

Modelo Espacial de Avaliação do Uso do Solo em Ambiente SIG

O caso da Localização Industrial

Maria Elisabete Santos Soares

*Instituto Politécnico da Guarda, Departamento de Engenharia Civil
Av. Dr. Francisco Sá Carneiro, 6301-559 Guarda, Portugal*

Rui António Rodrigues Ramos

José Fernando Gomes Mendes

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil
Azurém, P – 4800-058 Guimarães, Portugal*

RESUMO

O planeamento do território, no qual se insere a localização industrial, obedece a um processo de classificação do uso do solo. Este diferencia o espaço territorial para um determinado tempo de vigência, devidamente regulamentado, possibilitando controlar as intervenções sobre o território. A localização de novas unidades industriais no território assume grande importância, quer do ponto de vista da sua estruturação, quer do ponto de vista do impacto ambiental causado. Assim, a escolha da sua localização deverá harmonizar diversos factores relativos às características físicas, políticas e sócio-económicas de uma dada região, de forma a conciliar os interesses dos investidores com os de uma gestão adequada do uso do solo.

A apreciação da aptidão do uso do solo, quer qualitativa quer quantitativa, para a localização de novas indústrias, envolve a selecção e avaliação de um conjunto de critérios associados à decisão em causa. O modelo espacial de avaliação do Uso do Solo desenvolvido, e aqui apresentado, considera na sua formulação a perspectiva dos empresários industriais e do ordenamento do território permitindo desenvolver mapas de aptidão para um território em análise. O modelo espacial é implementado em ambiente SIG o que permite modelar e visualizar a contribuição de cada critério no processo de decisão e possibilita a identificação das áreas mais aptas para o uso industrial por comparação das diferentes alternativas espaciais existentes. O facto do modelo ser implementado em ambiente SIG torna fácil qualquer reavaliação da aptidão do território devido a alterações que impliquem variações na importância relativa dos critérios avaliados para o território em análise. A metodologia apresentada permite ainda que se obtenham diferentes mapas de acordo com diferentes estratégias associadas ao processo de decisão, alterando a importância relativa dos critérios, fazendo variar a *trade-off* entre critérios ou admitindo diferentes tipos de atitude perante o risco associado à decisão.

Será ainda apresentado um Caso de Estudo aplicado ao município de Vieira do Minho que permitirá validar a metodologia apresentada, bem como identificar as suas potencialidades.

1 – INTRODUÇÃO

De um modo geral, os processos de decisão pretendem satisfazer um ou múltiplos objectivos e são desenvolvidos com base na avaliação de um ou vários critérios. No caso particular de afectação de usos a parcelas de solo, trata-se essencialmente dum processo de decisão de natureza multicritério, no sentido em que são considerados na análise diversos atributos do problema.

O desenvolvimento do modelo procura integrar o ponto de vista dos empresários relativamente a factores que considerem fundamentais para a sua decisão, nomeadamente relativos a acessibilidade, mão-de-obra, infra-estruturas básicas, equipamentos terciários e opções administrativas e sócio-económicas, com o ponto de vista do ordenamento do território.

A normalização dos critérios recorrendo a funções *fuzzy* calibradas, ou com recurso a processos de reclassificação, conduz ao processo de decisão que contempla a exploração de cenários de risco, recorrendo a técnicas de agregação de critérios que permitem variar o *trade-off* e a atitude de risco.

O modelo adoptado, desenvolvido por Ramos (2000), baseia-se na combinação de três grandes eixos teóricos, a saber:

- Os modelos teóricos de Localização Industrial e estudos específicos realizados nacional e internacionalmente, nomeadamente os exercícios de identificação de critérios;
- A Análise Multicritério como ferramenta de avaliação de alternativas através da combinação de diversos critérios, particularmente interessante quando se explora o desenvolvimento de cenários de avaliação;
- Os Sistemas de Informação Geográfica que, por possuírem potentes ferramentas de análise e processamento espacial, constituem um ambiente de desenvolvimento de modelos de natureza espacial.

Os fundamentos conceptuais que suportam o modelo são:

- A aptidão do território para o uso industrial, podendo ser avaliada através de critérios ou grupos de critérios que estão associados a diferentes pontos de vista, o dos empresários e o do ordenamento do território;
- Os critérios, organizados por grupos ou por níveis de análise e combinados através da atribuição de diferentes graus de importância;
- Os critérios podem ser normalizados através da aplicação de funções *fuzzy*;
- Na combinação de critérios são desenvolvidos cenários de avaliação com base em diferentes opções de *trade-off* e de risco.

2 - AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO PARA A LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL

De acordo com a terminologia da Teoria da Decisão, ao acto ou efeito de decidir entre várias alternativas denomina-se Decisão. As alternativas representam as diferentes localizações susceptíveis do uso industrial num dado território.

A tomada de decisão é apoiada em critérios devidamente quantificados ou avaliados, podendo estes ser de dois tipos: Exclusões ou Factores.

Uma Exclusão é um critério que limita as alternativas consideradas na análise. É traduzida pela criação de limitações ao espaço de análise definindo as alternativas não elegíveis que deverão ser excluídas do espaço inicial de soluções possíveis, ou por apenas pretender garantir que a solução final possua algumas características pré-estabelecidas.

Um Factor é um critério que acentua ou diminui a aptidão de uma determinada alternativa para o objectivo em causa. De um modo geral, a aptidão é medida numa escala contínua de forma a abranger todo o espaço de solução inicialmente previsto.

A regra de Decisão constitui o procedimento que permite combinar os critérios para obter uma determinada avaliação, incluindo a própria comparação entre avaliações no sentido de produzir decisões. Tipicamente, as regras de decisão incluem técnicas para normalizar e combinar diferentes critérios, resultando um índice composto e uma regra que rege a comparação entre alternativas com base nesse índice. A estruturação das regras de decisão visa um contexto de objectivo específico. Com a finalidade de atingir esse objectivo é frequente a avaliação e combinação de diversos critérios através de procedimentos designados por Avaliação Multicritério (Voogd, 1983; Carver, 1991).

Os aspectos relevantes num processo de avaliação multicritério são: a avaliação de pesos para os critérios, a normalização dos critérios e a combinação dos critérios. Para uma melhor compreensão destes assuntos, incluindo a descrição detalhada dos métodos possíveis, ver Mendes (2000) e Ramos (2000).

2.1 AVALIAÇÃO DE PESOS PARA CRITÉRIOS

Num processo de decisão que envolve múltiplos critérios é necessário quantificar a importância relativa de cada um, o que normalmente é feito pela atribuição de um determinado peso. O facto dos diferentes decisores atribuírem graus de importância variáveis aos diversos critérios, obriga a uma cuidadosa atribuição de pesos de modo a que sejam preservadas as suas preferências.

Não se podendo afirmar que existe um método consensual para a definição de pesos, encontram-se na literatura várias propostas para este efeito (Voogd, 1983; Winterfeldt e Edwards, 1986; Malczewski, 1999). Alguns desses exemplos apresentados em Ramos (2000), são: métodos baseados no ordenamento de critérios, método baseado em escalas de pontos, método baseado na distribuição de pontos e método baseado na comparação de critérios par-a-par.

2.2 NORMALIZAÇÃO DE CRITÉRIOS

Normalmente os valores dos diferentes critérios resultam em grandezas e valores não comparáveis entre si, sendo obrigatório proceder à sua normalização para a mesma escala de valores no sentido de viabilizar a sua agregação.

De um modo geral, os processos de normalização são estabelecidos por curvas de normalização que utilizam valores máximo e mínimo, sendo a variação linear a forma mais simples para definir uma escala (Eastman, 1997):

$$x_i = \frac{R_i - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \times \text{Intervalo_normalizado}, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (1)$$

onde R_i é o valor de *score* a normalizar e R_{\min} e R_{\max} são os *scores* mínimo e máximo, respectivamente.

