

Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra
Institute of Systems Engineering and Computers
INESC - Coimbra

Agostinho José Jordão Gonçalves
ajordao@dec.uc.pt

João Manuel Coutinho Rodrigues
coutinho@dec.uc.pt

Estudos de Impacte Ambiental em Empreendimentos de Engenharia, com recurso a Tecnologia SIG e
Avaliação Multicritério

**PARTE II – Aplicação da Proposta Metodológica em Infraestruturas Rodoviárias: O Tema
Ambiental Geomorfologia e Geologia**

Nº 12/2009

Julho de 2009

ISSN: 1645 – 2631

Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra
INESC – Coimbra
Rua Antero de Quental, 199; 3000-033 Coimbra; Portugal
www.inescc.pt

ABSTRACT

The Environmental Impact Study (EIS) is a key formal document in Portuguese Environmental Impact Assessment context procedure, in order to obtain the specific authorization of a proposal project or plan. It is the outcome of a set of methodological assessments and activities undertaken to identify and assess environmental impact induced by those proposal project or plan, presenting the mitigation measures and the monitoring plan. If the proposed project or plan complies several alternatives, the “most environmental friendly” alternative must be indicated.

This work presents a proposal methodology to support these set of methodological assessments and activities in the GIS framework environment, supported by GIS’s own capability or linked to specific external models, becoming itself a contribution towards the development of a specific multicriteria-spatial decision support system, in the environmental domain.

This proposed methodology includes the design of a simple interactive routine developed in Visual Basic® - the ArcView® embedded languages – in order to support the Screening, Scoping and the significance assessment process, and selection of the environmental impact indicators. The GIS functionalities are used to predict environmental impacts and measure related impact indicators. These impact indicators are used as criteria, in the multicriteria analyses module, based essentially on the ELECTRE III method. This permits a final preorder list of the alternatives, sorted from the “most environmental friendly“ to the worst.

In this work, an EIA case study approach of a proposed highway in Central Portugal, is used to illustrate the application of this proposed methodology

This article constitutes the second in a series, in preparation, where a methodology is presented and applied for the case study.

Keywords: Environmental impact study, environmental impact assessment, geographical information system, environmental modeling, multicriteria evaluation, multicriteria spatial decision support system, gis applications.

RESUMO

O Estudo de Impacte Ambiental (EIA), é uma peça fundamental no processo de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) a que são submetidos alguns projectos de engenharia. Ele é o resultado de um conjunto de actividades e avaliações metodológicas conducentes a identificar e avaliar possíveis impactes ambientais induzidos por esse empreendimento, apresentando as medidas de minimização desses impactes e o plano de monitorização. No caso de existirem múltiplas alternativas em análise, o EIA deve indicar também a alternativa “ambientalmente mais favorável”.

O presente trabalho apresenta uma proposta metodológica para apoiar esse conjunto de actividades e avaliações metodológicas, tendo como estrutura integradora um SIG - apoiado nas suas próprias potencialidades capazes de contribuir para esse conjunto de tarefas - ligado a modelos externos específicos, constituindo-se assim como uma contribuição para o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão espacial multicritério, no domínio ambiental.

Essa proposta metodológica engloba a concepção duma rotina interactiva, em *Visual Basic®* - a linguagem embebida do *ArcView®* - para suportar os processos de *Screening*, *Scoping*, avaliação da significância e selecção dos indicadores de impacte ambiental. As funcionalidades do SIG, associadas a módulos externos específicos, são usadas para prever e quantificar os impactes e os respectivos indicadores ambientais. Estes indicadores de impacte são então utilizados como critérios, no módulo de avaliação multicritério que utiliza, preferencialmente, o método ELECTRE III. Isso permite apresentar uma preordenação final das alternativas, desde a “ambientalmente mais favorável” até à mais adversa.

Como caso de estudo, essa proposta metodológica é aplicada a um Estudo de Impacte Ambiental (EIA), referente ao projecto de construção de um novo troço de auto-estrada que liga Ílhavo ao Lanço do IC1 - Mira/Aveiro, no seu sublanço Vagos/Aveiro Sul, denominado SCUT DA COSTA DA PRATA.

O presente relatório constitui o segundo de uma série, em preparação, onde se apresenta e aplica essa proposta metodológica ao referido caso de estudo.

Palavras-chave: Estudos de impacte ambiental, avaliação ambiental, sistemas de informação geográfica, modelação ambiental, avaliação multicritério, sistema de apoio à decisão espacial multicritério.

NOTAÇÃO UTILIZADA

AAD	- Atlas do Ambiente Digital
AIA	- Avaliação de Impacte Ambiental
AMD	- Ambientalmente Mais Adversa
AMF	- Ambientalmente Mais Favorável
AMT	- Altura Máxima de Talude
CAD	- <i>Computer Aided Design</i>
CO	- Monóxido de Carbono
EIA	- Estudo de Impacte Ambiental
EM	- Erosão Média
EP	- Estradas de Portugal, S.A
ET	- Erosão Total
EUPS	- Equação Universal de Perda/Degradação de Solo
F.A.O	- <i>Food and Agriculture Organization</i>
GISBASE	- Base de Dados Geográficos
HC	- Hidrocarbonetos
IA	- Instituto do Ambiente
IGEOE	- Instituto Geográfico do Exército
ISA	- Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa, Portugal
IST	- Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Portugal
KB	- <i>Knowledge Base</i>
MDT	- Modelo Digital do Terreno
POP	- Preordenação Parcial
PP	- Plano de Pormenor
RAN	- Reserva Agrícola Nacional
REN	- Reserva Ecológica Nacional
SIG/GIS	- Sistema de Informação Geográfica / <i>Geographical Information System</i>
SNIG	- Sistema Nacional de Informação Geográfica
SNIRH	- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SPA	- <i>Spatial Analyst</i>
S.R.O.A.	- Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário
SST	- Sólidos em Suspensão
USDA-SCS	- <i>United States Department of Agriculture - Soil Conservation Service</i>
USLE	- <i>Universal Soil Loss Equation</i>
VAT	- <i>Value Attribute Table</i>
VTE	- Volume Total de Escavação
VB	- <i>Visual Basic</i>

Índice

1. Objectivo	1
2. Aplicação da proposta metodológica.....	1
2.1. <i>Gisbase</i>	1
2.2. Base de conhecimento, <i>KB</i>	2
2.3. <i>Scoping</i> e identificação de impactes.....	2
2.4. Mitigação de impactes.....	3
2.5. Predição de impactes e classificação temática das alternativas.....	4
3. O tema Geomorfologia e Geologia.....	7
3.1. O tema Geomorfologia e Geologia - SIG.....	7
3.2. Modelação SIG da Equação Universal de Perda do Solo.....	8
3.2.1 Modelo matemático.....	9
3.2.2 Metodologia adoptada no caso de estudo.....	10
3.2.3 Factor de Erosividade da Precipitação, <i>R</i>	10
3.2.4 Factor de Erodibilidade do Solo, <i>K</i>	13
3.2.5 Factor Fisiográfico, <i>LS</i>	15
3.2.6 Factor de Coberto Vegetal <i>C</i> e Factor de Prática Agrícola <i>P</i>	17
4. Avaliação Multicritério de alternativas para o tema Geomorfologia e Geologia.....	22
4.1. Avaliação Temática.....	22
4.2. Avaliação Geral.....	27
5. Referências	30
6. Sites visitados	32

1. Objectivo

O objectivo do presente trabalho é apresentar uma proposta metodológica para apoiar a realização de um EIA, em especial a sua etapa de avaliação de impactes ambientais, a qual fazendo uso das funcionalidades de um SIG e da sua integração com uma base de métodos multicritério de apoio à decisão, permita identificar os impactes relevantes, propor medidas de mitigação, quantificá-los, avaliá-los e, finalmente, avaliar as alternativas, com o intuito de, por exemplo, apresentar a sua ordenação desde a “**ambientalmente mais favorável**” até à “**ambientalmente mais adversa**”. Os SIG surgem como uma plataforma integradora para o desenvolvimento de todas as tarefas, apoiando-se nas suas próprias funcionalidades e na associação com modelos externos específicos, constituindo-se assim como uma contribuição para o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão espacial multicritério, no domínio ambiental.

Como caso de estudo, essa proposta metodológica é aplicada a um EIA referente ao projecto de construção de um novo troço de auto-estrada que liga Ílhavo ao Lanço do IC1-Mira/Aveiro, no seu sublanço Vagos/Aveiro Sul, denominado SCUT¹ DA COSTA DA PRATA.

2. Aplicação da proposta metodológica

A proposta metodológica aplica-se às várias fases de elaboração do EIA (identificação, predição e avaliação de impactes, mitigação e avaliação de alternativas), sendo seleccionados os impactes considerados irreversíveis a longo prazo, independentemente de serem gerados na fase de construção, funcionamento ou desactivação do empreendimento.

Previamente foi necessário reunir a informação para as bases de dados geográficos (GISBASE) e para a base de conhecimentos (KB), como se descreve a seguir.

2.1. Gisbase

Uma parte da informação geográfica da área de estudo, foi adquirida ao IGEOE (Instituto Geográfico do Exército), enquanto outra foi recuperada do EIA. No primeiro caso foi adquirida a seguinte informação

¹ SCUT – Acrónimo de “Sem Custos para o Utilizador”

digital temática em formato *dgn*: **altimetria, caminhos, edifícios, hidrografia, rede ferroviária, rede viária, toponímia, e vegetação** - formato vectorial, à escala 1:25000 - e um **MDT** (modelo digital do terreno) da Carta Militar de Portugal nº 185 - baseado numa matriz regular de pontos com valores de elevação do terreno, com a resolução espacial de 8 metros. Esta informação geográfica é referenciada ao Sistema de Projecção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), Datum de Lisboa. No segundo caso recuperou-se um *raster* (imagem em formato *TIFF*) da Carta Militar nº 185, e desenhos em formato *dwg*, com a delimitação espacial de vários aspectos ambientais (**geologia, biótopos, condicionantes, ocupação do solo, qualidade de paisagem, recursos mineiros**). Essa informação foi convertida para *shapefiles* ou *geodatabase*, recorrendo ao *Conversion Tools* do *ArcView*[®], sendo depois guardada numa directoria. Outra informação foi também recolhida em *sites* de organismos estatais (ex. SNIG, IA, EP, SNIRH).

2.2. Base de conhecimento, KB

A informação desta base de conhecimentos é constituída pelo tipo de projectos definidos pela legislação portuguesa e pelas medidas de mitigação, já referidos nos capítulos anteriores, e pela informação digital sobre o empreendimento. Esta informação digital é constituída por ficheiros *cad* sobre as várias alternativas ao traçado da estrada, disponível no EIA. Estes ficheiros foram guardados noutra directoria.

