

***ERAMAC - Maximização da Penetração das Energias Renováveis e  
Utilização Racional da Energia nas Ilhas da Macaronésia***

Contrato nº MAC/4.3/C1

Projecto co-financiado pela UE – INTERREG IIIB AMC, FEDER – e pela RAM, através da Vice-Presidência do Governo Regional da Madeira, com a colaboração da Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia

# **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO EÓLICO NA REGIÃO AUTÓNOMA DA MADEIRA**

**Agosto de 2005**



Agência Regional da Energia e Ambiente  
da Região Autónoma da Madeira



**IDMEC**  
Institute of Mechanical Engineering

# **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO EÓLICO NA REGIÃO AUTÓNOMA DA MADEIRA**

## **Relatório Final**

### **Promotor:**

AREAM - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira

### **Elaboração:**

LASEF

### **Coordenação geral:**

AREAM

### **Coordenação técnico-científica:**

Prof. José Carlos Pereira, LASEF

### **Equipa de Trabalho:**

Bach. Ana Rita Ervilha  
Eng. Ricardo Reis  
Doutor José Chaves Pereira  
Doutor Richard Howard

**Agosto de 2005**

## **ÍNDICE**

|           |                                                                      |           |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b> | <b>SUMÁRIO EXECUTIVO .....</b>                                       | <b>4</b>  |
| <b>2.</b> | <b>METODOLOGIA .....</b>                                             | <b>5</b>  |
| <b>3.</b> | <b>DADOS .....</b>                                                   | <b>11</b> |
| <b>4.</b> | <b>RESULTADOS E MAPAS ELABORADOS .....</b>                           | <b>19</b> |
| 4.1.      | VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO E POTÊNCIA MÉDIA POR UNIDADE DE ÁREA ..... | 19        |
| 4.2.      | TURBULÊNCIA .....                                                    | 35        |
| 4.3.      | POTENCIAL EÓLICO .....                                               | 43        |
| 4.4.      | RESULTADOS DE PORMENOR .....                                         | 52        |
| 4.5.      | FIABILIDADE DAS PREVISÕES – ÍNDICE DE COMPLEXIDADE DO TERRENO .....  | 58        |
| <b>5.</b> | <b>ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES.....</b>                      | <b>66</b> |
| <b>6.</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                              | <b>69</b> |
|           | <b>ANEXOS .....</b>                                                  | <b>70</b> |

## 1. SUMÁRIO EXECUTIVO

Numa ilha em que os recursos energéticos endógenos com viabilidade de utilização na produção de electricidade são essencialmente os hídricos e os eólicos, a busca da redução da dependência energética leva, naturalmente, à procura de novos locais adequados à concretização de projectos nesse domínio.

O presente relatório foi elaborado no âmbito de um estudo solicitado pela AREAM para as ilhas da Madeira e Porto Santo.

Os estudos e análises efectuados tiveram como componente principal a caracterização do regime de ventos e a avaliação do potencial eólico.

O estudo do regime de ventos e a estimativa do potencial eólico das ilhas da Madeira e Porto Santo foram feitos tendo em conta a rugosidade do terreno e as situações de grande complexidade orográfica que caracterizam as respectivas ilhas, bem como através da utilização de dados meteorológicos registados e processados em seis Estações Meteorológicas Automáticas na ilha da Madeira e uma no Porto Santo.

A avaliação do potencial eólico teve ainda em conta o declive, a ocupação do terreno e a turbulência das ilhas em questão.

No decorrer do estudo efectuado foi utilizado o seguinte *software*: ArcGIS, AutoCAD, STAR-CD, TriU, Visual Basic, WAsP.

O presente relatório compõe-se de 6 secções. Na segunda secção é apresentada a metodologia seguida e na terceira secção constam os dados utilizados no decorrer do trabalho. Os resultados e os mapas elaborados constituem a quarta secção do relatório e a análise dos resultados e conclusões obtidas encontram-se na quinta secção. A sexta secção consiste nas referências bibliográficas tidas em consideração. Por fim, é apresentado em anexo uma listagem dos dados em formato digital (ArcGIS), representados em 43 ficheiros com um total de 55 MB.

## 2. METODOLOGIA

O vento surge principalmente como consequência de um aquecimento não homogêneo da atmosfera pelo sol e das irregularidades da superfície terrestre. Existe, portanto, uma conversão de aproximadamente de 1 a 2 por cento de energia solar em energia cinética do vento que, apesar de ser pequena quando comparada com o total de energia solar que chega à Terra, é cerca de 50 a 100 vezes superior à transformada em biomassa por todas as plantas do Planeta.

A **lei de Betz** estabelece que o máximo de energia que pode ser retirada ao vento através de um aerogerador corresponde a uma diminuição na velocidade do vento de 2/3 em relação à sua velocidade antes de atingir o aerogerador. A velocidade do vento é, portanto, um parâmetro essencial na avaliação do potencial eólico.

A velocidade do vento num determinado ponto nunca é constante. Existem variações anuais, variações estacionais, variações diárias e variações até de segundo para segundo. Em zonas onde existem dados meteorológicos, a variabilidade da velocidade do vento é representada em distribuições de frequência, sendo a mais utilizada a **distribuição de Weibull**, uma distribuição de probabilidade de dois parâmetros. A probabilidade da velocidade do vento ter o valor  $U$  é dada pela relação [1]:

$$p(U) = \left( \frac{k}{C} \right) \left( \frac{U}{C} \right)^{k-1} \exp \left[ - \left( \frac{U}{C} \right)^k \right]$$

onde **k** é o parâmetro de forma de Weibull e **C** é o parâmetro de escala de Weibull.

A velocidade média do vento e o parâmetro de escala indicam como é, em média, a zona em estudo no que se refere à velocidade dos ventos. O parâmetro de forma indica o grau de concentração da distribuição, ou seja, se as velocidades do vento tendem sempre a estar próximas de um certo valor. Assim, a distribuição

que tem um valor elevado de  $k$  será uma distribuição muito concentrada num dado valor.

Existem várias relações entre os parâmetros de Weibull, sendo as utilizadas neste trabalho:

$$C = \frac{2\bar{U}}{\pi^{\frac{1}{k}}} \text{ para } (1.6 \leq k \leq 3) \quad \text{e} \quad k = \frac{3C^3\pi^{\frac{1}{3}}}{2\bar{U}^3} \text{ para } (1.8 \leq k \leq 2.3)$$

A distribuição das velocidades do vento não é, em geral, simétrica. Embora hajam velocidades de vento muito elevadas, estas são pouco frequentes, predominando as velocidades mais moderadas.

Esta distribuição estatística da velocidade do vento varia de um local para outro do globo, dependendo das condições climáticas locais, do relevo e da superfície. Portanto, a **distribuição de Weibull** pode variar tanto na forma como no valor médio.

Note-se, porém, que a **distribuição de Weibull** é uma aproximação (analítica, muito utilizada e adaptada a esta realidade) à distribuição real. Na prática, tem-se em cada ponto a distribuição de Weibull mais próxima da realidade numa qualquer medida.

A distribuição do vento tem que ser sempre considerada ao efectuar os cálculos da potência do vento, pelo que não se pode simplesmente utilizar a média da velocidade do vento. É portanto necessário ponderar a probabilidade de cada valor da velocidade com a correspondente potência. Esta necessidade deve-se ao facto de a potência obtida a partir da energia cinética do vento ser proporcional ao cubo da velocidade. Assim, os valores elevados, menos frequentes da velocidade do vento, contribuem pouco para o valor médio mas têm uma forte contribuição para a potência obtida.

A caracterização do regime de ventos de uma dada região ou zona designa-se por atlas de vento, o qual deverá ser independente do local onde foram recolhidos os dados que servem de base para a sua construção. O atlas de vento resulta da eliminação dos efeitos locais introduzidos pela topografia, pela rugosidade superficial e pelos obstáculos eventualmente existentes na zona que se pretende estudar.

Conhecido o regime de escoamento livre, é possível estimar as características do vento em qualquer local da área a que o vento se refere. Isto é feito aplicando o efeito dos elementos perturbadores concorrentes em cada ponto onde se efectua a previsão. Deste modo, é possível conhecer a distribuição do recurso disponível pela área em estudo.

Portanto, se duas estações estiverem situadas numa região influenciada pelo mesmo regime de ventos, o atlas obtido a partir dos valores medidos em ambas as estações deverá ser, idealmente, o mesmo, apesar das características específicas de cada local. Quando tal se verifica, é possível, construindo o atlas com base nos dados de um estação, reproduzir as características do vento noutro local influenciado pelo mesmo regime. Na prática, verificam-se realidades tanto mais afastadas do enunciados quanto mais complexo é o relevo, embora outros fenómenos atmosféricos possam também condicionar o rigor das previsões referidas.

A correcta quantificação do potencial eólico disponível para fins energéticos em locais de topografia complexa apresenta diversas dificuldades [2]. A modelação do escoamento atmosférico em terrenos de elevada complexidade traz, efectivamente, várias complicações. Os modelos incorporados utilizados comercialmente são forçados a recorrer a algumas simplificações. A linearização das equações fundamentais da Mecânica dos Fluidos deixa de parte fenómenos como o deslocamento ou a recirculação, fenómenos que são tanto mais comuns quanto maior for a complexidade orográfica. Todavia, estes fenómenos podem ser tidos em conta usando técnicas de Mecânica dos Fluidos Computacional, MFC (CFD na versão Anglo-Saxónica corrente).

Apesar das limitações e dificuldades referidas, alguns modelos simplificados, como é o caso do *software* utilizado – WAsP, podem produzir bons resultados na avaliação de recursos eólicos, desde que utilizados dentro dos limites e no respeito pelas condições aconselhadas à sua utilização [3].

Com base nos dados fornecidos das várias estações meteorológicas e na representação digital do terreno, utilizando o programa WAsP, foram calculadas as características do vento em pontos igualmente espaçados de 100 em 100 metros para a ilha da Madeira e de 50 em 50 metros para o Porto Santo. Em ambos os casos, utilizou-se uma rugosidade média de 0,5 para o terreno e uma rugosidade de 0,0 para o mar [4].

Após o cálculo da velocidade do vento, torna-se necessária a aplicação de um filtro que cinge a gama do cálculo a valores mínimos e máximos.

A necessidade de filtração deve-se à existência de valores espúrios, nomeadamente no limite superior da escala. De uma forma geral, os valores limite (em ambos os extremos) são os menos credíveis, o que justifica também o uso de um filtro.

Note-se que os valores situados nas gamas médias (médias altas), que correspondem à realidade e à gama útil para fins energéticos, não são significativamente afectados pela aplicação de filtros, como seria de supor também.