Quando o número de *scores* é suficiente para permitir o cálculo de médias e desvios padrão com algum significado, pode recorrer-se a uma outra forma de normalização denominada de *z-score* (Bossard, 1999), cujo valor é dado pela seguinte equação (Mendes *et al.*, 1999):

$$Zscore = a \frac{R - \mu[R]}{\sigma[R]} \quad (2)$$

onde R é o valor do *score* a normalizar, $\mu[R]$ é a média dos *scores* das diferentes alternativas em consideração e $\sigma[R]$ é 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.

O processo de normalização de critérios é na sua essência idêntico ao processo de *fuzzification* introduzido pela lógica *fuzzy*, segundo o qual a conversão de um conjunto de valores expressos numa determinada escala para outro comparável, expresso numa escala normalizada (por exemplo 0.0 -1.0), permite obter um grau relativamente à pertença que varia de 0.0 a 1.0, indicando um crescimento contínuo desde não-pertença para áreas não aptas, até pertença total para áreas com aptidão absoluta, na base do critério submetido ao processo de *fuzzification*. *Fuzzification* é a expressão original apresentada por Zadeh (1965), para a qual não se adoptou qualquer tradução, o mesmo acontecendo com a palavra *fuzzy*.

Para definir a variação entre o ponto mínimo a partir do qual os valores de *score* do critério começam a contribuir para a decisão, e o ponto máximo a partir do qual *scores* mais elevados não trazem qualquer contribuição adicional para a decisão, são utilizadas as denominadas funções *fuzzy* ou, mais genericamente e na terminologia anglo-saxónica por *fuzzy set membership functions*. São exemplo destas funções, a Sigmoidal, a J-Shaped, a Linear e a Complexa que podem ser consultadas em (Zadeh, 1965), (Eastman, 1997), (Mendes, 2000) e (Ramos, 2000).

A função *fuzzy* deve ser escolhida de acordo com a natureza do critério, sendo que a mais utilizada é a função sigmoidal. É também importante uma selecção rigorosa dos pontos de controlo, já que de certa forma calibram a função para critérios e realidades particulares.

2.3 COMBINAÇÃO DE CRITÉRIOS

Uma vez normalizados os *scores* dos critérios para um intervalo fixado, estes podem ser agregados de acordo com a regra de decisão. Existem diversas classes de operadores para combinar os critérios (para uma descrição extensiva ver Malczewski, 1999), apresentando-se, aqui, dois procedimentos considerados como mais relevantes no âmbito dos processos de decisão de natureza espacial: a Combinação Linear Pesada (WLC – Weighted Linear Combination) e a Média Pesada Ordenada (OWA – Ordered Weighted Average).

2.3.1 COMBINAÇÃO LINEAR PESADA – WLC

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

$$S = \sum_i^n w_i x_i ; \quad (3)$$

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. Uma vez que o somatório dos pesos é igual à unidade, o *score* final vem calculado na mesma escala dos *scores* normalizados dos factores.

Quando para além dos factores, que se expressam numa escala de *scores* contínua, se aplicam também as exclusões, expressas na escala binária 0/1, o procedimento pode ser alterado, multiplicando o *score* calculado a partir dos factores pelo produtório das exclusões:

$$S = \sum_i^n w_i x_i \times \prod_j^m c_j ; \quad (4)$$

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

O facto de permitir a compensação entre critérios (*Trade-off*), uma qualidade (*score* a respeito de um critério) muito pobre numa dada alternativa pode ser compensada por um conjunto de boas qualidades (*scores* mais elevados a respeito de outros critérios).

2.3.2 MÉDIA PESADA ORDENADA – OWA

O procedimento OWA, introduzido por Yager (1988), permite uma nova perspectiva de análise. Esta técnica não só utiliza os pesos de critérios usados no procedimento WLC, como também considera outro conjunto de pesos, denominados de *order weights*, que não estão especificamente ligados a quaisquer factores, aplicados por uma ordem que depende do valor do *score* de cada factor. Após a aplicação normal do primeiro conjunto de pesos aos factores resultam os respectivos *scores* pesados, que após serem ordenados de forma crescente, se lhes aplica o respectivo *order weight*.

Possibilitando a variação dos *order weights*, o procedimento OWA permite implementar uma vasta gama de operadores de agregação. Como refere Eastman *et al.* (1998), num processo de decisão que envolva três factores, produzir-se-ia uma solução adversa ao risco (dita pessimista ou conservadora), equivalente ao operador lógico AND, se se aplicasse todo o peso ao factor com menor *score* recorrendo-se ao vector de *order weights* [1 0 0]. Pelo contrário, produzir-se-ia uma solução de elevado risco (dita optimista), equivalente ao operador lógico OR, caso se aplicasse todo o peso ao factor de mais alto *score*, recorrendo-se ao vector de *order weights* [0 0 1]. Por sua vez, um vector de *order weights* [0.33 0.33 0.33], aplicaria igual peso a todos os factores, produzindo uma solução de risco neutro (intermédia), equivalente ao operador WLC. Considerando apenas os *scores* extremos, nos dois primeiros casos, os factores não podem ser compensados uns pelos outros, estando-se numa situação de ausência de *Trade-off*. Contudo, no terceiro caso, tendo sido atribuído um vector de *order weights* perfeitamente equilibrado, os factores podem compensar-se mutuamente, estando-se na presença de *Trade-off* total, permitindo que os bons *scores* de uns factores compensem os maus *scores* de outros factores.

Qualquer combinação de *order weights* é possível desde que o seu somatório seja igual à unidade. A deslocação relativa dos *order weights* no sentido do mínimo para o máximo controla o nível de risco, designado por *ANDness*. Por outro lado, a homogeneidade de distribuição dos *order weights* pelas diferentes posições controla o nível global de *Trade-off*.

Resulta desta combinação 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), como pode ser observado na Figura 1.

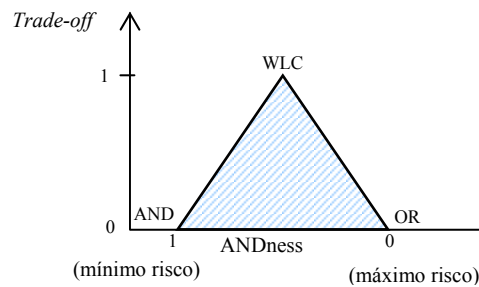


Figura 1 – Espaço estratégico de decisão para o procedimento OWA

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

$$ANDness = \frac{1}{n-1} \sum_i^n [(n-i)O_i] \quad (5)$$

O *Trade-off* é definido por:

$$Tradeoff = 1 - \sqrt{\frac{n \sum_i^n (O_i - 1/n)^2}{n-1}} \quad (6)$$

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 .

3 – IMPLEMENTAÇÃO DA AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO EM AMBIENTE SIG

A avaliação multicritério pode ser implementada num Sistema de Informação Geográfica através de um de dois procedimentos. O primeiro envolve a sobreposição booleana, na qual todos os critérios são reduzidos a declarações lógicas de aptidão (isto é, classificados de forma binária: 0/1) e então combinados por via de operadores lógicos como a intersecção (AND) e a união (OR). O segundo envolve a combinação de critérios contínuos (factores), através da normalização para uma escala comum e da aplicação de pesos para obter médias pesadas. Por razões que remontam à facilidade com que estas abordagens podem ser implementadas, a sobreposição booleana tem dominado as aplicações em SIG vectoriais, enquanto a combinação de critérios contínuos domina as aplicações em SIG *raster*.

No modelo desenvolvido optou-se por um SIG *raster*, no qual as Exclusões são processadas através de operações booleanas enquanto os Factores são processados por operadores matemáticos, recorrendo à álgebra de mapas.

A implementação do modelo corresponde, num SIG *raster*, ao processamento de cada pixel duma imagem *raster* representativa do território em estudo, permitindo obter mapas contínuos de aptidão para a localização industrial, quer global (final) quer por níveis de análise (ou seja, por grupos de factores). Por outras palavras, cada pixel é potencialmente uma alternativa para a localização da actividade industrial, pelo que, em função das características da parcela de solo que representa, é submetido a uma avaliação multicritério que determina a sua aptidão.