2.3. Scoping e identificação de impactes

Esta fase corresponde à identificação dos impactes mais previsíveis, ao seu estudo (análise e avaliação), à definição do âmbito desse estudo, e delimitação geográfica desse estudo (área de estudo). De acordo com a proposta metodológica, isso é realizado recorrendo a uma matriz de interacção, por exemplo, a Matriz de *Leopold* para este tipo de projectos. Munidos dessa matriz são seleccionados os temas e os elementos ambientais, bem como os indicadores de impacte ambiental. O processo de *Screening* mostra que neste caso, como o projecto contempla uma estrada com uma única faixa de rodagem (sem separador e com duas vias) e com menos de 10 km, está excluído da lista dos projectos a submeter ao processo de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) constante do Anexo I do Decreto-Lei nº 69/2000, de 3 de Maio. No entanto, o Anexo II do mesmo diploma obriga a submeter a AIA os projectos relativos a estradas referentes a Itinerários Principais e Complementares, não contempladas no Anexo I. Como é referido no

EIA que o troço em causa faz parte integrante do sub-lanço do IC1 (Itinerário Complementar 1) entre Vagos e Aveiro Sul, então, salvo análise jurídica especializada, o projecto deverá ser submetido a AIA e ser elaborado o correspondente EIA.

A **KB** contempla para este tipo de projectos, os dez temas ambientais: **Geomorfologia e Geologia; Recursos Hídricos; Solos; Atmosfera; Sistemas Ecológicos; Aestética; Ambiente Sonoro; Condicionantes e Ordenamento; Socioeconómicos.**

Atendendo à caracterização ambiental da área de estudo e à Matriz de Leopold para este tipo de projectos, todos esses temas sofrem impacte, pelo que foram seleccionadas para estudo. Analogamente, para cada tema foram seleccionados da **KB** os elementos ambientais susceptíveis de sofrerem impacte. Para cada elemento ambiental seleccionado, foram definidos os Indicadores de Impacte Ambiental que vão servir de base à comparação entre alternativas. No âmbito deste trabalho foram seleccionados os temas, elementos e indicadores ambientais, apresentados na Tabela 2.1. Esses são alguns dos exemplos dos elementos e indicadores ambientais que poderiam ser usados e que, no âmbito deste trabalho, se tomaram a título exemplificativo. A extensão geográfica da área de estudo depende do tipo e características do impacte a analisar. No presente trabalho essa extensão foi confinada à Carta Militar nº 185.

2.4. Mitigação de impactes

Nesta fase procede-se à selecção das medidas de mitigação, efectivamente a implementar, por tema ambiental. Para isso, em diálogo com a rotina interactiva, o utilizador selecciona um conjunto de medidas de mitigação usualmente empregues neste tipo de projecto e por tema ambiental, apoiando-se nas tabelas que contêm as medidas de mitigação, organizadas na directoria Mitigação, da KB. Ao seleccionar as medidas efectivamente a implementar o utilizador define o valor do factor de ponderação K que é definido pela relação entre o número de medidas de mitigação efectivamente a implementar e o número total de medidas previstas na base de conhecimento (KB), para o tema ambiental em análise (ver Research Report INESC-Coimbra, nr 06/2008, em http://www.inescc.pt/documentos/6_2008.pdf). Esse factor K irá afectar os pesos dos critérios na avaliação multicritério (Tabela 2.2).

2.5. Predição de impactes e classificação temática das alternativas

A predição de impactes implica a quantificação dos impactes previsíveis. A quantificação de impactes consiste na determinação da sua magnitude e na avaliação da sua significância.

Tabela 2.1 – Temas, Elementos e Indicadores Ambientais

Tema Ambiental	Elemento Ambiental	Indicador de Impacte Ambiental	Tipo
Geomorfologia e Geologia	Relevo e topografia	Volume total de escavação (m3)	Qt
		Volume relativo de escavação (m3)	Qt
	Estabilidade de vertentes	Altura máxima de talude	Qt
		Erosão média na zona da estrada(t/ano/h)	Qt
Recursos Hídricos	Fluxo das águas superficiais	Número de passagens hidráulicas afectadas.	Qt
		Volume de escoamento superficial directo (m3)	Qt
	Fluxo de águas subterrâneas	Poços e furos directamente afectados	Qt
	Qualidade das águas superficiais	Acréscimo de concentração de SST, HC e metais pesados	Qt
	Qualidade das águas	Distância à captação publica de água(m)	Qt
Solos	Erosão	Erosão total (t/ano)	Qt
	Impermeabilização	Área total impermeabilizada (m2)	Qt
Atmosfera	Qualidade do ar	Concentração de CO sobre o edifício A ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qt
		Concentração de CO sobre o edifício B ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Qt
Sistemas Ecológicos	Flora	Índice do valor ecológico da flora afectada	Qt
	Fauna	Índice do valor ecológico de mamíferos afectados	Qt
		Índice do valor ecológico de aves afectadas	Qt
Ocupação do Solo	Agrícola	Total de área agrícola afectada (m2)	Qt
	Floresta	Total de área de floresta afectada (m2)	Qt
		Total de área floresta de produção afectada (m2)	Qt
		Total de área de matos afectada (m2)	Qt
	Habitacionais	Total de área habitacional afectada (m2)	Qt
	Indústria e Serviços	Total de área industrial e serviços afectada (m2)	Qt
Aestética	Paisagem	Índices de paisagem afectada	Qt
Ambiente Sonoro	Ruído	(3) Área total de zona urbana exposta a um $\text{LAeq} \geq 55$	Qt
		(4) Área total de zona urbana exposta a um $\text{LAeq} \geq 55$	Qt
		Percentagem de (3) em relação ao actual (%)	Qt
		Percentagem de (4) em relação ao actual (%)	Qt
Condicionantes e Ordenamento	RAN	Área de RAN afectada (m2)	Qt
	REN	Área de REN afectada (m2)	Qt
	Planos de Pormenor	Área de PP afectada (m2)	Qt
SocioEconómico	Acessibilidade	Ganho de tempo (minutos)	Qt
	População Activa	Emprego induzido	Qt
	Expropriações	Valor de expropriações	Qt

Tabela 2.2 – Medidas de mitigação a implementar e factor K

Tema	Medidas de Mitigação	Fase	Uso	K
Geomorfologia e Geologia	Tratamento de inclinação de taludes	C	S	4/7
	Construção de canais de crista de talude	C	S	
	Valetas pé de talude	C	S	
	Construção de banquetas	C	N	
	Esporões e máscaras drenantes	C	N	
	Manchas de empréstimo de preferência em pedreiras da região	C	N	
	Trincheiras drenantes com colocação de geotextil	C	S	
Recursos Hídricos	Bacias de tratamento de águas de escorrência	F	N	4/12
	Bacias de retenção de emergência	F	N	
	Passagens hidráulicas adicionais	F	N	
	Valetas com secção alargada	F	N	
	Maior numero de pontos de lançamento de água	F	S	
	Pavimento anti-ruído, poroso ou drenante	F	S	
	Esporões e máscaras drenantes	F	S	
	Entulhamento dos poços afectados	F	S	
	Monitorização das águas subterrâneas em pontos estratégicos	F	N	
	Monitorização e controle de erosão e cheias	F	N	
	Monitorização do teor de poluentes na água	F	N	
	Montagem de rede de medição da variação do nível freático	F	N	
Solos	Localização de áreas de empréstimo e depósito	C	S	2/2
	Restrição de movimentação fora da área de trabalho	C	S	
Atmosfera	Uso de técnicas de construção redutoras de poeira	C	S	2/3
	Dispositivos de redução de poluição em máquinas e instalações	C	S	
	Criação de barreiras verdes na área envolventes à estrada	F	N	
Sistemas Ecológicos	Local de estaleiros e caminhos fora da floresta e linhas de agua	C	S	3/5
	Faixa sem vegetação, nem material lenhoso, paralelo a estrada	F	N	
	Utilização de malha progressiva e rede	F	S	
	Adopção de reflectores para animais	F	S	
	Passagens especiais para fauna	F	N	
Ocupação do Solo	Viadutos em substituição de aterros	F	N	2/3
	Utilização de áreas degradadas para locais de estaleiro e depósito	C	S	
	Restabelecimento de caminhos agrícolas e florestais	F	S	
Aestética	Tratamento especiais de taludes e áreas adjacentes	F	N	3/7
	Cortinas arbóreas e arbustivas	F	N	
	Escolha de espécies vegetais ajustadas	F	N	
	Indicação de elementos de valor cultural ou turístico	F	S	
	Preservação de elementos do património natural ou cultural	F	S	
	Túneis ou estruturas do tipo “cut and cover”.	F	N	
	Acompanhamento arqueológico das escavações	C	S	

Ambiente Sonoro	Barreiras acústicas por sobre elevação de terras	C	N	2/4
	Pavimento anti-ruído, poroso ou drenante	F	S	
	Redução de velocidade de pesados em locais sensíveis	F	S	
	Barreiras acústicas e isolamento de fachadas	F	N	
Condicionantes e Ordenamento	Evitar locais sensíveis de RAN e REN	C	N	1/2
	Implementação de medidas de “ <i>non aedificandi</i> ” junto à estrada	F	S	
Socioeconómico	Muros de suporte para reduzir expropriações	C	N	9/10
	Guardas de segurança reforçadas em locais sensíveis	F	S	
	Adoptar iluminação em trechos que atravessem lugares sensíveis	F	S	
	Luminárias especiais que atenuem a difusão da luz	F	S	
	Localização de S.O.S	F	S	
	Colocação de instruções de procedimento em caso de acidentes	F	S	
	Restabelecimentos adicionais de vias e caminhos importantes	F	S	
	Recrutar mão-de-obra local	C	S	
	Procurar manter livres os habituais caminhos e passagens	C	S	
	Divulgação local dos condicionalismos á circulação	C	S	

Também foi estabelecido (ver Research Report INESC-Coimbra, nr 06/2008, em http://www.inescc.pt/documentos/6_2008.pdf) que uma medida dessa *magnitude* pode ser dada pelo valor do indicador de impacte ambiental seleccionado. Para a determinação desse valor recorre-se a modelos de simulação que permitem estimar a variação de um descritor ambiental. Nalguns casos, porém, essa *magnitude* pode ser determinada recorrendo apenas a simples operações de análise espacial, ou a operações de geoprocessamento disponibilizadas pelo SIG. Também, nesse anterior relatório, foi referido que a *significância* dos impactes tem a ver com a importância que lhes é dada pelos técnicos, opinião pública, instituições, etc. Assim todos os temas ou elementos ambientais vão ser avaliados de acordo com uma numa escala de 1 a 6, em função :

- Do seu potencial ambiental;

- Da sua sensibilidade à introdução do projecto;

- Do Risco de Impacte após Mitigação (este ponderado do factor K).

Assim, para cada tema é constituída uma matriz de decisão com os indicadores ambientais como critérios ou atributos, sendo o seu valor o desempenho de cada alternativa segundo cada critério.