Desta forma, o processo de filtragem dos valores obtidos tem em conta a seguinte expressão:

$$u'_i = \frac{(\max - \min)}{\left( \exp \left( a - \frac{b * (u_i - \min)}{(\max - \min)} \right) + c \right)} + \min$$

onde:

$$a = 2$$



$$b = 2a = 4$$

$$c = 1$$

$$\min = 1 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\max = 12 \text{ m.s}^{-1}$$

As técnicas da Mecânica dos Fluidos Computacional foram também uma das ferramentas empregues na simulação do campo de escoamentos sobre as ilhas da Madeira e Porto Santo.

De uma forma sucinta, trata-se da integração numérica das equações de Navier – Stokes e da Continuidade, usando para isso o método dos Volumes Finitos.

As equações referidas foram utilizadas na sua forma incompressível e isotérmica. A turbulência foi simulada de duas formas diferentes, usando um modelo de simulação das grandes escalas (LES), através do *Software* TriU, ou um modelo k-epsilon sobre o escoamento médio estacionário (RANS), através do *Software* STAR-CD.

Nos cálculos de LES, as equações de Navier-Stokes são simuladas na sua forma não estacionária, sendo o resultado final a média das ocorrências após o período de estabilização (regime aproximadamente permanente) do escoamento. Nos cálculos de RANS, o estudo centra-se na versão estacionária, obtendo-se o campo médio e sendo a turbulência modelada, como referido acima, com o modelo k-epsilon.

Os dois modelos utilizados, LES e RANS, foram aplicados respectivamente às ilhas da Madeira e Porto Santo. A justificação desta opção, sempre questionável à luz de um outro qualquer critério, faz-se assumindo que o cálculo das grandes escalas do escoamento turbulento seriam a forma mais credível de estudar o escoamento sobre a ilha da Madeira. Por outro lado, dada a dimensão mais reduzida da ilha de Porto Santo, é possível aumentar a resolução por metro

quadrado, sendo que é de esperar uma boa aproximação usando um modelo de turbulência baseado na velocidade média.

A malha computacional da envolvente de cada uma das ilhas (com pelo menos 5 km para além dos limites da costa) é composta por cerca de 2 milhões de volumes de controlo.

Para a ilha da Madeira foram feitos cálculos em cada uma das direcções (Norte, Sul, Este e Oeste), admitindo como perfil de velocidades à entrada do domínio um perfil de camada limite atmosférica. Sendo o vento dominante na Madeira (em altitude) essencialmente de Norte [5], foi o resultado de Norte o apresentado como previsão dos níveis de turbulência. Os resultados das outras direcções são também apresentados, ilustrando a influência das outras direcções, não dominantes, ou de efeitos locais não tidos em consideração, nomeadamente microclimas, fenómenos térmicos e fenómenos oceanográficos.

Para a ilha de Porto Santo, tendo em conta a sua menor dimensão e admitindo-a menos sensível aos fenómenos acima mencionados, a técnica de cálculo foi diferente. Assim, foi ajustada a intensidade e direcção do escoamento de aproximação por forma a que a velocidade dos ventos no local da estação meteorológica tivesse intensidade e direcção dominante dos ventos medidos na referida estação - cerca de 6 m/s de proveniência N-NE. Neste caso, a intensidade de turbulência do escoamento de aproximação (10%) foi determinada por duas vias, por um lado é um valor realista e por outro produz resultados na gama dos medidos na zona (na década de oitenta) e fornecidos pela AREAM.

Os cálculos efectuados em WAsP, incluindo os teste preliminares, corresponderam a uma utilização de cerca de 5000 horas de CPU num PC P4 2,6 GHz. Em CFD, os cálculos corresponderam a, aproximadamente, 3000 horas em 8 Processadores P4 2,2 GHz.

### 3. DADOS

A informação topográfica teve por base cartas geográficas das ilhas da Madeira e Porto Santo do IGEO, à escala 1:50000, com curvas de nível espaçadas de 25 em 25 metros. O Sistema de Coordenadas é Rectangulares com Projecção UTM (Fuso 28), Elipsóide de Hayford, Datum Porto Santo.

Os registos do vento utilizados foram obtidos em EMAs (Estações Meteorológicas Automáticas) instaladas em parques eólicos protegidos por uma vedação, no interior das quais se encontram os sistemas de aquisição, registo e processamento de dados. O mastro basculante de 10 metros das respectivas estações apresenta os seguintes sensores eléctricos de vento: Catavento Vaisala WAV15A e Anemómetro Vaisala WAA15A, instalados a 10 metros acima do solo.

Os registos utilizados são relativos a observações de valores médios da intensidade e do rumo do vento em cada 10 minutos. A informação facultada consiste em tabelas de frequências de ocorrência por sector da rosa dos ventos e por classe de velocidade.

Apresenta-se em seguida as rosas dos ventos referentes às várias estações meteorológicas, bem como os respectivos histogramas das frequências de ocorrência por classes de velocidade.

Note-se que a distribuição de Weibull é a que melhor se ajusta ao regime de ventos identificado, sendo caracterizada por um factor de escala ( $A$ ) e por um factor de forma ( $k$ ).

## Funchal / Observatório

Localização: Observatório Meteorológico do Funchal, Madeira

Latitude: 32° 38' N

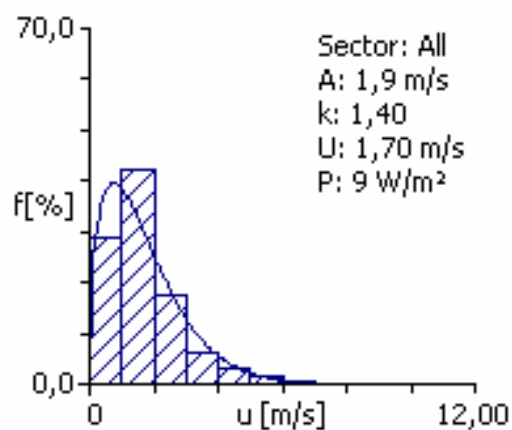
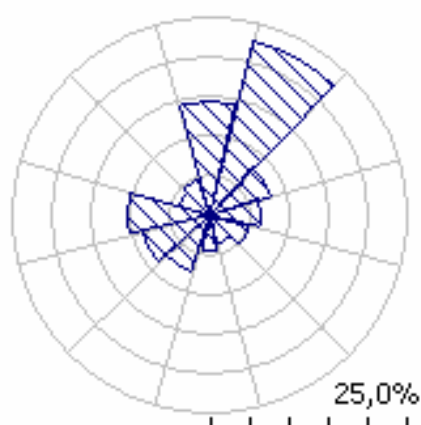
Longitude: 16° 54' W

Altitude (parque instrumentos): 58 m

Início de funcionamento: 1864 (estação clássica), Janeiro de 1996 (EMA)

Tipo de estação: sinóptica, climatológica principal, EMA tipo I

Período dos dados utilizados: 199901 → 200405 (65 meses)



## Funchal / RUEMA

Localização: Centro de Biologia Marinha, Madeira

Latitude: 32° 38' N

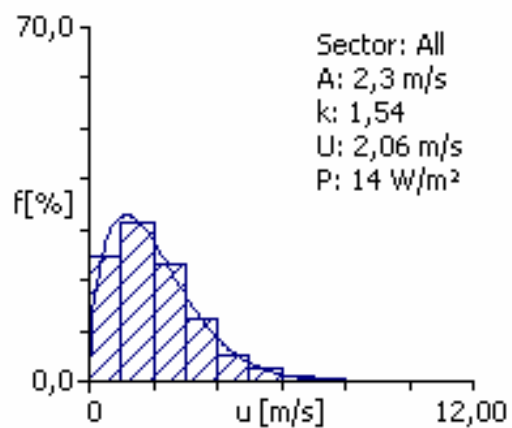
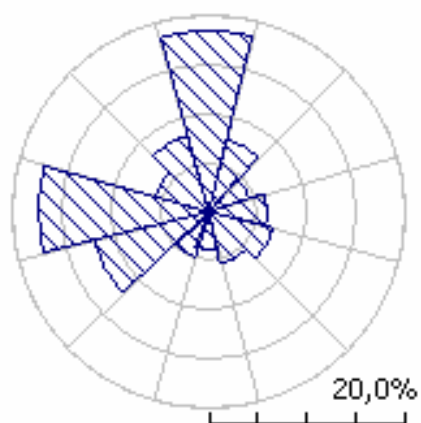
Longitude: 16° 56' W

Altitude (parque instrumentos): 24 m

Início de funcionamento: 2002 (RUEMA)

Tipo de estação: EMA da rede urbana

Período dos dados utilizados: 200201 → 200403 (27 meses)



## Areeiro

Localização: Pico do Areeiro, Madeira

Latitude: 32° 43' N

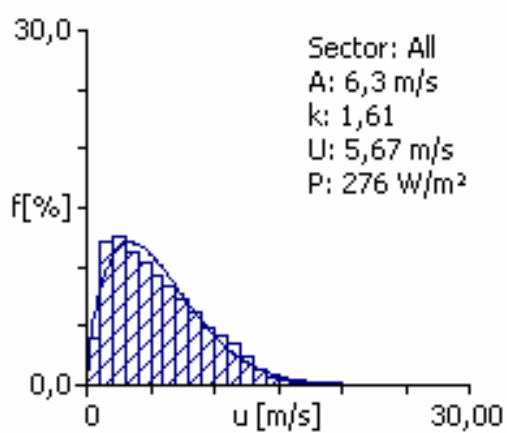
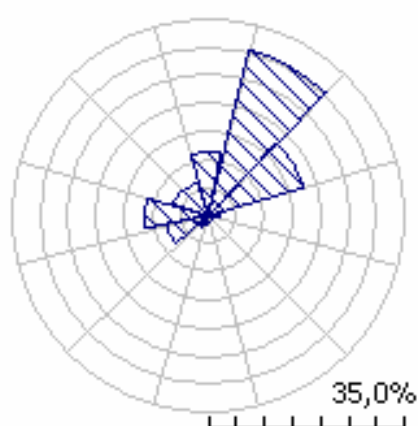
Longitude: 16° 55' W

Altitude (parque instrumentos): 1510 m

Início de funcionamento: 1961 (estação clássica), Março de 2002 (EMA)

Tipo de estação: climatológica simples, EMA tipo II

Período dos dados utilizados: 200209 → 200405 (21 meses)



