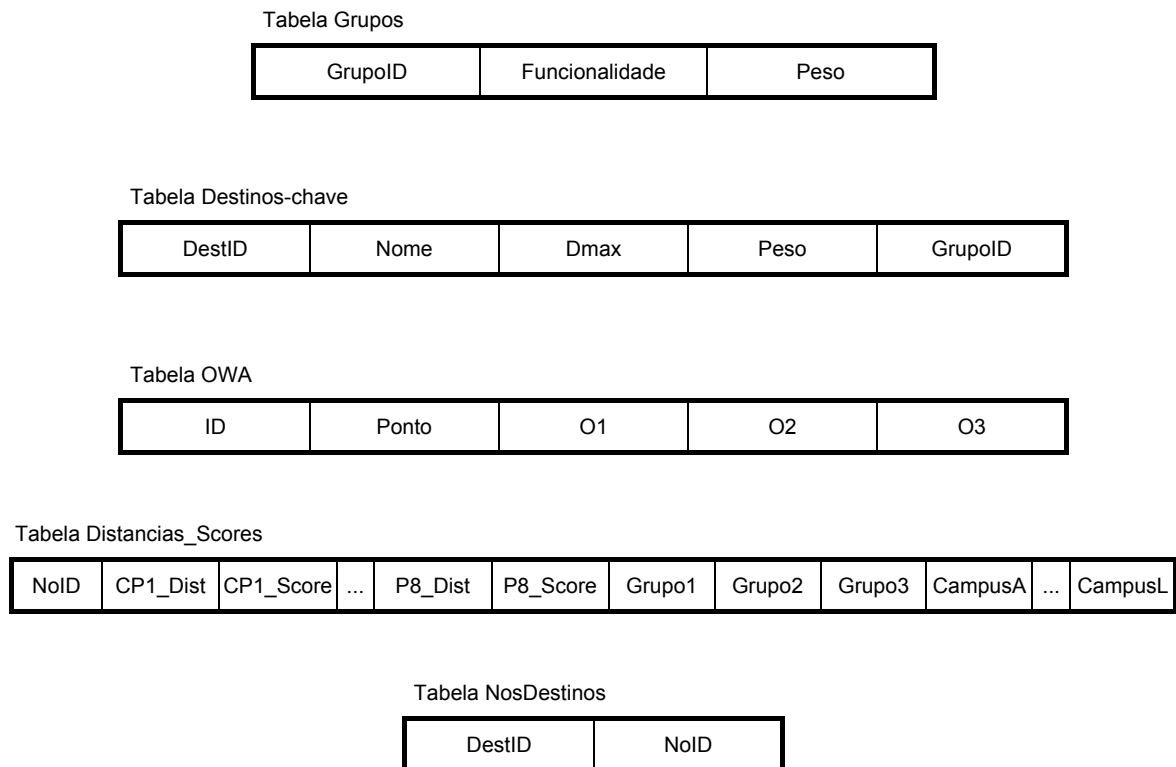


Figura 6.5 – Estruturas das novas tabelas.

Se a definição dos dois primeiros atributos (*ID* e *Ponto*) é semelhante às restantes tabelas (identificador unívoco e designação do ponto de decisão), os restantes, neste caso em número de três (porque são consideradas três funcionalidades), facultam acesso aos *order weights*.

Se até agora a preocupação recaiu sobre o armazenamento de dados imprescindíveis à implementação do modelo, foi também necessário encontrar soluções para guardar os valores quer intermédios, quer finais, gerados pelo modelo. Gerou-se então a tabela *Distancias\_Scores* cuja estrutura é a seguinte:

- um identificador (*NoID*) que permitirá efectuar a relação com a tabela de nós;

- dois atributos por cada destino-chave cuja designação obedeceu à seguinte regra: concatenação dos identificadores de Destinos-chave com os terminantes “\_Dist” e “\_Score” (por exemplo, no caso do complexo pedagógico 1, *CP1\_Dist* e *CP1\_Score*). A estes campos serão atribuídos respectivamente a distância e o *score* normalizado pesado do nó em relação ao destino\_chave;
- um atributo por cada grupo de destinos-chave (neste caso, três por se considerar três funcionalidades) de forma a armazenar o *score* do nó para cada grupo;
- um atributo por cada para cada cenários de avaliação (ou ponto de decisão) cujo valor representa o *score* final (índice de acessibilidade), resultante da agregação segundo o procedimento OWA (por exemplo, *CampusA* será a acessibilidade final do nó, para o cenário de avaliação A).

Podendo um destino-chave ser representado na rede por um ou mais nós (por exemplo, o Complexo Pedagógico 1 possui cinco entradas, cada uma delas representadas por um nó), a existência da tabela *NosDestinos* fundamenta-se com o objectivo de registar este facto, relacionando um ou mais identificadores de nós aos identificadores correspondentes dos destinos-chave. Desta forma, poderá ser identificado o caminho mais curto de acesso ao destino-chave, independentemente da posição a que se lhe aceda.

### 6.3.2 Programação

Reunidas as condições de suporte para todos os dados relacionados com o modelo, o passo seguinte consiste na programação de rotinas que calculem e armazenem toda a informação pretendida. De seguida, apresenta-se uma descrição e os algoritmos simplificados das várias rotinas programadas.

Analisando as equações apresentadas no Capítulo 5, mais precisamente (5.3) e (5.4), concluiu-se que o primeiro passo a dar é determinar a distância mínima ( $c_{ij}$ ) de cada nó da rede em relação a cada destino-chave (Algoritmo 6.1). Essa distância

é medida através da rede e equivale à distância do caminho mais curto entre o nó e o destino-chave. Quando o destino-chave é referenciado por mais do que um nó, são procurados os caminhos mínimos referentes a cada um deles e retida a menor das distâncias encontradas (“caminho mínimo mais curto”). Como é óbvio, a distância é nula entre um nó coincidente com um destino-chave e o próprio destino-chave.

Algoritmo 6.1 – Distâncias

**Objectivo:** Determinar e armazenar as distâncias mínimas entre cada nó e cada destino-chave

**Corpo:**

Para cada destino-chave

$nó_{destino} \leftarrow$  Criar lista de nós do destino-chave

Para cada nó da rede

Se o nó pertence aos  $nó_{destino}$  então  $distância \leftarrow 0$

Senão

Determinar as distâncias mínimas entre o nó e cada nó de  $nó_{destino}$

$distância \leftarrow$  a menor das distâncias mínimas

Guardar  $distância$

Após determinar todos os  $c_{ij}$ , tratava-se de normalizar-se esses valores, recorrendo às funções *fuzzy* definidas e multiplicam-se os *scores* obtidos pelos pesos associados a cada destino-chave (Algoritmo 6.2).

Algoritmo 6.2 – ScoreNormalizadoPesado

**Objectivo:** Normalizar as distâncias e pesar os scores obtidos

**Corpo:**

Para cada destino-chave

$Peso \leftarrow$  Carregar peso do destino-chave

Para cada nó da rede

$distância \leftarrow$  Carregar a distância ao destino-chave

$score \leftarrow$  Aplicar a função *fuzzy* à  $distância$

Guardar  $score \times peso$



De forma a concluir a implementação da equação 5.3 (obter todos os  $A_i^g$ ), é necessário calcular o *score* de cada nó para cada grupo (Algoritmo 6.3). Esta operação significava efectuar o somatório dos *scores* resultantes da aplicação do algoritmo 6.2 quando relativos a destinos-chave pertencentes ao mesmo grupo.

## Algoritmo 6.3 – ScoreGrupo

**Objectivo:** Calcular o score relativo a cada grupo de cada nó da rede

**Corpo:**

*grupos\_destinos* ← agrupar identificadores de destinos-chave

Para cada nó da rede

Para cada grupo de *grupos\_destinos*

*score* ← somatório dos scores do nó relativos aos destinos-chave do grupo

Guardar *score*

Neste momento estão disponíveis todos os dados requeridos pela equação (5.4). O passo seguinte consiste então em dar forma ao método OWA de combinação de critérios (Algoritmo 6.4). Para cada nó, constrói-se um vector cujos elementos são os *scores* relativos a cada grupo, aplicando de seguida, os pesos respectivos (resultam os *scores* pesados). Ordena-se então os valores do vector por ordem crescente e, de seguida, calcula-se o produto entre este e os vários vectores de pesos OWA (*order weights*) utilizados na análise, resultando um índice de acessibilidade do nó para cada cenário de avaliação.

## Algoritmo 6.4 – ScoresFinais

**Objectivo:** Calcular o score final relativo a cada ponto de decisão

**Corpo:**

*vectorPesosGrupos* ← Carregar pesos dos grupos

Para cada nó da rede

Para cada ponto de decisão

*vectorOWA* ← Carregar vector OWA relativo ao ponto de decisão

*vectorScores* ← Construir vector a partir dos scores relativos a cada grupo

*vectorScoresPesados* ←  $vectorScores \times vectorPesosGrupos$

*vectorOrdScoresPesados* ← Ordenar *vectorScoresPesados*

*score* ←  $vectorOrdScoresPesados \times vectorOWA$

Guardar *score*

Todos os algoritmos apresentados foram implementados recorrendo à linguagem de programação *Avenue* integrada no *ArcView* e são apresentados no Anexo B. Deram origem a rotinas que o *software* designa por *scripts* e podem ser executadas sempre que necessário.

#### 6.4 Cenários de avaliação

Implementando o modelo apresentado com as respectivas adaptações ao Caso de Estudo e utilizando as rotinas programadas, obtém-se o conjunto de cenários de avaliação da acessibilidade para o Campus de Gualtar da Universidade do Minho.

A geração dos mapas de acessibilidade seguiu a ordem de implementação do modelo. Em termos práticos, equivaleu à divisão deste processo em duas fases:

- geração dos mapas de base, representando a avaliação da acessibilidade relativamente a cada grupo individualmente (pela implementação do método WLC);
- geração dos mapas dos cenários de avaliação, partindo dos valores obtidos na fase anterior e implementando a agregação pelo método OWA de acordo com o ponto de decisão adoptado.

Na análise, foram desenvolvidos doze mapas correspondentes ao mesmo número de pontos de decisão (Figura 6.6), cujos vectores de *order weights* são apresentados no Quadro 6.4. Nesse mesmo Quadro são identificados os valores de *ANDness* e *trade-off*, bem como o tipo de avaliação correspondente.

Este conjunto de pontos foi adoptado no sentido de identificar mais facilmente a transição entre os três pontos de avaliação fundamentais, a saber, os pontos A, B, C.

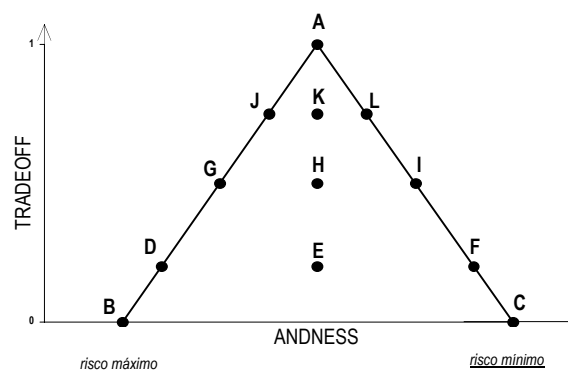







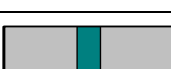
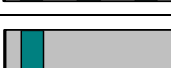
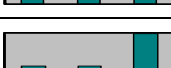




Figura 6.6 – Pontos de decisão

Quadro 6.4 - ANDness e trade-off para vários pontos de decisão

Ponto	Order weights		ANDness	Trade-off	Tipo de avaliação
A	[ 0.3333 0.3333 0.3333 ]		0.50	1.00	Risco neutro Trade-off total
B	[ 0.0000 0.0000 1.0000 ]		0.00	1.00	Risco máximo (optimista) Sem Trade-off
C	[ 1.0000 0.0000 0.0000 ]		1.00	0.00	Risco mínimo (pessimista) Sem Trade-off
D	[ 0.0350 0.1000 0.8650 ]		0.09	0.20	Alto risco Pouco Trade-off
E	[ 0.0650 0.8700 0.0650 ]		0.50	0.20	Risco neutro Pouco Trade-off
F	[ 0.8650 0.1000 0.0350 ]		0.92	0.20	Baixo risco Pouco Trade-off
G	[ 0.1000 0.2400 0.6600 ]		0.22	0.50	Risco elevado Trade-off médio
H	[ 0.1650 0.6700 0.1650 ]		0.50	0.50	Risco neutro Trade-off médio
I	[ 0.6600 0.2400 0.1000 ]		0.78	0.50	Algum risco Trade-off médio
J	[ 0.2500 0.2500 0.5000 ]		0.38	0.75	Risco considerável Trade-off elevado
K	[ 0.2500 0.5000 0.2500 ]		0.50	0.75	Risco neutro Trade-off elevado
L	[ 0.5000 0.2500 0.2500 ]		0.63	0.75	Risco relevante Trade-off elevado

O processo de desenvolvimento dos mapas de acessibilidade é comum às várias análises e constituído pelas seguintes acções:

- ✓ inserção dos temas *Nós* e *Campus*; se o interesse do primeiro incide apenas na geração de uma superfície irregular de triângulos, já o segundo fornece uma representação cartográfica do campus;
- ✓ modelação de uma superfície irregular de triângulos a partir dos pontos avaliados, isto é, o atributo *elevação* vai colher os seus valores ao atributo do tema *nós* que contenha o *score* de grupo a ilustrar (processo idêntico à elaboração de um modelo digital de terreno), gerando um novo tema que facilita a visualização da acessibilidade;

- ✓ para o novo tema, configura-se o número de intervalos iguais para nove (por se considerar um número que permite uma boa interpretação e compreensão dos resultados) e escolhe-se o intervalo de variação de cores do verde para o vermelho (onde verde corresponde à maior acessibilidade e vermelho à menor);
- ✓ finalmente são desenvolvidos para os cenários A, B e C os histogramas das áreas obtidas, correspondendo cada barra do gráfico à área de cada uma das nove classe de acessibilidade, variando da esquerda (*scores* mais baixos) para a direita (*scores* mais altos).