3. O tema Geomorfologia e Geologia

Para avaliação da magnitude dos impactes sobre este tema e os seus elementos ambientais, foram seleccionados os indicadores ambientais indicados na Tabela 2.1. Assim, para o elemento **Relevo e Topografia**, foi seleccionado o indicador **Volume Total de Escavação (VTE)**, porque é uma “medida” do “rasgo” que é feito no terreno. O seu valor é obtido da consulta ao projecto rodoviário. Para o elemento **Estabilidade de Vertentes** foi seleccionada a **Altura Máxima de Talude (AMT)**, porque está relacionado com a inclinação do talude, sendo o seu valor também obtido da consulta ao projecto rodoviário. O indicador **Erosão Média (EM)** foi seleccionado porque a ocorrência de nascentes de água nos taludes de escavação, associados à erosão provocada pelo escoamento superficial, são susceptíveis de provocar instabilidade de taludes. Para a sua quantificação recorreu-se à construção de um **Mapa de Erosão do Solo** recorrendo às ferramentas e funcionalidades do *ArcView*® e da sua extensão *Spatial Analyst*® (*SPA*).

3.1. O tema Geomorfologia e Geologia - SIG

Segundo Rodrigues *et al.* (2000) a primeira referência conhecida a um processo de previsão da erosão, é atribuída a Zingg (1940), o qual se baseia apenas na relação entre a inclinação de uma encosta e o seu comprimento. Smith e Whitt (1984) adicionaram a esta expressão, parâmetros que traduzem a influência do coberto vegetal e das medidas de protecção do solo. Ainda segundo o mesmo autor, durante as décadas de 40 e 50 do século XX, foram adicionados termos à expressão base de modo a contemplar o efeito da erosividade da chuva e da erodibilidade do solo. Ao mesmo tempo desenvolveu-se o conceito de tolerância de perda de solo (Stamey e Smith, 1964; ASA, 1982), como a quantidade de solo que um terreno tolera perder até os danos serem excessivos, na qual se consideravam as diferenças de características de cada local, ao contrário da expressão obtida por Zingg, e suas posteriores modificações, de carácter mais generalista do ponto de vista geográfico.

Embora desde o início da década de 50 do Séc. XX existissem para cada região dos Estados Unidos da América uma série de equações que permitiam prever a quantidade de solo erodível, o Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura (USDA-SCS) (*United States Department of Agriculture - Soil Conservation Service*) insistiu na necessidade de uma expressão com um sentido mais

universal, ao invés das formulações com cariz regional. Assim, a partir do meio da década de 50 do Séc. XX, um grupo de trabalho liderado por W. H. Wischmeier e D. D. Smith, iniciou a compilação e análise de grandes quantidades de informação obtida a partir de trabalhos de campo que o SCS possuía, resultando em 1965 na USLE (*Universal Soil Loss Equation*), EUPS - em português - sendo essa, desde então, a formulação mais utilizada.

A **Erosão Hídrica** define-se como a quantidade de sedimentos que sai da bacia hidrográfica, podendo ser dividida em três diferentes tipos, consoante a sua origem (Cardoso, 1998, segundo Rodrigues *et al.*, 2000): **erosão superficial**, **erosão concentrada** ou **ravinosa** e **movimentos de massa**. A primeira é uma forma de erosão muito lenta que se caracteriza por uma remoção espacialmente uniforme das partículas, em que por meio de pequenos sulcos que se geram e cuja duração é efémera, quantidades significativas de sedimentos são transportados para jusante. Caso exista um canal de grande inclinação, e se reúnam condições que propiciem o início da erosão, como uma precipitação de grande intensidade associada à falta da existência de coberto vegetal que garanta a protecção necessária ao solo, aparecem ravinas que vão avançando para montante e provocam o destacamento de parcelas de solo. Este é quase de imediato transportado para jusante. Esta forma de **erosão** adjectiva-se de **concentrada** ou **ravinosa**. Finalmente, os **movimentos de massa**, são traduzidos por grandes parcelas de terra que escorregam pelas encostas, sendo transportadas quase instantaneamente para jusante. A **Equação Universal da Perda do Solo (EUPS)** refere-se apenas à **erosão superficial**, sendo, por isso, esta a única forma de erosão considerada neste modelo de análise.

3.2. Modelação SIG da Equação Universal de Perda do Solo

Os modelos analíticos no domínio da hidrologia são geralmente baseados em dados de natureza espacial. A **EUPS**, cuja formulação é composta por seis factores relacionados com dados relativos a ocorrências sobre a superfície terrestre, tais como a distribuição de pluviosidade, o coberto vegetal, o uso e práticas de conservação do solo e a própria configuração do relevo. De uma forma geral, através dos SIG podem ser objecto de representação e análise os diversos fenómenos que ocorrem sobre a superfície terrestre com representação cartográfica. Tirando partido desta capacidade, desenvolveu-se uma metodologia para avaliação da erosão do solo. Para o efeito, utilizando como plataforma o SIG *ArcView*[®] e a extensão *SPA*,

definiu-se uma metodologia para obtenção de um **Mapa de Erosão do Solo** com base no modelo matemático da **EUPS**. Esta potencialidade do SIG permite: a visualização da distribuição espacial da erosão; a análise e visualização do impacto de um empreendimento nessa distribuição; e a avaliação da magnitude desse impacto.

3.2.1 Modelo matemático

Como já foi referido anteriormente, a equação utilizada neste modelo é a Equação Universal da Perda do Solo. Segundo Tomás (1993):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (2.1)$$

onde

- A*: Perda de solo em toneladas métricas por hectare, por ano.(t/ha/ano);
- R*: Factor de erosividade da precipitação ou factor energético da chuva, sendo representado pelo índice EI_{30} (MJ.mm/h/ha/ano);
- K*: Factor de erodibilidade do solo, (t.h/MJ/mm). Define-se como a perda de solo de um talhão tipo com 22,13 metros de comprimentos, 9% de declive e nu, lavrado segundo o maior declive;
- LS*: Factor fisiográfico (adimensional). Considera simultaneamente o comprimento e o declive. É o produto das relações de comprimento *L* e de declive *S* que correspondem respectivamente ao quociente entre a perda de solo num talhão com um dado comprimento e um talhão com um comprimento de 22,13 metros, em condições idênticas, e ao quociente entre a perda de solo num talhão com um dado declive e um talhão com um declive de 9%;
- C*: Factor de coberto vegetal (adimensional). É a relação de coberto vegetal, traduzida pelo quociente entre a perda de solo de um talhão com uma determinada cultura e manejo e de um talhão continuamente em solo nu, em condições idênticas;
- P*: Factor de práticas de conservação (adimensional). Traduz o quociente entre a perda de solo de um talhão com uma determinada prática de conservação (agrícola) e de um talhão lavrado segundo a linha de maior declive, em condições idênticas.

Os dois últimos factores estão fortemente correlacionados pelo que entram em conjunto na **EUPS** agregados num único Factor CP. A **EUPS** é inicialmente desenvolvida utilizando unidades americanas, mas neste estudo foi usado o Sistema Internacional de Unidades (SI) (Foster *et al.*, 1981, segundo Tomás, 1993). A principal dificuldade associada a este tipo de estudo é conseguir aplicar uma expressão obtida experimentalmente para talhões com uma determinada dimensão, numa malha cujas células representam praticamente um domínio diferencial. Tentou-se assim, que cada célula fosse apenas parte de um conjunto e não uma “área de terreno” por si. A Tabela 2.3, adaptada de Meijerink, segundo Rodrigues *et al.* (2000), mostra para cada parâmetro da **EUPS**, a informação de base necessária e quais os procedimentos a utilizar para conversão dos dados para formato SIG.

3.2.2 Metodologia adoptada no caso de estudo

Elaboram-se quatro mapas *raster* para o caso de estudo, correspondendo cada um a uma parcela da equação EUPS, conforme se descreve a seguir.

3.2.3 Factor de Erosividade da Precipitação, R

Este factor, segundo Tomás (1993), é representado pelo índice EI_{30} (MJ.mm/h/ha/ano), definido como sendo o produto da energia cinética da precipitação pela máxima intensidade da precipitação em 30 minutos. Este índice anual é calculado independentemente para cada acontecimento pluvioso e somado para o conjunto dos acontecimentos do ano de modo a obter o respectivo valor anual. Wischmeier e Smith (1978), segundo Tomás (1993), consideram que um período de seis ou mais horas sem precipitação separa diferentes acontecimentos pluviosos. Estes autores referem, no entanto, que só devem entrar no cálculo de EI_{30} acontecimentos com um valor de precipitação superior a 12,5 mm. A energia cinética da chuvada por unidade de precipitação, é calculada pelas seguintes equações (Foster *et al.*, 1981, segundo Tomás, 1993):

$$e = 0,119 + 0,0873 \times \text{Log}10 \quad I \leq 76\text{mm} / h \quad (2.2)$$

$$e = 0,263 \quad I > 76\text{mm} / h \quad (2.3)$$

Em que e representa a energia cinética da precipitação em MJ/ha/mm e I a intensidade da precipitação em mm/h.

Tabela 2.3 – Informação necessária e procedimentos para conversão de dados para SIG, (adaptada de Meijerink, segundo Rodrigues *et al.*,(2000).

Parâmetros da EUPS	Informação necessária	Procedimentos para conversão dos dados para formato SIG
Erosividade	Pluviométrica	Interpolação espacial dos valores da precipitação e intensidade pluviométrica
Erodibilidade	Variação espacial dos tipos e famílias de solo. Tabelas de classificação do solo (F.A.O.)	Atribuição de valores correspondentes do factor K aos polígonos do mapa de tipos de solo, por reclassificação do mesmo
Comprimento das encostas	Modelo numérico do relevo, ou modelo de elevação do terreno, ou modelo digital do terreno (MDT)	Operação topológicas de conectividade e proximidade, que permitam criar uma função para cálculo do factor L na bacia hidrográfica
Inclinação das encostas	Modelo numérico do terreno	Reclassificação dos valores da inclinação por classes. Obtenção do factor S por aplicação de uma expressão com esse fim ao mapa das inclinações.
Técnica cultural	Variação espacial dos tipos de cultura; Cadastro das zonas agrícolas	Atribuição de valores do factor C aos polígonos do mapa de ocupação do solo, por reclassificação do mesmo.
Práticas de conservação	Variação espacial das obras de conservação	Reclassificação dos mapas com o valor do factor P, utilizando-se a unidade para zonas onde não existam práticas de conservação

Para cálculo da energia cinética total de chuvadas, os valores da energia cinética por unidade de precipitação, obtidos para períodos de intensidade constante, são multiplicados pela altura de precipitação desses períodos e depois somados para a totalidade do evento.