## Santana / S. Jorge

Localização: Farol da Ponta de S. Jorge, Madeira

Latitude: 32° 50' N

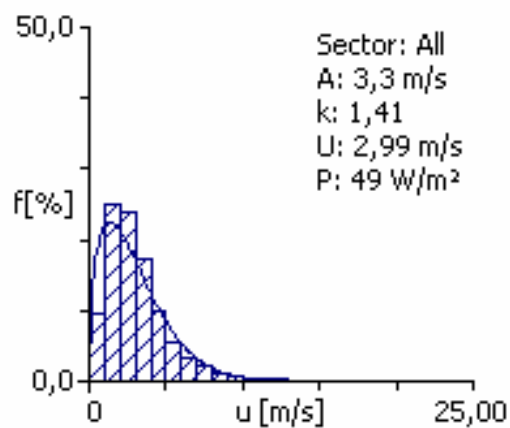
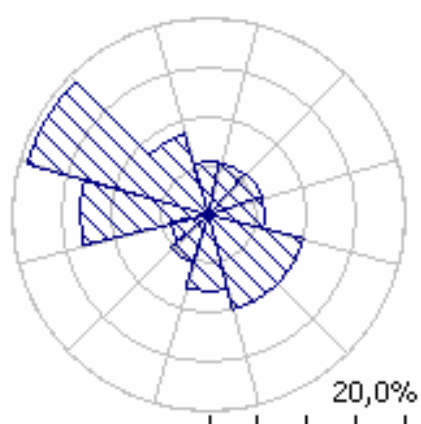
Longitude: 16° 54'W

Altitude (parque instrumentos): 271 m

Início de funcionamento: Março de 2002 (EMA)

Tipo de estação: climatológica simples, EMA tipo II

Período dos dados utilizados: 200209 → 200405 (21 meses)



## Ponta do Sol / Lugar de Baixo

Localização: Centro de Floricultura, Madeira

Latitude: 32° 40' N

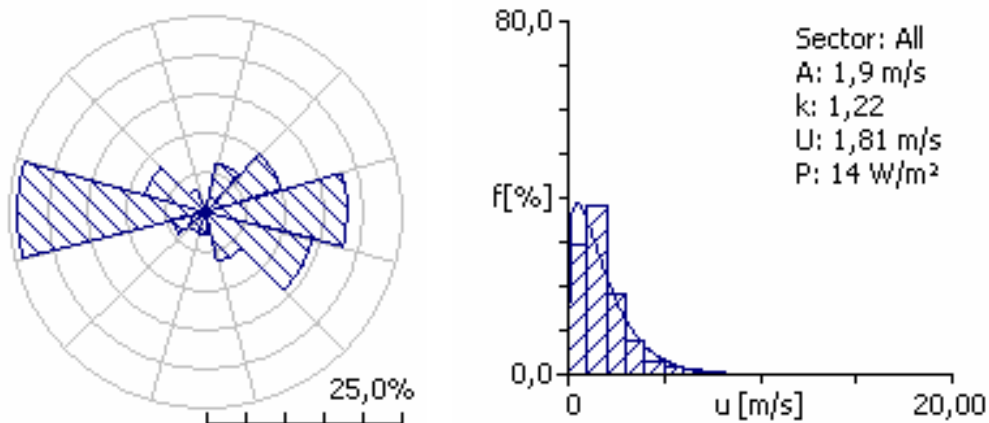
Longitude: 17° 05' W

Altitude (parque instrumentos): 48 m

Início de funcionamento: Janeiro de 1949 (estação clássica), Março de 2002 (EMA)

Tipo de estação: climatológica simples, EMA tipo II

Período dos dados utilizados: 200209 → 200405 (21 meses)





## Calheta / Ponta do Pargo

Localização: Farol da Ponta do Pargo, Madeira

Latitude: 32° 49' N

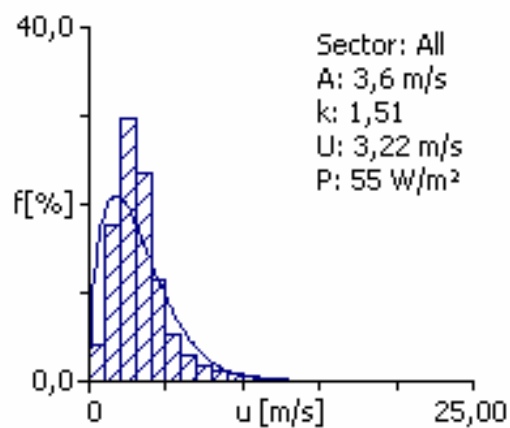
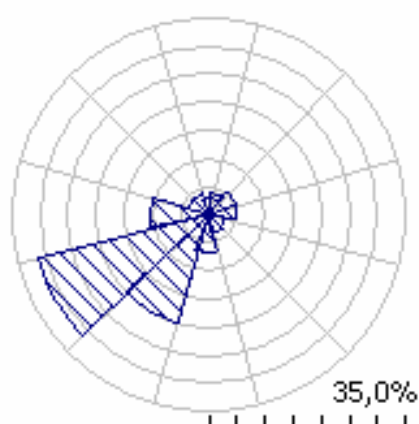
Longitude: 17° 16' W

Altitude (parque instrumentos): 312 m

Início de funcionamento: Março de 2002 (EMA)

Tipo de estação: climatológica simples, EMA tipo II

Período dos dados utilizados: 200209 → 200405 (21 meses)



## Porto Santo / Aeroporto

Localização: Aeroporto de Porto Santo, Madeira

Latitude: 33° 06' N

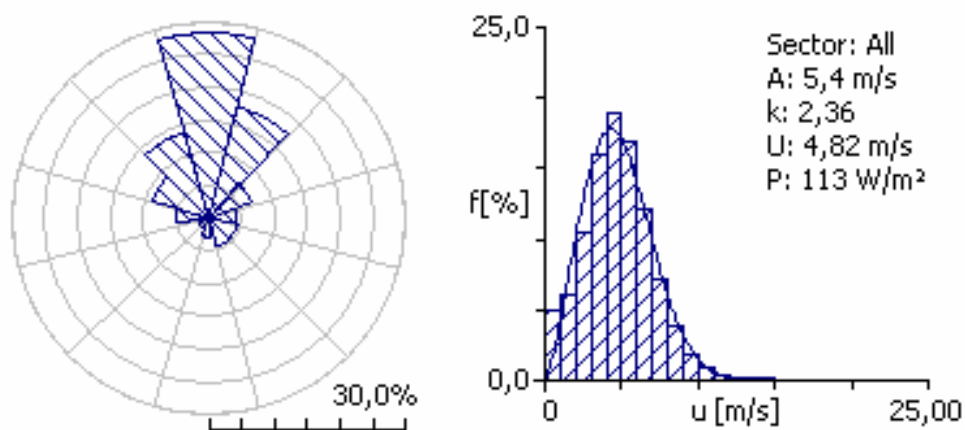
Longitude: 16° 21' W

Altitude (parque instrumentos): 82 m

Início de funcionamento: 1861 (estação clássica), Janeiro de 1996 (EMA)

Tipo de estação: aeronáutica, sinóptica, climática principal, EMA tipo I

Período dos dados utilizados: 199901 → 200202 e 200307 → 200405 (49 meses)



## **4. RESULTADOS E MAPAS ELABORADOS**

### **4.1. VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO E POTÊNCIA MÉDIA POR UNIDADE DE ÁREA**

Na ilha da Madeira, a determinação da distribuição de velocidades, com recurso ao WAsP, foi feita “localmente”. Assim, a ilha foi dividida em várias zonas, de acordo com a localização das estações meteorológicas.

As zonas de interface são bandas de 10 km, onde os resultados finais são obtidos por interpolação dos dados à esquerda e à direita, nomeadamente interpolação ponderada pela distância, de segunda ordem de precisão.

Refira-se ainda que a zona Este da ilha da Madeira tem 4 estações meteorológicas – Funchal Observatório, Funchal RUEMA, Areeiro e São Jorge. Assim, a ilha foi dividida, nessa região, com cortes horizontais. Porém, a zona do Caniçal apresenta uma localização particular que, ainda assim, deveria ficar sob influência dos dados da estação meteorológica do Areeiro. No entanto, conclusões provenientes da observação dos mapas e dos cálculos de CFD, levaram a que esta zona fosse contabilizada com as estações meteorológicas Funchal RUEMA e Areeiro.

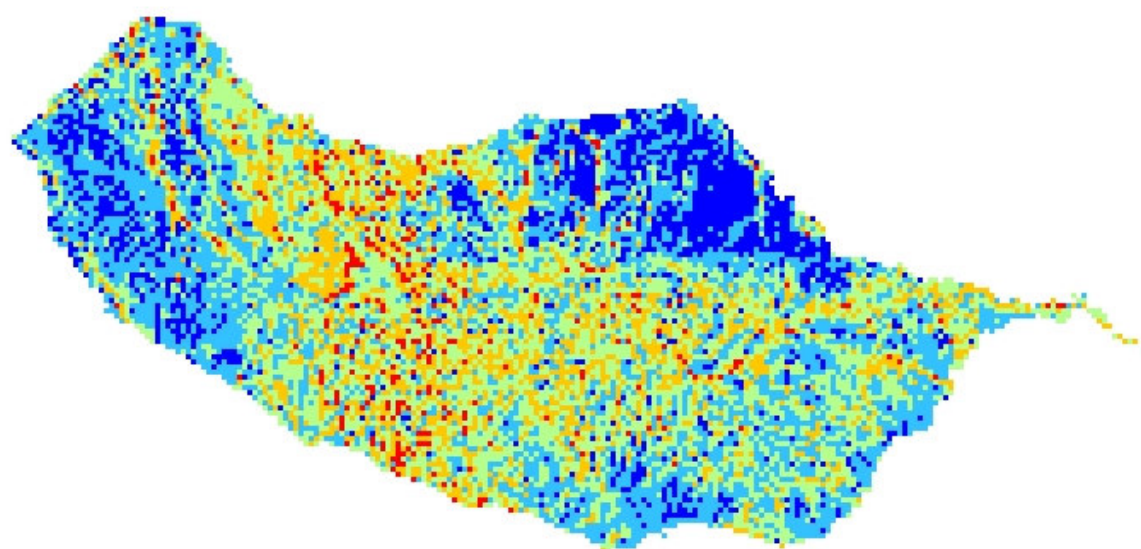
Como tudo indica, os dados do Funchal RUEMA são mais fiáveis para a determinação do potencial eólico da zona do Caniçal. Porém a estação do Areeiro, sendo elevada, e tendo em conta a direcção dos ventos predominantes (de Nordeste - da zona do Caniçal), seria uma fonte de maiores garantias.