Relativamente aos mapas dos cenários de avaliação e como foi referido na secção 6.2.5, efectuaram-se três análises:

- ANÁLISE I - adoptando para todos os destinos-chave uma função *fuzzy* sigmoidal com Dmax resultante do inquérito;
- ANÁLISE II - adoptando para todos os destinos-chave uma função *fuzzy* linear com Dmax resultante do inquérito;
- ANÁLISE III - adoptando para todos os destinos-chave uma função *fuzzy* sigmoidal com Dmax igual a 400 metros.

#### 6.4.1 ANÁLISE I

##### 6.4.1.1 Mapas de base

Os valores de referência para a geração destes mapas foram os dados resultantes da execução das rotinas *Distâncias*, *ScorePesado* e *ScoreGrupo*, segundo esta ordem. Como já referido anteriormente (secção 6.3.2), esta sequência de cálculo permite obter os *scores* de acessibilidade em cada nó da rede relativamente a cada funcionalidade, pela agregação segundo o método WLC dos *scores* relativos aos destinos-chave dentro de cada grupo.

As Figuras 6.7, 6.8 e 6.9 apresentam os mapas da acessibilidade, segundo a normalização da Análise I, vista apenas na óptica das funcionalidades adoptadas. Assim, a Figura 6.7 representa a acessibilidade aos Complexos Pedagógicos,

Institutos e Departamentos, a Figura 6.8 a acessibilidade aos Serviços e a Figura 6.9 a acessibilidade aos Acessos.

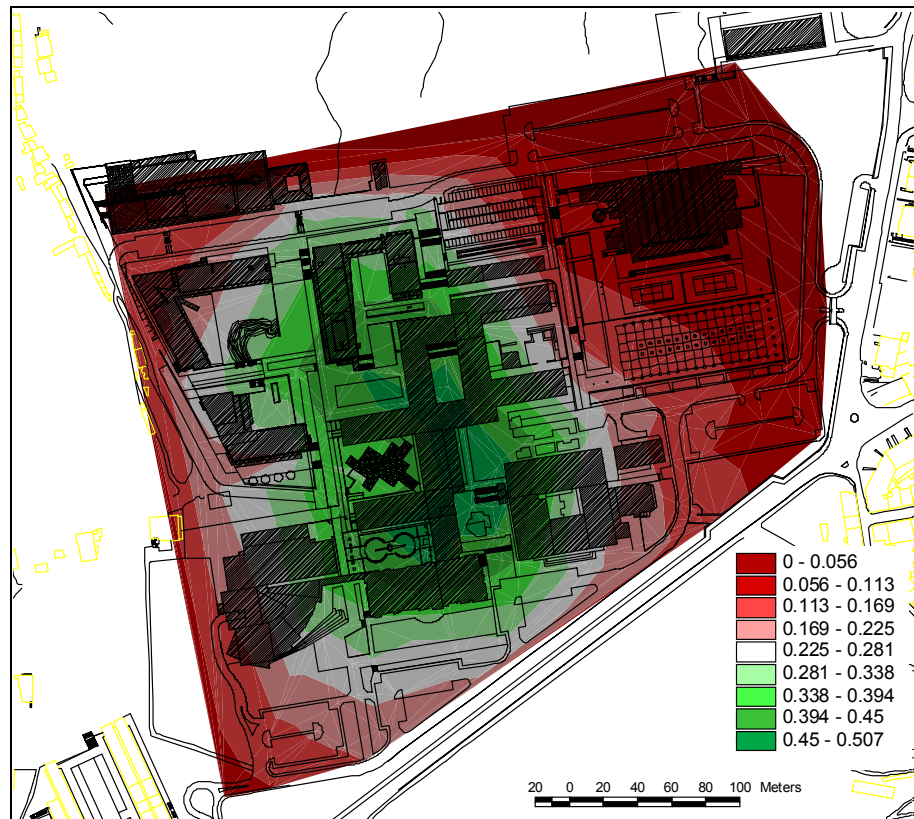


figura 6.7 – Acessibilidade aos complexos pedagógicos, institutos e departamentos - Análise I

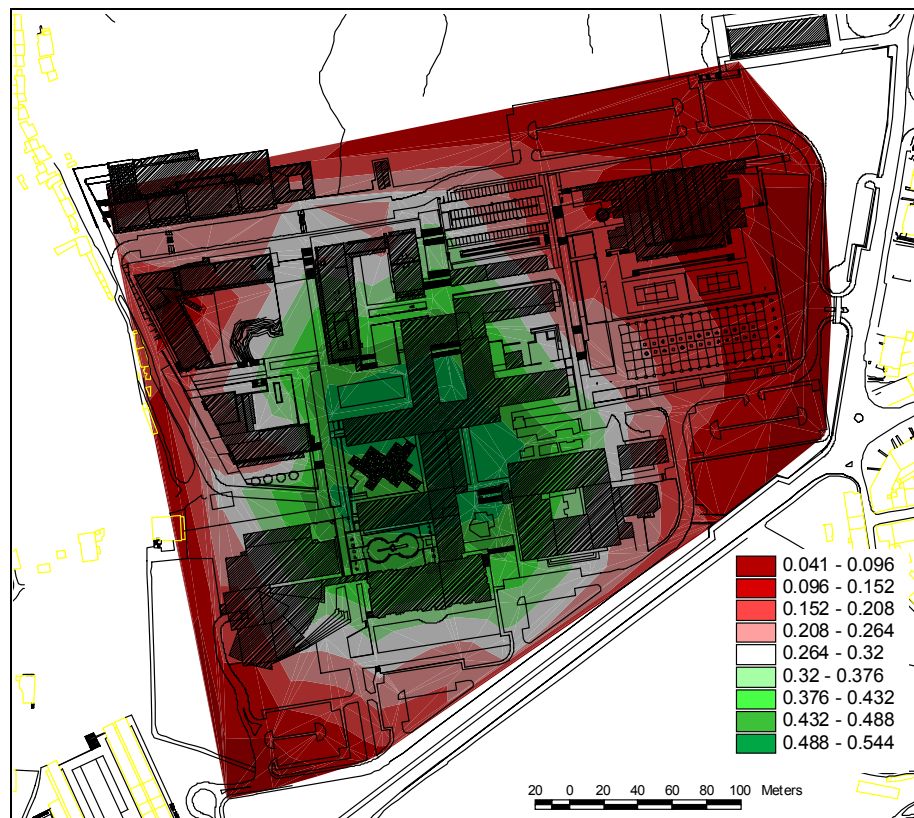


figura 6.8 – Acessibilidade aos serviços - Análise I

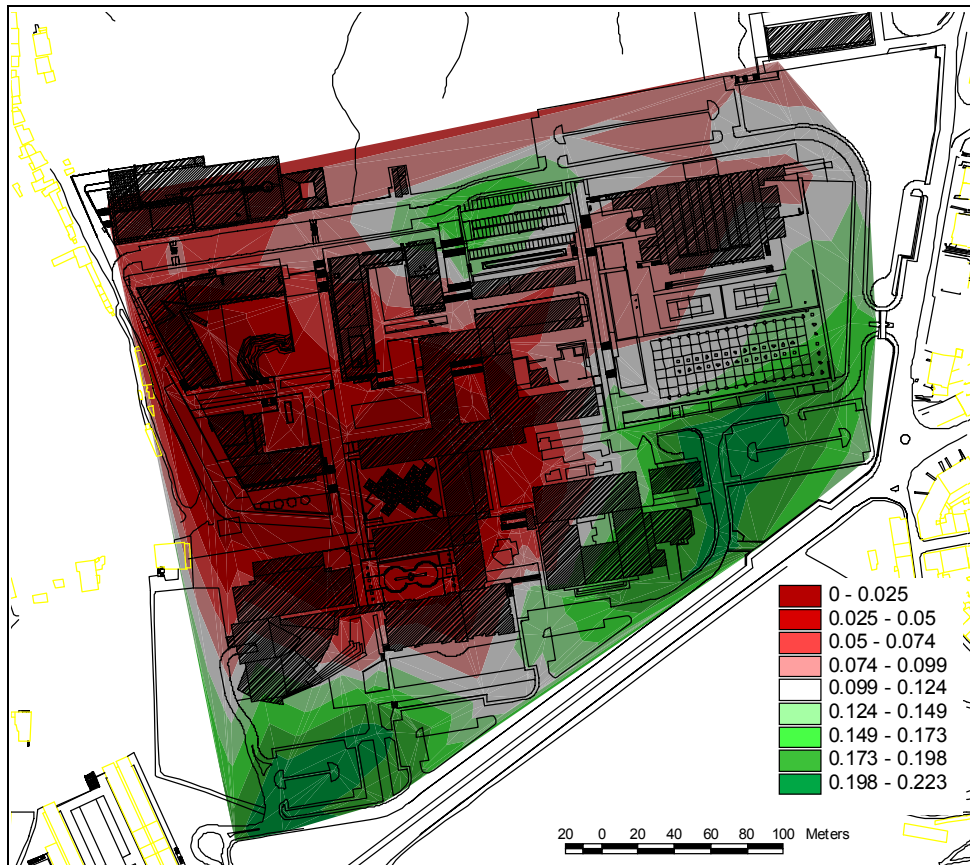


figura 6.9 – Acessibilidade aos acessos - Análise I

#### 6.4.1.2 Mapas dos cenários de avaliação

A geração destes mapas resulta da agregação dos scores relativos aos grupos utilizando o procedimento OWA (execução da rotina *ScoresFinais*).

A Figura 6.10 apresenta os mapas gerados representativos dos cenários de avaliação implementados de acordo com a Análise I, e a Figura 6.11 apresenta os histogramas das superfícies geradas para os pontos de decisão A, B, e C, individualmente e em conjunto. Nos histogramas adoptaram-se nove classes apresentadas nos mapas, sendo a classe 1 a de menores valores de acessibilidade e a classe 9 a de maiores valores.