Foster *et al.* (1981), segundo Tomás (1993), apresenta um exemplo da metodologia de cálculo de EI_{30} para um evento pluvioso de 33 mm com uma duração de 90 minutos. Para obter o valor anual do índice EI_{30} para um dado local, será então necessário somar o valor do índice para todos os acontecimentos que ocorram nesse ano, recomendando-se que se disponha de uma série temporal de 20 anos. Os dados necessários podem ser recolhidos na rede de udógrafos. Com esta informação é possível estabelecer regressões monomiais de razoável qualidade entre o valor de EI_{30} e da precipitação anual. (Tomás, 1993).

Para o conjunto de três estações de udógrafos (Vale Formoso, Portela, Sassoeiros), este autor estabeleceu a seguinte expressão:

$$EI_{30} = -685,30 + 3,406 \times P ; \quad r^2 = 64\% \quad \text{para } 220 < P < 980\text{mm} \quad (2.4)$$

Com EI_{30} em MJ.mm/h/ano e P em mm, e sendo r^2 o coeficiente de determinação da regressões. Deste modo, e para estes locais torna-se possível estimar razoavelmente o *Factor R*, recorrendo ao valor da precipitação anual.

Para a modelação SIG do *Factor R*, para o caso de estudo, temos disponíveis os dados pluviométricos (1951-76) da estação climatológica de S. Jacinto, a mais próxima do empreendimento (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 – Dados pluviométricos da Estação de S.Jacinto. Disponível no site do SNIG

Precipitações	h(mm)	Período
Precipitação média anual	960,6	
Precipitação máxima mensal	144,5	Dezembro
Precipitação mínima mensal	8,8	Julho
Precipitação máxima diária	173	

Outros dados poderão ser consultados *on-line* no site do ISA (Instituto Superior de Agronomia). Contudo, a informação disponível *on-line* não contempla as séries temporais pelo que não foi possível determinar valores para a equação (2.4) relativos ao local da zona em estudo. No entanto, e apenas no âmbito deste trabalho, adoptou-se esta equação como a que hipoteticamente permite determinar o valor de EI_{30} .

Os *feature layers* de precipitação máxima anual e número de dias de precipitação no “Atlas do Ambiente Digital” (AAD), disponibilizado no site do IA (Instituto do Ambiente), permitem uma caracterização da distribuição espacial da precipitação anual, através de isoietas², ou isolinhas da precipitação. Assim, é possível constatar que todas as alternativas se situam dentro duma zona em que os dias de precipitação por ano variam entre 75 e 100 dias, e uma altura máxima de precipitação por ano entre 800 a 1000 mm.

² lugares geométricos de pontos de igual precipitação durante um determinado período de tempo - (N.Sousa Pinto *et al* 1973, segundo Lima, 1997).

Isto é compatível com os 960,6 mm registados na Estação de São Jacinto. Para modelar este factor gerou-se um *layer raster* (Factor_R) cuja fonte de dados é uma superfície *raster* obtida da seguinte forma:

- (1) - Intersecção (*clip*) da *shapefile* de polígonos que delimita a zona de estudo (ZonaEstudo.shp) com a *shapefile* polígonos **PRET.SHP** extraído do "Atlas do Ambiente Digital" ;
- (2) - O resultado é uma *shapefile* que contém as *features* de **PRET.SHP** dentro da zona em estudo. Isto é a variação espacial da precipitação anual dentro da zona em estudo;
- (3) - Criação de uma *shapefile* de pontos (Pluviometria.shp), com vários pontos onde se conhece a precipitação anual, sobre as isoietas, ou entre elas por interpolação linear. Um campo (Altura_Prt) desta *shapefile* é destinado a registar a altura de precipitação;
- (4) - Conversão *shapefile* para *featureclass Geodatabase*, **Pluviometria.gdb**;
- (5) - Usando a função *Interpolate to Raster/Spline* do SPA, criação de um *raster* (IntpPlv) a partir do campo (Altura_Prt);
- (6) - Usando a função *Raster Calculation* do SPA procedeu-se à aplicação da equação (2.4) sobre o *raster* **IntPlv**.

O resultado é um *raster* denominado **Factor_R** que traduz a variação espacial do **Factor de Erosividade da Precipitação, R**.

3.2.4 Factor de Erodibilidade do Solo, K

Este factor, segundo Pimenta et al. (1998) é função dos seus constituintes, isto é, conteúdo de areia, argila, limo e matéria orgânica, bem como da permeabilidade e estrutura. Pode variar entre 70/100 para solos muito frágeis, a 1/100 para solos mais estáveis, sendo que as suas características físico-químicas, além de vários mecanismos de erosão actuando ao mesmo tempo, tornam difícil a sua quantificação. O Factor de Erodibilidade dos solos, **K** da **EUPS**, tem como referência um talhão nú de 22,13 m de comprimento com uma pendente de 9%. Quando se pretende avaliar a erodibilidade do solo em áreas maiores e para um determinado intervalo de tempo, recorre-se a cartografia de solos com as unidades pedológicas discriminadas.

Em Portugal, essa cartografia de solos com as unidades pedológicas caracterizadas por tipo e família de solos, está disponível às escalas 1:25.000, 1:50.000 (segundo a classificação do Ex-Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (S.R.O.A) e 1:1.000.000 (segundo a classificação F.A.O), sendo que em formato digital apenas esta última cobre a totalidade do País. Pimenta (1998), no seu trabalho *Erosão Hidrica dos Solos em Pequenas Bacias Hidrográficas – Aplicação da Equação Universal de Degradação dos Solos* - IST, Lisboa (1998), apresenta os valores de **K** para cada tipo de solo conforme a classificação adoptada no Ex- Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (S.R.O.A), classificação usada nas cartas de solos à escala 1:25000 e 1:50.000, tendo por base o trabalho de campo efectuado por Cardoso (1965) em diferentes perfis de solo. Baseando-se no trabalho de Cardoso (1965), Bessa e Marado (1973) estabeleceram uma relação entre as duas classificações.

Assim, com base nestes trabalhos, Pimenta (1998) apresenta uma tabela com os valores do **Factor de Erodibilidade K** para os dois tipos de classificações. Torna-se assim possível estabelecer os valores de **K** para as classes e tipo de solos presentes na carta à escala 1:1.000.000. Em Portugal, o (AAD) disponibiliza a *shapefile Solos.Shp* com a cobertura pedológica espacial do território nacional, à escala 1:1.000.000. Recorrendo à tabela presente em (Pimenta, 1998) atribuíram-se os valores de **K** a cada um dos tipos de solo. Para a modelação no SIG do **Factor K**, procedeu-se às seguintes operações:

(1) - *Clip* do mapa Solo do AAD, com *shapefile* polígono **AreaEstudo.shp**. Resultou uma *shapefile* polígono **AreaSolos.Shp**, com vários campos, entre os quais **Nome** e **SubNome** do Solo correspondendo à classificação F.A.O e S.R.O.A respectivamente;

(2) - Acrescento de um campo, **Factor_K**, à *shapefile* **AreaSolos.Shp**;

(3) - Edição da *shapefile* e preenchimento do campo **Factor K**, com os correspondentes valores de **K**, segundo Pimenta (1998);

(4) - Guardar a *shapefile* como o nome **K_Factor**;

(5) - Conversão da *shapefile* **K_Factor** para *raster* com base no campo **Factor_K**;

(6) - Criação de um mapa *raster*, **Factor_K**.

3.2.5 Factor Fisiográfico, LS

Este factor representa um parâmetro adimensional, produto da relação entre o comprimento da encosta L e a pendente S (Wischmeier e Smith, 1978; McCool et al., 1987, segundo Tomás, 1993). As suas expressões são:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad (2.5)$$

$$S = (10,8 \times \text{sen}(\Phi) + 0,03) \quad s \leq 9\% \quad (2.6)$$

$$S = (16,8 \times \text{sen}(\Phi) - 0,50) \quad s \geq 9\% \quad LS = L \times S \quad (2.7)$$

O parâmetro λ representa o comprimento da encosta, em metros; Φ o ângulo da encosta com declive s ; m é um coeficiente que depende de s e que toma os valores representados na tabela seguinte:

Tabela 2.5 – Valores de m e s , segundo Tomás (1993)

s	m
$s \geq 5\%$	0,50
$3\% \leq s < 5\%$	0,40
$1\% \leq s < 3\%$	0,30
$s < 1\%$	0,20

As expressões indicadas são válidas para encostas de declive uniforme, variando entre 0,1 % e 18%, com largura uniforme e comprimento entre 5 e 300 metros. Para além destes limites, os autores não validam essas equações. No entanto, vários outros autores apresentam equações que consideram válidas para casos extremos.

Para a modelação no SIG do **Factor LS**, partiu-se da expressão matemática proposta por Rodrigues *et al.*(2000):

$$L = \sqrt{\frac{\lambda}{8}} \quad (2.8)$$

$$S = (0,43 + 0,03 \times s + 0,043 \times s^2) \quad (2.9)$$

onde

λ : distância entre o início do escoamento e a célula em causa (m);

8: dimensão da célula ou *pixel* do MDT;

s : declive em percentagem.

e o Factor Fisiográfico será dado pela expressão seguinte resultante do produto de L por S.

$$LS = \sqrt{\frac{\lambda}{8}} \times (0,43 + 0,03 \times s + 0,043 \times s^2) \quad (2.10)$$

O *layer* do declive s , é gerado usando a função *Slope* da ferramenta *Surface Analyst* do *SPA*, a partir do MDT – gerando, em cada célula de 8 por 8 metros de lado (neste caso), a inclinação s do terreno. O *layer* do comprimento do declive L , é gerado recorrendo às seguintes funções de Hidrologia disponibilizadas pelas *Spatial Analyst Tools* do *ArcToolBox*[®]:

(1) - Geração do *layer* **FlowDirection**;

(2) - A partir deste, geração do *layer* **Lencom** com a função *Flow Len*;

(3) - Aplicação da expressão (2.10) numa álgebra de mapas para obter o *layer* **Factor_LS** que apresenta o valor mínimo e máximo para este factor na bacia ou zona em estudo.

Para automatizar estes procedimentos recorreu-se ao *ModelBuilder* (ESRI ArcGIS) para a construção de um modelo que, com base no MDT, gera automaticamente o *layer* **Factor_LS**.

