



# AVALIAÇÃO DO CUSTO DE EXPANSÃO DA ELETRIFICAÇÃO EM REGIÕES REMOTAS DO PLANETA

## Projeto 1

“O Homem criou a tecnologia. A tecnologia criou o Homem; O que somos. A eletricidade é o nosso estilo de vida.” Oliver Rendchen

Faculdade de Ciências da  
Universidade de Lisboa

Sistemas de Informação  
Geográfica

Ano Letivo:  
2014-2015 (1º Semestre)

Autores:  
Ana Antunes nº 45277  
Tiago Marques nº 45572

# Índice

Introdução .....	1
Energias Renováveis .....	2
Energia Eólica.....	2
Energia Fotovoltaica.....	2
Energia Hídrica.....	2
Tabela com os dados usados e respetivos metadados .....	3
Metodologia.....	4
Avaliação do potencial eólico .....	8
Avaliação do potencial fotovoltaico.....	9
Avaliação do potencial hídrico.....	10
Determinação das superfícies de custo.....	10
Conclusões .....	14
Anexo A .....	19
Anexo B.....	20
Anexo C.....	21
Anexo D .....	19
Anexo E.....	23
Anexo F.....	24
Anexo G .....	25
Referências .....	26

# Introdução

A evolução tecnológica e demográfica, assim como a procura de um maior bem-estar e de uma melhor qualidade de vida conduziram, nos últimos tempos, a um crescimento muito rápido do consumo energético, nas várias atividades humanas, a nível mundial.

A eletricidade está, portanto, bastante enraizada no nosso quotidiano nos mais diversos equipamentos elétricos e eletrónicos existentes no nosso quotidiano dos quais já não abdicamos.

Em suma, a eletricidade é o motor da vida moderna. Mas apesar desse valor, muitas vezes esquecemo-nos das dificuldades, dos custos e dos impactos da sua produção e consumo.

Nos últimos anos tem-se assistido a um desenvolvimento na indústria da energia, criando-se incentivos à adoção de outras formas de produção de eletricidade (as energias renováveis) de modo a minimizar os impactos que os combustíveis fósseis têm sobre o planeta.

Contudo, apesar deste fenómeno da eletricidade estar tão presente na nossa sociedade atual, ainda existem zonas do Globo onde não há acesso à eletricidade, principalmente zonas rurais.

Foi com base nesta realidade que escolhemos fazer este projeto, utilizando um exemplo de uma zona de Portugal Continental, para que depois a metodologia nesta usada possa ser aplicada a outras regiões do planeta que se encontrem na mesma situação. Através da consulta das estatísticas sobre Portugal no portal da Internet Pordata, selecionou-se essa zona com base na densidade populacional, distribuição espacial e consumo da eletricidade, levando à escolha do concelho de Ribeira de Pena, pertencente ao distrito de Vila Real, província de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Este projeto tem por objetivo avaliar espacialmente os custos associados à eletrificação de regiões remotas do planeta, através da elaboração de superfícies de custo, considerando a extensão da rede elétrica existente ou o recurso às energias renováveis, como a eólica, solar e hídrica.

# Energias Renováveis

Em seguida, apresenta-se os princípios básicos do funcionamento das energias renováveis que se vai considerar neste projeto que serão importantes na conceção deste.

## Energia Eólica

A energia eólica é produzida a partir da força do vento por aerogeradores, que o captam através das hélices. Estas estão ligadas ao rotor que está em rotação devido às mesmas e, através de um conjunto de engrenagens, é acionado o gerador elétrico. A quantidade de energia transferida é função da densidade do ar, da área coberta pela rotação das hélices e da velocidade do vento.

## Energia Fotovoltaica

A energia fotovoltaica requer a existência de energia solar que incide nos painéis fotovoltaicos, constituídos por células de um semicondutor (o silício). Quando a energia solar incidente é suficiente para conseguir remover os eletrões dos átomos constituintes das células, é produzida uma corrente elétrica (efeito fotoelétrico).

A energia fotovoltaica é bastante utilizada como forma de abastecimento de eletricidade nas zonas mais rurais.

## Energia Hídrica

A energia hídrica (ou hidroelétrica) utiliza a força da água, armazenada numa barragem, para produzir eletricidade.

No processo de produção de eletricidade a partir desta fonte renovável ocorre a transformação de energia potencial da água em energia mecânica (movimento das turbinas). Desta forma, as barragens são sobretudo implementadas em rios que apresentam declives acentuados, tornando o processo de produção de energia elétrica mais produtivo. As turbinas, em movimento, estão conetadas ao gerador, que é responsável pela transformação de energia mecânica em energia elétrica.

## Tabela com os dados usados e respetivos metadados

Dados	Metadados				Autor
	Descrição	Formato	Tipo de geometria dos elementos da camada	Sistema de referência	
<i>Altimetria_30m</i>	Altimetria	Raster	Pixel	Datum 73 Hayford Gauss IGeoE	ASTER GDEM
<i>Radiação Solar</i>	Radiação Solar	Shapefile	Polígono	Lisboa Hayford Gauss IGeoE	Agência Portuguesa do Ambiente
<i>Mapa RNT georreferenciado</i>	Rede elétrica nacional	AutoCAD	Polígonos, Linhas, Pontos	Datum 73 Hayford Gauss IGeoE	REN
<i>uso_solo</i>	Uso do solo	Shapefile	Polígono	ETRS89 – Portugal – TM06	Direção Geral do Território
<i>CAOP_2014</i>	Carta Administrativa de Portugal Continental	Shapefile	Polígono	ETRS89 – Portugal – TM06	Direção Geral do Território
<i>Atlas_Eólico_PT</i>	Atlas Eólico de Portugal Continental	Imagem PNG	Pixel	ETRS89 – Portugal – TM06	LNEG
<i>Zonas_Protegidas</i>	Áreas protegidas de Portugal Continental	Shapefile	Polígono	Lisboa Hayford Gauss IGeoE	Agência Portuguesa do Ambiente
<i>Zonas Perfeitas Hídrica</i>	Zonas com maior potencial hídrico	Shapefile	Ponto	ETRS89 – Portugal – TM06	Adriana Almeida, Inês Almas, Liliana Matos, Sérgio Antunes
<i>Rios</i>	Rios de Portugal Continental	Shapefile	Linha	WGS 1984	<a href="http://www.mapcruzin.com">http://www.mapcruzin.com</a>

# Metodologia

Para a realização deste projeto, transformou-se os sistemas de coordenadas dos dados iniciais adquiridos para o mesmo sistema de coordenadas: o ETRS89 – Portugal – TM06. Utilizou-se para isso o comando *Define Projection* para definir os sistemas de coordenadas iniciais de cada um dos ficheiros, aplicando-se em seguida a função *Project*, para reprojeta-los no sistema de coordenadas pretendido.

No ArcGIS começou-se por seleccionar Ribeira de Pena e Vila Real na layer *CAOP\_2014*, utilizando o comando *Select by Attributes* por Concelho e por Distrito, respetivamente. Criou-se, desta forma, as layers *Ribeira\_de\_Pena* e *Vila\_Real*.