4 – ESTRUTURA DO MODELO DE AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO

O modelo de avaliação é estruturado por níveis hierárquicos de análise, segundo uma abordagem AHP (*Analytic Hierarchy Process*), podendo definir-se dentro de cada um grupos de critérios (Saaty e Kearns, 1985). Estes grupos de critérios são processados de acordo com uma sequência que envolve a sua normalização, a aplicação dos respectivos pesos e a sua combinação. Esta sequência, a implementar em ambiente SIG para cada grupo de critérios e nível de análise, é apresentada na Figura 2, onde se indicam também as técnicas de Avaliação Multicritério aplicáveis.

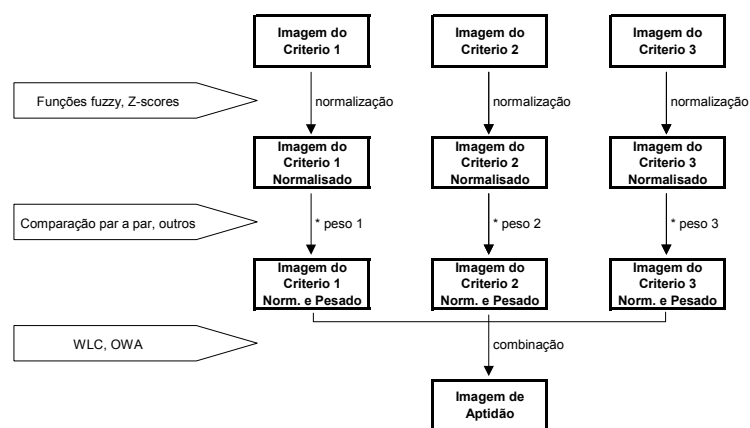


Figura 2 - Estrutura de análise por nível e grupo de critérios

5 – APLICAÇÃO DO MODELO AO MUNICÍPIO DE VIEIRA DO MINHO

5.1 INTRODUÇÃO

Em seguida apresenta-se a aplicação do modelo de avaliação descrito anteriormente. Esta aplicação apresenta a aptidão para a localização industrial do território do município de Vieira do Minho.

O município de Vieira do Minho, localizado geograficamente no noroeste de Portugal, região do Minho, é um dos municípios que compõem o distrito de Braga (Figura 3). Trata-se de uma zona essencialmente rural de interior, montanhosa, com variação altimétrica na ordem dos 1100 metros. Integra o conjunto de municípios da Associação de Municípios do Vale do Cávado, estruturada pela bacia hidrográfica do rio Cávado, como NUTS III do Ave.

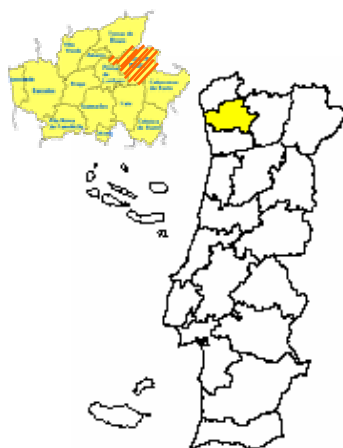


Figura 3 – Enquadramento geográfico do município de Vieira do Minho no País e no distrito

Actualmente é constituída por vinte e uma freguesias (Figura 4), incluindo a sede de concelho que se localiza na Vila de Vieira do Minho, ocupa uma área aproximada de 220 Km² e tem 14 724 habitantes.

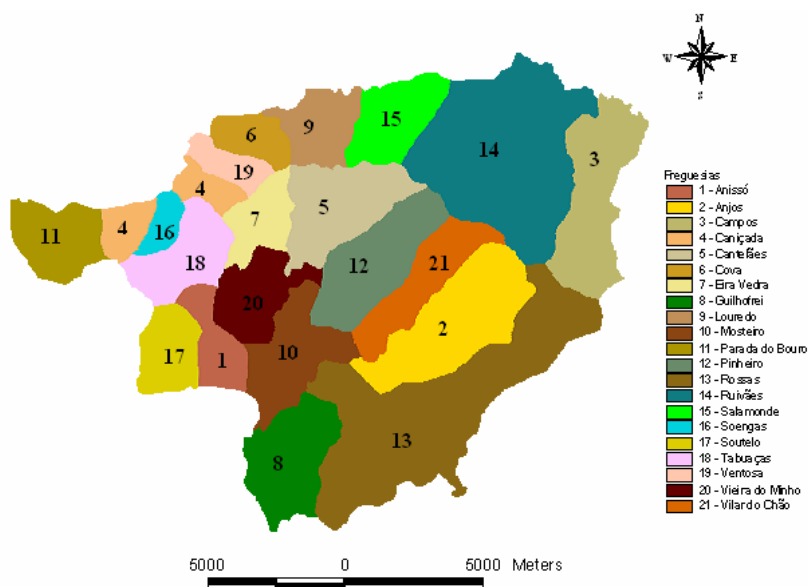


Figura 4 – Divisão administrativa do município de Vieira do Minho

Os critérios adoptados resultam do modelo de avaliação multicritério para a aptidão do território para a localização industrial, apresentado em Soares (2002). O modelo é estruturado hierarquicamente por níveis, apresentando-se aqui apenas os dois superiores, por o terceiro ser constituído por um número muito elevado de factores. O grupo de factores em análise e os respectivos pesos são os indicados no Quadro 1, e as exclusões são as indicadas no Quadro 2. Os códigos indicados dizem respeito ao nome das imagens *raster* representativas do respectivo grupo de factores ou exclusões.

As exclusões são um tipo de critério que restringem o espaço de solução do problema, através da eliminação de áreas de acordo com determinadas condições. Neste consideraram-se apenas restrições associadas ao ordenamento do território.

A aplicação do modelo de localização industrial ao território em estudo, com recurso a Sistemas de Informação Geográfica, foi desenvolvida em ArcView, tendo-se também recorrido ao programa IDRISI para o cálculo do procedimento OWA. Optou-se por um SIG *raster* por estes modelos matriciais se adequarem melhor à análise de fenómenos contínuos.

Quadro 1 – Factores associados à Localização Industrial

Designação	Código	Pesos
Factores associados à actividade industrial	A	
Acessibilidade	A1	0.2860
Mão-de-obra	A2	0.2939
Inércia industrial	A3	0.0585
Infra-estruturas básicas	A4	0.1318
Equipamentos terciários	A5	0.2298
Factores associados a opções administrativas e sócio-económicas	B	
Preferências pessoais	B1	0.2486
Proximidade a centros de investigação e ensino superior	B2	0.3517
Proximidade a centros de decisão	B3	0.3997
Factores associados ao ordenamento do território	C	
Uso preferencial do solo de acordo com o PDM	C1	0.3333
Protecção ambiental – visibilidade a partir de áreas urbanas	C2	0.3333
Condições de implantação das instalações industriais	C3	0.3333

Quadro 2 – Exclusões associadas à Localização Industrial

Descrição	Código
Exclusões associadas ao ordenamento do território	E
Condicionantes de uso de solo	E1
Condicionantes de protecção ambiental	E2
Condicionantes de servidões administrativas e restrições de utilidade pública	E3

5.2 CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Teoricamente existe uma infinidade de opções possíveis na definição de cenários de avaliação, bastando para tal considerar diferentes combinações de níveis de risco e *trade-off*. Neste caso optou-se por considerar aqueles que melhor se adequam à realidade do município de Vieira do Minho.