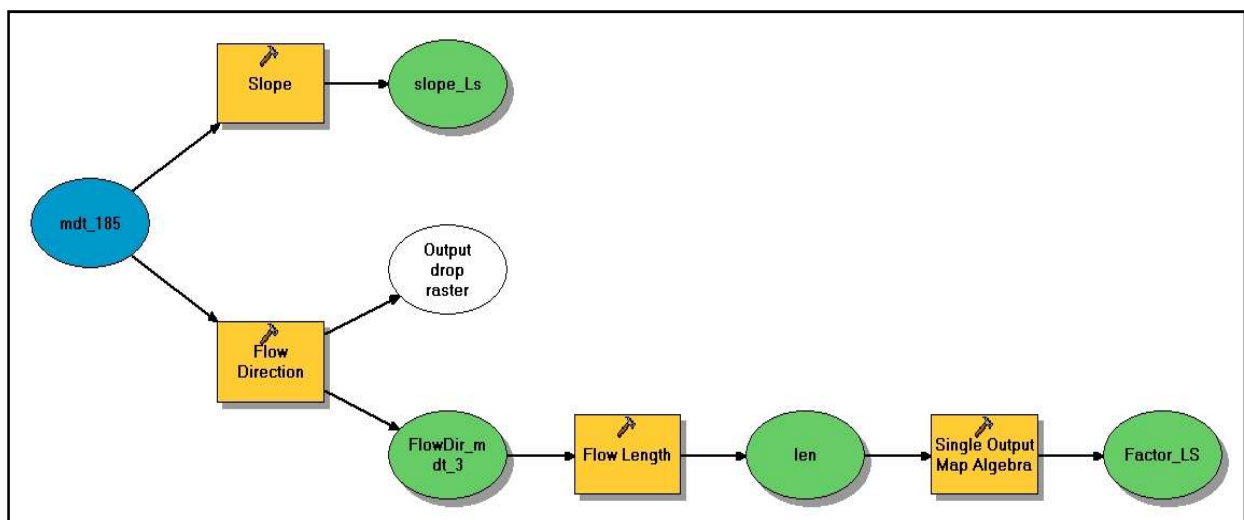


Figura 2.3 – Modelo SIG, para geração do *layer* **Factor_LS**

3.2.6 Factor de Coberto Vegetal C e Factor de Prática Agrícola P

Segundo Tomás (1992), na determinação do factor de coberto vegetal *C*, para as condições de uso do solo da zona em estudo, devem ser contempladas várias variáveis, nomeadamente: culturas e suas fases de crescimento e sistemas de rotação inter-anual; períodos de sementeira; densidade de coberto vegetal e desenvolvimento das raízes; produções agrícolas e estado do solo e quantidades de resíduos deixados após a colheita. Também se deve ter especial atenção à distribuição da erosividade ao longo do ano e à sua relação com o estado de desenvolvimento das culturas. Ainda segundo Tomás (1993), a protecção oferecida pela cobertura vegetal necessita de ser suportada por práticas agrícolas que reduzam a velocidade do escoamento superficial e consequentemente a erosão. O **Factor P** traduz essas práticas. Este autor apresenta um quadro (adaptado de Wischmeier e Smith, 1978) dos valores de *P* em função do declive do terreno, e da tipologia da cultura (em curvas de nível, faixas ou terraços). Agrawal *et al.* (2003), citando Rinos *et al.*(2002), apresenta um quadro com os valores de *P* para vários tipos de ocupação do solo. Na Tabela 2.7, apresentam-se os valores de *P* adaptados para os tipos de ocupação de solo da zona em estudo.

A metodologia para a determinação do **Factor C**, proposta por Wischmeier e Smith (1978), segundo Tomás (1993), exige um conhecimento razoável das culturas e maneiras da zona em que se pretende calcular a erosão. Assim, quando não se dispuser dos elementos necessários para a sua determinação, e segundo a metodologia proposta, o autor sugere a utilização da Tabela 2.6 em que se apresentam as estimativas aproximadas do **Factor C**, para as situações mais comuns em Portugal.

Tabela 2.6 – Valores do **Factor C**, segundo Tomás (1993)

Cobertura	Factor C
Ocupação Urbana	0,01
Arvoredo Frutífero Misto	0,05
Inculto	0,02
Mato	0,02
Pomar	0,05
Povoamento Florestal Misto	0,05
Vinha+Arvoredo Frutífero Misto	0,05
Resinosas	0,05

Vinha + Pomar	0,05
Olival	0,10
Pinheiro Bravo + Mato	0,02
Vinha	0,10
Vinha + Olival	0,10
Culturas de Regadio	0,20
Montado de Sobro/Azinho	0,10
Vinhas + Culturas Arvenses de Sequeiro	0,20
Culturas arvenses de Sequeiro	0,40

Com base nesta tabela, Pimenta *et al.* (1998) apresentam dois quadros com os valores do factor de cultura *C*. Um para a Carta de Ocupação do Solo à escala 1/100000, com origem no projecto *LandCover CORINE*, e que foi criada tendo por base a classificação da imagem satélite (Landsat TM), utilizando imagens datadas de 1985, 1986 e 1987, e outro para a Carta de Ocupação do Solo à escala 1/25000, produzida mais recentemente, tendo como base a interpretação estereoscópica das fotografias aéreas de falsa cor do voo ACEL de 1990 e posterior restituição, por processos analíticos ou fotorestituição por processos digitais. Ambas as cartas estão disponíveis no *site* do SNIG, em formato *shapefile* da *ESRI*[®], *dxf* e *dgn*.

Para a **modelação SIG** do Factor de Coberto Vegetal e Prática Agrícola, **CP**, e como metodologia geral, propõe-se:

(1) - Com base na *shapefile* do tipo polígonos, da Carta de Ocupação do Solo, à escala 1/25000, adicionar mais dois campos à Tabela de Atributos (VAT), um para especificar o tipo de cobertura do Solo e outro para atribuição do valor do factor *C* em função desse tipo de “cobertura”. O tipo de Ocupação é feito cruzando a informação da nomenclatura (Código versus Tipo de Ocupação do solo) usada pelo SNIG e os atributos do campo LEG (código SNIG) da *shapefile*;

(2) - Tendo por base o tipo de uso do solo para cada *feature* e os valores da Tabela 2.6, preencher o campo do **Factor C** da *shapefile*, numa secção de edição;

(3) - Usando a função *Convert Feature to Raster* do SPA, esta *shapefile* será então convertida para *raster* com base no campo **C** obtendo um *raster* com diferentes classes de valores de **C**, os quais poderão ser reclassificados para valores médios, ou com valores únicos do Factor **C**.

No presente caso, o projecto já dispunha de informação digital sobre a ocupação do solo da zona em estudo, em formato *dxg*, elaborada com base na Carta de Ocupação do Solo de Portugal Continental à escala 1/25000, do SNIG, comparada com fotografia aérea policromática, e validada com trabalho de campo (ARQPAIS, 2001). Essa informação *dxg* foi desagregada em várias classes de ocupação do solo para cada uma foi criada um novo *dxg* - sendo a cada uma atribuídos os respectivos valores dos **Factores C e P**. São assim estudados em conjunto os factores **C e P**.

Tabela 2.7 – Classes de Ocupação do Solo e correspondentes *layers*

CLASSE	SUBCLASSE	NOMENCLATURA	CÓDIGO	FACTOR	FACTOR
	SE	SNIG/Layer representativo	SNIG	C	P
Área Sociais		1-Áreas Artificiais /Zonas_Urbanas		0,01	1
		4-Meios Semi-naturais	J_+0 JY1 JY2		
Agrícola	Culturas Anuais	2-Áreas Agrícolas/Áreas_Agrícolas (T.aráveis – Culturas Anuais) Áreas agrícolas heterogéneas Territórios agro-florestais Meios semi-naturais	C+_0 II 1	0,3	0.3
	Vinhas	2-Culturas permanentes			
	Pomares	2-Pomar Olival			
Florestal	Matas	2-Territórios agro-florestais	_+C(1-2)		
		3-Floresta/Floresta		0,1	0.8
		3-Floresta/ Floresta_de_Produção		0,2	0.6
		4-Meios semi-naturais/Matos 4-Meios semi-naturais/ /Solos_s_cobertura	II2 QQ6/FF6 ZZ6/BB6 I_+0	0,02 0,4	1 1
	Zonas Húmidas	5- Meios Aquáticos/Zonas_Húmidas	HY1	0,005	1
		6-Superfícies com água	HH1 HH2		

Cada novo *dxf*, representando um tipo de classe de ocupação de solo, foi depois convertido para uma *FeatureClasse* de uma *geodatabase* (FcGdb) (Ocupação do Solo.mdb). Os procedimentos SIG adoptados foram:

(1) - Usando a função *Convert Feature to Raster* do SPA cada FcGdb de classe de solo é convertida para *raster* gerando-se um *raster* por cada classe de ocupação de solo, com base num campo de valor constante, neste caso o campo que representa o tipo de ocupação de solo;

(2) - Procedeu-se, de seguida, à reclassificação de cada um destes *raster*, mantendo o valor “1” atribuindo o valor “0” ao antigo valor *NoData*;

(3) - Usando a função *Raster Calculation*, do SPA, recorreu-se à álgebra de mapas para gerar o mapa final do factor *CP*, em formato *raster*. A expressão usada foi a seguinte, obtendo-se um mapa final do

Factor CP:

$$\begin{aligned} \text{Factor_CP} = & \text{Zonas_Urbanas} \times 0,01 + \text{Áreas_Agrícolas} \times 0,30 \times 0,30 + \text{Floresta} \times 0,10 \times 0,80 + \\ & \text{Floresta_de_Produção} \times 0,20 \times 0,60 + \text{Matos} \times 0,02 \times 1 + \text{Solos_s_cobertura} \times 0,40 \times 1 + \\ & \text{Zonas_Húmidas} \times 0,005 \times 1 \end{aligned} \quad (2.11)$$

As constantes da expressão são os valores do **Factor C** × **Factor P** para cada tipo de solo representado pelo respectivo mapa *raster*. Esses valores são obtidos tendo por base a Tabela 2.7. Finalmente, o **Mapa de Erosão do Solo**, que mostra a distribuição da estimativa da erosão, em toneladas por hectare e por ano, obtém-se recorrendo à seguinte álgebra de mapas que traduzem a **EUPS**. Com *Raster Calculation* do SPA, construiu-se a seguinte expressão com *layers* representativos dos vários factores:

$$\text{Factor_R} \times \text{Factor_K} \times \text{Factor_LS} \times \text{Factor_CP} \quad (2.12)$$

O resultado é um mapa *raster* (**Erosão_S_Estr**) que mostra a erosão esperada por ano e por hectare, sem estrada.

Para quantificação do **Indicador Ambiental, Erosão Média (EM)**, que representa Erosão Média por ano e por hectare, gerou-se um mapa *raster* (**ErosãoNu**) análogo a (2.12) mas sem o Factor *CP*. Para determinar a quantidade de erosão por alternativa, vai multiplicar-se este mapa **ErosãoNu** com o *raster* –

obtido pela conversão para *raster*, dum *feature layer* resultante de um *buffer* de 50 metros à estrada (2 x 25 =50 metros), em que o valor “1” - igual ao valor de *CP*, dado não haver vegetação nem prática agrícola - é atribuído a todos os *pixels* sobre a área do *buffer* rasterizada, e “0” ao resto, resultando um mapa *raster* com o valor da Equação 2.1 (valor de *A*), para cada *pixel* de 8x8 metros, numa faixa de 50 metros ao longo da estrada (Figura 2.4). São assim gerados então 5 mapas *raster*: **Erosão_A1**; **Erosão_A2**; **Erosão_A3**; **Erosão_A4** e **Erosão_A5**, um para cada alternativa. Na informação estatística acessível no menu *Properties/Symbology/Classify/Statistics*, tem-se acesso a toda a informação estatística.