Deste modo, a estimativa final para a zona do Caniçal conta com uma influência ponderada do Areeiro e do Funchal RUEMA.

A potência disponível por unidade de área teve em conta a velocidade média do vento calculada (WAsP) e a densidade do ar ( $1,225 \text{ kg/m}^3$ , valor considerado no cálculo efectuado).

As figuras abaixo reportam-se aos resultados obtidos dos seguintes cálculos: velocidade média do vento na ilha da Madeira a 10 e 40 metros (WAsP); velocidade média do vento (Norte, Sul, Este e Oeste) na ilha da Madeira a 50 metros (CFD); potência disponível por unidade de área na ilha da Madeira a 10 e 40 metros; velocidade média do vento na ilha de Porto Santo a 10 e 40 metros (WAsP); velocidade média do vento (Norte) na ilha de Porto Santo a 10 e 40 metros (CFD); potência disponível por unidade de área na ilha de Porto Santo a 10 e 40 metros.

## Velocidade Média do Vento (WaSP) Madeira - 10 m



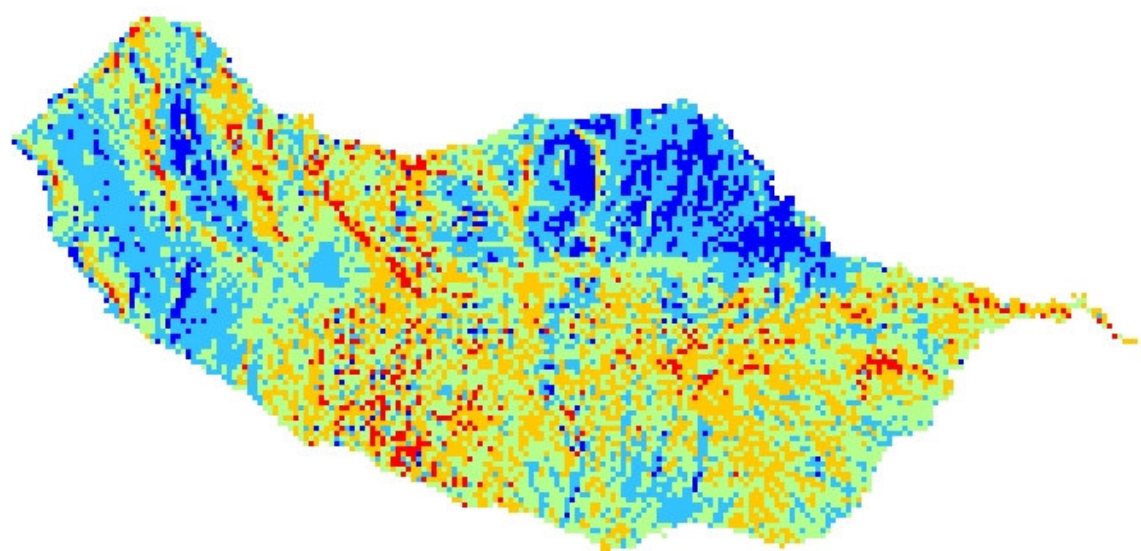
### Legenda

velocidade média do vento (m/s)

- < 3,0
- 3,0 - 4,5
- 4,5 - 6,0
- 6,0 - 7,5
- > 7,5

0 5.200 10.400 20.800 Metros

## Velocidade Média do Vento (WaSP) Madeira - 40 m



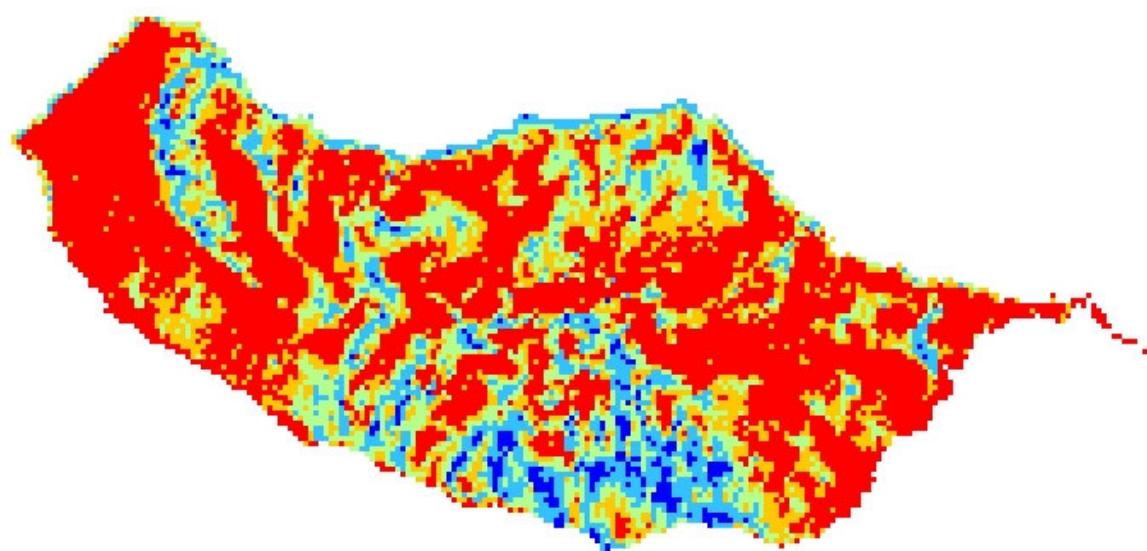
### Legenda

velocidade média do vento (m/s)

- < 3,0
- 3,0 - 4,5
- 4,5 - 6,0
- 6,0 - 7,5
- > 7,5

0 5.200 10.400 20.800 Metros

## Velocidade Média do Vento (CFD) Madeira - 50 m (Norte)



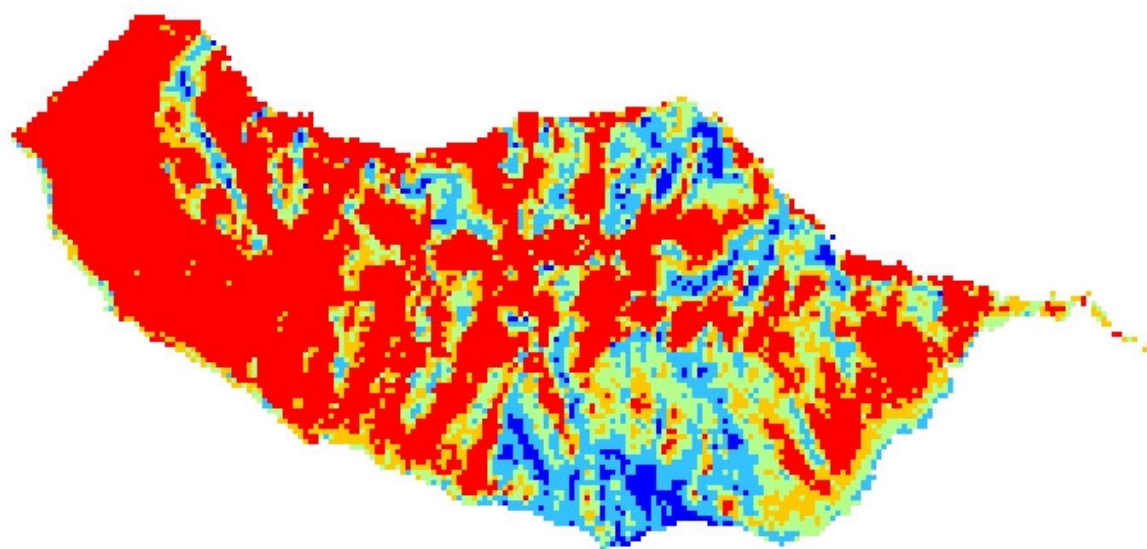
### Legenda

velocidade média do vento (m/s)

- < 3,0
- 3,0 - 4,5
- 4,5 - 6,0
- 6,0 - 7,5
- > 7,5

0 5.200 10.400 20.800 Metros

## Velocidade Média do Vento (CFD) Madeira - 50 m (Sul)



### Legenda

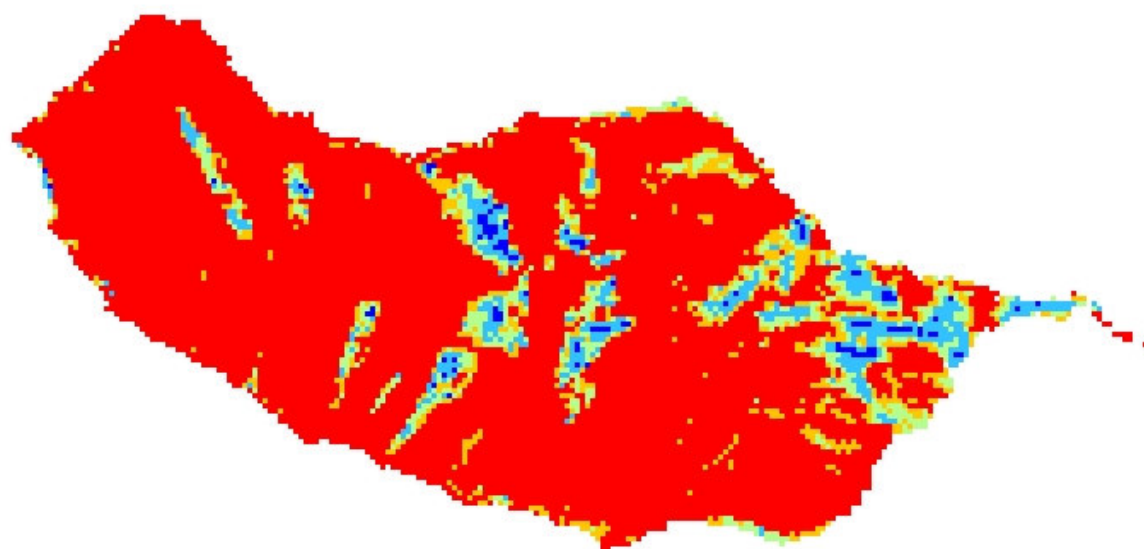
velocidade média do vento (m/s)