Em seguida, utilizou-se o mesmo comando para seleccionar os distritos em redor de Ribeira de Pena (Vila Real, Braga e Porto), criando a layer *TudoAvolta*.

O concelho de Ribeira de Pena e os distritos à sua volta correspondem às regiões de interesse para a elaboração dos mapas de custo.

Todos estes comandos efetuados e respetivos ficheiros obtidos encontram-se esquematizados no fluxograma da Figura 1.

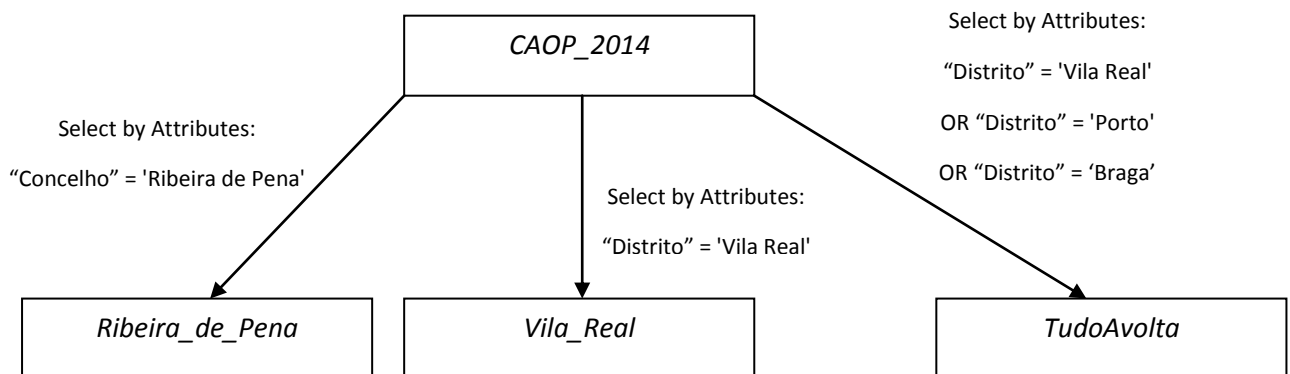


Figura 1 – Fluxograma correspondente à separação do ficheiro *CAOP\_2014* por regiões.

A layer *uso\_solo* é fundamental para a elaboração do mapa de custo de cada um dos tipos de energia que se considerará no projeto uma vez que o uso do solo determina a facilidade ou impossibilidade de instalação de cada um desses tipos de energia.

Obteve-se o ficheiro *uso\_solo\_emRedor*, que representa o uso do solo nos distritos à volta de Ribeira de Pena, a partir de *uso\_solo* e *TudoAvolta*.

Teve-se de converter essa layer para imagem raster utilizando o comando *Polygon to Raster*, obtendo-se a layer *Uso do Solo*, em formato raster. Depois, fez-se a reclassificação deste para cada um dos tipos de energia, utilizando a função *Reclassify*.

A Figura 2 representa o fluxograma correspondente a estes procedimentos.

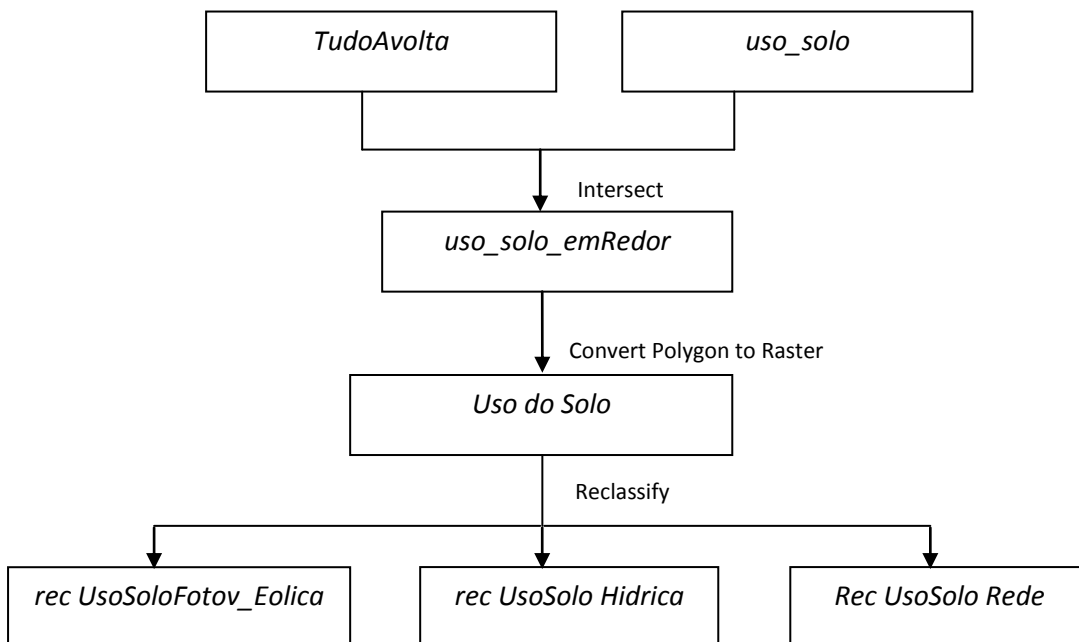


Figura 2 – Fluxograma correspondente à obtenção das layers da reclassificação do uso do solo para cada um dos tipos de energia nos distritos à volta de Ribeira de Pena.

Procedeu-se à averiguação da existência de áreas protegidas nos distritos à volta de Ribeira de Pena porque estas representam um impedimento à instalação das diversas energias.

Para isso, a partir do ficheiro *Zonas\_Protegidas* e na reclassificação efetuada para esta componente deu-se um peso de 1000 às zonas protegidas (impedimento) e de 1 às zonas não protegidas (não impedimento).

A Figura 3 representa as funções usadas nesta fase e os ficheiros obtidos.

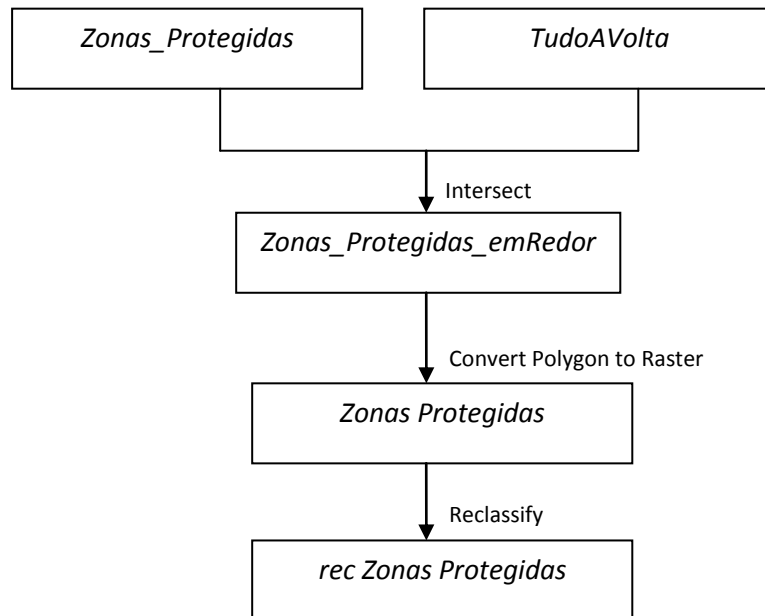


Figura 3 – Fluxograma correspondente à obtenção do ficheiro da reclassificação das zonas protegidas à volta de Ribeira de Pena (*rec Zonas Protegidas*).