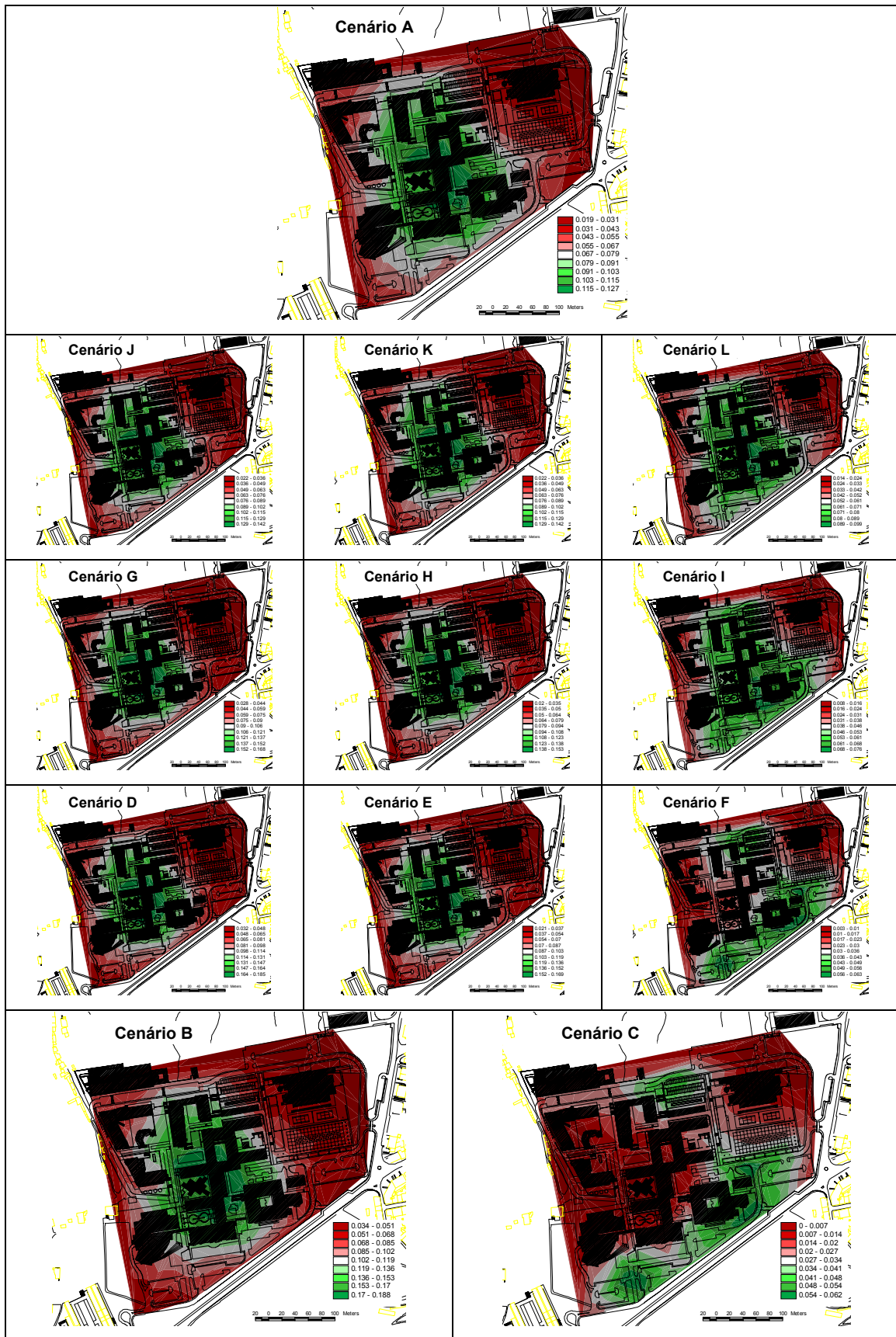


figura 6.10 - Cenários de avaliação da ANÁLISE I

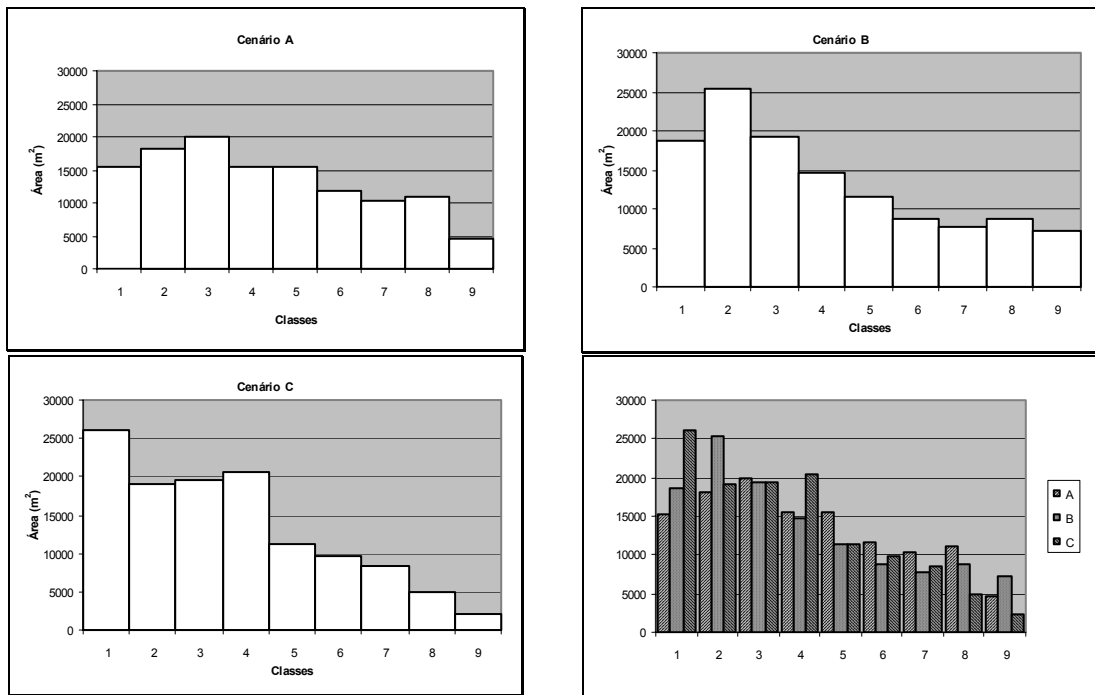


Figura 6.11 - Histogramas dos cenários de avaliação A, B e C, referentes à análise I (áreas).

## 6.4.2 ANÁLISE II

### 6.4.2.1 Mapas de base

Os valores de referência para a geração destes mapas foram os dados resultantes da execução das rotinas *Distâncias*, *ScorePesado* e *ScoreGrupo*, segundo esta ordem. Como já referido anteriormente (secção 6.4.2), esta sequência de cálculo permite obter os *scores* de acessibilidade em cada nó da rede relativamente a cada funcionalidade, pela agregação segundo o método WLC dos *scores* relativos aos destinos-chave dentro de cada grupo.

As Figuras 6.12, 6.13 e 6.14 apresentam os mapas da acessibilidade, segundo a normalização da Análise II, vista apenas na óptica das funcionalidades adoptadas. Assim, a Figura 6.12 representa a acessibilidade aos Complexos Pedagógicos, Institutos e Departamentos, a Figura 6.13 a acessibilidade aos Serviços e a Figura 6.14 a acessibilidade aos Acessos.



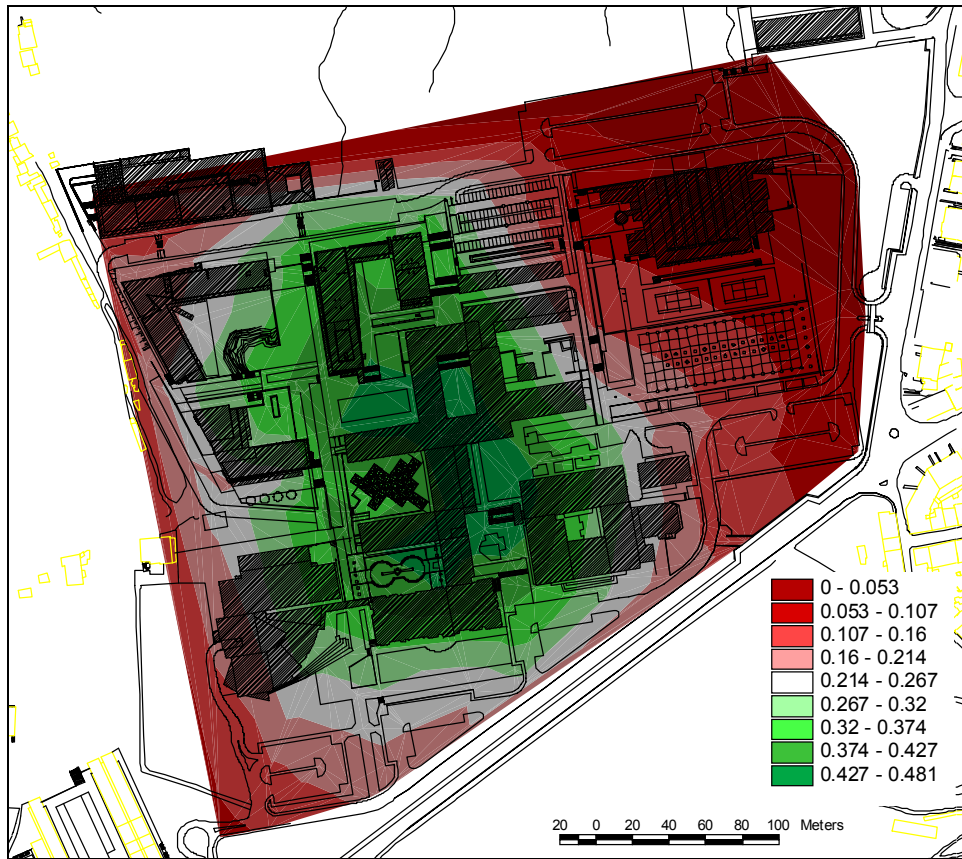


figura 6.12 – Acessibilidade aos complexos pedagógicos, institutos e departamentos - Análise II

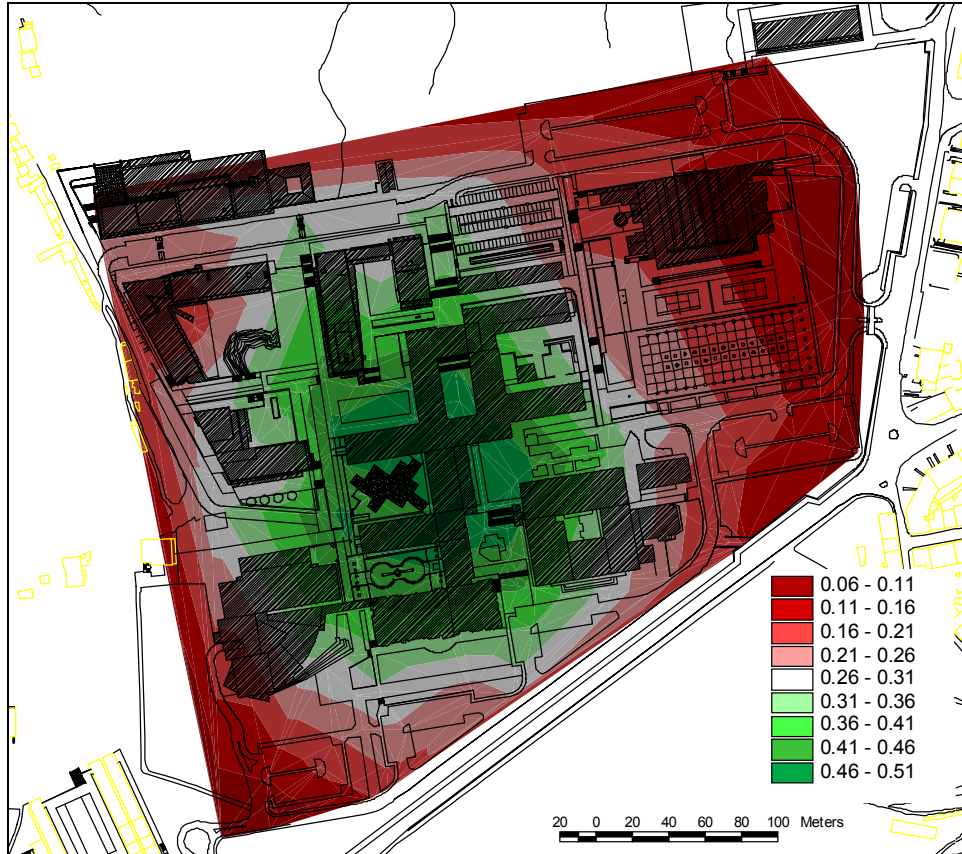


figura 6.13 – Acessibilidade aos serviços - Análise II

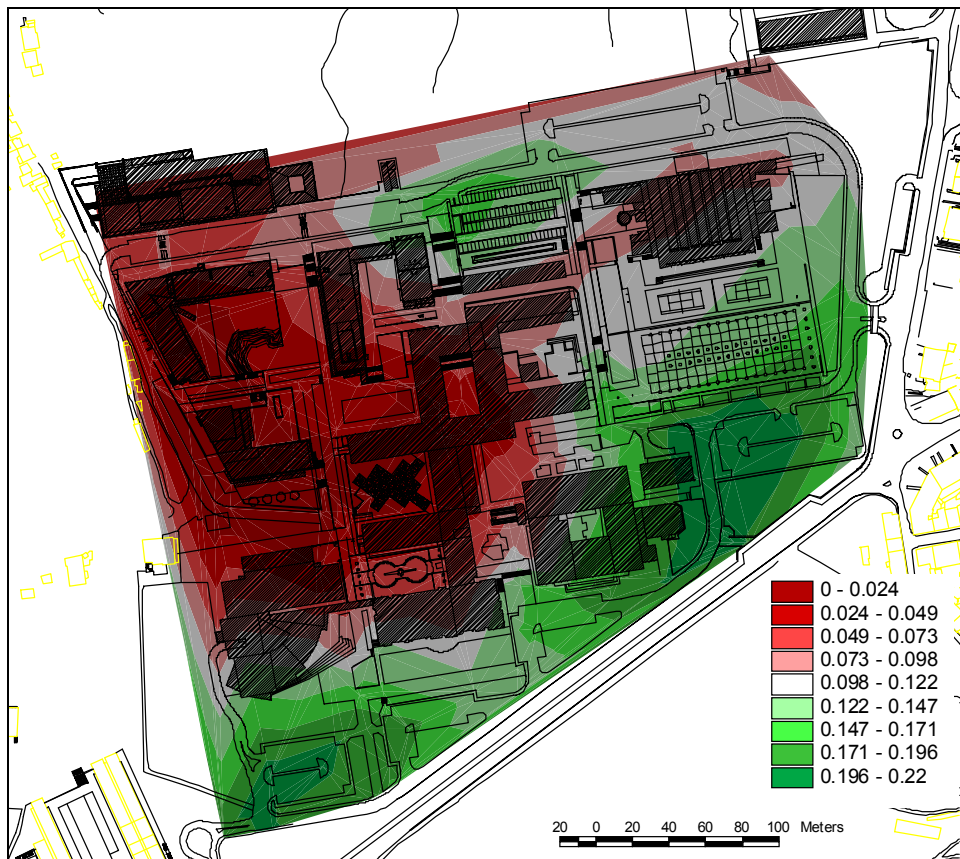


figura 6.14 – Acessibilidade aos acessos - Análise II

#### 6.4.2.2 Mapas dos cenários de avaliação

A geração destes mapas resulta da agregação dos scores relativos aos grupos utilizando o procedimento OWA (execução da rotina *ScoresFinais*).

A figura 6.15 apresenta os mapas gerados representativos dos cenários de avaliação implementados de acordo com a Análise II, e a Figura 6.16 apresenta os histogramas das superfícies geradas para os pontos de decisão A, B, e C, individualmente e em conjunto. Nos histogramas adoptaram-se nove classes apresentadas nos mapas, sendo a classe 1 a de menores valores de acessibilidade e a classe 9 a de maiores valores.