- < 3,0
- 3,0 - 4,5
- 4,5 - 6,0
- 6,0 - 7,5
- > 7,5

0 5.200 10.400 20.800 Metros



## Velocidade Média do Vento (CFD) Madeira - 50 m (Este)



### Legenda

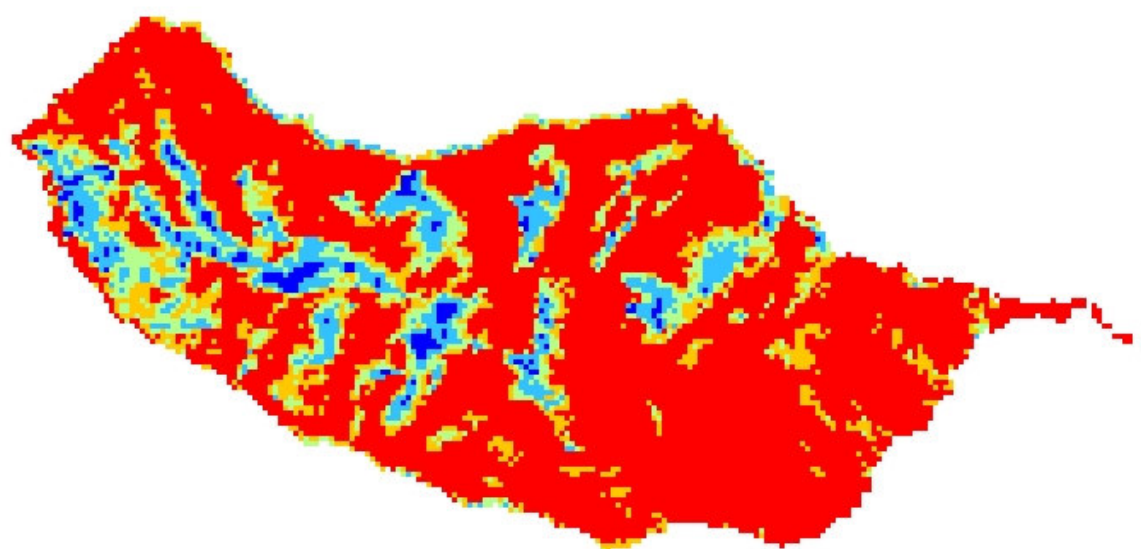
velocidade média do vento (m/s)

-  < 3,0
-  3,0 - 4,5
-  4,5 - 6,0
-  6,0 - 7,5
-  > 7,5

0 5.560 11.120 22.240 Metres



## Velocidade Média do Vento (CFD) Madeira - 50 m (Oeste)



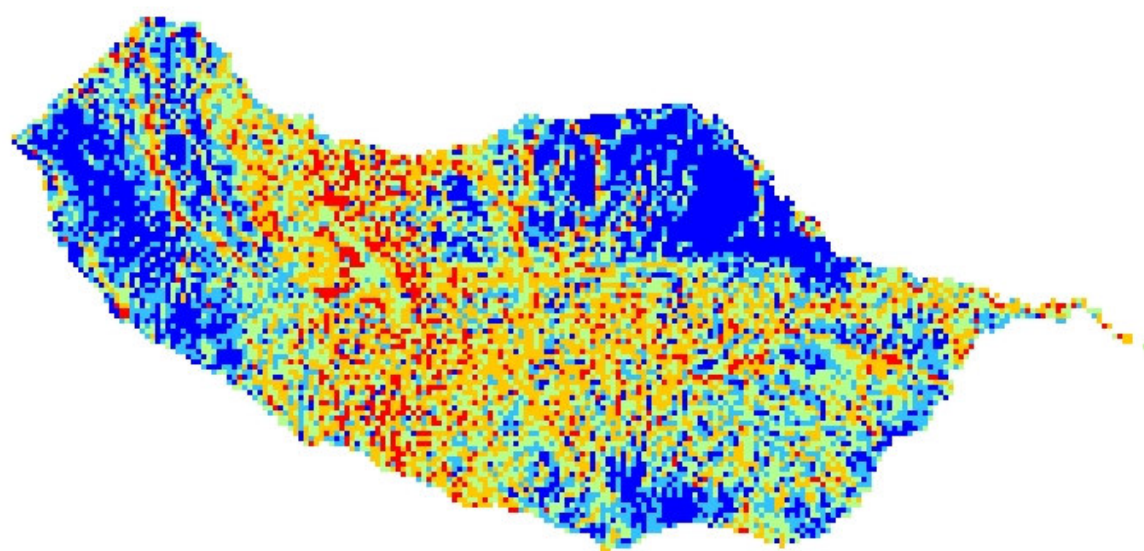
### Legenda

velocidade média do vento (m/s)

- < 3,0
- 3,0 - 4,5
- 4,5 - 6,0
- 6,0 - 7,5
- > 7,5

0 5.505 11.010 22.020 Metres

## Potência Disponível por Unidade de Área Madeira - 10 m



### Legenda

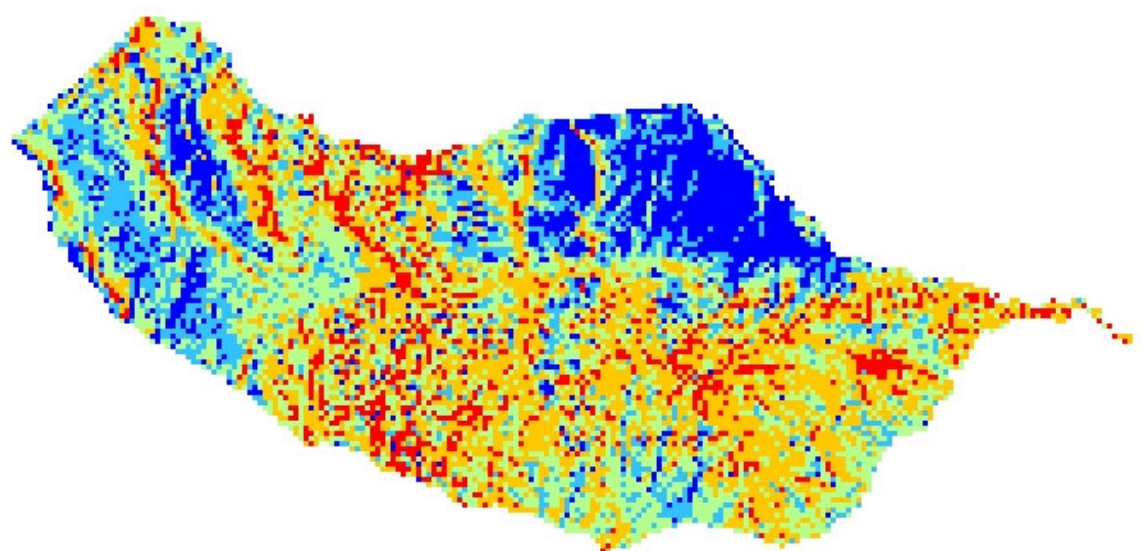
potência disponível por unidade de área (W/m<sup>2</sup>)

-  < 50
-  50 - 100
-  100 - 200
-  200 - 400
-  > 400

0 5.505 11.010 22.020 Meters



## Potência Disponível por Unidade de Área Madeira - 40 m



### Legenda

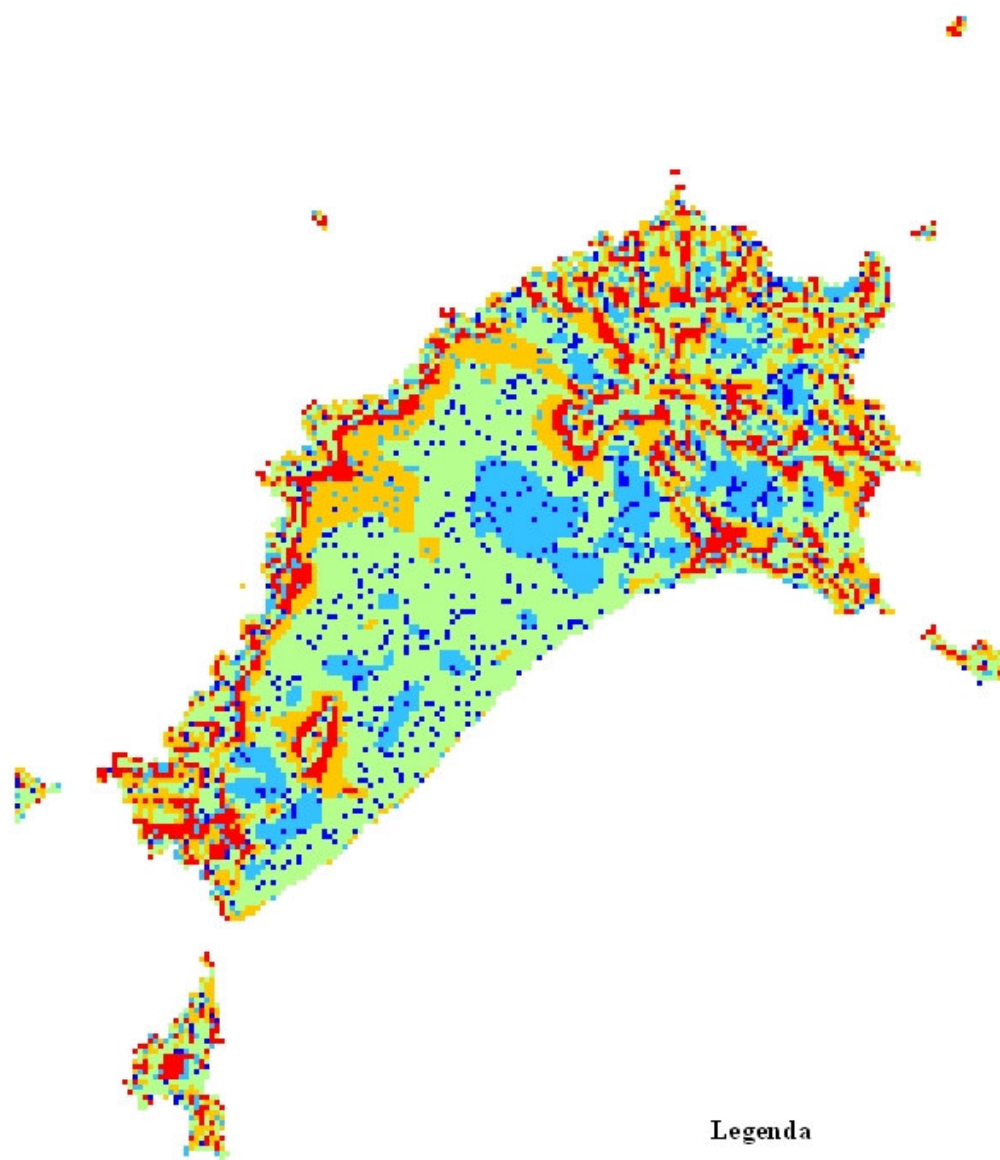
potência disponível por unidade de área (W/m²)