Um mapa de declives foi também necessário para obter os mapas de custo. Utilizou-se para isso um mapa com a Altimetria em ficheiro raster, *Altimetria\_30m*, e através da função *Slope* obteve-se o mapa de declives, *Declive*. Procedeu-se, em seguida, à reclassificação deste mapa, tendo em conta que o custo de instalação das diversas energias (exceto a energia hídrica) será maior com o aumento do declive, obtendo-se no final a layer *rec Slope Rede\_Fotov\_Eolica*, correspondente ao mapa dos declives reclassificado para essas energias.

Na energia hídrica, como mencionado na página 2, para o processo de produção de eletricidade ser produtivo é necessário aproveitar os declives acentuados dos rios. Sendo assim, o custo será menor com o aumento do declive e, com base nesta fundamentação, obteve-se a layer *rec Slope Hidroeletrica*.



Os procedimentos e ficheiros obtidos nesta fase encontram-se esquematizados na Figura 4.

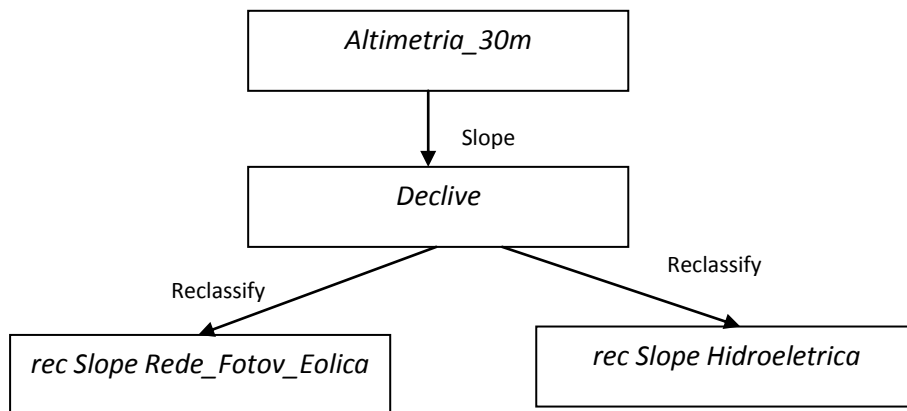


Figura 4 – Fluxograma com os procedimentos efetuados a partir do ficheiro *Altimetria\_30m*.

Para a determinação da superfície de custo da extensão da rede elétrica existente foi necessário ter em consideração a distância à rede.

Converteu-se o ficheiro *Mapa RNT georreferenciado* para shapefile e uma das layers obtidas foi *Linhas\_eletricidade REN*, em formato shapefile.

Recorreu-se depois à função *Euclidean Distance* com a layer *Linhas\_eletricidade REN*, calculando a distância euclidiana à rede elétrica.

Sabendo que à medida que a distância à rede aumenta, o custo associado também aumenta, na reclassificação da layer das distâncias deu-se um peso elevado a distâncias maiores.

A Figura 5 esquematiza os procedimentos efetuados a partir da layer *Linhas\_eletricidade REN*.

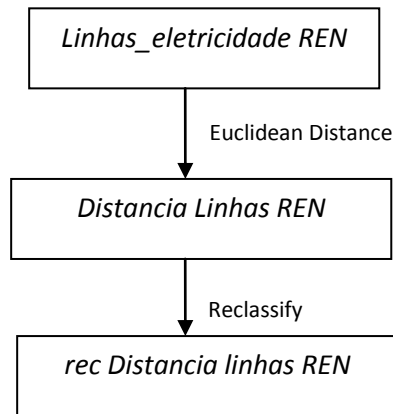


Figura 5 - Fluxograma correspondente aos comandos efetuados antes da determinação da superfície de custo para a Extensão da Rede Elétrica Existente.

## Avaliação do potencial eólico

A avaliação do potencial eólico exige um conhecimento detalhado das características dos ventos, nomeadamente no que diz respeito à velocidade e à direção do vento. Para que a energia eólica seja considerada viável, é necessário que a densidade do vento seja maior ou igual a  $500 \text{ W/m}^2$ , a uma altura de 50 metros, o que requer uma velocidade mínima de 7 a 8 m/s (GRUBB; MEYER, 1993). Na abordagem deste projeto considerou-se apenas este último fator.

Para a determinação da zona com maior potencial eólico recorreu-se a um Atlas Eólico de Portugal Continental (LNEG; 2010 – Anexo A) e procedeu-se à sua georreferenciação. Colocou-se em modo de edição e traçou-se polígonos à volta das zonas onde a velocidade do vento era favorável à instalação de parques eólicos (maior ou igual a 7 a 8 m/s), obtendo a layer *Melhor\_zona\_vento*. Reclassificou-se esta layer convertida para raster dando um peso de 1 às zonas com maior potencial eólico e um peso de 1000 às zonas com menor. Obteve-se a layer *rec Melhor Zona Vento*.

Os procedimentos seguidos nesta fase do projeto encontram-se esquematizados na Figura 6.

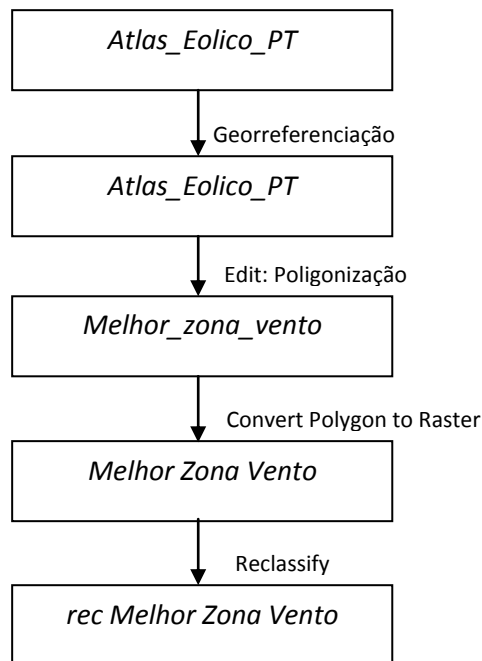


Figura 6 – Fluxograma correspondente aos comandos efetuados antes da determinação da superfície de custo para a Energia Eólica.