De acordo com o nível dos critérios consideraram-se as seguintes linhas de orientação (para informação mais detalhada consultar Soares, 2002):

- Combinação dos factores de base através do procedimento de agregação WLC, considerando os respectivos pesos, resultando nas imagens A_i ($i = 1, \dots, 5$), B_i ($i = 1, \dots, 3$) e C_i ($i = 1, \dots, 3$);
- Combinação das imagens resultantes da agregação anterior através do procedimento OWA, para cada um dos grandes grupos de critérios: associados à actividade industrial (A); associados a opções administrativas e sócio-económicas (B); e associados ao ordenamento do território (C). Foram simulados cinco cenários para cada grupo de factores, correspondendo a diferentes níveis de risco e *trade-off* que correspondem a igual número de pontos de decisão, de acordo com a Figura 5, e os *Order Weights* apresentados no Quadro 3.

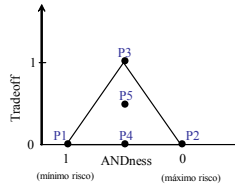


Figura 5 – Pontos de decisão em análise

Quadro 3 – Order Weights para a agregação das imagens do 2º nível

Cenário	Order Weights	ANDness	Trade-off	Tipo de avaliação
A_P1	[1.00 0.00 0.00 0.00 0.00]	1.00	0.00	Risco mínimo (pessimista) Sem <i>trade-off</i>
A_P2	[0.00 0.00 0.00 0.00 1.00]	0.00	0.00	Risco máximo (optimista) Sem <i>trade-off</i>
A_P3	[0.20 0.20 0.20 0.20 0.20]	0.50	1.00	Risco neutro Máximo <i>trade-off</i>
A_P4	[0.00 0.00 1.00 0.00 0.00]	0.50	0.00	Risco neutro Sem <i>trade-off</i>
A_P5	[0.05 0.15 0.60 0.15 0.05]	0.50	0.49	Risco neutro <i>Trade-off</i> parcial

Cenário	Order Weights	ANDness	Trade-off	Tipo de avaliação
B_P1	[1.00 0.00 0.00]	1.00	0.00	Risco mínimo (pessimista) Sem <i>trade-off</i>
B_P2	[0.00 0.00 1.00]	0.00	0.00	Risco máximo (optimista) Sem <i>trade-off</i>
B_P3	[0.33 0.33 0.33]	0.50	1.00	Risco neutro Máximo <i>trade-off</i>
B_P4	[0.00 1.00 0.00]	0.50	0.00	Risco neutro Sem <i>trade-off</i>
B_P5	[0.17 0.66 0.17]	0.50	0.51	Risco neutro <i>Trade-off</i> parcial

Cenário	Order Weights	ANDness	Trade-off	Tipo de avaliação
C_P1	[1.00 0.00 0.00]	1.00	0.00	Risco mínimo (pessimista) Sem <i>trade-off</i>
C_P2	[0.00 0.00 1.00]	0.00	0.00	Risco máximo (optimista) Sem <i>trade-off</i>
C_P3	[0.33 0.33 0.33]	0.50	1.00	Risco neutro Máximo <i>trade-off</i>
C_P4	[0.00 1.00 0.00]	0.50	0.00	Risco neutro Sem <i>trade-off</i>
C_P5	[0.17 0.66 0.17]	0.50	0.51	Risco neutro <i>Trade-off</i> parcial

- A combinação das imagens resultantes da análise anterior, em conjunto com as exclusões gera os cenários finais de aptidão. Desenvolveram-se quatro cenários de avaliação com recurso ao procedimento WLC. Optou-se por dois tipos de avaliação: uma com mais ênfase na perspectiva

dos empresários, atribuindo maior peso aos critérios dos grupos A e B, tendo-se utilizado as imagens referentes aos pontos de decisão P3 (risco neutro e máximo *trade-off*) e P5 (risco neutro e *trade-off* parcial); outra com mais ênfase na perspectiva do ordenamento do território, atribuindo maior peso aos critérios do grupo C, considerando-se as avaliações pessimista e optimista, ou seja, os pontos de decisão P1 (risco mínimo e sem *trade-off*) e P2 (risco máximo e sem *trade-off*). Convém clarificar que a utilização do procedimento WLC pressupõe que as imagens a combinar contenham *scores* expressos na mesma escala; assim, antes da geração dos cenários finais, procedeu-se à normalização dos cenários combinados para a escala 0-1. O Quadro 4 mostra os pesos adoptados para este nível de análise.

Quadro 4 – Cenários finais de avaliação

Cenários finais	Cenários Combinados ¹	Pesos (WLC)	Tipo de avaliação
Cenário_1	A_P3 B_P3 C_P3	0.50 0.25 0.25	Combinação de cenários de risco neutro e máximo <i>trade-off</i>
Cenário_2	A_P5 B_P5 C_P5	0.40 0.40 0.20	Combinação de cenários de risco neutro e <i>trade-off</i> parcial
Cenário_3	A_P2 B_P2 C_P2	0.25 0.25 0.50	Combinação de cenários com risco máximo e sem <i>trade-off</i>
Cenário_4	A_P2 B_P2 C_P1	0.25 0.25 0.50	Combinação de cenários: A – risco máximo sem <i>trade-off</i> B – risco máximo sem <i>trade-off</i> C – risco mínimo sem <i>trade-off</i>

¹ A imagem foi normalizada para a escala 0-1

5.3 MAPAS DE APTIDÃO INDUSTRIAL PARA O MUNICÍPIO DE VIEIRA DO MINHO

De acordo com o modelo apresentado anteriormente e conforme a implementação proposta na secção anterior, foi feita uma aplicação ao Município de Vieira do Minho.

Na Figura 6 apresentam-se as imagens obtidas referentes ao 2º nível hierárquico, A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2, B3, C1, C2 e C3.

A imagem A1 representa os *scores* da acessibilidade, sendo visíveis manchas de valores médios baixos resultantes da rede de estradas do município estar longe de um nó de auto-estrada e uma grande zona de *scores* nulos devido a muitas zonas serem acidentadas e sem acessos.

A imagem A2 representa os *scores* relativos à mão-de-obra, sendo visível uma concentração de mais elevados *scores* junto à sede do concelho, notando-se que algumas zonas dispersas pelo território, principalmente a Nordeste e a Sul, também possuem valores elevados.