-  < 50
-  50 - 100
-  100 - 200
-  200 - 400
-  > 400

0 5.505 11.010 22.020 Meters



## Velocidade Média do Vento (WaSP) Porto Santo - 10 m



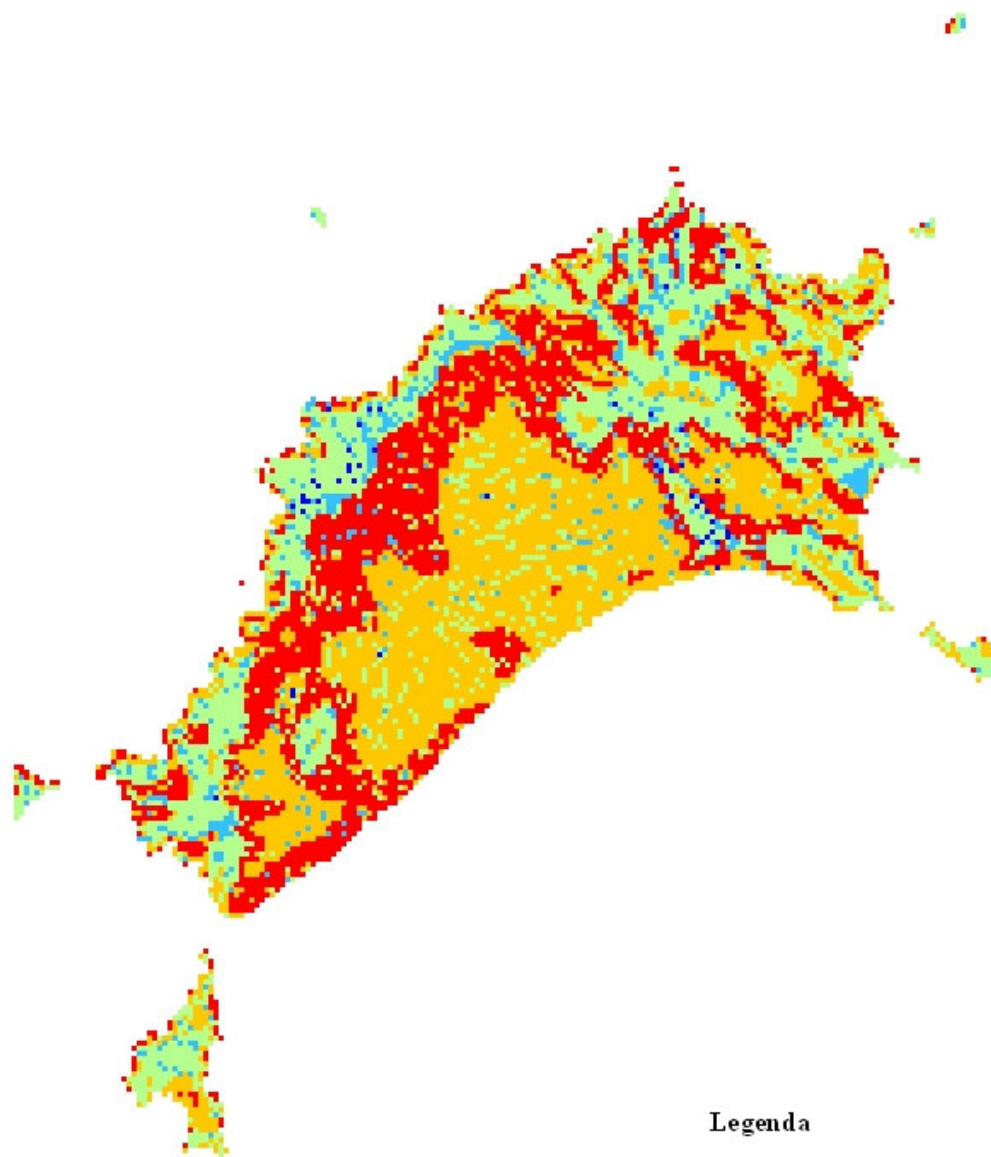
### Legenda

velocidade média do vento (m/s)

- < 3,0
- 3,0 - 4,5
- 4,5 - 6,0
- 6,0 - 7,5
- > 7,5

0 1.300 2.600 5.200 Meters

## Velocidade Média do Vento (WaSP) Porto Santo - 40 m



### Legenda

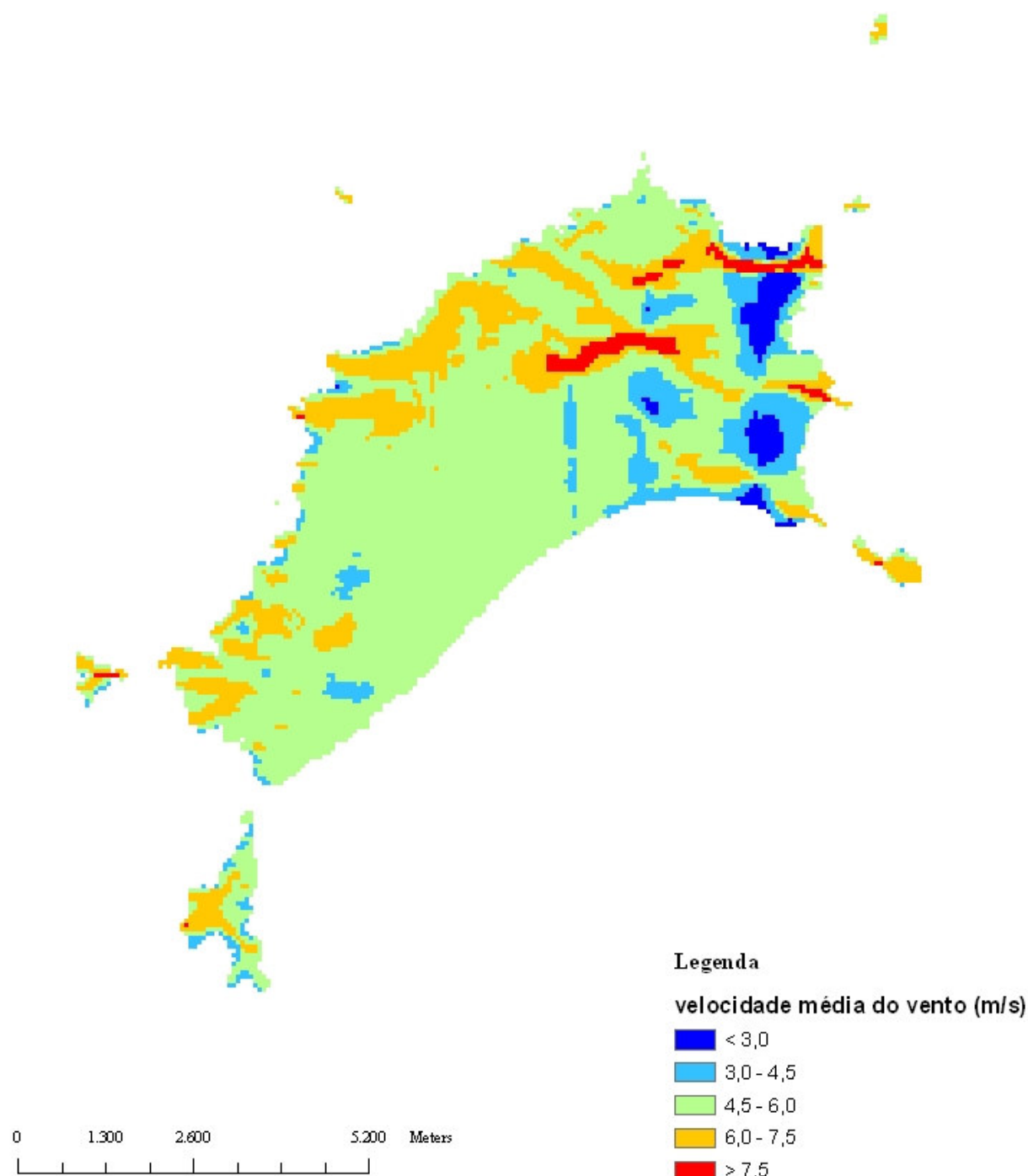
velocidade média do vento (m/s)