## Avaliação do potencial fotovoltaico

Na avaliação do potencial fotovoltaico considerou-se o mapa da Radiação Solar em Portugal Continental (Anexo B) e aplicou-se os comandos esquematizados na Figura 7.

Reclassificou-se a layer *Radiação Solar* dando um peso maior às classes com maior intensidade de radiação solar, uma vez que nessas existe um maior potencial fotovoltaico.

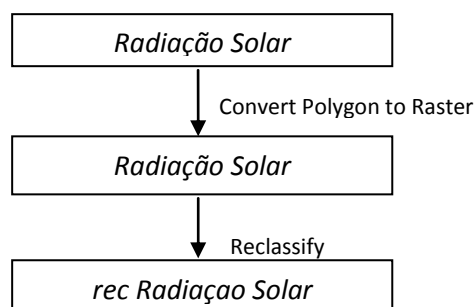


Figura 7 - Fluxograma correspondente aos comandos efetuados antes da determinação da superfície de custo para a Energia Fotovoltaica.

## Avaliação do potencial hídrico

Na avaliação potencial hídrico considerou-se o ficheiro *Zonas Perfeitas Hidroeletrica*, que corresponde às zonas com maior potencial hídrico.

Em seguida reclassificou-se esse ficheiro dando às zonas de maior potencial um peso 1 e às zonas fora destas um peso 1000.

Os procedimentos realizados nesta fase encontram-se no fluxograma da Figura 8.

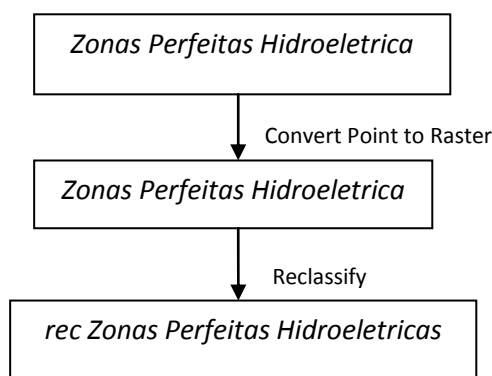


Figura 8 - Fluxograma correspondente aos comandos efetuados antes da determinação da superfície de custo para a Energia Hídrica.

## Determinação das superfícies de custo

Depois de tratadas cada uma das componentes procedeu-se à determinação das superfícies de custo (sc) das diversas energias, utilizando para esse fim a Álgebra de Mapas, através do comando *Raster Calculator*.

Para cada tipo de energia consideraram-se as layers necessárias, que correspondem às variáveis de mapa (VM), e os seus respetivos pesos (P) ponderados com base na importância que cada VM tem para o custo final. Utilizou-se no *Raster Calculator* a seguinte fórmula:

O resultado da aplicação desta fórmula no *Raster Calculator* origina um novo ficheiro em formato raster, que constitui o mapa de custo de cada energia nos distritos à volta de Ribeira de Pena.

Utilizando o comando *Extract by Mask* com os ficheiros de entrada *Ribeira\_de\_Pena.shp* e a superfície de custo, obtém-se esta apenas em Ribeira de Pena, permitindo avaliar o custo associado a cada tipo de energia.

Na elaboração da superfície de custo da **extensão da rede elétrica** (Anexo C) considerou-se a seguinte fórmula:

---

Onde:

$VM_1 = \text{rec UsoSolo Rede}$

$P_1 = 8$

$VM_2 = \text{rec Zonas Protegidas}$

$P_2 = 10$

$VM_3 = \text{rec Slope Rede_Fotov_Eolica}$

$P_3 = 5$

$VM_4 = \text{rec Distancia linhas REN}$

$P_4 = 10$

Para a elaboração da superfície de custo para a **energia eólica** (Anexo D) considerou-se a seguinte fórmula:

---

Onde:

$VM_1 = \text{rec UsoSolo Fotov\_Eolica}$

$P_1 = 8$

$VM_2 = \text{rec Zonas Protegidas}$

$P_2 = 10$

$VM_3 = \text{rec Slope Rede\_Fotov\_Eolica}$

$P_3 = 5$

$VM_4 = \text{rec Melhor Zona Vento}$

$P_4 = 10$

Para a elaboração da superfície de custo para a **energia fotovoltaica** (Anexo E) considerou-se a seguinte fórmula:

---

Onde:

$VM_1 = \text{rec UsoSolo Fotov\_Eolica}$

$P_1 = 8$

$VM_2 = \text{rec Zonas Protegidas}$

$P_2 = 10$

$VM_3 = \text{rec Slope Rede\_Fotov\_Eolica}$

$P_3 = 5$

$VM_4 = \text{rec Radiação Solar}$

$P_4 = 10$

Para a elaboração da superfície de custo para a **energia hídrica** (Anexo F) considerou-se a seguinte fórmula:

---

Onde:

$VM_1 = \text{rec UsoSolo Hidroeletrica}$

$P_1 = 5$

$VM_2 = \text{rec Zonas Protegidas}$

$P_2 = 10$

$VM_3 = \text{rec Slope Hidroelétrica}$

$P_3 = 8$

$VM_4 = \text{rec Zonas Perfeitas Hidroelétrica}$

$P_4 = 10$

## Conclusões

Ao observarmos a superfície de custo associada à extensão da rede elétrica no concelho de Ribeira de Pena, podemos concluir que as freguesias onde este processo é mais caro são as freguesias de Alvalá e a União das freguesias de Cerva e Limões. No entanto embora a primeira freguesia (Alvalá) tenha a pior zona para a extensão da rede elétrica é também esta que tem a melhor zona para a extensão juntamente com a freguesia de Canedo, onde o custo associado a este processo é mínimo.

As restantes superfícies de custo para a instalação das energias renováveis como fonte de energia no concelho de Ribeira de Pena apresentam um maior custo na freguesia de Alvalá (somente na zona onde existe uma área protegida). Isto acontece para não se criarem problemas nos habitats dos animais aí existentes, nem perturbações de natureza paisagística ou outras. Por isso a zona protegida, o Parque Natural do Alvão, foi considerada uma área onde o custo é muito mais significativo.

O concelho de Alvalá, fora da zona protegida, é bastante apto à instalação das energias renováveis como a energia fotovoltaica e a energia eólica onde apresenta para ambas a zona de menor custo.

Para a instalação da energia hidroelétrica (barragens), os rios que apresentam um menor custo de instalação, ou seja, nos quais a construção da barragem é mais rentável, por produzir mais energia, são os rios Tâmega (na freguesia de Santa Marina), Louredo (na União das freguesias de Cerva e Limões) e Beça (nas freguesias de Santa Marina e Canedo). Este facto era já esperado pelo facto destes três rios serem os que têm um maior caudal médio anual na região de Ribeira de Pena.

Através da análise por comparação dos mapas, podemos concluir que a forma de eletrificação rural que deverá ser empregue no concelho de Ribeira de Pena é a instalação de uma central fotovoltaica dado que é aquela com menos custo associado, é uma energia completamente limpa e a sua fonte de energia é a mais acessível.