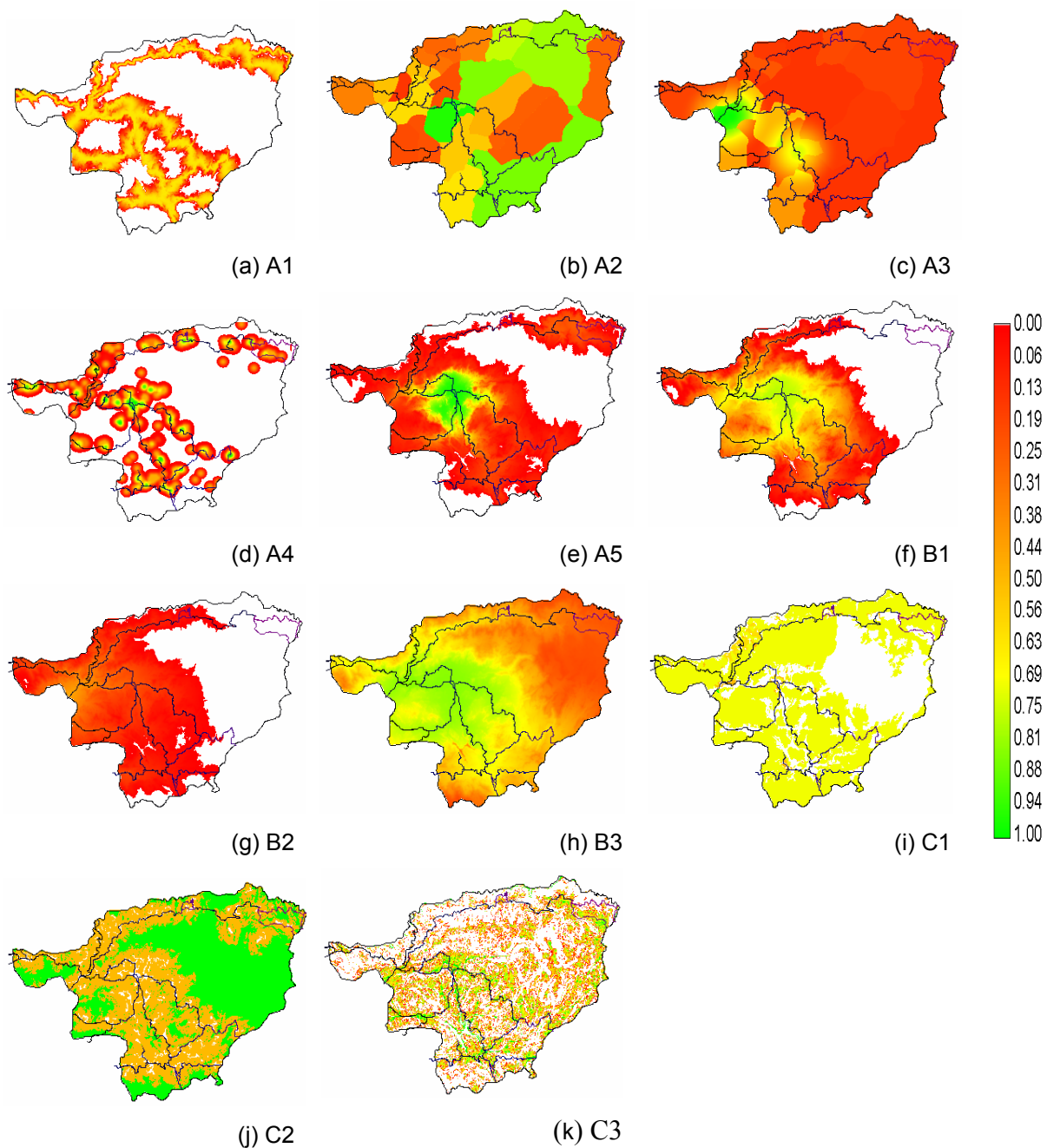


Figura 6 - Imagens referentes ao 2º nível hierárquico de factores

A imagem A3, relativa à inércia industrial, revela um pólo de elevados scores na parte Oeste do concelho, onde se situam as poucas indústrias existentes. Praticamente todo o concelho está representado por baixos scores.

A imagem A4 representa os scores relativos à proximidade a infraestruturas básicas. Podem visualizar-se múltiplas manchas em anel, as quais se desenvolvem em torno de aglomerados urbanos, já que é nestes que se situam as infraestruturas. A gradação de cores dos anéis (verde-amarelo-vermelho-branco) deve-se ao efeito combinado da normalização dos factores através das diversas curvas *fuzzy*. Verifica-se a presença duma área branca assinalável, a que correspondem scores nulos (ou seja, áreas que a respeito deste conjunto de critérios - infraestruturas - têm aptidão nula).

A imagem A5 representa os *scores* relativos à proximidade a equipamentos terciários, sendo evidente a concentração na sede do concelho, reveladora duma estrutura macrocéfala.

A imagem B1 refere-se às preferências pessoais dos empresários, designadamente a proximidade a áreas urbanas de qualidade e a locais de recreio. É evidente a concentração em torno da parte Noroeste, a qual contém o ponto de melhor acessibilidade ao exterior do concelho e a própria sede de concelho.

A imagem B2 refere-se à proximidade a centros de investigação e ensino superior. Pode observar-se que a imagem possui uma zona de baixos *scores* a Oeste, por se encontrar relativamente próxima da Universidade do Minho, em Braga, extendendo-se ao longo das estradas para Este e Sul, no entanto toda a zona Este possuiu *score* nulo pois é ultrapassada a distância máxima das respectivas curvas *fuzzy* de normalização.

A imagem B3 representa os *scores* relativos à proximidade a centros de decisão municipal e central, podendo observar-se uma mancha de valores mais altos em torno da vila de Vieira do Minho e o restante município com valores mais moderados, devido essencialmente à influência da cidade do Porto.

A imagem C1 refere-se aos *scores* decorrentes do uso do solo de acordo com o PDM. Como se trata duma reclassificação onde diversas classes de uso foram consideradas não adequadas, a imagem apresenta uma área extensa de *score* nulo (branca).

A imagem C2 refere-se aos *scores* relativos à visibilidade a partir de áreas urbanas. Dado existirem muitos aglomerados urbanos distribuídos de forma difusa a Oeste do concelho e ao longo das estradas, excepto nas áreas mais declivosas, verifica-se a presença duma extensa área visível (a amarelo) e duma área invisível muito menor (a verde, por ter *score* mais elevado), esta situada essencialmente na parte montanhosa do concelho. As áreas a branco são os “pontos de vista”, isto é, os aglomerados urbanos. Convém referir que a área invisível encontrada resulta da adopção dum raio de pesquisa de 1000 metros, o que significa que para lá dessa distância se considera que o impacto visual não é assinalável.

A imagem C3 representa os *scores* relativos ao declive do terreno, podendo observar-se apenas pequenas manchas verde (menores declives, maiores *scores*), que se contrapõem à grande área branca (elevados declives, *scores* nulos), ambas entremeadas por áreas de *scores* intermédios (amarelas). O elevado pormenor da imagem deve-se à grande resolução e qualidade do modelo digital do terreno desenvolvido. Deve realçar-se a especificidade montanhosa do concelho em análise, bem visível nesta imagem.

Na Figura 7 apresentam-se as imagens referentes ao 1º nível de análise, cinco para cada um dos grandes grupos de factores associados à localização industrial, resultantes da combinação pelo procedimento OWA dos mapas do 2º nível.

Pela análise das imagens é perceptível que os cenários de baixo risco (A_P1, B_P1, C_P1) apresentam uma predominância de tonalidades vermelhas (*scores* baixos), ou zonas brancas (*score* nulo) enquanto os cenários de elevado risco (A_P2, B_P2, C_P2) apresentam uma predominância de tonalidades verdes (*scores* altos). Nos cenários de risco neutro e no sentido crescente de variação de *trade-off* os *scores* baixos vão sendo compensados por *scores* altos, resultando numa crescente diluição da aptidão por todo o território, desde as imagens referentes à ausência de *trade-off* (A_P4, B_P4, C_P4) até ao

máximo *trade-off* (A_P3, B_P3, C_P3), em que os valores finais de *score* se colocam, em média, em zonas intermédias da escala de valores.