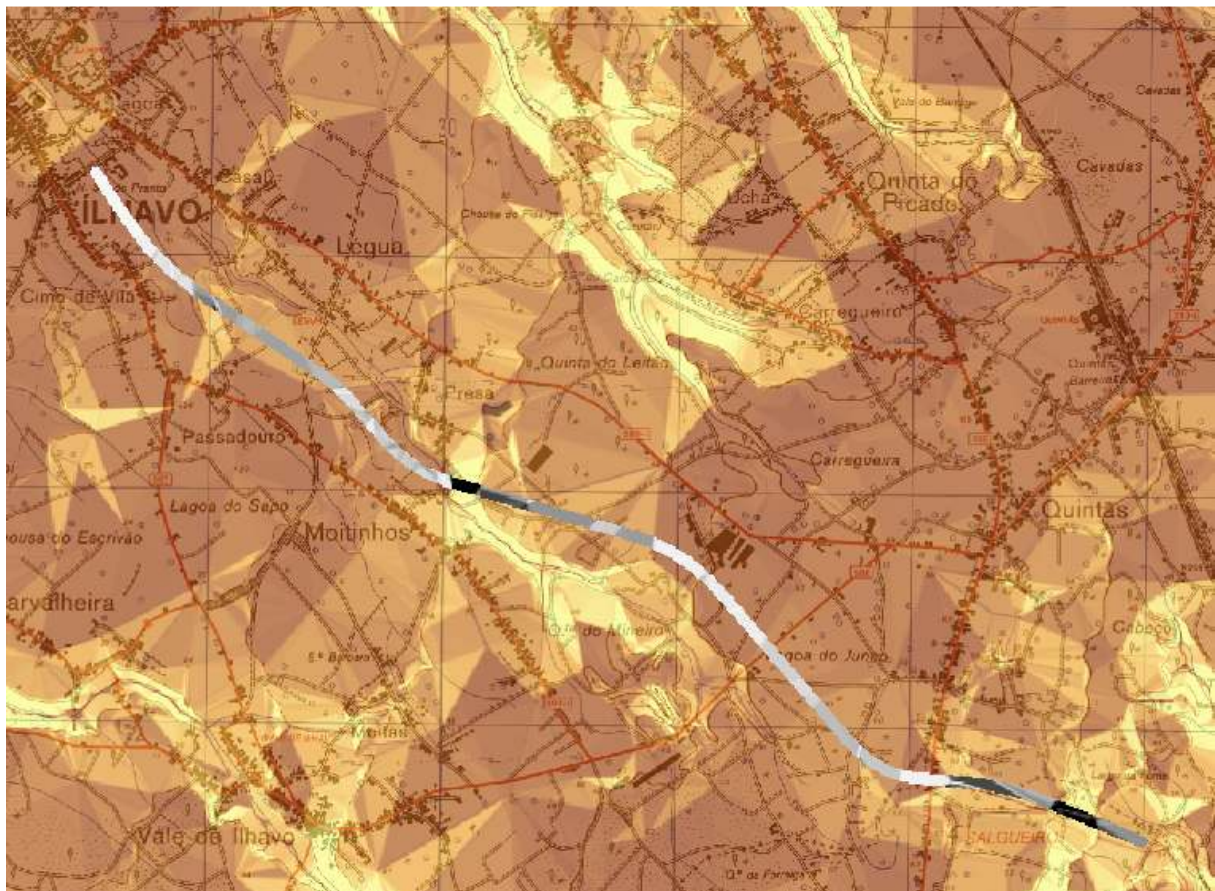


Figura 2.4 – Erosão Média para a Alternativa 1 (zonas mas escuras, com maior erosão)

Com essa informação, podem-se escolher vários indicadores, como a erosão mínima, média, ou máxima. Também se pode estimar a erosão total para toda a estrada, bastando para tal multiplicar a **Erosão Média** pelo número de células, ou *pixels*, e pela área, em hectares, de cada célula (8x8/10000). A Tabela 2.8, mostra a matriz de decisão, para este tema, com os valores da Erosão Média, e os restantes indicadores, já com a *significância* dos impactes “traduzida” pelos pesos calculados de acordo com a metodologia anteriormente definida.

4. Avaliação Multicritério de alternativas para o tema Geomorfologia e Geologia

A fase de avaliação de alternativas tem por objectivo a ordenação das alternativas desde a “Ambientalmente Mais Favorável” (AMF) até à “Ambientalmente Mais Adversa”(AMD). Essa ordenação é o culminar do processo da Avaliação Multicritério suportado pelos métodos formais de apoio à decisão, tais como o método TOPSIS e os da família ELECTRE. O primeiro permite essa ordenação final das alternativas (embora permita haver *ex aequos*) enquanto os segundos, designadamente os métodos ELECTRE I e IS , baseados numa filosofia algo diferente da do anterior, apenas permitem a identificação de um núcleo de alternativas ambientalmente mais favoráveis - discriminando-as das restantes - mas dentro do qual estas são incomparáveis entre si. Já os métodos ELECTRE III e IV da mesma família, permitem a constituição de uma preordenação parcial final das alternativas de acordo com a respectiva adversidade ambiental (Maystre et al., 1994; Coutinho-Rodrigues, 2003).

No presente trabalho utilizou-se preferencialmente o ELECTRE III já que segundo Molines et. al. (2002), os métodos de agregação parcial ao integrarem os postulados de incomparabilidade e de não transitividade, permitem integrar a complexidade inerente ao EIA. Também, e ainda segundo este autor, a escolha de um método baseado na problemática de ordenação é defendida, já que assim “os brilhantes segundos” não são eliminados pelo uso de um método que identifique apenas a melhor solução, num contexto global do projecto técnico e do EIA. O uso do ELECTRE III é privilegiado já que permite o estabelecimento de relações de prevalência com diferentes níveis de credibilidade

4.1. Avaliação Temática

Conceptualmente o processo de avaliação de alternativas, inicia-se com a activação de um menu “Avaliação Multicritério” que dá acesso a uma caixa de diálogo onde se opta pela “Avaliação por Tema Ambiental” ou “ Avaliação Geral”. A primeira opção faz executar uma rotina para preenchimento da matriz de decisão e definição dos pesos e limiares. A dimensão da matriz é previamente definida durante o desenrolar da rotina interactiva, ainda na fase de *Scoping* e Identificação de Impactes, onde o número de linhas (m) é igual ao número de alternativas e o número de colunas (n) é igual ao número de critérios ou

atributos ambientais, representados pelos Indicadores de Impacte Ambiental seleccionados para esse tema. Assim, para este tema teremos uma matriz de decisão de 5x3.

Os atributos ou desempenho de cada indicador segundo cada critério, a_{ij} , resultam da quantificação de impactes, através dum valor que traduza a sua magnitude, usando a modelação SIG ou valores directos em consulta ao projecto. Por exemplo, para o presente tema, e considerando o indicador ambiental **Erosão Média (EM)**, do elemento ambiental **Estabilidade de Taludes**, obteve-se os seguintes valores para as 5 alternativas (A1 a A5) em estudo:

- 5,99 t/ano/hectare, para a A1(da informação estatística do mapa *raster* **Erosão_A1**, do SIG);
- 5,98 t/ano/hectare, para a A2 (da informação estatística do mapa *raster* **Erosão_A2**, do SIG);
- 7,96 t/ano/hectare, para a A3 (da informação estatística do mapa *raster* **Erosão_A3**, do SIG);
- 6,92 t/ano/hectare, para a A4 (da informação estatística do mapa *raster* **Erosão_A4**, do SIG);
- 5,07 t/ano/hectare, para a A5 (da informação estatística do mapa *raster* **Erosão_A5**, do SIG).

Será, assim, preenchida a última coluna da matriz de decisão. As outras serão preenchidas usando a mesma metodologia.

A definição dos pesos é baseada na **significância** dos impactes (ver secção 2.5). Esta tem a ver com a importância que lhes é atribuída pelos técnicos, opinião pública, instituições, etc. Ou seja, para a tomada de decisão sobre qual a alternativa a escolher interessa ponderar esta importância. Na metodologia, o cálculo da importância dada a cada tema ou elemento ambiental, segundo determinados critérios, atenuada ou não pelas medidas de mitigação efectivamente a aplicar, vai servir de base à definição dos pesos a usar na Avaliação Multicritério.

Assim, todos os temas ou elementos ambientais vão ser avaliados sob uma base comum de comparação, i.e, todos eles são avaliados numa escala de 1 a 6, em função de (Molines et al., 2002):

(1) **Potencial ambiental** - Tendo em conta a situação actual e a sua evolução na ausência da implementação do projecto, o aspecto (tema ou elemento) ambiental apresenta um potencial local, regional, nacional, ou mundial, em relação às preocupações ecológicas, urbanísticas, patrimoniais, culturais, sociais, estéticas, técnicas, económicas, etc. Esta quantificação tem em conta princípios

científicos formais e, também, leva em atenção a consciência e importância que lhe são dados pela sociedade:

(2) **Sensibilidade à introdução do projecto** - É avaliado aqui o risco de impacte sobre o aspecto ambiental induzido pela introdução do projecto;

(3) **Risco de impacte após mitigação** - Este peso é construído em duas etapas. A primeira corresponde à avaliação desses riscos de impacte, mesmo tendo em conta a introdução de todas as medidas de mitigação possíveis, independentemente do custo financeiro, numa escala de 1 a 3. Na segunda etapa este valor sofre uma transformação linear para a escala ponderada de 1 a 6, através do operador $(2-K)$. Isto é, $P_m = M \times (2 - K)$, sendo M a graduação do risco de impacte após a adopção de todas as medidas de mitigação possíveis, na escala de 1 a 3, e P_m a importância atribuída ao tema ou elemento ambiental, que cresce com a diminuição da implementação de medidas de mitigação, na escala comum de 1 a 6 (ver ponto 2.5).

Assim, a partir de um nível 1 que caracteriza um elemento pouco sensível ou de importância apenas local, até ao nível 6 que põe em evidência a presença de uma componente tipo “património mundial”, são usados 6 valores. O peso para cada elemento dentro do tema ambiental é a correspondente proporção relativa do somatório dos três pesos anteriores, dentro do tema. Esse peso do componente é distribuído uniformemente pelos indicadores ambientais dessa componente. Computacionalmente estas operações podem ser realizadas pela rotina em código *VB* invocada a partir de uma caixa de diálogo de atribuição de pesos, sendo guardados numa tabela *dBase®* relacionada com as tabelas de temas e elementos ambientais. Opcionalmente aos pesos “técnicos”, definidos anteriormente, pode optar-se por atribuir pesos “voluntaristas” a cada componente baseados na sensibilidade do utilizador.