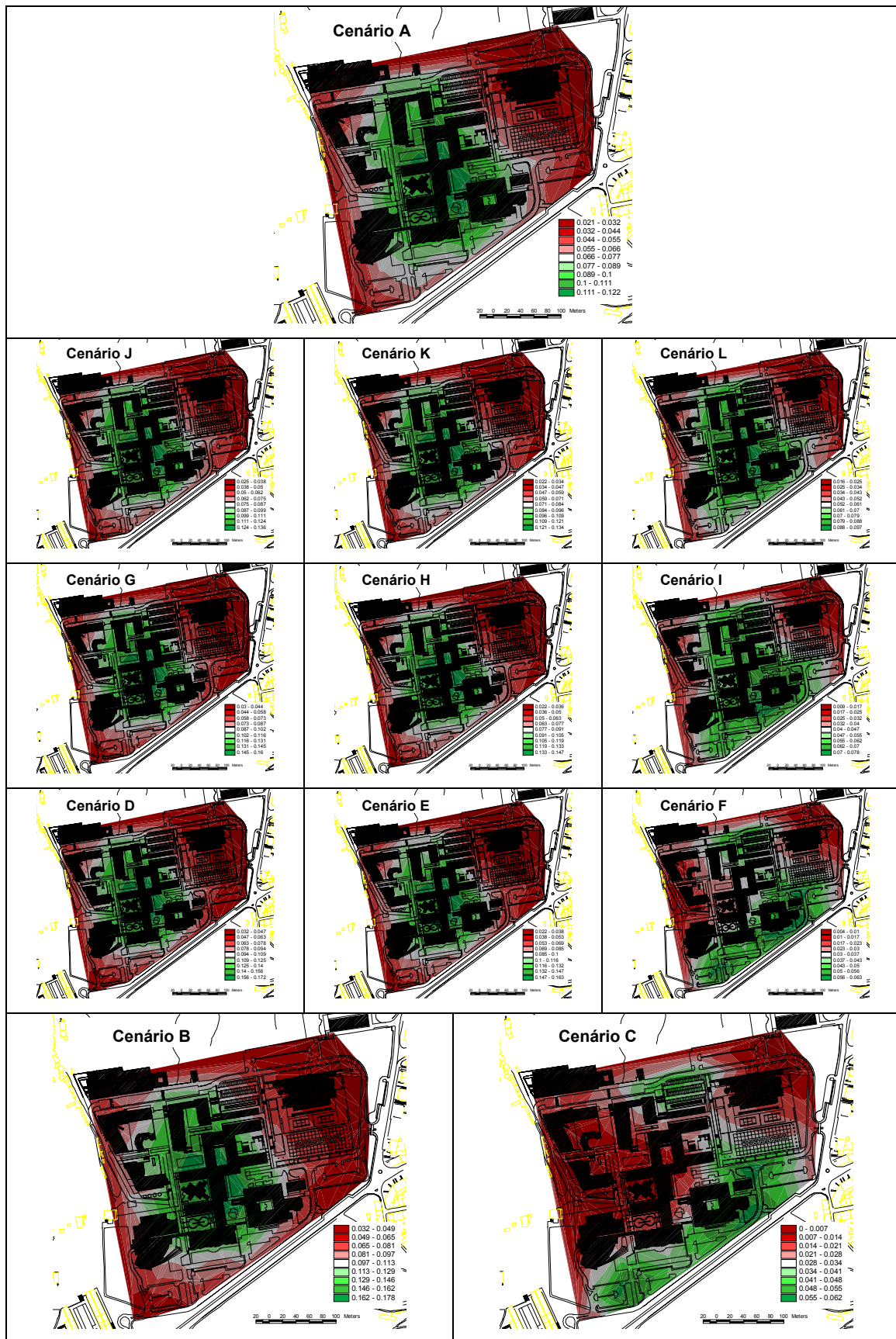


figura 6.15 - Cenários de avaliação da análise II

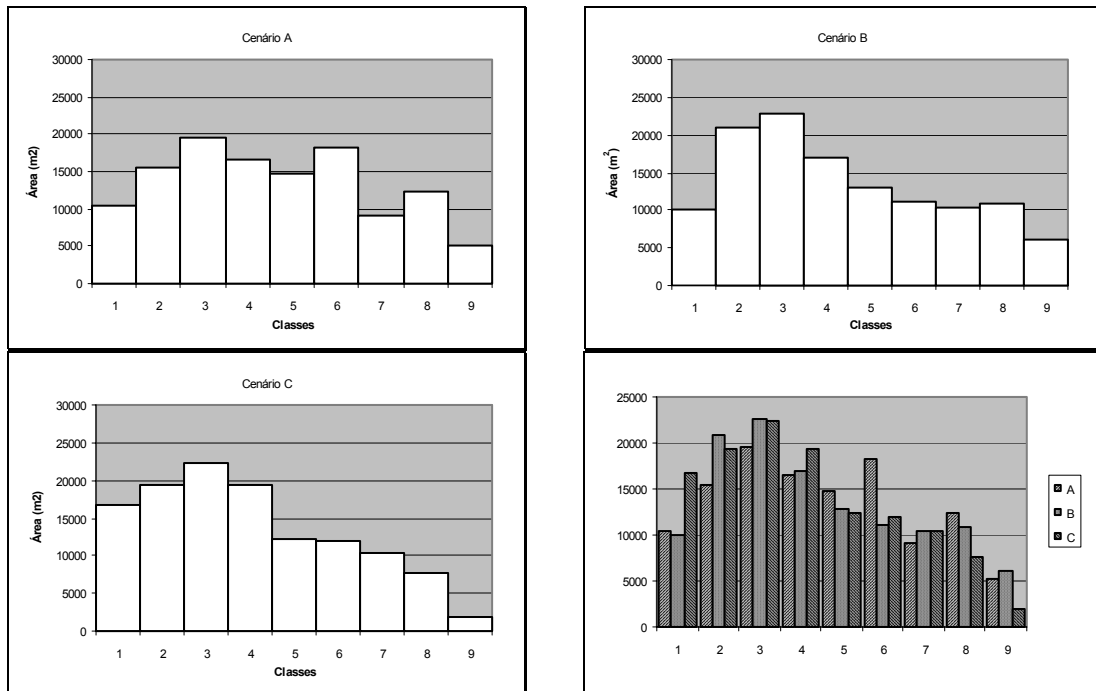


Figura 6.12 - Histogramas dos cenários de avaliação A, B e C, referentes à análise II (Áreas).

### 6.4.3 ANÁLISE III

#### 6.4.3.1 Mapas de base

Os valores de referência para a geração destes mapas foram os dados resultantes da execução das rotinas *Distâncias*, *ScorePesado* e *ScoreGrupo*, segundo esta ordem. Como já referido anteriormente (secção 6.3.2), esta sequência de cálculo permite obter os *scores* da acessibilidade em cada nó da rede relativamente a cada funcionalidade, pela agregação segundo o método WLC dos *scores* relativos aos destinos-chave dentro de cada grupo.

As Figuras 6.17, 6.18 e 6.19 apresentam os mapas da acessibilidade, segundo a normalização da Análise III, vista apenas na óptica das funcionalidades adoptadas. Assim, a Figura 6.17 representa a acessibilidade aos Complexos Pedagógicos, Institutos e Departamentos, a Figura 6.18 a acessibilidade aos Serviços e a Figura 6.19 a acessibilidade aos Acessos.

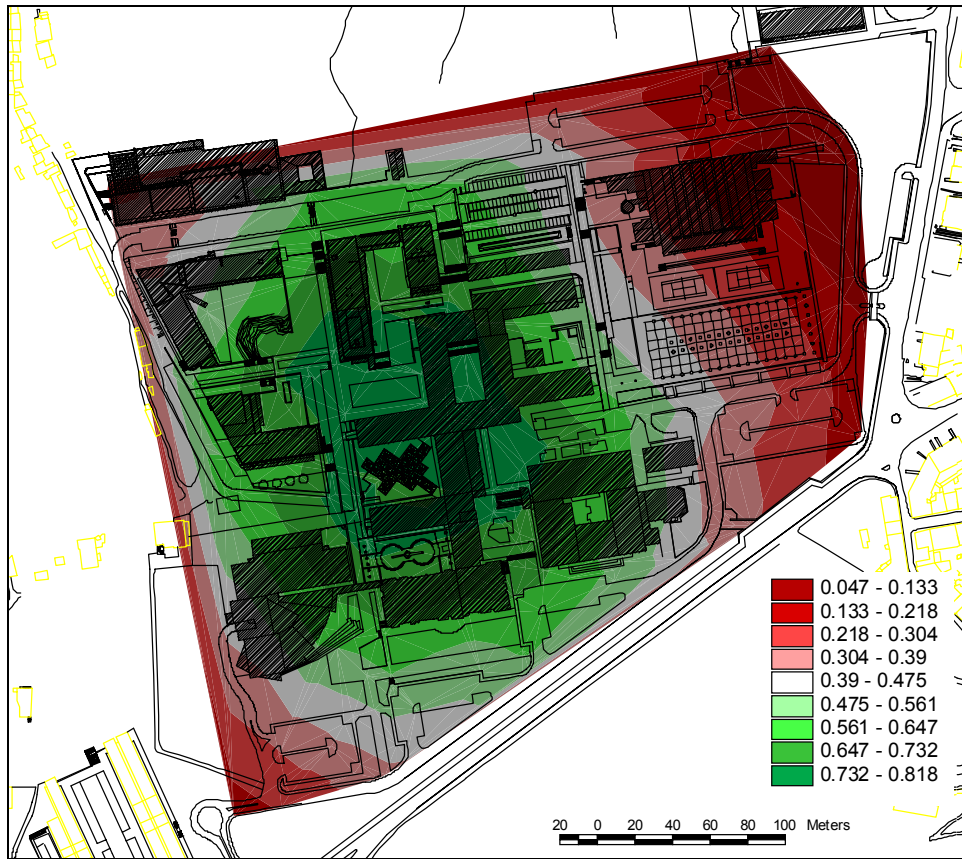


figura 6.17 – Acessibilidade aos complexos pedagógicos, institutos e departamentos - Análise III

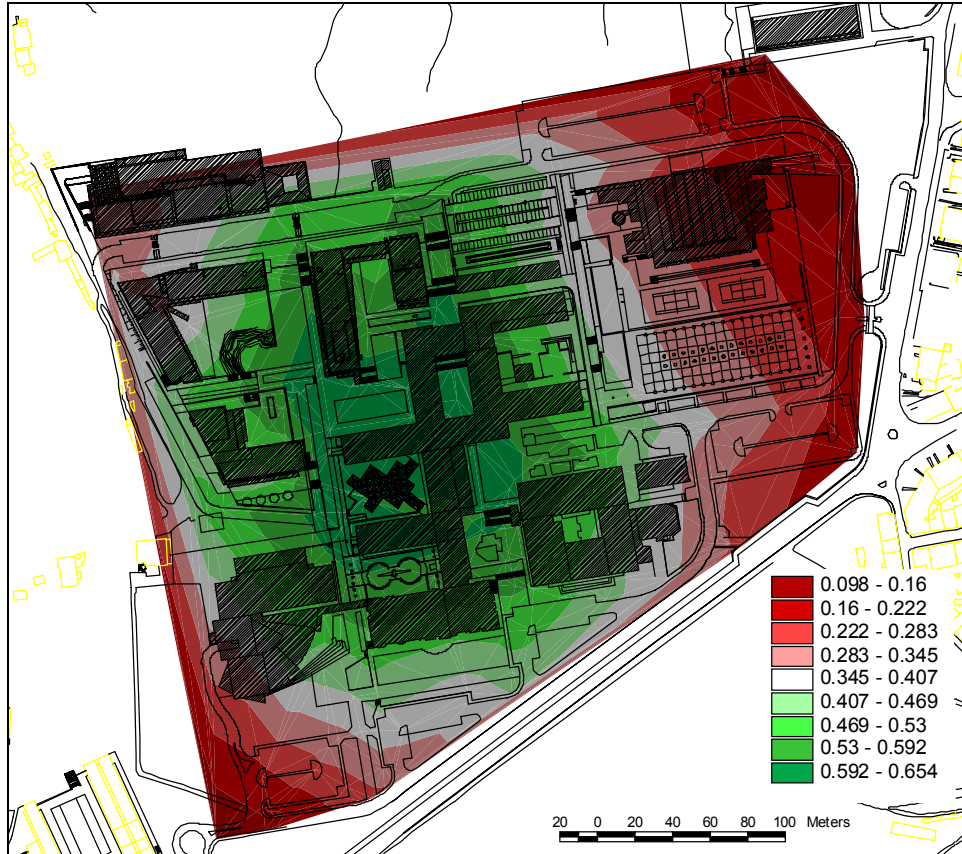


figura 6.18 – Acessibilidade aos serviços - Análise III

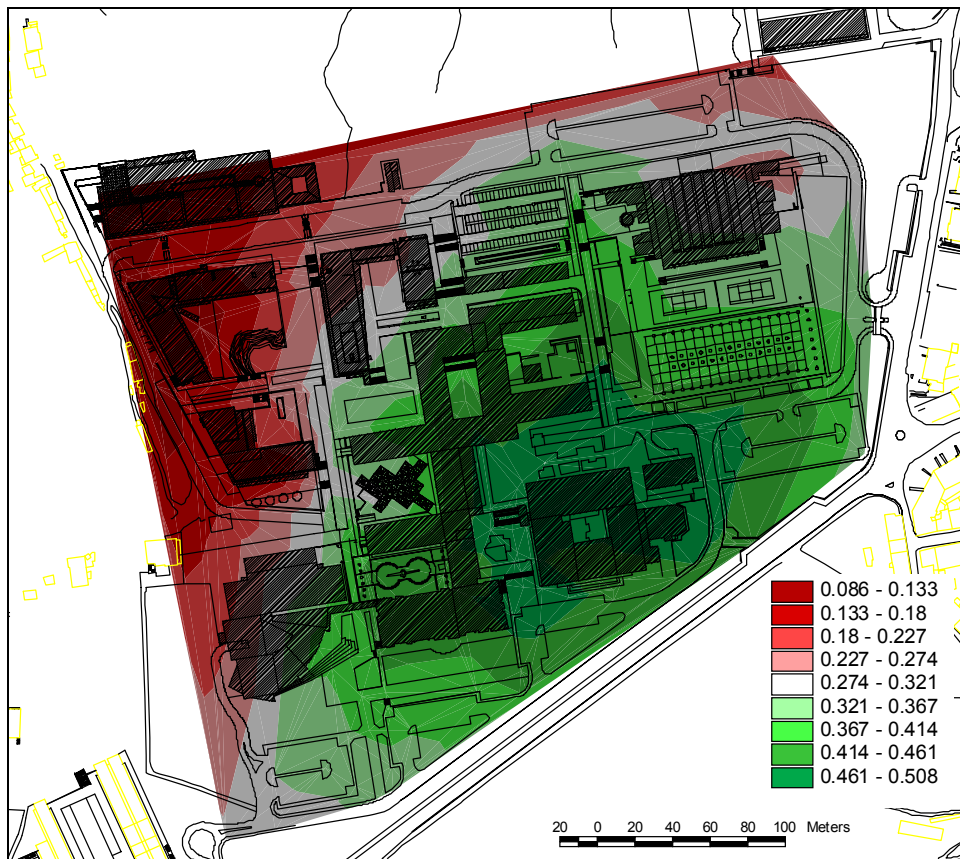


figura 6.19 – Acessibilidade aos acessos - Análise III

#### 6.4.3.2 Mapas dos cenários de avaliação

A geração destes mapas resulta da agregação dos scores relativos aos grupos utilizado o procedimento OWA (execução da rotina *ScoresFinais*).