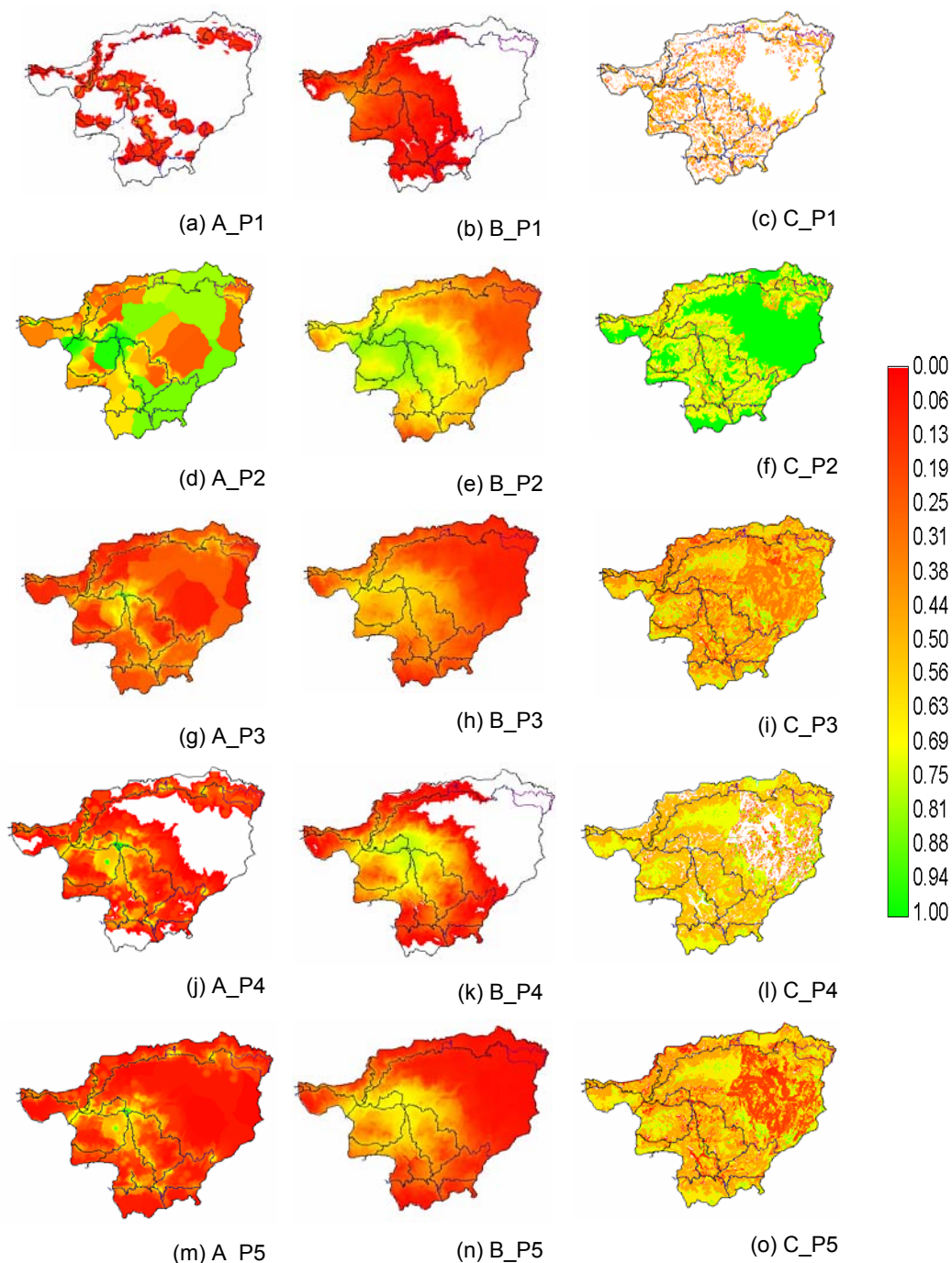


Figura 7 – Imagens dos cenários de avaliação dos grupos de factores A, B e C

Para os factores associados à actividade industrial (grupo A), verifica-se que à medida que aumenta o risco e a compensação de critérios, a localização das áreas de maior aptidão concentra-se em torno de Vieira do Minho.

Para os factores associados a opções administrativas e sócio-económicas (grupo B), verifica-se que existem dois pontos extremos relativos à concentração de áreas aptas no espaço em análise, correspondentes às combinações de (risco mínimo/ausência de *trade-off*) e (risco máximo/ausência de

trade-off), aumentando a aptidão nesse sentido. Nas situações de risco neutro, aumentando o *trade-off* a concentração de *scores* mais elevados diminui, verificando-se uma diluição da aptidão no sentido do interior para o exterior. As áreas de maior aptidão localizam-se em torno de Vieira do Minho e principal via de acesso à saída do lado oeste do concelho;

Para os factores associados ao ordenamento do território (grupo C), existem duas situações extremas de reduzida e elevada aptidão, correspondentes a cenários de (risco mínimo/ausência de *trade-off*) e (risco máximo/ausência de *trade-off*), respectivamente. Relativamente aos cenários de risco neutro e variação de compensação de critérios, verifica-se a existência de áreas “explodidas”, diminuindo a amplitude da aptidão ao longo do território com o aumento de *trade-off* e aumentando a concentração de áreas de maior aptidão disponíveis.

De um modo geral, para todos os cenários relativos aos três grupos de critérios, verifica-se que os cenários que melhor identificam a localização de áreas de maior aptidão são os correspondentes às situações de risco neutro e variação de *trade-off*. Aos cenários de baixo risco/ausência de *trade-off* e aos de risco neutro/ausência de *trade-off* correspondem grandes áreas de aptidão nula. Os cenários de alto risco/ausência de *trade-off* são os que apresentam áreas mais extensas de grande aptidão, devido ao facto de pertencerem a um contexto avesso ao risco.

É importante referir que não se assiste apenas a variações em valor dos *scores*, resultantes do ponto de decisão escolhido - risco e *trade-off* - mas também a variações espaciais das superfícies de *score* no território, o que significa que a adopção de determinado cenário de avaliação em determinado momento, por razões que não cabe aqui discutir, corresponde à assunção de uma atitude de decisão que tem reflexos no território. Esta questão é bem evidente quando se compara, por exemplo, a imagem do cenário A_P1 (risco mínimo, sem *trade-off* - do grupo de critérios associados à actividade industrial) com a imagem do cenário A_P2 (risco máximo, sem *trade-off* - do mesmo grupo de critérios); na primeira a área de máximo *score* localiza-se em áreas limítrofes da Vila de Vieira do Minho e a Oeste do território, próximo da saída Oeste do concelho e das indústrias existentes, enquanto a segunda confere grande aptidão ao território; na primeira existe uma área apreciável de aptidão nula, do ponto de vista deste grupo de critérios, enquanto na segunda, por via do máximo risco, todas as áreas têm alguma aptidão, sendo que as áreas de *score* zero no primeiro cenário não são necessariamente as de mais baixo *score* no segundo cenário.

Na Figura 8 apresentam-se as imagens dos cenários finais, resultantes da combinação das imagens do 1º nível, tendo também sido consideradas as exclusões, o que justifica a presença de muitas áreas de aptidão nula (*score* nulo)

O Cenário_1 combina linearmente (WLC) três imagens de risco neutro e máximo *trade-off* (A_P3, B_P3, C_P3), atribuindo maior peso (0.50) aos critérios associados à actividade industrial e igual peso (0.25) aos critérios associados a opções administrativas e sócio-ecónomicas e ao ordenamento do território. Verifica-se que as zonas de maior aptidão se localizam em torno de Vieira do Minho originárias dos altos *scores* existentes na mesma região da imagem A_P3, a acrescer o facto de ser este o cenário com maior peso. O Cenário_2 resulta da combinação linear de três imagens com *trade-off* parcial e risco neutro (A_P5, B_P5, C_P5), atribuindo igual peso (0.40) aos critérios associados à actividade industrial e a

opções administrativas e sócio-económicas e menor peso (0.20) aos critérios associados ao ordenamento do território. Relativamente ao cenário_1 confere menor aptidão ao território o que pode dever-se à menor compensação de critérios, em que os *scores* de menores valores são menos compensados pelos *scores* de maiores valores e também por se atribuir igual peso a A_P5 e B_P5, duas imagens com maior número de *scores* com valores baixos.