- < 3,0
- 3,0 - 4,5
- 4,5 - 6,0
- 6,0 - 7,5
- > 7,5

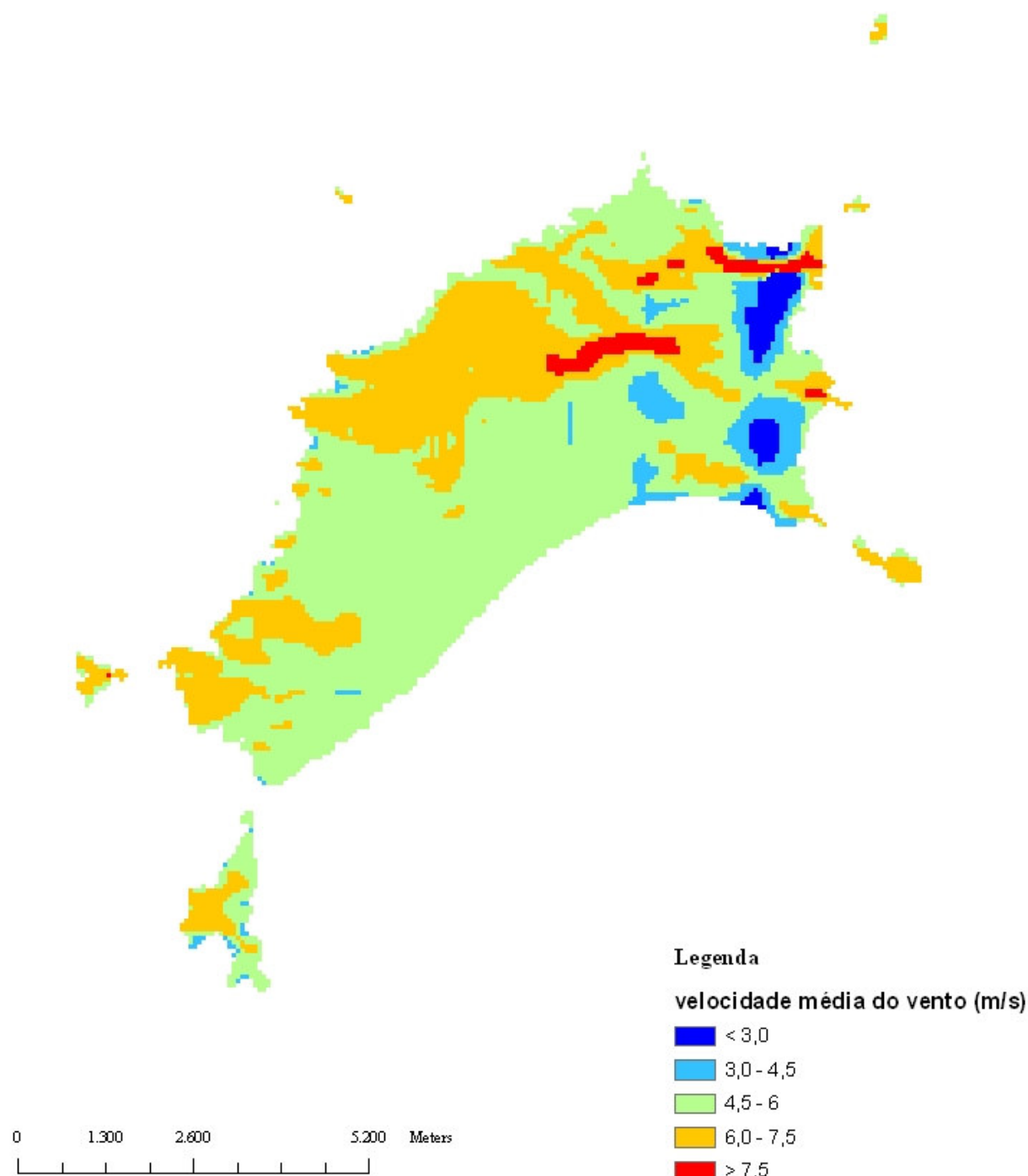
0 1.300 2.600 5.200 Meters



## Velocidade Média do Vento (CFD) Porto Santo - 10 m (Norte)

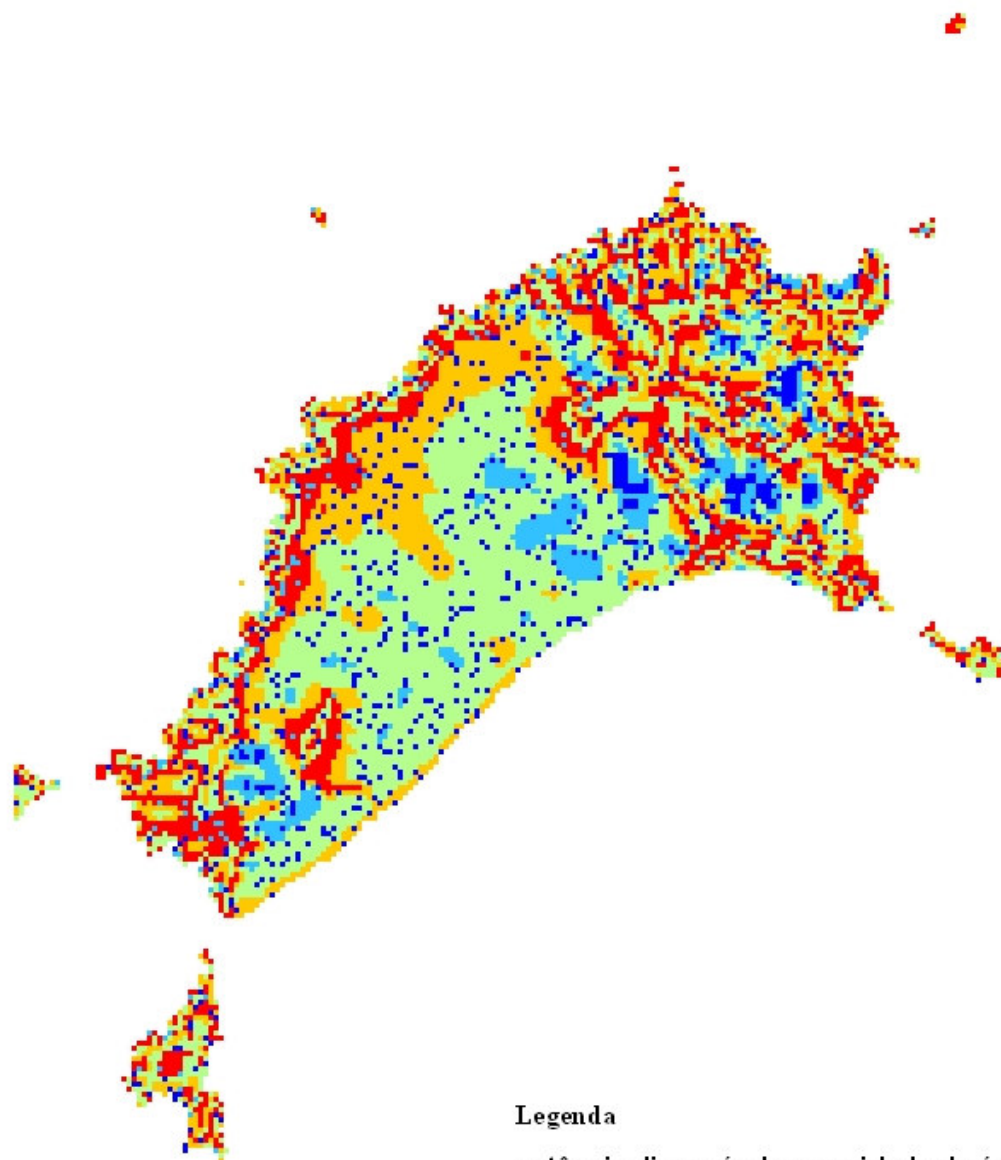


## Velocidade Média do Vento (CFD) Porto Santo - 40 m (Norte)





## Potência Disponível por Unidade de Área Porto Santo - 10 m



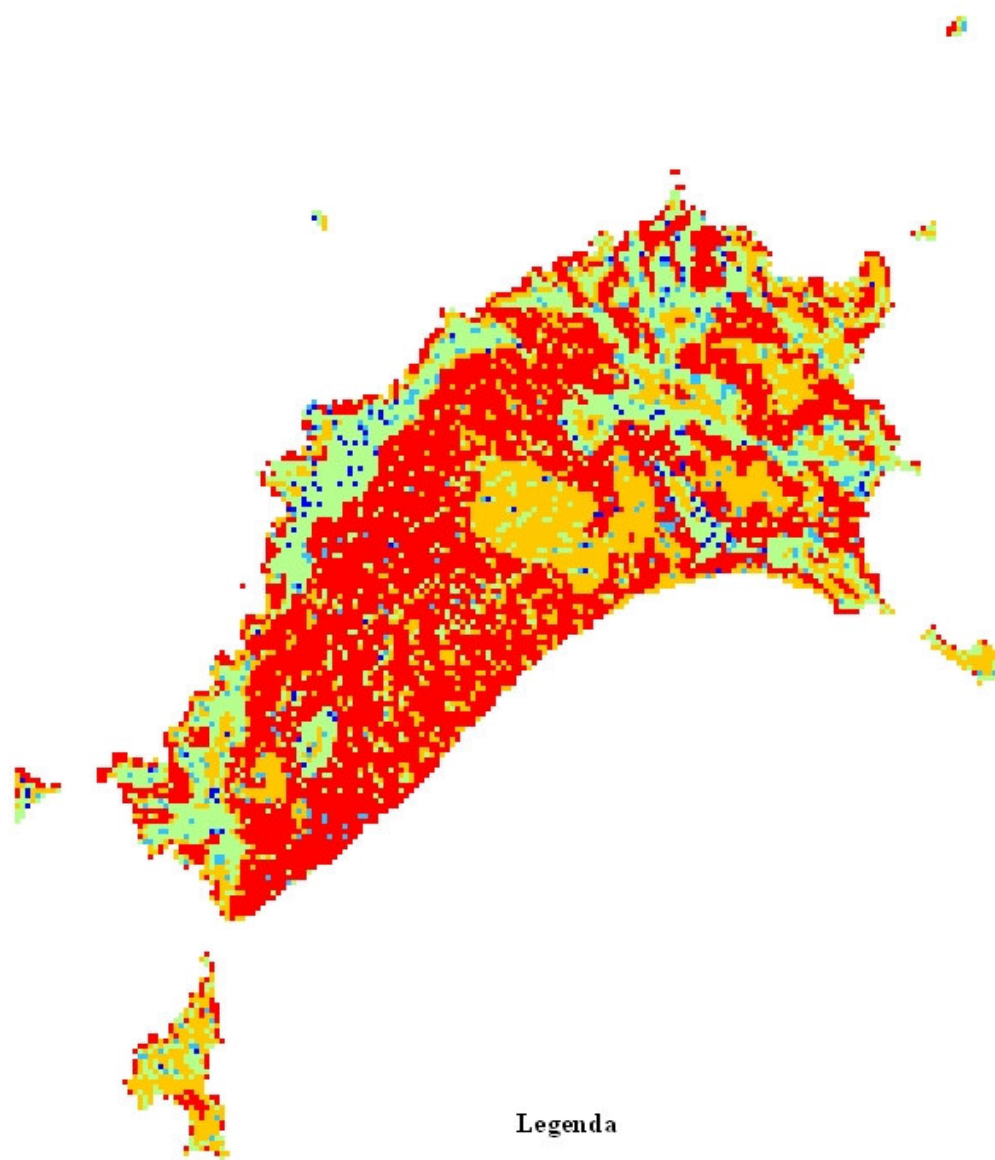
### Legenda

potência disponível por unidade de área (W/m<sup>2</sup>)

- < 50
- 50, - 100
- 100 - 200
- 200 - 400
- > 400

0 1.300 2.600 5.200 Meters

## Potência Disponível por Unidade de Área Porto Santo - 40 m



### Legenda

potência disponível por unidade de área (W/m<sup>2</sup>)

- < 50
- 50 - 100
- 100 - 200
- 200 - 400
- > 400

0 1.300 2.600 5.200 Meters

## 4.2. TURBULÊNCIA

Na ilha da Madeira, as previsões de turbulência assentam numa escala relativa baseada na viscosidade turbulenta (parâmetro inerente ao tipo de modelação). É uma grandeza que, nas condições em que foi obtida, está associada energia cinética turbulenta e, por essa via, foi o indicador usado para caracterizar a turbulência da ilha.

Foi considerado o cálculo correspondente ao vento de Norte [5] e admitiu-se que as zonas mais críticas se situavam nos últimos 20% desta escala relativa. Estas zonas tratam-se essencialmente de cumes e zonas de acentuado declive.

No caso do Porto Santo, foi determinada a intensidade turbulenta como função da energia cinética turbulenta e da magnitude da velocidade locais.

Para o cálculo da intensidade turbulenta na ilha do Porto Santo, foram tidas em consideração as medidas feitas na ilha na década de 80 e disponibilizadas pela AREAM. Estas medições encontram-se no quadro seguinte.