Para o tema **Geomorfologia e Geologia**, em análise, tendo sido seleccionados os elementos ambientais **Relevo e Topografia** e **Estabilidade de Vertentes**, os pesos foram definidos da seguinte forma:

- Potencial ambiental (escala de 1 a 6): 2 para ambos os elementos ambientais;
- Sensibilidade à introdução do projecto (escala de 1 a 6): 2 para o primeiro elemento e 3 para o segundo;
- Risco de Impacte após mitigação:

- 1ª fase (escala de 1 a 3): $M=2$;
- 2ª fase (escala 1 a 6): $K=4/7$ (ver Tabela 2.2); $P_m = 2 \times (M - K) = 2 \times (2 - 4/7) = 2,8$;
- 2,8 para ambos os elementos ambientais.

O somatório desta valoração para cada um dos elementos dá para o 1º elemento 6,8 (46%) e 7,8 (54%) para o segundo. Como o 1º elemento só é representado por um único indicador “**Volume Total de Escavação (VTE)**”, o peso desse indicador será 46%, mas tendo o 2º elemento dois indicadores ambientais “**Altura Máxima de Talude (AMT)**” e “**Erosão Média (EM)**” já o peso de cada indicador será $54\% / 2 = 27\%$.

Os limiares podem ser atribuídos de uma forma voluntarista, manualmente – atribuição de valores para esses parâmetros - ou através de uma rotina de cálculo em VB, traduzindo funções, como por exemplo:

$$\text{Limiar de Indiferença} \quad q_j = \frac{\max(A_i) - \min(A_i)}{m}$$

$$\text{Limiar de preferência} \quad p_j = 2 \times q_j$$

$$\text{Limiar de veto} \quad v_j = (m-1) \times q_j$$

Por exemplo para o indicador VTE teremos:

$$\text{Limiar de Indiferença} \quad q_j = \frac{\max(A_i) - \min(A_i)}{m} = \frac{53,3 - 40}{5} = 2,66$$

$$\text{Limiar de preferência} \quad p_j = 2 \times q_j = 2 \times 2,66 = 5,32$$

$$\text{Limiar de veto} \quad v_j = (m-1) \times q_j = (5-1) \times 2,66 = 10,64$$

Definida a matriz de decisão, neste caso para o tema Geomorfologia e Geologia (Tabela 2.8) o método ELECTRE III será aplicado, fornecendo duas preordenações parciais, uma para cada destilação, e uma preordenação final dada pela “intersecção” destas duas. Assim, a avaliação de alternativas, para este tema, baseada na matriz de decisão da Tabela 2.8 e recorrendo ao método ELECTRE III, é apresentada na Tabela 2.9. Nela aparecem as preordenações parciais das alternativas para a destilação descendente e para a ascendente, e também uma preordenação parcial (POP) final e uma coluna para atribuição duma pontuação às alternativas. Esta pontuação é definida recorrendo a uma escala comum que varia de 0 a 20.

Trata-se da normalização linear, para uma escala comum, das classificações obtidas nas preordenações do ELECTRE III. Assim sendo r_{ij} o valor normalizado, x_{ij} a classificação ordinal da alternativa i na preordenação j , e m o número de alternativas, $r_{ij} = \left[\frac{20}{m-1} \right] \times x_{ij} - \left[\frac{20}{m-1} \right]$. Neste caso, como temos $m=5$, a expressão anterior toma a forma $r_{ij} = 5x_{ij} - 5$. Ou seja, o valor mínimo será $r_{ij} = 0$ para $x_{ij} = 1^\circ$ e $r_{ij} = 20$ para $x_{ij} = 5^\circ$ lugar na pré-ordenação respectiva. Assim, as alternativas A1 e A3 que aparecem em primeiro nas classificações obtidas nas preordenações do ELECTRE III são – para este tema - as “**ambientalmente mais favoráveis**”, ficando ambas com zero pontos, e a alternativa A5 que aparece em quarto lugar será a “**ambientalmente mais adversa**” e pontuada com 15 pontos.

Tabela 2.8 – Matriz de decisão, para o Tema Geomorfologia e Geologia

TEMA		GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA			
Elementos Ambientais		Relevo e Topografia	Estabilidade de Vertentes		
SIGNIFICÂNCIA(1-6)	Avaliação em relação	Σ	6,8	7,8	
		Ao seu potencial ambiental	2	2	
		A sua sensibilidade à introdução do projecto	2	3	
		Ao Risco de Impacte após mitigação	2(2-4/7)=2,8	2,8	
		Peso dos Indicadores (%)	46	27	27
Indicadores		VTE (10 ³ m3)	AMT (m)	EM(t/ano/h)	
A1		50	3	5,99	
A2		44,5	2,5	5,98	
A3		53,3	2,5	7,96	
A4		42	2,5	6,92	
A5		40	2	5,07	
Limiar, q		2,66	0,2	0,6	
Limiar, p		5,32	0,4	1,2	
v (veto)		10,4	0,8	2,4	

Tabela 2.9 – Preordenação das alternativas

Descendente	Ascendente	POP Final	Pontuação
A1,A3	A1,A3	A1,A3	0
A4	A4	A4	5
A2	A2	A2	10
A5	A5	A5	15

4.2. Avaliação Geral

Para a “Avaliação Geral”, a matriz de decisão terá as m linhas das alternativas e n colunas dos “critérios”, com $n=2T$, sendo T o número dos temas ambientais a avaliar. O presente relatório trata apenas o primeiro dos dez temas ambientais considerados no caso de estudo. Os relatórios seguintes tratarão dos restantes nove.

Existem, assim, duas colunas por cada tema, uma para a ordenação de preferências das alternativas na destilação descendente e outra para a ordenação na destilação ascendente do ELECTRE III. No caso de estudo, foram seleccionados dez temas pelo que a matriz de decisão terá a dimensão 20×5 (Tabela 2.10). A alternativa “**ambientalmente mais favorável**” será a mais bem “classificada” na preordenação parcial resultante.

Para o presente tema “**Geomorfologia e Geologia**”, as duas preordenações parciais resultantes da aplicação do método ELECTRE III constantes da Tabela 2.9 vão dar origem às duas primeiras colunas da matriz de decisão global da Tabela 2.10.

Para atribuição dos pesos procede-se de forma análoga à metodologia usada para os pesos dos elementos ambientais. Agora, a cada tema, atribui-se uma pontuação de 1 a 6 tendo em conta: o **potencial ambiental**; a sua **sensibilidade à introdução do projecto**; o **risco de impacte após mitigação**. Os pesos são distribuídos igualmente pelas duas pré-ordenações (ascendente e descendente), dentro de cada tema. Também aqui é possível optar pelos pesos “técnicos” ou “voluntaristas”.

Os limiares podem ser definidos de forma “voluntarista” ou “técnica”, também através de uma rotina de cálculo em *VB*. Nesta última opção pode-se definir uma função baseada no seguinte premissa: Para um critério j a alternativa A_i é indiferente a outra A_k se pertence ao mesmo nível da ordenação por tema ou se está no lugar imediatamente antes ou depois. Isto pode traduzir-se através da expressão, $q_j = 20(m-1)$.

Para os limiares de preferência e de veto pode-se optar pelas seguintes expressões derivadas da primeira:

Limiar de preferência: $p_j = 2 \times q$; Limiar de veto: $v_j = (m - 2) \times q_j$

O resultado final são duas preordenações parciais, uma para a destilação ascendente e outra para a destilação descendente. Uma preordenação final é também devolvida. Essa preordenação final pode então ser confrontada com os seguintes postulados (Maystre, et al., 1994): (1) *Se a alternativa “A” é preferida*

à “B” nas duas preordenações, então também o será na preordenação final; (2) Se a alternativa “A” é equivalente a “B” numa das preordenações, mas é-lhe preferida na outra, então “A” é preferida a “B” na preordenação final; (3) Se a alternativa “A” é preferida a “B” na primeira preordenação, e na segunda “B” é preferida a “A” então as duas são incomparáveis na preordenação final.

2.10 – Matriz de decisão Final, 20 critérios

Elementos Ambientais			GERAL																		
			GEO.	RH	SOLOS	ATMF.	S.ECO	OCUP.SO	AESTET.	RUIDO	COND.	ECONOM.									
SIGNIFICÂNCIA	Avaliação em relação	Σ	7,8																		
		P.Amb.	2																		
		S.I.P	3																		
		R.I.A.M	2,8																		
		Pesos(%)	10																		
Indicadores (Destilações)			D	A																	
A1			0	0																	
A2			10	10																	
A3			0	0																	
A4			5	5																	
A5			15	15																	
Limiar, q (20/m-1)			5	5																	
Limiar, p (2q)			10	10																	
v(veto) (3q)			15	15																	

Com base nesta matriz – depois de totalmente preenchida – é executado o método ELECTRE III, para as seguintes situações:

- (1) - pesos temático e limiares definidos;
- (2) - pesos iguais e limiares definidos;
- (3) - pesos iguais e limiares ($q=0, p=5$ e v , desactivado).

O resultado das preordenações parciais finais para cada um dos casos aparecerá na Tabela 2.11

Tabela 2.11 – Preordenação geral

(1)	(2)	(3)

Alternativamente, também se pode gerar outra matriz de decisão global apenas com 10 critérios (atributos), resultante da normalização da classificação das preordenações parciais finais dos 10 temas (Tabela 2.12). Com esta transformação também a alternativa “**ambientalmente mais favorável**” será a melhor “classificada” na preordenação parcial resultante, já que todos os critérios são considerados *benefícios* (a maximizar).

A matriz de decisão resultante da normalização da classificação das preordenações parciais finais dos 10 temas é a seguinte:

Tabela 2.12 – Matriz de decisão Final, 10 critérios

Elementos Ambientais			GERAL									
			GEO	RH	SOLOS	AR	S.ECO	OCUPA	Aestética	RUIDO	C.ORD.	SECON
SIGNIFICÂNCIA	Avaliação do Elemento em relação a	Σ	7,8									
		Ao seu potencial ambiental	2									
		A sua sensibilidade à introdução do projecto	3									
		Ao Risco de Impacte após mitigação	2,8									
		Pesos (%) dos Indicadores	10									
Indicadores												
A1			0									
A2			10									
A3			0									
A4			5									
A5			15									
Limiar, q			5									
Limiar, p			10									
Veto, v			15									

Também aqui é executado o método ELECTRE III, para as mesmas situações, sendo o resultado das preordenações parciais finais apresentado numa similar à Tabela 2.11.