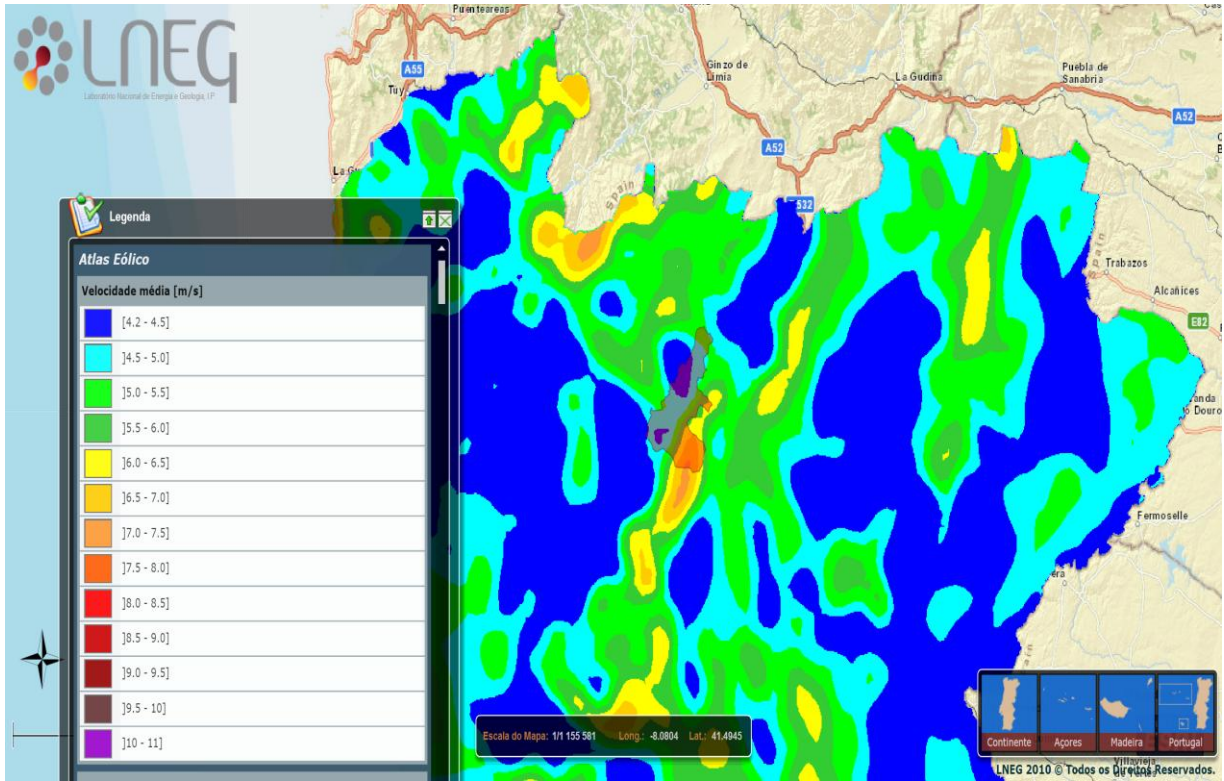


Devido à quantidade elevada de cursos de água de médio e baixo caudal no concelho de Ribeira de Pena sugere-se uma energia complementar à fotovoltaica: a mini-hídrica.

Esta pode compensar a paragem de produção de energia da central fotovoltaica no período noturno já que a sua fonte de energia está sempre acessível e existe em grande quantidade. Esta forma de produção de energia não causa perturbações de natureza paisagística relevantes e pode ser também utilizada para a agricultura pois necessita de desviar alguma água do seu curso natural (através de uma levada de água) e pode fornecer aos campos a água necessária.

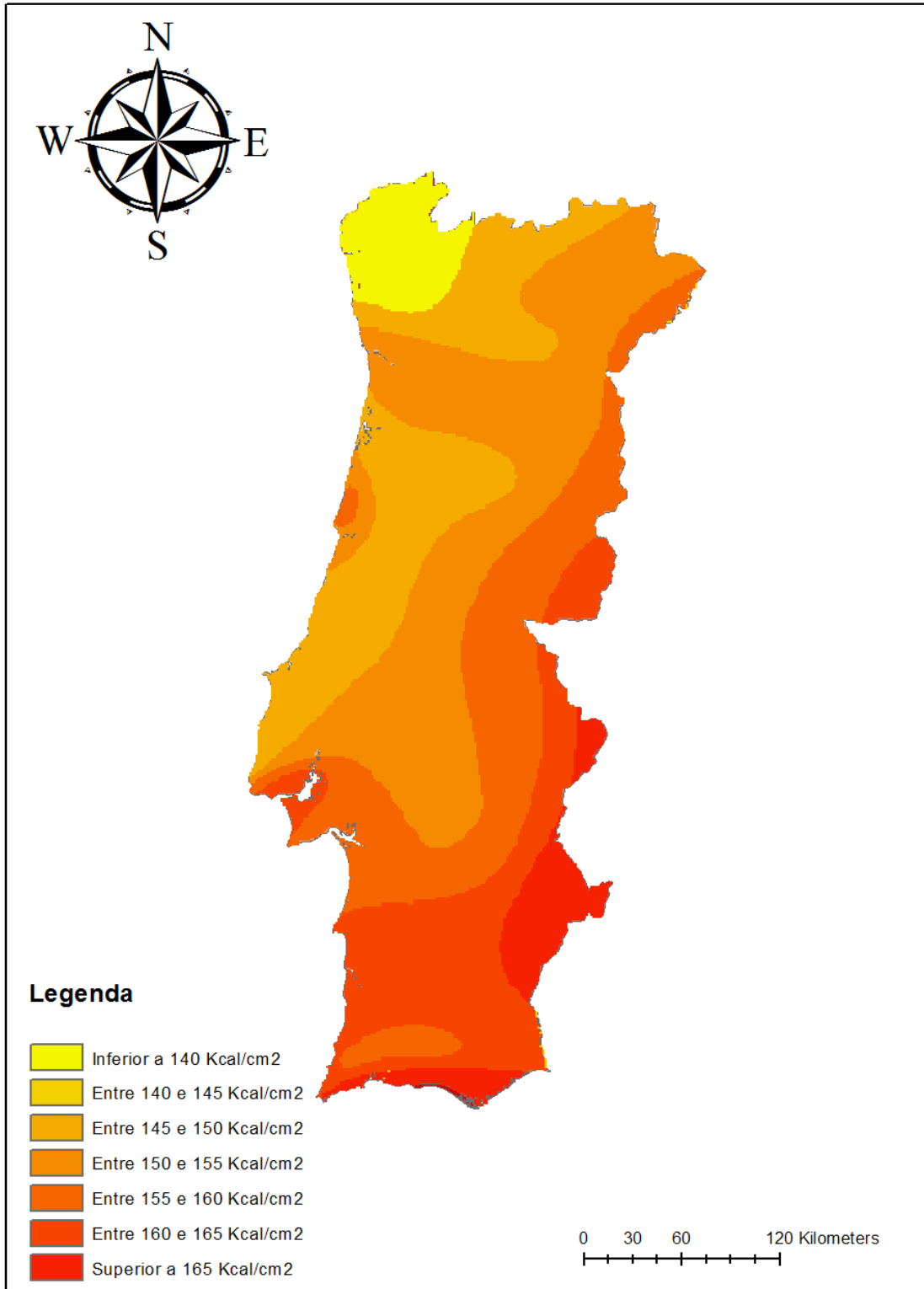
Sugere-se também uma produção descentralizada, que nos casos de populações dispersas, como é o caso de Ribeira de Pena, é, no geral, mais economicamente viável.