A Figura 6.20 apresenta os mapas gerados representativos dos cenários de avaliação implementados de acordo com a Análise III, e a Figura 6.21 apresenta os histogramas das superfícies geradas para os pontos de decisão A, B, e C, individualmente e em conjunto. Nos histogramas adoptaram-se nove classes apresentadas nos mapas, sendo a classe 1 a de menores valores de acessibilidade e a classe 9 a de maiores valores.

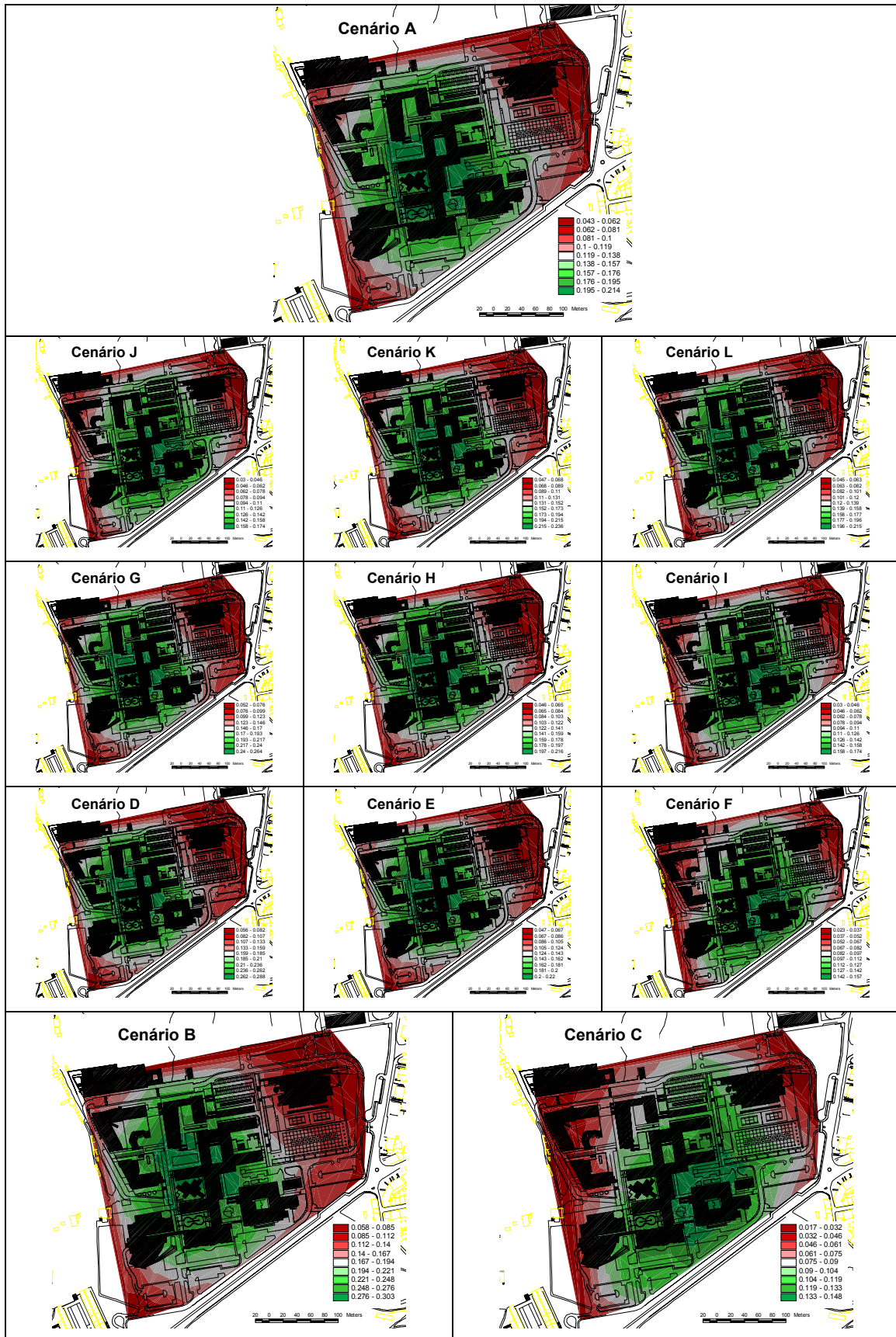


figura 6.20 - Cenários de avaliação da análise iii.

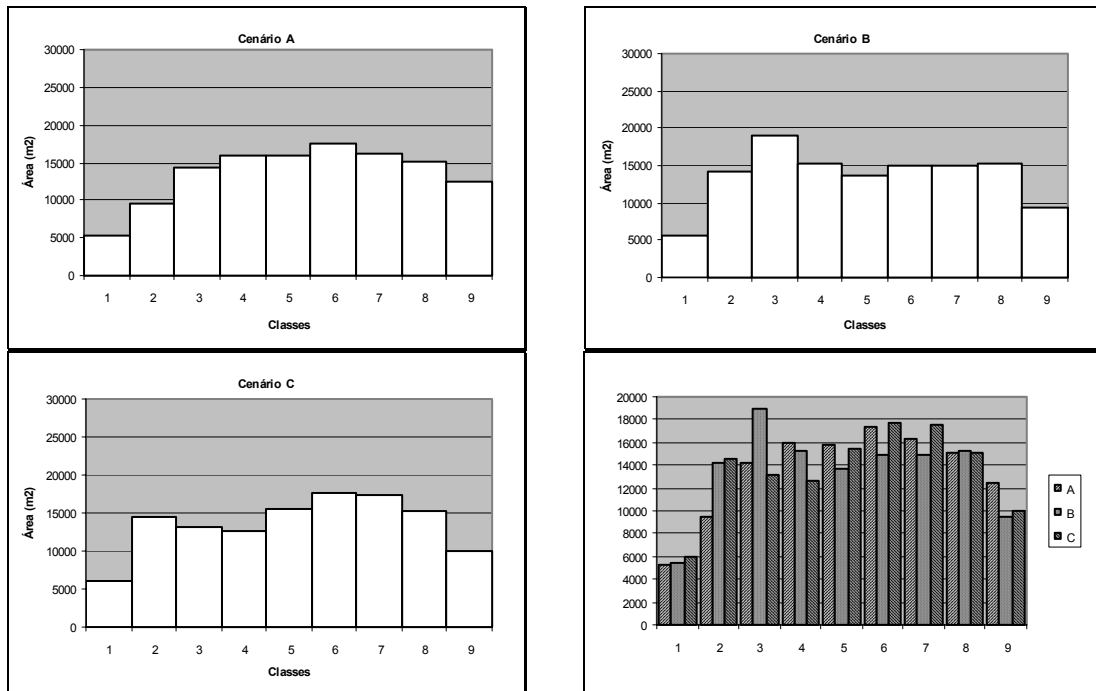


Figura 6.21 - Histogramas dos cenários de avaliação A, B e C, referentes À análise III (Áreas).

## 6.5 Discussão de resultados

Para as três análises efectuadas, ao observar os mapas relativos à acessibilidade das funcionalidades, depara-se com dois mapas muito semelhantes: a acessibilidade aos Complexos Pedagógicos, Departamentos e Institutos e a acessibilidade aos Serviços. Ambas mostram áreas de muito boa a boa acessibilidade concentrada no centro do Campus, característica consentânea com a localização dos edifícios que albergam essas funcionalidades, acentuada no caso dos Serviços, já que estão essencialmente localizados na parte central do Campus. No que respeita à acessibilidade aos Acessos, é patente o privilegiar dos parques de estacionamento mais próximos dos complexos pedagógicos 1 e 2 (parques 1 e 5 de livre acesso - alunos - e parques 2, 3 e 4 de acesso condicionado - docentes e funcionários), prolongando-se a zonas de muito boa a boa acessibilidade às paragens de autocarro e às entradas. Este resultado decorre do privilégio que os utentes dão aos dois acessos de entrada, pois muitos deles residem na proximidade do Campus e deslocam-se a pé. Com um peso ligeiramente inferior (ver Quadro 6.2) situam-se os parques de estacionamento e as paragens de autocarro, daí a



extensão da mancha de zona de muito boa a boa acessibilidade. Esta zona aumenta consideravelmente na Análise III pois, no inquérito, os utentes admitiram distâncias inferiores a 400 metros para os destinos-chave desta funcionalidade.

Para os cenários de avaliação decorrentes da implementação das três análises efectuadas há um comportamento semelhante, à medida que se progride do ponto A para o ponto B. Há uma redução ligeira da zona central de muito boa acessibilidade a boa acessibilidade, resultado da restrição à capacidade de compensação entre critérios (*trade-off* nulo em B). Na passagem do ponto de decisão A para C, a parte central do Campus deixa de ser a zona de melhor acessibilidade, sendo esta transferida para as zonas dos parques de estacionamento mais utilizadas pelos utentes, resultado da opção de risco mínimo sem compensação de critérios. No entanto, na Análise III, a zona central continua a ser considerada de boa acessibilidade motivada pelo aumento imposto à distância máxima (Dmax) nesta análise, comparativamente com as outras duas, para a generalidade dos destinos-chave. Apesar de ser uma avaliação com risco mínimo, o resultado garante uma grande área de acessibilidade muito boa a boa.

Pela análise dos histogramas, pode-se concluir que, de acordo com a Análise III, a área de muito boa a boa acessibilidade é superior para qualquer um dos três pontos de decisão, comparativamente com as outras duas análises. Esta conclusão é natural pois admitiu-se que Dmax era igual a 400 m, valor este superior aos valores encontrados pelo inquérito (excepto para a Biblioteca). Na Análise III também se nota que a diferença entre os histogramas dos três pontos de decisão é substancialmente menor que nas outras duas análises efectuadas.

Comparando os cenários encontrados e confrontando com a análise do risco de avaliação, pode-se concluir que as áreas de maior acessibilidade encontradas para a solução de risco mínimo (C) são aquelas utilizadas por todos os utilizadores do Campus, independentemente do seu local preferencial de trabalho dentro do Campus, isto é, as portas de acesso, parques de estacionamento e entradas.

Na análise de risco neutro e *trade-off* total, as zonas centrais do Campus, equitativamente próximas de todos os destinos-chave, são aquelas que obtêm *scores* mais elevados. Na análise de risco máximo e como o risco não é muito, pois a dimensão do Campus é aceitável para percursos a pé e os destinos-chave mais importantes estão numa posição central, a solução encontrada é muito semelhante à da obtida pela agregação WLC (de risco médio).

Em termos de análise da distribuição dos destinos-chave no Campus, ressaltam de imediato a localização dos edifícios da Cantina/Grill/Restaurante, do Pavilhão Polivalente e dos Serviços Técnicos (GID). Estes edifícios estão implantados em zonas cujo índice de acessibilidade é baixo, mais precisamente nas extremidades do Campus (como já referido anteriormente, as zonas com índices mais elevados estão no centro do Campus).

Frequentado por uma grande parte da comunidade utente e oferecendo um serviço de primeira necessidade, a alimentação, a Cantina/Grill/Restaurante constitui dos casos apresentados o que suscita mais reflexão. A natureza do serviço prestado motiva, em geral, duas caminhadas: de e para os destinos-chave. Como, neste estudo, não se distinguem os sentidos de percursos na rede, pode-se afirmar também que o índice de acessibilidade do conjunto dos destinos-chave à Cantina/Grill/Restaurante é baixo, o que apenas contribui para agravar ainda mais a situação. No entanto, se se analisarem os planos de desenvolvimento do Campus no futuro que prevêem expansões para oeste e noroeste, é muito possível que esta localização deixe ser questionável.

No que toca ao Pavilhão Polivalente, é sabido que a sua procura está relacionada com a prática de actividades desportivas e de lazer. Estas actividades, por serem praticadas geralmente ao fim do dia, levam os utentes a retirarem-se do Campus e não a regressarem a outros pontos ou destinos-chave. Dada a especificidade da procura deste equipamento, considera-se aceitável a sua localização.