5. Referências

- Abrantes, G., 1998 – Conceitos de Sistemas de Informação Geográfica. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. Disponível em <http://www.isa.utl.pt/dm/sigdr/sigdr01-02/SIGconceitos.html>. Acesso em 20.02.05.
- Agrawal, M., Dikshit, A., Ghose, M., 2003 – Impact Assessment on Soil Erosion due to Highway Construction using GIS, in *Electronic Journal of Geotechnical Engineers*. Disponível em <http://www.ejge.com/2003/Ppr0339/Ppr0339.htm>. Acesso em 10.06.04
- Almeida, J.P., e Coutinho-Rodrigues, J., 2001–Estudo de Impactes Ambientais com SIG. Simulação para o Caso da Co-Incineração de Souselas. Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra (INESCC), N.15. Disponível em: http://www.inescc.pt/documentos/RR2003_15.pdf Acesso em 26.07.04.
- Antunes, P., Santos, R., Jordão, L., 2001 – The Application of Geographical Information Systems to determine environmental impact significance, in *Environmental Impact Assessment Review*. Disponível em <http://www.elsevier.com/locate/eiar>. Acesso em 26.06.04.
- ARQPAIS, 2001 – Consultores de Arquitectura Paisagista e Ambiente, Lda. Estudo de Impacte Ambiental da SCUT da Costa de Prata. Lanço ICI * Mira/Aveiro. Sublanço Vagos /Aveiro Sul. Ligação a Ílhavo. Lisboa 2001.
- Booth, B., 2002 – Using ArcGis® 3D Analyst. ESRI Press. Redland, California, USA.
- Burke R., 2003 - Getting to know ArcObjects' Programing ArcGis® with VBA. ESRI Press. Redland, California, USA..
- Cabral, P., 2001 – Sistemas Espaciais de Apoio à Decisão. O Sistema de Apoio ao Licenciamento da Direcção Regional do Ambiente do Alentejo. Tese de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica. Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal. Disponível em http://www.isegi.unl.pt/labnt/tese/TeseMaio2001_pedrocabral.pdf. Acesso em 23.07.04
- Câmara, G., Queiroz, G., 2001 – Arquitectura de Sistemas de Informação Geográfica
Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>. Acesso em 17.03.05
- Campos, L., Vilar S., Lúcio, L., 1999 – Programação em Visual Basic 6. FCA - Editora de Informática, Lda. Lisboa, Portugal.
- Chakhar, S., 2001– Toward a Spatial Decision Support Sytem: Multi-Criteria Evaluation Functions into Geographical Information Sytems. Disponível em http://www.lamsade.dauphine.fr/~chakhar/file/master_thesis.pdf. Acesso 22.09.04.
- Chakhar, S., e Martel, J.M.,2003 – Enhancing Geographical Information Systems Capabilities with Multi-Criteria Evaluations Functions, in *Journal of Geographic Information and Decisions Analysis*, 2003, Vol,7,No.2,pp.47-11. Disponível em <http://www.geodec.org/Chakhar.pdf>. Acesso em 22.09.04.
- Coe, D., Eisinger, D., Prouty, J., Kear, T., 1998 – User's Guide for CL4. US. Environmental Protection Agency. URL: <http://www.epa.gov/scram001/index.htm>. Acesso em 12.10.04
- Coutinho-Rodrigues, J., 2003 – Gestão de Empreendimentos. IDTec, Engenharia e Inovação, Lda. Coimbra, Portugal.
- Edwards, J., 2004 – EIA methods. University of Nottingham, UK. Disponível em [http://www.nottingham.ac.uk/scheme/general/EIA%20methods%20\(final2\).ppt](http://www.nottingham.ac.uk/scheme/general/EIA%20methods%20(final2).ppt). Acesso em 29.09.04
- Erickson, P., 1994 – A Pratical Guide to Environmental Impact Assessment. Academic Press, UK.

- ESRI Portugal, 2004 – Sistemas de Informação Geográfica . Sebenta do Curso de Introdução ao ArcGis, Nível I. Lisboa, Portugal.
- ESRI Portugal, 2005 – Sistemas de Informação Geográfica. Sebenta do Curso de Introdução ao ArcGis ,Nível II. Lisboa, Portugal
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations - Environmental impact assessment and environmental auditing in the pulp and paper industry. URL: <http://www.fao.org/>. Acesso em 18.08.04
- Félix-Filho, J., 1994a – Integração e concretização de Medidas Mitigadoras no Projecto Rodoviário. Seminário sobre a Avaliação de Impacte Ambiental de Projectos Rodoviários. Espinho, Portugal. 16 a 19 de Março de 1994.
- Félix-Filho, J., 1994b – Método Simples de Previsão de Impactes na Qualidade da Água Associados às Águas de Escorrência de Estradas. Seminário sobre a Avaliação de Impacte Ambiental de Projectos Rodoviários. Espinho, Portugal. 16 a 19 de Março de 1994
- Félix-Filho, J., 1995 – Controlo de Impactes Ambientais de obras de Engenharia Civil. Seminário Luso-Brasileiro de Geotécnica Ambiental. Lisboa, Portugal. 30 e 31 de Março de 1995.
- Gonçalves, A. Coutinho-Rodrigues, J., 2006 - Estudos de Impacte Ambiental em Empreendimentos de Engenharia, com recurso a Tecnologia SIG e Avaliação Multicritério. PARTE I – Metodologia Geral, Arquitectura do Sistema e Descrição de um Caso de Estudo, no Domínio das Infra-estruturas de Transporte Rodoviário. Research Report INESC-Coimbra, nr 06/2008. Disponível em http://www.inescc.pt/documentos/6_2008.pdf .
- Johnston, K., Ver Hoef, J., Krivoruchko, K., Lucas, M., 2001- Using ArcGis ® Geostatistical Analyst (ESRI®). ESRI Press. Redland, California, USA.
- Keleagetse, S., 2001 – Exploring the linkage of Environmental Impact Assessment and Geographic Information Systems: A Case Study of the Run Expressway, Morgantow, Monongalia County, West Virgínia. Tese de Mestrado em Geografia, West Virgínia University, USA. Disponível em https://etd.wvu.edu/etd/etdDocumentData.jsp?j_sp_etdId=2255. Acesso em 11.12.04.
- Lima, P., 1997 – Sebenta de Hidrologia do Curso de Mestrado em Engenharia Urbana, 97-99 Universidade de Coimbra, Portugal.
- Looijen, M. J., 2004 - Environmental Impact Assessment using GIS and MCE. The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Netherlands. Disponível em www.itc.nl/. Acesso em 23.04.04
- Loureiro, H., 2004–Curso Avançado de Programação em Access com VBA. FCA -Editora de Informática, Lda. Lisboa, Portugal.
- Malczewski, J., 1999 – Gis and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, Inc, USA.
- Maystre, L., Pictet, J., Simos,J.,1994 – Méthodes multicritères ELECTRE. Press Polytechniques et Universitaires Romandes. Laussane, CH.
- McCoy, J., Johnston, K. 2002 – Using ArcGis ® Spatial Analyst (ESRI®). ESRI Press, Redland, Califórnia,USA.
- Molines N., Chevallier, J.,(2002) - Système d' information géographique et analyse multicritère: une association novatrice au service du processus d' évaluation des grandes infrastructures linaires. Disponível em <http://www.lamsade.dauphine.fr/GeoAD/molines.pdf>. Acesso em 26.06.04.
- Nina, P., 1999 – Visual Basic 6,Curso Completo. FCA– Editora de Informática, Lda. Lisboa, Portugal.
- Ormsby, T., Napoleon, E., Burke, R., Groessl, C., Feaster, L., 2004 – Getting to Know ArcGis® desktop, update for ArcGis 9.0. ESRI Press. Redland, California, EUA.

- Pamanikabud, P. e Tansatcha, M.2001– Geographical information system for traffic noise analysis and forecasting with the appearance of barriers, in Environmental Modeling & Software Journal, Disponível em www.sciencedirect.com. Acesso em 17.02.05.
- Pimenta, M., 1998 – [Directrizes para a Aplicação da Equação Universal de Perda dos Solos em SIG](#). Factor de Cultura C e Factor de Erodibilidade do Solo K. Disponível em <http://snirh.inag.pt/> . Acesso em 03.02.05
- Pinho, P., 1997 – Apontamentos das Aulas de Gestão Ambiental. Curso de Mestrado em Engenharia Urbana, 97-99. Universidade de Coimbra, Portugal.
- Rodrigo, N., 2003–Curso de ArcGis II. Disponível em http://www.cibergeografia.org/arcgis/tav_pesq.htm. Acesso em 16.05.04.
- Rodrigues-Bachiller, A., with Glasson, J., 2004 – Expert Systems and Geographical Information Systems for Impact Assessment. Taylor and Francis, Inc. London, UK.
- Rodrigues, J., Isidoro, J., 2000- Sistemas de Informação Geográfica na Gestão de Recursos Hídricos. Disponível em, http://www.us.es/ciberico/archivos_acrobat/portocomu.rodrigues.pdf. Acesso em 10.02.05.
- Rodrigues, P., Pereira, P., Sousa, M., 1998 – Programação em C++, Conceitos básicos e algoritmos. FCA- Editora de Informática, Lda. Lisboa, Portugal.
- Tam, C., Tong, T., Lau, C., 2002 – Electre III in evaluating performance of construction plants. University of Hong Kong, Hong Kong. Disponível em <http://www.extenza-eps.com/extenza/loadHTML?objectIDValue=17345&type=abstract>. Acesso em 28.04.05.
- Tomás, P.,2003 - Erosão Hídrica do Solo em Pequenas Bacias Hidrográficas. Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo. Disponível em, <http://unidyne.uni.pt/~ptomas/R-EUPS1.pdf>. Acesso em 12.02.05. Acesso em 22.02.04
- Vlado, V., 2002 – Knowledge Based GIS for Site Suitability. Disponível em <http://gis.esri.com/library/userconf/proc02/pap1185/p1185.htm>. Acesso em 28.06.04.
- Zeiler, M.,1999 – Modeling Our World. The Esri® Guide to Geodatabase Design. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, Califórnia, USA.

6. Sites visitados

- Agencia Europeia do Ambiente, URL: <http://local.pt.eea.eu.int/>
- Environmental Systems Research Institute, Inc. URL: www.esri.com
- Instituto do Ambiente de Portugal. URL: <http://www.iambiente.pt/>
- Instituto de Estrada de Portugal. URL: www.iestradas.pt/
- Instituto Geográfico do Exército. URL: <http://www.igeoe.pt/>
- Instituto Superior de Agronomia. URL: <http://www.agricultura.isa.utl.pt/>
- Serviço Nacional de Informação Geográfica. URL: <http://snig.igeo.pt/>
- Priberam Informática Lda. URL: <http://www.priberam.pt/>
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. URL: <http://snirh.inag.pt/>
- LAMSADE, Université Paris-Dauphine, Place du Maréchal de Lattre de Tassigny, F-75775 PARIS CEDEX 16. URL: <http://www.lamsade.dauphine.fr/logiciel.html>
- NaturaLink, S.A. URL: <http://www.naturalink.pt/>