# Anexo A



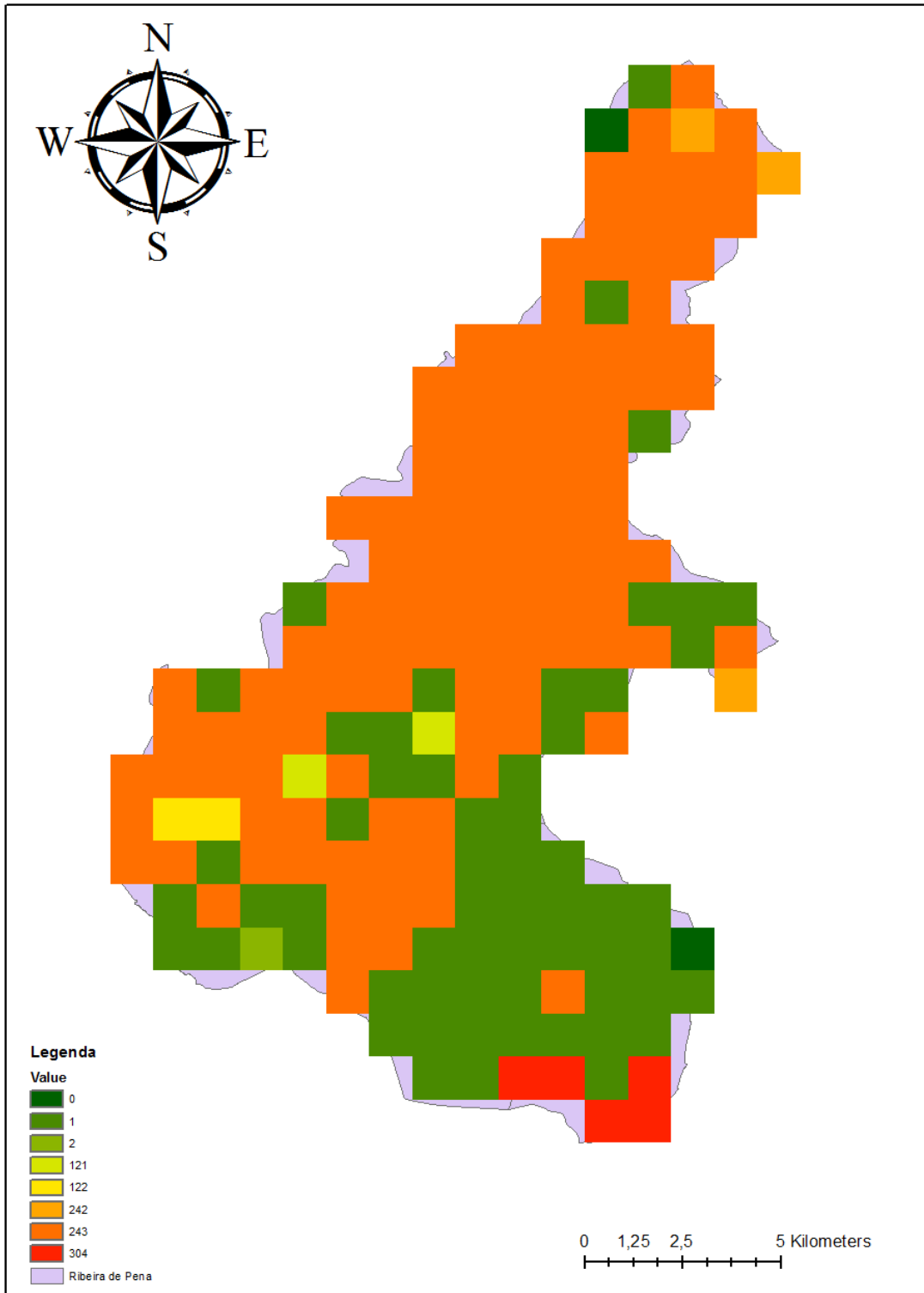
Atlas Eólico da zona norte de Portugal Continental (fonte - LNEG; 2010), com Ribeira de Pena destacado a roxo.

## Anexo B



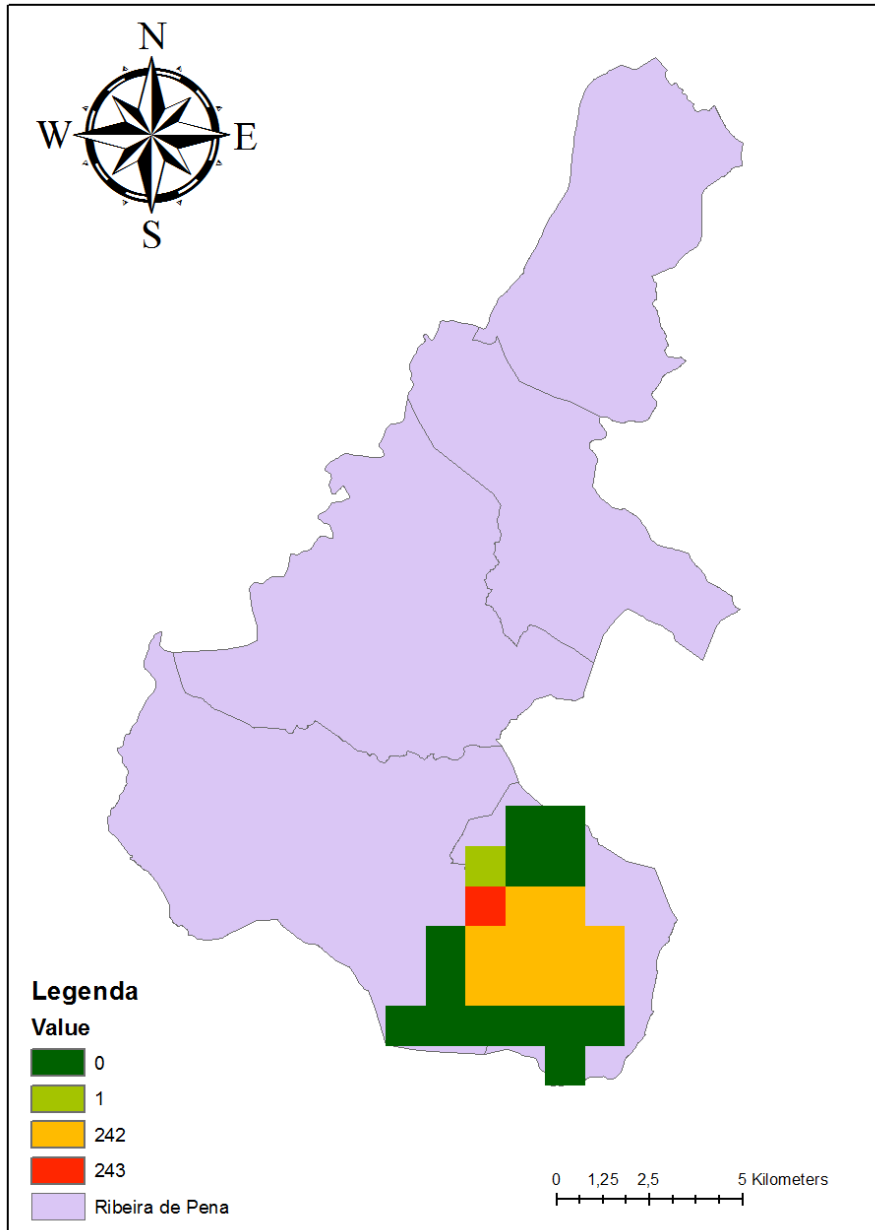
Intensidade de radiação global (kcal/cm<sup>2</sup>) no período 1938-1970 (fonte: SNIAmb).