Para a comunidade utente em geral, o recurso ao GID acontece de forma muito esporádica. A procura deste serviço está geralmente associada ao uso dos parques de estacionamento, nomeadamente no levantamento de um dístico cuja colocação no automóvel é obrigatória ou na aquisição de cartões de acesso aos parques condicionados. Perante isto, considera-se a sua localização aceitável.

# Capítulo 7

## Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

### 7.1 Modelo

O modelo de avaliação da acessibilidade, apresentado no Capítulo 5 e implementado no Caso de Estudo, baseia-se na medição da distância entre um ponto de partida (a avaliar) e os destinos-chave. A sua implementação foi realizada através da modelação da rede pedonal, na qual se pretendia avaliar a acessibilidade, num SIG vectorial. O índice de acessibilidade global é obtido através do uso de técnicas de análise multicritério, em cada nó da rede e em relação aos destinos-chave. Como os pontos avaliados são discretos, foram ajustadas aos mesmos superfícies contínuas com a finalidade de permitir visualizar a distribuição da acessibilidade para toda a área em estudo.

Por recorrer ao operador de agregação OWA (*Order Weighted Average*), aponta-se como maior potencial do modelo a possibilidade de desenvolver cenários de avaliação baseados na atitude de risco (*ANDness*) e compensação entre critérios (*trade-off*), obtendo-se desta forma um espectro estratégico de avaliação.

Na base do modelo estão os grupos de destinos-chave e respectivas ponderações (pesos), obtidas a partir dum inquérito à comunidade utente.

A exploração do modelo pode assumir, na prática, formatos diversos, tais como: (1) a identificação de destinos-chave que justifiquem, pela sua relevância e taxa de frequência, a sua realocação por se encontrarem em zonas com baixa acessibilidade; (2) a identificação de localizações preferenciais de novos edifícios (para a implantação dos quais, geralmente, só existem, à partida, zonas com baixa acessibilidade); podendo-se ainda definir os ajustes a implementar na rede de acessos de forma a aumentar a acessibilidade das futuras edificações, em função da importância dos serviços que irão albergar.

## 7.2 Conclusões relativas ao Caso de Estudo

O modelo de avaliação da acessibilidade foi aplicado ao Campus Universitário da Universidade do Minho, em Gualtar, na cidade de Braga, com o objectivo de avaliar a sua acessibilidade interna. Na prática, esta aplicação concretizou-se pela elaboração de três análises (secção 6.2.5), cujos motivos advêm da interpretação dos resultados do inquérito efectuado: ausência de consenso na escolha da função *fuzzy* e relutância aparente por parte dos inquiridos em deslocar-se a pé (distâncias máximas aceitáveis obtidas extremamente baixas – *cf.* Quadro 6.3).

Os destinos-chave foram agrupados em três grupos (*cf.* Quadro 6.1). Numa primeira etapa foram gerados mapas de acessibilidade relativa a cada grupo, resultando da aplicação do procedimento de agregação WLC. Usando como base os valores para os índices de acessibilidade relativa, procedeu-se à segunda etapa da avaliação que, implementando a agregação pelo procedimento OWA, resultou num conjunto de doze cenários de avaliação da acessibilidade final em cada análise efectuada.

As três análises efectuadas deram origem a resultados que, na globalidade, permitem tirar conclusões muito semelhantes. Os mapas de acessibilidade relativa a duas das funcionalidades (Complexos Pedagógicos, Departamentos e Institutos; e Serviços) mostram que as áreas de melhor acessibilidade a esses grupos de destinos-chave concentram-se no centro do Campus, em concordância com a localização dos edifícios que as albergam. No caso da acessibilidade aos acessos, é patente o privilegiar dos parques de estacionamento mais próximos dos complexos pedagógicos e da importância das entradas (os utentes residentes nas imediações do Campus, deslocam-se a pé).

Pela análise dos vários cenários de avaliação, vislumbra-se, à medida que o risco diminui e a compensação entre critérios aumenta, uma restrição da área central correspondente a uma acessibilidade boa a muito boa. Tendo por ponto de partida uma situação de risco neutro e *trade-off* total e progredindo para uma situação de risco mínimo e ausência de compensação entre critérios, a zona de melhor acessibilidade transfere-se para os acessos mais utilizados pelos utentes. No entanto, e pela adopção de uma distância máxima superior, isto é, para todos os

detinos-chave igual a 400 metros (análise III), essa transferência deu lugar a uma deslocação e alargamento, continuando a zona central classificada como sendo de boa acessibilidade.

### **7.3 Desenvolvimentos futuros**

Se bem que se considere que os objectivos de formulação, implementação e aplicação do modelo de avaliação multicritério da acessibilidade tenham sido integralmente alcançados, não se pode dar por concluído este exercício de investigação.

O prosseguimento do estudo poderá centrar-se na automatização das operações implementadas com vista ao desenho de uma interface *user-friendly*. Isto permitirá a utilizadores finais, aos quais não serão exigidos conhecimentos profundos sobre a matéria, usufruir e explorar esta ferramenta de uma forma transparente.

Será também interessante melhorar a amostra de inquiridos, procurando assim estabilizar os resultados obtidos.

Finalmente, sugere-se igualmente que, noutros estudos que utilizem este modelo de avaliação da acessibilidade, a resistência ao movimento possa contemplar aspectos como o conforto e/ou a mobilidade. Nesse sentido, poderá ter-se em conta factores como a segurança, o volume de tráfego, a topografia, a qualidade dos passeios ou a facilidade em atravessar as ruas, mediante a sua adequação ou não ao tipo de estudo pretendido.

# Referências

## Bibliográficas

- Allen, W. B.; Liu, D.; Singer, S. (1993), Accessibility measures of U.S. Metropolitan areas. *Transportation Research. Part B, Methodological*, 27(6): pp. 439-50.
- Association Française de Normalisation (AFNOR), (1989), *Dicionário de Informática*.
- Arentze, T.A.; Borgers, A.W.J; Timmermans, H.J.P. (1994a), Multistop-based measurements of accessibility in a GIS environment. *International Journal of Geographical Information Systems*, 8(4): pp. 343-56.
- Arentze, T.A.; Borgers, A.W.J; Timmermans, H.J.P. (1994b), Geographical Information Systems in the context of multipurpose travel: a new approach. *Geographical Systems*, 1(4): pp. 87-102.
- Aronoff, S. (1989), *Geographic Information Systems: A management perspective*. Ottawa: WDL Publications.
- Aultman-Hall, L.; Roorda, M.; Baetz, B.W. (1997), Using GIS for Evaluation of Neighborhood Pedestrian Accessibility. *Journal of Urban Planning and Development*, Vol.123(1), ASCE, pp. 10-17.
- Bossard, E.G. (1999), Envisioning Neighborhood Quality of Life Using Conditions in the Neighborhood Access To and From Conditions in the Surrounding Region. In Paola Rizzi (Ed.), *Computers in Urban Planning and Urban Management on the Edge of the Millenium*. Venice: FrancoAngeli.
- Bukley, F. e Harary, F. (1990), *Distance in Graphs*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- Carver, S.J. (1991), Integrating Multi-Criteria Evaluation with Geographical Information Systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 5(3), pp. 321-339.
- Cebrián, J.A. (1988), Hojas de cálculo y programas de gestión de bases de datos. In: Bosque, J. y otros: *Aplicaciones de la Informática a la Geografía y a las Ciencias Sociales*. Madrid, Síntesis, pp.87-110.

- Chartrand, G.; Ollermann, O.R. (1993), *Applied and Algorithmic Graph Theory*, Singapore: McGraw-Hill International Editions.
- Chen, P. (1976), The Entity-Relationship Model towards a unified view of data. *Association for Computing Machinery Transactions on Database Systems*, Vol.1(1), pp.9-36.
- Copeland, G., e Maier, D., (1984), "Making Smalltalk a Database System", *ACM SIGMOID International Conference*.
- Davidson, K.B. (1995), *Accessibility and isolation in transport network evaluation*. 7<sup>th</sup> World Conference on Transport Research, Sydney – Australia. Book of Abstracts. Sydney, The University of New South Wales, p. 10.8.
- Denègre, J. & Salgé, F. (1996), *Les systèmes d'information géographique*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Didier, M. (1990), *Utilité et valeur de l'information géographique*, Paris, Economica.
- Eastman, J.R. (1997), *IDRISI for Windows: User's Guide. Version 2.0*. Worcester: Clark University-Graduate School of Geography.
- Eastman, J.R.; Jiang, H.; Toledano, J. (1998), Multi-Criteria and Multi-Objective decision Making for Land Allocation Using GIS. In Beinart, E.; Nijkamp, P. (Eds), *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp.227-251.
- Easton, A. (1973), *Complex managerial decision involving multiple objectives*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- ESRI, (1994), *Arc/INFO®. Concepts, data models, database design, and storage*. ESRI, Redlands.
- ESRI, (1994), *Understanding GIS. The ARC/INFO® Method*. ESRI, Redlands.
- ESRI, (1996), *ArcView® GIS*, ESRI, Redlands.
- ESRI, (1996), *ArcView® Network Analyst*, ESRI, Redlands.
- ESRI, (1996), *Avenue®*, ESRI, Redlands.
- Findlay, A.; Morris, A.; Rogerson, R. (1988), Where to live in Britain in 1988: Quality of life in British Cities. *Cities*, Vol.5(3), pp.268-276.
- Geertman, S.C.M. & Van Eck, J.R.R. (1995), GIS and models of accessibility potential: an application in planning. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(1): pp. 67-80.

- Goldsmith, S.A. (1992), Reasons why bicycling and walking are not being used more extensively as travel models. *Case Study No.1*, Nat. Bicycling and Walking Study, U.S. Depart. of Transp., Fed. Hwy. Admin., Washington, D.C.
- Goto, M. (2000), *Uma análise de acessibilidade sob a ótica da equidade – o caso da região metropolitana de Belém*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- Hawthorne, W. (1989), Why Ontarians walk, why Ontarians don't walk more. *A study into Walking Habits of Ontarians*, Energy Probe, Toronto, Ont., Canada.
- Healey, R.G. (1991), Database Management Systems. In Maguire, D.J.; Goodchild, M.F.; Rhind, D.W. (eds), *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. Harlow: Longman, pp.251-267.
- Hoggart, K. (1973), Transportation accessibility: some references concerning applications, definitions, importance and index construction. Monticello, *Council of Planning Librarians: Exchange Bibliography* 482, 42 p.
- Ingram, D.R. (1971), The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies*, 5(2): pp. 101-7.
- Kemp, K.K.; Goodchild, M.F. e Dodson, R.F. (1992), Teaching GIS in geography. *The Professional Geographer*, 44, 2, pp.181-191.
- Laurini, R. e Thompson, D. (1992), *Fundamentals of Spatial Information Systems*. London: Academic Press.
- Love, D. & Linqvist, P. (1995), The geographical accessibility of hospitals to the aged: a Geographic Information Systems analysis within Illinois. *Health Services Research*, 29(6): pp. 629-52.
- Malczewski, J. (1999), *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Martin, D. (1991), *Geographic information systems and their socioeconomic applications*. London: Routledge.
- Mendes, J.F.G. (1994) *Sistemas de Informação para Planeamento*. Apontamentos para a disciplina de Sistemas de Informação para Planeamento do Mestrado em Engenharia Municipal, Universidade do Minho, Braga (publicação interna).
- Mendes, J.F.G.; Silva, J.; Rametta, F.; Giordano, S. (1999a), Mapping Urban Quality of Life in Portugal, A GIS Approach. In Bento, J.; Arantes e Oliveira, E.; Pereira, E. (Eds), *EPMESC VII: Computacional Methods in Engineering and Science*, Vol.2, pp.1107-1115. Macao: Elsevier.



- Mendes, J.F.G.; Rametta, F.; Giordano, S.; Torres, L. (1999b), A GIS Atlas of Environmental Quality in Major Portuguese Cities. In Paola Rizzi (Ed.), *Computers in Urban Planning and Urban Management on the Edge of the Millenium*. Venice: FrancoAngeli.
- Mendes, J.F.G (2001), Multicriteria Accessibility Evaluation using GIS as applied to Industrial Location in Portugal. *Earth Observation Magazine*, 10(2), 31-35.
- Morris, J.M.; Dumble, P.L.; Wigan, M.R. (1979), Accessibility indicators for transport planning. *Transportation Research. Part A, Policy and practice*, 13(2) pp. 91-109.
- NCGIA - National Center of Geographic Information and Analysis (1990), *NCGIA Core Curriculum*. Santa Barbara: University of California.
- Opping, J.R. & Hodgson, M.J. (1994), Spatial accessibility to health care facilities in Suhum District, Ghana. *Professional Geographer*, 46(2): pp. 199-209.
- Ore, O. (1995), *Grafos y sus Aplicaciones*, Tradução de Carreño, M. J., Madrid: DLS - Euler, Editores.
- Osgood, C.E.; Suci, G.J.; Tannenbaum, P.H. (1957), *The Measurement of Meaning*. Urbana: University of Illinois Press.
- Pereira, J.L. (1998), *Tecnologia de Bases de Dados*. Lisboa: FCA - Editora de Informática.
- Peuquet, J. and Marble, D. F. (1990), *Introductory readings in Geographic Information Systems*. London: Taylor & Francis, Ltd.
- Pooler, J.A. (1995), The use of spatial separation in the measurement of transportation accessibility. *Transportation Research. Part A, Policy and practice*, 29(6): pp. 421-8.
- Puebla, J.G.; Gould, M. (1994), *SIG: Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Editorial Síntesis S.A..
- Quodverte, P. (1994), *Cartographie numérique et information géographique*. Tese de Doutoramento. Orléans: Universidade de Orléans.
- Ramos, R.A.R. (2000), *Localização Industrial. Um Modelo Espacial para o Noroeste de Portugal*. Tese de Doutoramento. Braga: Universidade do Minho.
- Rowley, J.; Gilbert, P. (1989), The market for land information services, systems and support. In Shand, P.; Moore, R. (eds). *The Association for Geographic Information Yearbook 1989*. London: Taylor & Francis and Miles Arnold.
- Saaty, T.L. (1977), A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, Vol.15(3), pp.234-281.