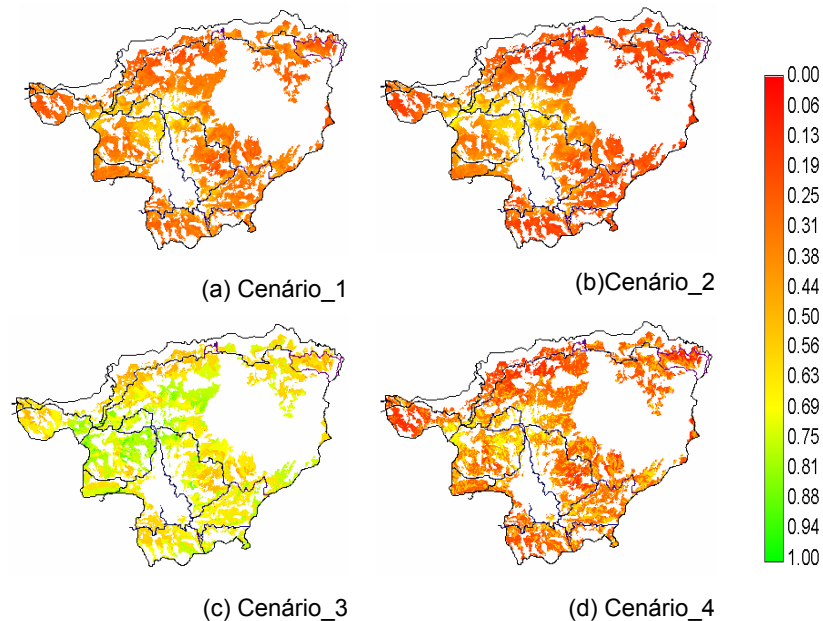


Figura 8 – Imagens dos cenários finais de avaliação

O Cenário_3 resulta da combinação linear de três cenários ditos otimistas (risco máximo) e ausência de *trade-off*, o que justifica que quase todo o território, com excepção das áreas de exclusões, tenha grande aptidão para a localização industrial. O grande número de manchas verdes deve-se ao facto dos valores deste cenário resultarem dos melhores *scores* das três imagens combinadas, uma vez que grande parte das áreas de menor aptidão destas imagens coincidem com as exclusões e também por se atribuir maior peso (0.50) à imagem C_P2 (critérios associados ao ordenamento do território), que confere grande aptidão a todo o território. O Cenário_4 combina linearmente os cenários A_P2 (risco máximo, sem *trade-off*), B_P2 (risco máximo, sem *trade-off*) e C_P1 (risco mínimo, sem *trade-off*), atribuindo maior peso (0.50) aos critérios associados ao ordenamento do território e igual peso (0.25) aos critérios associados à actividade industrial e a opções administrativas e sócio-económicas. É de todos os cenários o que confere menor homogeneidade à aptidão do território. Por se introduzir na combinação um cenário pessimista (C_P1), embora sejam mantidos os pesos relativamente ao cenário_3, verifica-se uma grande diminuição de aptidão. As áreas com aptidão que se encontram localizadas a sudeste e a nordeste do território resultam de A_P2, no entanto o valor do *score* diminui, o que se deve aos valores mais baixos das imagens B_P2 e C_P1 nessas zonas. Na parte oeste as áreas de maior aptidão coincidem com as de A_P2 e B_P2, o que também justifica a presença de algumas células verdes (*score* alto). As áreas de menor aptidão resultam da combinação dos *scores* mais baixos de B_P2 e A_P2.

A comparação entre as respectivas imagens mostra um comportamento semelhante para três dos cenários gerados, havendo um quarto cenário (cenário_3) que se destaca pela elevada abrangência das

áreas aptas no território. Passando de uma situação de risco neutro/máximo *trade-off* e maior peso para o factor relativo à actividade industrial (Cenário_1), para outra de risco neutro/*trade-off* parcial e igual peso para os factores referentes à actividade industrial e opções administrativas e sócio-económicas (Cenário_2), verifica-se que diminui a amplitude da aptidão do solo havendo maior concentração das áreas mais aptas. Por combinação de cenários com ausência de *trade-off* e diferentes níveis de risco para o factor relativo ao ordenamento do território, o qual tem maior peso no procedimento WLC (Cenário_3 e Cenário_4), é visível na solução que a aptidão tem uma quebra bastante acentuada quando se substitui o cenário de máximo risco pelo de mínimo risco, dispersando-se a gama de scores de maiores valores. Verifica-se ainda uma diminuição da concentração de pixels com maiores valores, formando áreas de maior aptidão menores e mais dispersas. Aumentando o risco e diminuindo o *trade-off* dos cenários combinados, aumenta o número de áreas aptas.

Analisando todo o espectro de avaliação, poder-se-à afirmar que o Cenário_1 conduz a uma maior concentração de áreas aptas. Estas localizam-se em zonas envolventes a Vieira do Minho (sede do concelho), saída oeste do concelho (envolvente à EN103) por influência da proximidade a outras localidades, como Porto, Braga e Guimarães.

5.4 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM MAIOR APTIDÃO

Procedeu-se à identificação de áreas mais aptas para localização industrial dentro do território do município de Vieira do Minho. A análise efectuou-se de dois modos: identificação do número de pixels com maior aptidão que deverão perfazer uma determinada área; identificação de uma área de maior aptidão com uma superfície pré-definida.

Analisando as zonas industriais existentes e previstas no Plano Director Municipal de Vieira do Minho, verifica-se que ocupam um total de 42 000m², o que equivale na imagem *raster* a 105 pixels. Desta forma definiu-se que a área a procurar seria de 50 000m², uma vez que não tem interesse ser inferior à definida em PDM. Para atingir o objectivo proposto foi traçada a seguinte regra de decisão: ordenar os pixels da imagem por ordem decrescente do seu *score* e agrupar as células contíguas, sendo atribuído a cada grupo um número inteiro. A solução será encontrada quando o número de pixels agrupados perfizer a área pretendida. Só serão tidos em conta para a solução os grupos cuja área não seja inferior a 10 000m². É um processo iterativo que se inicia com um determinado número de pixels (*n*) que será incrementado até se atingir a solução pretendida, satisfazendo a regra de decisão. A ordem de entrada dos pixels neste processo é feita do maior *score* para o menor *score*. Procurou seleccionar-se para esta avaliação cenários que representassem os pontos de vista dos empresários e do ordenamento do território, de forma a fazer-se uma análise das localizações de áreas mais aptas em cada um destes contextos.

Para a primeira avaliação utilizou-se o Cenário_1, procurando desta forma encontrar as melhores áreas para a localização industrial. A solução encontrada para *n*(inicial) = 395 corresponde a três zonas com áreas 27 600m², 19 600m² e 10 000m², respectivamente, perfazendo o total de 57 200m². Na Figura 9 encontra-se o resultado encontrado.

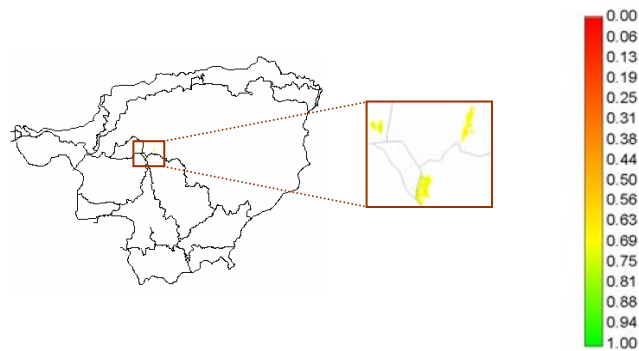


Figura 9 – Áreas de maior aptidão relativas ao Cenário_1

Verifica-se que se trata de pequenos aglomerados, localizados próximo de Vieira do Minho. O score com maior valor é de 0.749, que em termos de aptidão corresponde a 75% do máximo, o que poderá ser justificado pela imposição de limite mínimo de área que poderá eliminar scores mais elevados.

Por processo semelhante, alterando apenas a segunda regra de decisão, procurou-se um único espaço de maior aptidão para o uso industrial com área não inferior a 50 000m². Para tal foram considerados o Cenário_3 e o Cenário_4. Escolheram-se estes cenários por mostrarem maior aptidão na zona dos espaços industriais classificados em PDM, e por isso possibilitarem a avaliação destes em termos de área e localização.

As Figuras 10 e 11 apresentam as soluções encontradas para cada um dos cenários avaliados.