# Anexo C



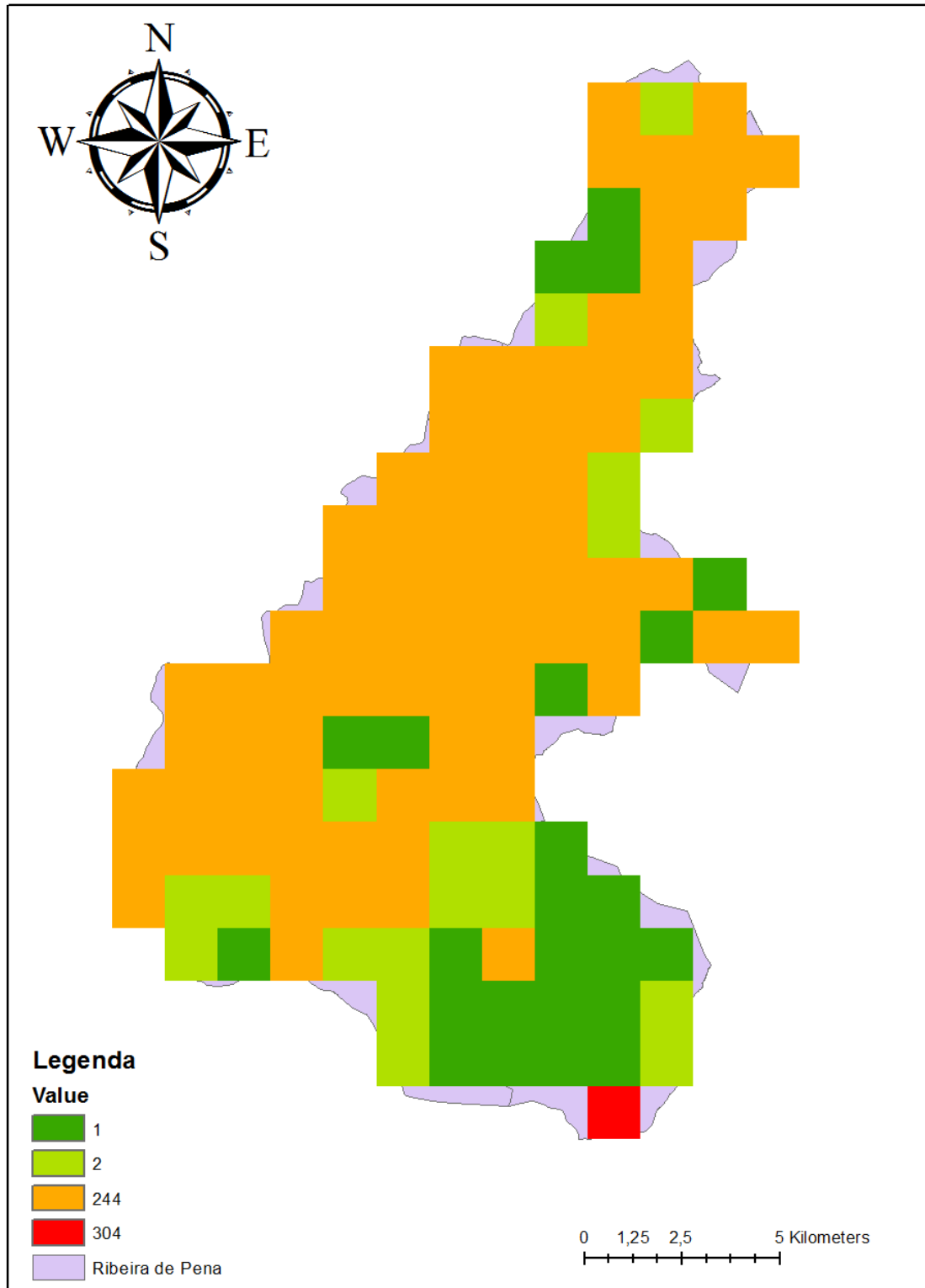
Superfície de Custo para a Extensão da Rede Elétrica Existente.