- Saaty, T.L. (1980), *The Analytical Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation*. New York: McGraw-Hill.
- Saaty, T.L. (1987), Concepts, theory, and techniques: rank generation, preservation, and reversal in the analytic hierarchy decision process. *Decision Sciences*, Vol.18(2), pp-157-177.
- Schoon, J.G.; MacDonald, M.; Lee, A. (1999), Accessibility indices: pilot study and potential use in strategic planning. 26p. *Transportation Research Board*. 78<sup>th</sup> Annual Meeting, Washington, DC.
- Shen, Q. (1998), Location Characteristics of Inner-City Neighborhoods and Employment Accessibility of Low-Wage Workers. In: *Environment and Planning B*. v.25, p.345-365.
- Shimble, A. (1953), Structural parameters of communication networks. *Bulletin of Mathematical Biophysics*. 15, 501-7.
- Silva, A.N.R. (1998), *Sistemas de Informações Geográficas para o planejamento de transportes*. São Carlos. (Tese de Livre-docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Star, J. e Estes, J. (1991), *Geographic information systems. An introduction*. New Jersey, Englewoods Cliffs.
- Stillwell, W.G.; Seaver, D.A.; Edwards, W. (1981), A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. *Organizational Behavior and Human Performance*, Vol.28(1), pp. 62-77.
- Tagore, M. R. & Sikdar, P.K. (1995), *A new accessibility measure accounting mobility parameters*. 7<sup>th</sup> World Conference on Transport Research, Sydney – Australia. Book of Abstracts. Sydney, The University of New South Wales, p. 10.7.
- Talen, E. & Anselin, L. (1998), Assessing spatial equity: an evaluation of measures of accessibility to public playgrounds. *Environment and Planning A*, v.30, pp. 595-613.
- Turró, M.; Ulied, A.; Esquius, A.; Cañas, E. (2000), *Definición del Indicador de Conectividad: ICON*. In: Congreso de Ingeniería del Transport, 4, Valencia – Espanha, pp. 21-29.
- Van der Waerden, P.; Timmermans, H.; Smeets, J.; Silva, A.N.R. (1999), *The validity of conventional accessibility measures: objective scores versus subjective evaluations*. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 13, São Carlos. Anais... São Carlos, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte, v.1, p. 40-49.
- Voogd, H. (1983), *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. London: Pion Ltd.

Winterfelt, D. Von & Edwards, W. (1986), *Decision Analysis and Behavioural Research*. Cambridge: Cambridge University Press.

Yagger, R.R. (1988), On Ordered Weighted Averaging aggregation operators in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.8(1), pp.183-190.

Zadeh, L.A. (1965), Fuzzy Sets. *Information and Control*, Vol.8, pp.338-353.

Zeiler, M. (1999), *Modelling our World*, ESRI, Redlands.

# Anexo A

## Inquérito

### A.1 Formulários do inquérito

Nas páginas seguinte, são apresentados os formulários do inquérito.



Universidade do Minho

Aluno  Docente  Funcionário

Curso/Depart.

Utilização do campus:

diária  semanal  quinzenal  mensal

outras:



Depart. de Engenharia Civil

No quadro seguinte são apresentados locais do campus agrupados segundo a sua funcionalidade.

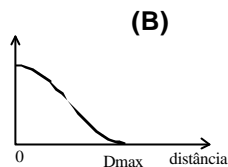
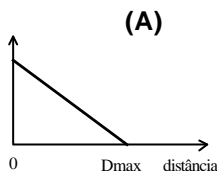
Utilizando uma escala 1 - 10 (1 - menos importante; 10 - mais importante), atribua pontuações (graus de importância) a cada um dos locais, na perspectiva da sua utilização.

Por fim, na mesma escala, atribua pontuações a cada uma das funcionalidades.

locais	Pontuação	funcionalidade	Pontuação da funcionalidade
CP1 -	<input type="text"/>	Complexos pedagógicos, Departamentos e Institutos	<input type="text"/>
CP2 -	<input type="text"/>		
CP3 -	<input type="text"/>		
Escola de Engenharia	<input type="text"/>		
Ciências da Terra	<input type="text"/>		
Instituto de Educação e Psicologia	<input type="text"/>		
Escola de Engenharia (Informática)	<input type="text"/>		
Escola de Engenharia (Biológica)	<input type="text"/>		
Escola de Economia e Gestão e Direito	<input type="text"/>		
Escola de Ciências	<input type="text"/>		
Instituto de Letras e Ciências Humanas	<input type="text"/>		
Instituto de Ciências Sociais	<input type="text"/>		
Biblioteca -	<input type="text"/>	SERVIÇOS	<input type="text"/>
Serviços Académicos -	<input type="text"/>		
Cantina -	<input type="text"/>		
CIUM -	<input type="text"/>		
CGD -	<input type="text"/>		
Grill -	<input type="text"/>		
Restaurante -	<input type="text"/>		
Pavilhão polivalente -	<input type="text"/>		
GID -	<input type="text"/>		
Multibanco -	<input type="text"/>		
Paragem Interna -	<input type="text"/>	ACESSOS	<input type="text"/>
Paragem Externa -	<input type="text"/>		
Entrada Sul -	<input type="text"/>		
Entrada Este (Portaria) -	<input type="text"/>		
Parque 1 -	<input type="text"/>		
Parque 2 (condicionado) -	<input type="text"/>		
Parque 3 (condicionado) -	<input type="text"/>		
Parque 4 (condicionado) -	<input type="text"/>		
Parque 5 -	<input type="text"/>		
Parque 6 -	<input type="text"/>		
Parque 7(condicionado) -	<input type="text"/>		
Parque 8 -	<input type="text"/>		

Estabelecida a importância de cada local no campus, defina agora a distância (em metros) a partir da qual considera que está suficientemente afastado para não se deslocar a esse local ( $D_{max}$ ).

Apoiando-se nos dois gráficos seguintes (A e B), que representam a variação da importância da distância quando o afastamento à sua origem vai aumentando até  $D_{max}$ , indique, assinalando com a respectiva letra, aquele que lhe parece ser o mais indicado para cada um dos locais.



CP1	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
CP2	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
CP3	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Escola de Engenharia	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Ciências da Terra	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Instituto de Educação e Psicologia	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Escola de Engenharia (Informática)	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Escola de Engenharia (Biológica)	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Escola de Economia e Gestão e Direito	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Escola de Ciências	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Instituto de Letras e Ciências Humanas	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Instituto de Ciências Sociais	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Biblioteca	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Serviços Académicos	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Cantina	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
CIUM	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
CGD	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Grill	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Restaurante	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Pavilhão polivalente	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
GID	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Multibanco	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Paragem Interna	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Paragem Externa	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Entrada Sul	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Entrada Este (Portaria)	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Parque 1	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Parque 2 (condicionado)	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Parque 3 (condicionado)	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Parque 4 (condicionado)	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Parque 5	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Parque 6	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Parque 7 (condicionado)	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B
Parque 8	$D_{max} =$	m.	Gráfico:	A	B

## A.2 Quadros de resultados

No quadro seguinte, é atribuído um código a cada funcionalidade e a cada destino-chave, permitindo a sua identificação nos quadros de resultados.

Funcionalidades	Destinos-chave	Código
1. Complexos Pedagógicos, Departamentos e Institutos	Complexo Pedagógico 1	1.1
	Complexo Pedagógico 2	1.2
	Complexo Pedagógico 3	1.3
	Escola de Engenharia	1.4
	Ciências da Terra	1.5
	Instituto de Educação e Psicologia	1.6
	Escola de Engenharia - Departamento de Informática	1.7
	Escola de Engenharia - Departamento de Eng. Biológica	1.8
	Escola Economia e Gestão e Direito	1.9
	Escola de Ciências	1.10
	Instituto de Letras e Ciências Humanas	1.11
	Instituto de Ciências Sociais	1.12
2. Serviços	Biblioteca	2.1
	Serviços Académicos	2.2
	Cantina	2.3
	Centro de Informática (CIUM)	2.4
	Caixa Geral de Depósitos (CGD)	2.5
	Grill	2.6
	Restaurante	2.7
	Pavilhão polivalente	2.8
	Serviços Técnicos (GID)	2.9
	Multibanco	2.10
3. Acessos	Paragem Interna	3.1
	Paragem Externa	3.2
	Entrada Sul	3.3
	Entrada Este (Portaria)	3.4
	Parque de estacionamento 1	3.5
	Parque de estacionamento 2	3.6
	Parque de estacionamento 3	3.7
	Parque de estacionamento 4	3.8
	Parque de estacionamento 5	3.9
	Parque de estacionamento 6	3.10
	Parque de estacionamento 7	3.11
	Parque de estacionamento 8	3.12

No próximo quadro são apresentados os dados obtidos através do inquérito efectuado, relativamente às pontuações dadas pelos inquiridos para cada destino-chave e cada funcionalidade.









(continuação)

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	1	2	3
10	5	3	4	3	5	6	6	7	5	5	4	6	3	2	5	6	7	1	4	3	5	6	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	9	9
5	10	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5	3	1	8	1	1	1	2	3	1	1	10	10	1	1	1	8	1	1	1	1	8	5	8	
10	5	5	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1	4	1	10	10	10	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10	10	
4	1	1	1	10	1	1	1	1	7	1	1	7	1	1	1	6	1	1	1	1	5	1	1	10	1	1	1	4	10	1	1	1	1	8	5	6	
8	3	1	10	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	1	2	5	1	5	10	1	1	1	1	1	1	1	1	7	5	7		
5	4	1	1	1	5	2	1	3	1	2	3	10	5	1	1	5	1	1	1	1	5	5	5	10	5	3	5	5	10	1	1	1	1	5	8	5	
10	10	1	3	2	1	5	1	5	5	5	5	10	5	5	10	10	1	1	3	5	10	1	1	10	5	1	10	10	10	1	1	1	1	10	10	10	

No quadro seguinte são apresentados a média e desvio padrão dos pesos, por destino-chave, atribuídos no inquérito.

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	1	2	3
Média	6,36	7,89	3,68	2,57	3,12	2,74	3,61	2,50	4,14	3,53	3,17	3,38	7,94	6,18	6,07	4,93	5,26	3,44	3,67	5,11	2,83	7,32	3,39	3,71	6,80	5,16	3,47	2,69	2,60	2,93	3,51	3,64	2,94	3,29	8,13	7,45	6,33
Desvio padrão	3,23	2,54	2,99	2,57	3,38	2,48	2,90	2,55	3,50	3,19	2,81	2,96	2,31	2,69	3,58	5,76	2,97	3,02	9,09	3,20	2,29	2,64	3,21	3,25	3,58	3,41	3,06	2,84	2,69	3,02	3,10	3,10	3,14	3,02	1,54	1,70	2,25

Nos quadros seguintes são apresentados a média e desvio padrão das pontuações, por destino-chave, obtidas do inquérito.

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	1	2	3
Média	6,36	7,89	3,68	2,57	3,12	2,74	3,61	2,50	4,14	3,53	3,17	3,38	8,13	7,45	6,33
Desvio padrão	3,23	2,54	2,99	2,57	3,38	2,48	2,90	2,55	3,50	3,19	2,81	2,96	1,54	1,70	2,25

	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Média	7,94	6,18	6,07	4,93	5,26	3,44	3,67	5,11	2,83	7,32
Desvio padrão	2,31	2,69	3,58	5,76	2,97	3,02	9,09	3,20	2,29	2,64

	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12
Média	3,39	3,71	6,80	5,16	3,47	2,69	2,60	2,93	3,51	3,64	2,94	3,29
Desvio padrão	3,21	3,25	3,58	3,41	3,06	2,84	2,69	3,02	3,10	3,10	3,14	3,02

No quadro seguinte, são apresentados os pesos das funcionalidades e dos destinos-chave, resultantes das pontuações obtidas do inquérito.

Funcionalidade	Peso	Destino-chave	Peso
Complexos pedagógicos, Departamentos e Institutos	0,37	CP1	0,14
		CP2	0,17
		CP3	0,08
		Escola de Engenharia	0,06
		Ciências da Terra	0,07
		Instituto de Educação e Psicologia	0,06
		Depart. Informática	0,08
		Eng. Biológica	0,05
		Escola Economia e Gestão e Direito	0,09
		Escola de Ciências	0,08
		Inst. de Letras e Ciências Humanas	0,07
Inst. de Ciências Sociais	0,07		
Serviços	0,34	Biblioteca	0,15
		Serviços Académicos	0,12
		Cantina	0,12
		CIUM	0,09
		CGD	0,10
		Grill	0,07
		Restaurante	0,07
		Pavilhão polivalente	0,10
		GID	0,05
Multibanco	0,14		
Acessibilidade	0,29	Paragem Interna	0,08
		Paragem Externa	0,08
		Entrada Sul	0,15
		Entrada Este (Portaria)	0,12
		Parque de estacionamento 1	0,08
		Parque de estacionamento 2	0,06
		Parque de estacionamento 3	0,06
		Parque de estacionamento 4	0,07
		Parque de estacionamento 5	0,08
		Parque de estacionamento 6	0,08
Parque de estacionamento 7	0,07		
Parque de estacionamento 8	0,07		

No próximo quadro são apresentados os dados obtidos através do inquérito efectuado, relativamente às distâncias máximas a cada destino-chave.