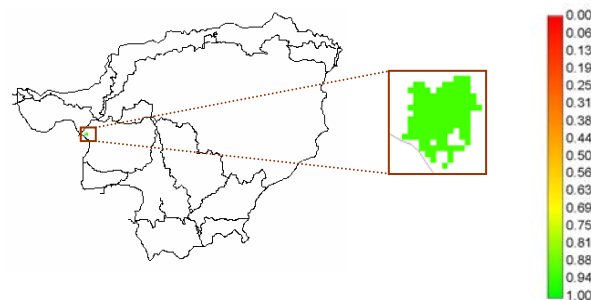


Figura 10 – Área de maior aptidão relativa ao Cenário_3

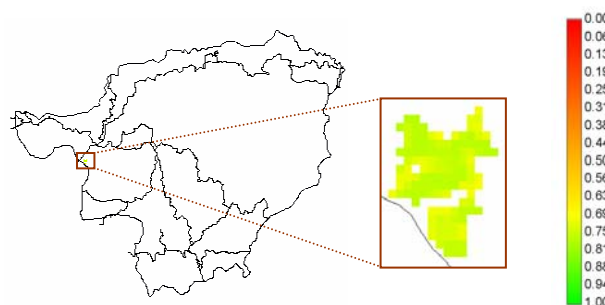
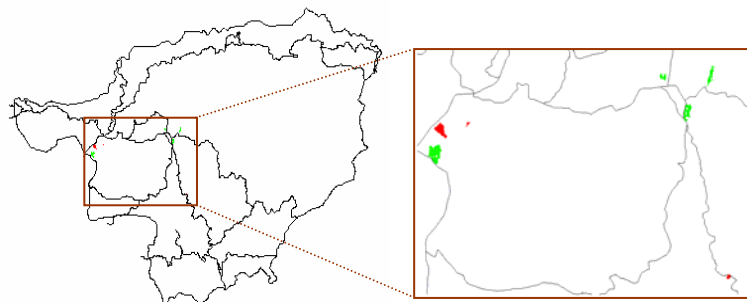


Figura 11 - Área de maior aptidão relativa ao Cenário_4

A solução para ambos os cenários corresponde a uma área única de 50 400m², iniciando-se o processo iterativo com 715 e 900 pixels, respectivamente. Pela análise dos resultados verifica-se que a solução relativa ao Cenário_3 apresenta melhores valores que a do Cenário_4, apresentando scores mais altos.

A razão disto acontecer deve-se ao facto de, para o Cenário_3 a solução ter sido encontrada com um número de pixels inicial igual a 715, enquanto que para o Cenário_4 a solução foi obtida com $n(\text{inicial}) = 900$, o que quer dizer que para o resultado do Cenário_4 foram eliminados pixels com scores mais altos que os relativos à solução. Apesar disto, não se podem considerar maus os resultados referentes ao Cenário_4, pelo que poder-se-à afirmar que ambos os cenários apresentam grande aptidão para a área encontrada.

Para as três avaliações efectuadas, verifica-se que uma das áreas encontradas se aproxima geograficamente a uma das zonas classificadas em PDM para uso industrial, como se pode observar na Figura 12. As restantes áreas identificadas localizam-se nas proximidades da sede de concelho, Vila de Vieira do Minho.



Legenda:

■ - Áreas previstas e existentes classificadas em PDM

■ - Áreas de maior aptidão identificadas

Figura 12 – Áreas industriais avaliadas e existentes no Município de Vieira do Minho

Pela análise das áreas identificadas pode concluir-se que embora haja zonas com grande aptidão (relativa, no contexto estrito do município), quando se agregam as células de maior score para identificar uma área contínua da aptidão, verifica-se que se trata de pequenas áreas. Isto deve-se fundamentalmente ao grande declive do relevo do território que restringe o espaço adequado para a implantação de instalações industriais e também à não existência de infra-estruturas básicas em algumas freguesias do concelho.

6 – CONCLUSÕES

Do ponto de vista instrumental, o modelo utilizado afigura-se interessante, pelo facto de emular de forma transparente e bem estruturado um processo de decisão.

O facto do modelo ser implementado em ambiente SIG permite, sempre que surjam alterações ao território, como por exemplo o aparecimento de um novo nó de auto-estrada ou de novas infra-estruturas no concelho, refazer facilmente a avaliação, bastando considerar para a análise os mapas de base actualizados e proceder à elaboração de novos mapas finais de aptidão.

Para além desta característica de base, o seu maior potencial reside na possibilidade de, através do operador de agregação OWA (*Ordered Weighted Average*), desenvolver cenários de avaliação baseados

na atitude de risco (*ANDness*) e compensação entre critérios (*trade-off*), obtendo assim em formato geográfico um espectro estratégico de decisão.

Pelas aplicações apresentadas a aplicabilidade do modelo ficou amplamente demonstrada, quer na perspectiva da sua operacionalidade quer na perspectiva da sua utilidade.

No mais baixo nível de análise, a agregação de critérios permite uma excelente leitura do território de estudo, útil também em contextos diversos daquele que é objecto do presente modelo. A complexidade envolvida na criação, por exemplo, dum mapa de acessibilidade do município ou dum mapa de proximidade a infra-estruturas é eficientemente tratada e sintetizada fazendo uso das ferramentas de análise espacial e das técnicas multicritério, resultando em imagens sectoriais do território.

No nível intermédio de análise obtiveram-se cenários de avaliação para cada um dos três grandes grupos de critérios considerados.

Os diferentes cenários, que definem um espaço estratégico de decisão cobrindo cinco combinações de risco/*trade-off*, deram origem a um conjunto de imagens cuja sequência permite visualizar o comportamento espacial da aptidão. Aos cenários de baixo risco/baixo *trade-off* correspondem grandes áreas de aptidão nula, enquanto nos cenários de alto risco/baixo *trade-off* as manchas amarelas/verdes de mais alto score avançam sobre as áreas brancas dos primeiros, oferecendo mais alternativas de localização.

Alguns dos cenários resultantes da agregação de critérios do segundo nível foram combinados para gerar os quatro cenários de avaliação finais, os quais foram então utilizados na identificação das áreas de maior aptidão do concelho.

Relativamente à identificação de áreas com maior aptidão, é notável o bom desempenho de áreas localizadas a oeste do território em estudo e de áreas com aptidão média-alta localizadas próximo da sede de concelho. Este resultado deve-se sobretudo aos cenários escolhidos para a análise; um favorecendo o ponto de vista dos empresários, identificando por isso as áreas de maior aptidão próximo da Vila de Vieira do Minho; e os outros favorecendo o ponto de vista do ordenamento do território localizando as áreas mais aptas numa zona de baixo declive.

Dos aglomerados industriais existentes e previstos no Plano Director Municipal, apenas os localizados a oeste da sede de concelho estão próximos das áreas identificadas.

Como nota final, refira-se que o desenvolvimento do estudo da avaliação da aptidão neste trabalho conduz sempre a resultados relativos ao município em causa, sendo todas as interpretações feitas neste âmbito estrito e jamais em termos absolutos.

REFERÊNCIAS

- 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.
- Carver, S. J. (1991), Integrating Multi-Criteria Evaluation with Geographical Information Systems. *International Journal of Geographic Information Systems*, Vol.5(3), pp.321-339.

- 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 Beinat, E. ; Nijkamp, P. (Eds), *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 227-251.
- Malczewski, J. (1999), *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Mendes, José F.G.; Silva, J.; Rametta, F.; Giordano, S. (1999), Mapping Urban Quality of Life in Portugal: A GIS Approach. In Bento, J.; Arantes e Oliveira, E.; Pereira, E. (Eds), *EPMESC VII: Computational Methods in Engineering and Science*, Vol. 2, 1107-1115. Macao: Elsevier.
- Mendes, José F.G. (2000), Decision Strategy Spectrum for the Evaluation of Quality of Life in Cities. In *Proceedings of the International Conference on Quality of Life in Cities - ICQOLC 2000*, Singapore.
- Ramos, R. A. R. (2000), *Localização Industrial. Um Modelo Espacial para o Noroeste de Portugal*. Tese de Doutoramento. Braga: Universidade do Minho.
- Saaty, T. L. e Kearns, K. P. (1985), *Analytical Planning*. Oxford: Pergamon Press Ltd.
- Soares, M.E.S. (2002), *Cenários de Localização Industrial em ambiente SIG*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Municipal. Braga: Universidade do Minho.
- Voogd, H. (1983) - *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. London: Pion Ltd.
- Winterfeldt, D. Von; Edwards, W. (1986), *Decision Analysis and Behavioural Research*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Yager, 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.