# Anexo D



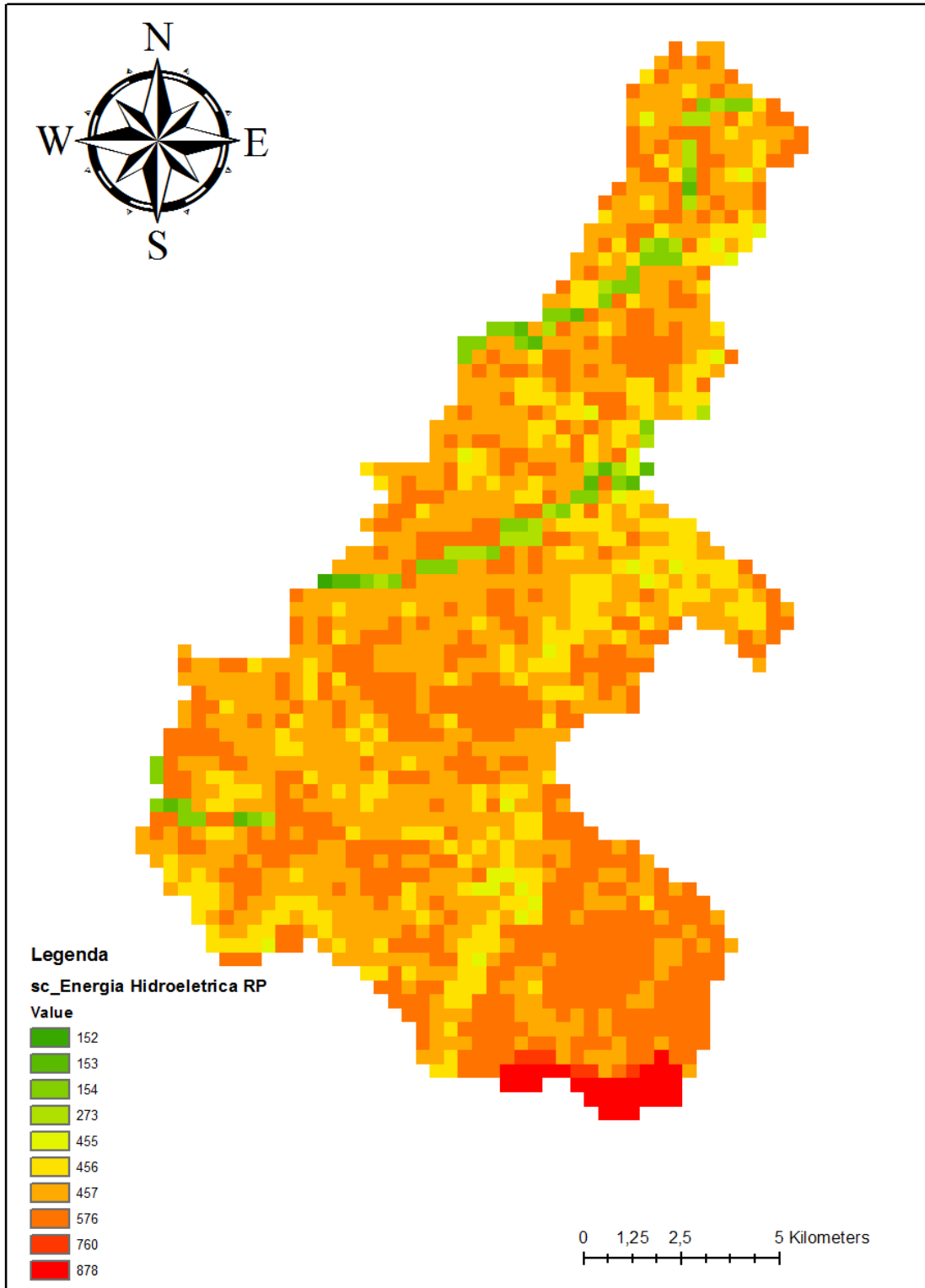
Superfície de Custo para a Energia Eólica.

# Anexo E



Superfície de Custo para a Energia Fotovoltaica.

# Anexo F



Superfície de Custo para a Energia Hídrica.



## Anexo G

Relação entre as layers no ArcGIS e os seus respetivos ficheiros nas pastas do CD.

Layers	Ficheiros associados
<b>SUPERFÍCIES DE CUSTO Ribeira de Pena</b>	
sc_Extensão Rede Existente RP	...\Raster\scRedeMask2
sc_Energia Fotovoltaica RP	...\Raster\SCfotovMask
sc_Energia Eolica RP	...\Raster\SCeolicaMask
sc_Energia Hidroeletrica RP	...\Raster\SCHidrMask
<b>SUPERFÍCIES DE CUSTO em Redor</b>	
sc_Extensao Rede Existente	...\Raster\scextredeclip
sc_Energia Fotovoltaica	...\Raster\scFotv_proj
sc_Energia Eolica	...\Raster\sc_eolic_proj
sc_Energia Hidroeletrica	...\Raster\scHidrClipF
<b>RECLASS</b>	
rec_UsoSolo Rede	...\Raster\recUSredeProj
rec_UsoSolo Fotov_Eolica	...\Raster\RecUSfotEol_p
rec_UsoSolo Hidroeletrica	...\Raster\recUSHidrica
rec_Slope Rede_Fotov_Eolica	...\Raster\recslope_Proj
rec_Slope Hidroeletrica	...\Raster\RecUShidro
rec_Zonas Protegidas	...\Raster\rec_ZonPrtg
rec_Distancia linhas REN	...\Raster\recdistline
rec_Radiação Solar	...\Raster\recRadSol_Prj
rec_Melhor Zona Vento	...\Raster\recbestwind
rec_Zonas Perfeitas Hidroeletrica	...\Raster\recZonPrfHidr
<b>RASTERS</b>	
Declive	...\Raster\Declive\DecliveProj
Altimetria_30m	...\Raster\AltimetrProj
Uso do solo	...\Raster\UsoSolo_proj
Zonas Protegidas	...\Raster\ZonPrt_Proj
Distancia Linhas REN	...\Shapefile\LinhasDist_2
Radiação Solar	...\Raster\RadSol_proj
Zonas Perfeitas Hidroeletrica	...\Raster\ZonPerfH_Proj
Melhor Zona Vento	...\Raster\BestWind_Proj
<b>SHAPEFILES</b>	
Zonas Perfeitas Hidroeletrica	E:\Projeto Hidro\zonas_perfeitas
Linhas_eletricidade REN	...\Shapefile\Linhas_electricidade
Radiação Solar	...\Raster\RADISOLAR
Melhor_zona_vento	...\Shapefile\melhor_zona_vento
Uso_solo_emRedor	...\Shapefile\Uso_solo_emRedor2
Zonas_Protegidas	...\Shapefile\Zonas_Protegidas
Atlas_Eólico_PT	...\Raster\Atlas eólico RP legenda_modificado
<b>REGIOES</b>	
Ribeira de Pena	...\Shapefile\Ribeira de pena
Vila Real	...\Shapefile\Vila Real
TudoAvolta	...\Shapefile\tudoAvolta
CAOP_2014	...\Shapefile\Cont_AAD_CAOP2014

Em que '...' é E:\Faculdade\2º ano\1º Semestre\SIG\Dados iniciais

# Referências

- <http://www.podata.pt>
- <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp>
- <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eur.htm>
- <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoTecnica/Paginas/MapaRNTGeoreferenciado.aspx>
- <http://geoportal.lneg.pt/geoportal/mapas/index.html>
- [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/cartografia/cartografia\\_tematica/cartas\\_de\\_ocupacao\\_do\\_solo/corine\\_land\\_cover](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/cartografia_tematica/cartas_de_ocupacao_do_solo/corine_land_cover)
- [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/cartografia/carta\\_administrativa\\_oficial\\_de\\_portugal\\_\\_caop\\_/caop\\_\\_download\\_/carta\\_administrativa\\_oficial\\_de\\_portugal\\_\\_\\_versao\\_2014](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/carta_administrativa_oficial_de_portugal__caop_/caop__download_/carta_administrativa_oficial_de_portugal___versao_2014)
- <http://sniamb.apambiente.pt/Home/Default.htm>
- <http://www.mapcruzin.com/free-portugal-arcgis-maps-shapefiles.htm>
- Almas, Inês; Almeida, Adriana; Antunes, Sérgio; Matos, Liliana; Projeto SIG; Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Lisboa; Portugal; 2013/2014