(continuação)

1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	
100	50	50	100	1000	-	-	100	-	800	-	-	1000	30	500	20	500	30	20	50	-	700	-	500	1000	50	50	50	800	1000	50	50	50	50	
50	600	-	150	-	1000	-	-	-	-	-	-	1000	150	-	-	500	-	-	-	-	500	-	-	200	-	-	-	-	100	-	-	-	-	
100	100	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	200	200	-	100	100	50	-	300	100	50	50	200	100	50	100	100	100	50	50	100	50		
200	400	200	100	50	300	500	300	400	30	230	240	280	60	500	60	100	500	500	600	1000	200	290	400	800	600	200	320	370	400	700	800	700	450	
300	400	100	200	200	200	100	100	50	300	50	50	400	200	50	200	100	50	50	50	30	200	200	300	300	50	100	50	50	50	50	50	50	50	
1000	400	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	500	-	-	-	-	-	-	-	100	-	400	400	400	400	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	1000	-	-	-	-	-	-	-	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1000	-	-	-	1000	1000	-	-	-	-	-
300	300	-	650	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	300	-	-	300	300	-	100	200	-	350	380	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
100	50	50	40	50	100	50	50	50	50	50	50	500	100	50	50	100	50	50	-	20	50	50	50	100	100	50	50	50	200	100	50	50	50	

Nos quadros seguintes são apresentados a média e desvio padrão das distâncias máximas, por destino-chave, atribuídos no inquérito.

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12
Média	306	356	227	119	219	156	174	133	204	202	135	148
Desvio padrão	207,1	234,9	196,0	168,3	324,9	172,7	202,0	259,8	203,8	275,2	158,5	165,6

	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Média	406	319	372	199	223	167	138	287	158	285
Desvio padrão	255,2	216,2	266,4	181,0	215,7	175,8	165,6	248,4	206,0	233,7

	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12
Média	144	173	295	255	183	109	124	127	186	189	119	164
Desvio padrão	170,0	189,9	238,5	251,6	214,5	164,4	200,4	193,2	232,6	234,6	176,2	203,6

No próximo quadro são apresentados os dados obtidos através do inquérito efectuado, relativamente às funções *fuzzy* para cada destino-chave. À função A (linear) foi atribuído o código 1 e à função B (Sigmoidal) foi atribuído o código 2.





(continuação)

1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	
2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	
2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

No quadro seguinte são apresentados a média e desvio padrão dos dados relativos às funções *fuzzy*, por destino-chave, atribuídos no inquérito.

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12
Média	1,59	1,68	1,52	1,37	1,43	1,38	1,44	1,30	1,34	1,49	1,37	1,34
Desvio padrão	0,50	0,47	0,50	0,49	0,50	0,49	0,50	0,46	0,48	0,50	0,49	0,48

	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Média	1,78	1,62	1,66	1,55	1,56	1,45	1,41	1,52	1,36	1,64
Desvio padrão	0,42	0,49	0,48	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,48	0,48

	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12
Média	1,38	1,44	1,61	1,49	1,44	1,35	1,36	1,38	1,37	1,39	1,37	1,35
Desvio padrão	0,49	0,50	0,49	0,50	0,50	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48

# Anexo B

## Scripts em Avenue

### B.1 Introdução

Para a implementação do Modelo ao Caso de Estudo, foram desenvolvidas e implementadas diversas rotinas (*scripts em Avenue*). No capítulo 6, foram apresentados os algoritmos que serviram de base e a funcionalidade de cada uma delas, pelo que se apresenta neste Anexo o código final em *Avenue*.

### B.2 Script Distâncias

```
aView = av.GetProject.FindDoc("Rede")
aPercursoFTab = aView.FindTheme("Percurso").GetFTab

if (not (NetDef.CanMakeFromFTab(aPercursoFTab))) then
  msgBox.Error("Impossível criar uma rede com os dados
disponíveis", "")
  Exit
end

aNetDef = NetDef.Make(aPercursoFTab)
if (aNetDef.HasError) then
  msgBox.Error("NetDef contem erros.", "")
  exit
end

aNetCostFieldList = aNetDef.GetCostFields
aNetCostField = msgBox.Choice(aNetCostFieldList, "Custos disponíveis",
"Selecione um custo")

aNetwork = Network.Make(aNetDef)
aNetwork.SetCostField(aNetCostField)

aDestinosTab = av.Getproject.FindDoc("Destinos-chave.dbf").GetVTab
NosDestinosTab = av.Getproject.FindDoc("NosDestinos.dbf").GetVTab
FromField = NosDestinosTab.FindField( "NoID" )
```

```

aNosFTab = aView.FindTheme("Nos.shp").GetFTab
aPointField = aNosFTab.FindField("Shape")
ToField = aNosFTab.FindField( "NoID" )
aNosFTab.Join( ToField, NosDestinosTab, FromField )
DestIDField = aNosFTab.FindField( "DestID" )

ScoresTab = av.Getproject.FindDoc("Distancias_Scores.dbf").GetVTab
ScoresTab.SetEditable(TRUE)

akeydestIDTab_Field = aDestinosTab.FindField("DestID")

for each keydest in aDestinosTab

    keydestID = aDestinosTab.returnValue(akeydestIDTab_Field,keydest)

    nos={}
    nos = av.Run("NosDoDestino-chave", keydestID)

    theDist_Field = ScoresTab.FindField(keydestID+"_dist")

    'calcula para cada nó da tabela a distância a cada nó do local e
    armazena a menor

    Nao_esta_no_local = False
    for each rec in aNosFTab
        traveldistance = 0
        no = rec + 1 ' pq rec começa em 0 e no em 1
        DestID = aNosFTab.ReturnValue( DestIDField, rec )
        Nao_esta_no_local = ( DestID <> keydestID )
        if (Nao_esta_no_local) then
            travelDistance = 9999
            travelDistanceAux = 0
            for each i in 1..nos.count
                aPointList = {}
                origem = aNosFTab.ReturnValue(aPointField, rec)
                aPointList.Add(origem)
                destinorec = nos.Get(i-1) -1
                aPointList.Add(aNosFTab.ReturnValue(aPointField, destinorec))

                travelDistanceAux = Network.FindPathCost(aPointList, False, False)

                if (traveldistanceAux = 0) then
                    msgbox.error("caminho não encontrado","")
                end
                if (traveldistanceAux < traveldistance) then
                    traveldistance = traveldistanceAux
                end
            end
        end

        ScoresTab.SetValue( theDist_Field, rec, travelDistance )
    ' podemos usar o mesmo rec pq as tabelas foram indexadas

    end

end

ScoresTab.SetEditable(FALSE)
aNosFTab.UnJoinAll

```



### B.3 Script ScoreNormalizadoPesado

```
Destinos = av.Getproject.FindDoc("Destinos-chave.dbf")
aDestinosTab = Destinos.GetVTab

aDestIDTab_Field = aDestinosTab.FindField("DestID")
aDmaxTab_Field = aDestinosTab.FindField("dmax")
aPesoTab_Field = aDestinosTab.FindField("Peso")

aScoresVTab = av.Getproject.FindDoc("Distancias_Scores.dbf").GetVTab
aScoresVTab.SetEditable(TRUE)

for each keydest in aDestinosTab

    DestID = aDestinosTab.returnValue( aDestIDTab_Field, keydest )

    Dmax = aDestinosTab.returnValue( aDmaxTab_Field, keydest )

    Peso = aDestinosTab.returnValue( aPesoTab_Field, keydest )

    aDistTab_Field = aScoresVTab.FindField(DestID+"_Dist")
    theScore_Field = aScoresVTab.FindField(DestID+"_Score")

    for each rec in aScoresVTab
        Dist = aScoresVTab.returnValue( aDistTab_Field, rec )
        if (Dist >= Dmax) then
            Score = 0
        else
            alfa = (Dist - 0)/(Dmax - 0)*3.14159265358979 / 2
            Score = (alfa.cos)^2 * Peso
        end

        aScoresVTab.SetValue(theScore_Field,rec, Score)
    end

end

end
aScoresVTab.SetEditable(FALSE)
```

## B.4 Script ScoreGrupo

```
aGruposVTab = av.Getproject.FindDoc("Grupos.dbf").GetVTab
nGrupos = aGruposVTab.GetNumRecords
DestIDPorGrupo = av.run( "InicLista", {nGrupos} )

aDestinosTab = av.Getproject.FindDoc("Destinos-chave.dbf").GetVTab
Grupo_Field = aDestinosTab.FindField( "GrupoID" )
DestID_Field = aDestinosTab.FindField( "DestID" )

for each keydest in aDestinosTab
    Grupo = aDestinosTab.ReturnValue( Grupo_Field, keydest )
    DestID = aDestinosTab.ReturnValue( DestID_Field, keydest )
    DestIDList = DestIDPorGrupo.Get( Grupo-1 )
    DestIDList.Add( DestID )
    DestIDPorGrupo.Set( Grupo-1, DestIDList )
end

aScoresVTab = av.Getproject.FindDoc("Distancias_Scores.dbf").GetVTab
aScoresVTab.SetEditable(TRUE)

for each rec in aScoresVTab      'para cada no
    for each g in 1..nGrupos      'para cada grupo
        Score = 0
        DestIDList = DestIDPorGrupo.Get( g-1 )
        n = DestIDList.Count

        for each kd in 1..n
            DestID = DestIDList.Get( kd-1 )
            theScore_Field = aScoresVTab.FindField( DestID+"_Score" )
            Score = Score + aScoresVTab.ReturnValue( theScore_Field,
            rec )
        end

        ScoreGrupo_Field = aScoresVTab.FindField( "Grupo" + g.AsString)
        aScoresVTab.SetValue( ScoreGrupo_Field, rec, Score )
    end

end

aScoresVTab.SetEditable(FALSE)
```

## B.5 Script ScoresFinais

```
OWATab = av.Getproject.FindDoc("OWA.dbf").GetVTab
n_vec = OWATab.GetnumRecords

Grupos = av.Getproject.FindDoc("Grupos.dbf")
aGruposTab = Grupos.GetVTab
n = aGruposTab.GetNumRecords           'tamanho do vector

aScoresVTab = av.Getproject.FindDoc("Distancias_Scores.dbf").GetVTab
aScoresVTab.SetEditable(TRUE)
aNome_Field = OWATab.FindField("Ponto")

NomePontos = {}
for each i in 1..n_vec
  Ponto = OWATab.ReturnValue(aNome_Field,i-1)
  Campo = "Campus"+ Ponto   ' Ex: CampusA para o ponto de decisão A
  NomePontos.Add(Ponto)
  theScore_Field = aScoresVTab.FindField(Campo)
  if (theScore_Field = nil) then
    'criar o campo se ainda não existir
    f1 = Field.Make(Campo, #FIELD_FLOAT, 6, 4)
    aScoresVTab.AddFields({f1})
  end
end

NomePontos.Insert("Todos")
escolha = msgbox.choiceasstring(NomePontos, "Escolha o ponto de
decisão ", "Vector OWA")
NomePontos.Remove(0)           'Retirar "Todos"

if (escolha = nil) then
  aScoresVTab.SetEditable(FALSE)
  exit
else
  if (escolha <> "Todos") then
    i = NomePontos.Find(escolha) + 1
    n_vec = i
  else
    i = 1
  end
end

aPesoTab_Field = aGruposTab.FindField("Peso")
Vpesos = {}           'Vector de pesos
for each g in 1..n
  PesoGrupo = aGruposTab.returnValue(aPesoTab_Field,g-1)

  Vpesos.Add( PesoGrupo )
end

for each no in aScoresVTab   'para cada nó da rede

  VScoresP = {}           ' Vector de scores pesados - score * peso
  for each g in 1..n       'para cada grupo
    Grupo = "Grupo" + g.asString
    ScoreGrupo_Field = aScoresVTab.FindField( Grupo )
```

```

        ScoreGrupo = aScoresVTab.returnValue( ScoreGrupo_Field, no )
        PesoGrupo = Vpesos.Get( g-1 )
        VScoresP.Add( ScoreGrupo * PesoGrupo )
    end

    OVScoresP = VScoresP
    OVScoresP.Sort(TRUE)      'Ordena o vector de scores pesado

    for each nv in i..n_vec      'para cada ponto de decisão

        ScoreCampus = 0
        ScoresOWA = {}
        for each g in 1..n      'para cada grupo

            PesoOWA_Field = OWATab.FindField( "O" + g.asString )
            PesoOWA = OWATab.ReturnValue(PesoOWA_Field, nv-1)

            ScorePesadoOrdGrupo = OVScoreP.Get( g-1 )
            ScoresOWA.add( ScorePesadoOrdGrupo * PesoOWA )

        end

        ScoreCampus = av.run( "SomaLista", {ScoresOWA} )
        Campo = "Campus" + NomePontos.Get(nv-1)
        theScore_Field = aScoresVTab.FindField(Campo)
        aScoresVTab.SetValue(theScore_Field, no, ScoreCampus)

    end
end

aScoresVTab.SetEditable(FALSE)

```