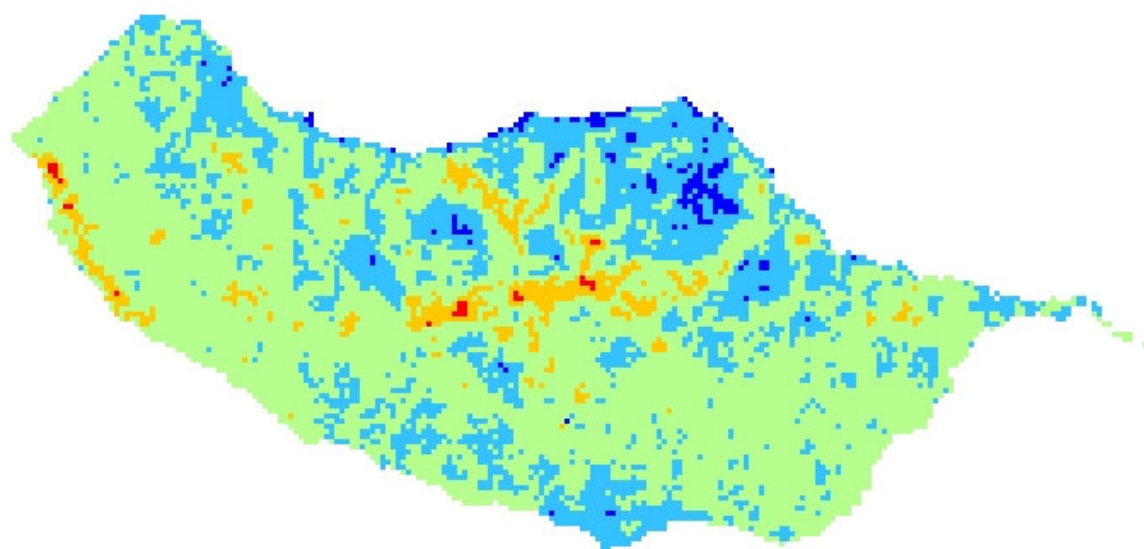
| Sítio              | Turbulência<br>(intensidade) |
|--------------------|------------------------------|
| Cabeço das Flores  | 0,26                         |
| Terra Branca       | 0,207                        |
| Cabeço do Carvalho | 0,089                        |
| Camacha            | 0,289                        |
| Portela            | 0,193                        |

De uma forma geral (vide os resultados para 10 e 40 metros de altura), pode-se dizer que os resultados se encontram dentro de uma margem aceitável para este tipo de previsões relativamente aos valores medidos (20%). Assim, têm-se intensidades da ordem dos 20-30% nas zonas onde assim é suposto, sendo que se nota uma intensidade mais baixa na região da Portela. A intensidade medida no Cabeço do Carvalho não foi reproduzida nesta previsão por alguma razão não definida, o qual será porventura um efeito localizado. A zona Este da ilha é a que apresenta maiores níveis de intensidade turbulenta. É um fenómeno devido à ravina existente no lado Este da costa Norte da ilha. Esta perturbação provoca separações do escoamento localizadas, potenciando níveis mais elevados de turbulência, aspecto também potenciado pela orografia sinuosa que se apresenta a jusante.

Na análise final, foram consideradas zonas desfavoráveis as que têm intensidade turbulenta superior a 40%, assumindo-se *à priori* que o desvio nas previsões se manifeste em geral por excesso.

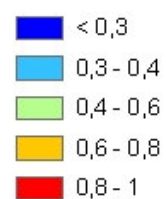
As figuras seguintes reportam os cálculos da turbulência relativa (Norte, Sul, Este e Oeste) para a ilha da Madeira a 50 metros e o cálculo da intensidade turbulenta (Norte) para a ilha de Porto Santo a 10 e 40 metros de altura.

## Turbulência Relativa (CFD) Madeira - 50 m (Norte)

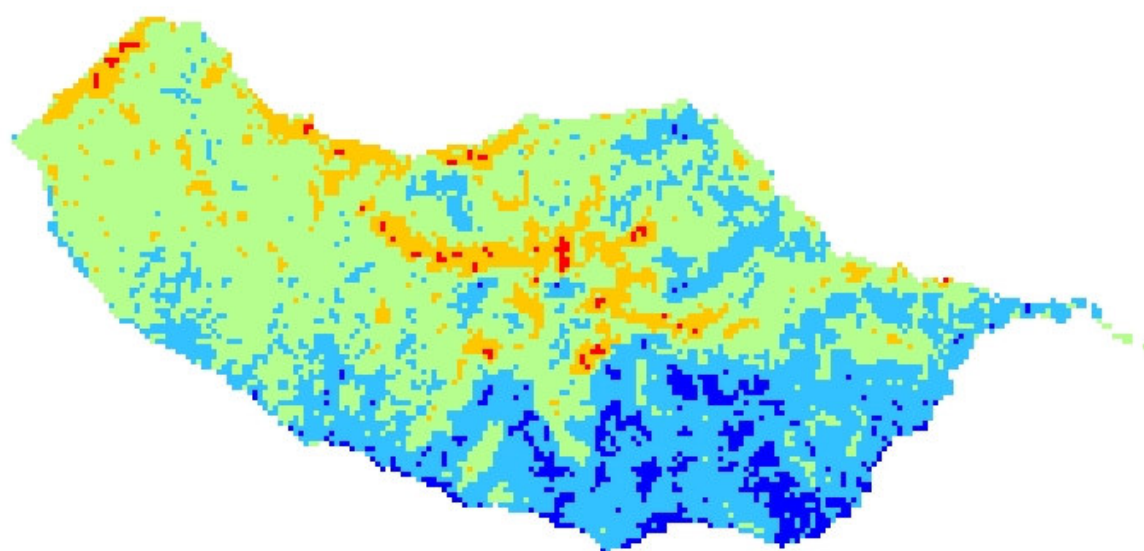


0 5.505 11.010 22.020 Meters

### Legenda

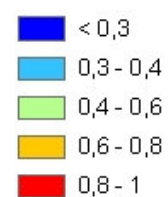


## Turbulência Relativa (CFD) Madeira - 50 m (Sul)

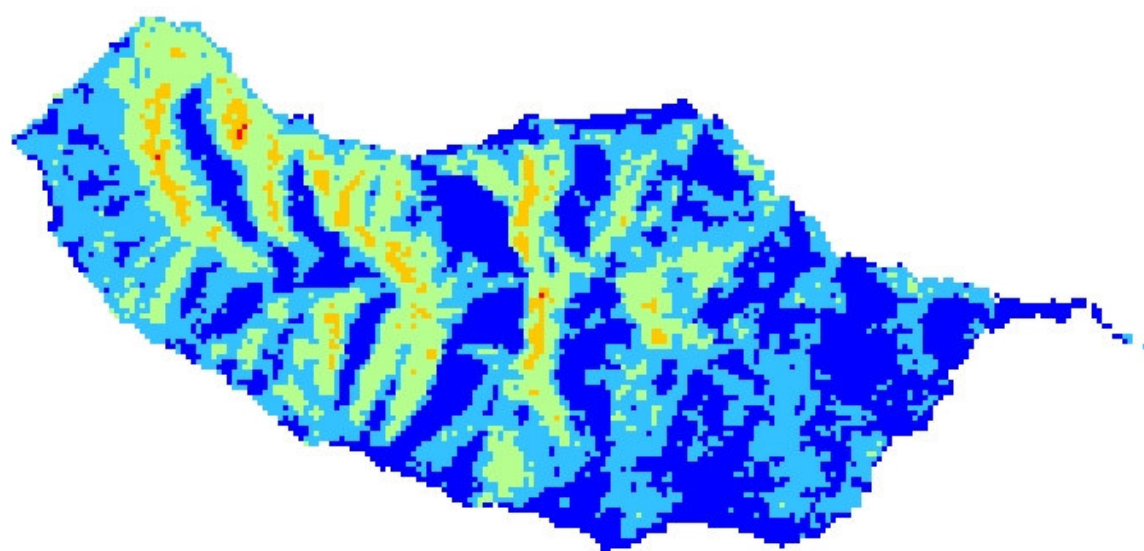


0 5.505 11.010 22.020 Meters

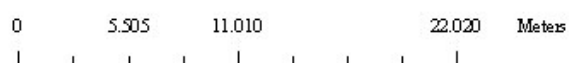
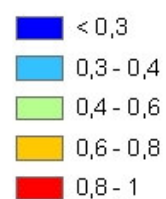
### Legenda



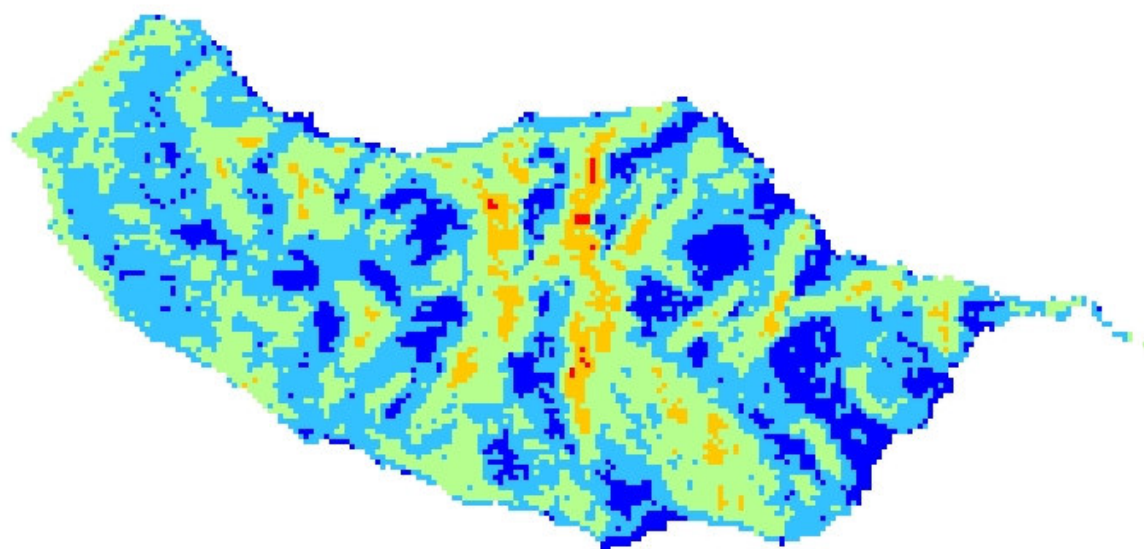
## Turbulência Relativa (CFD) Madeira - 50 m (Este)



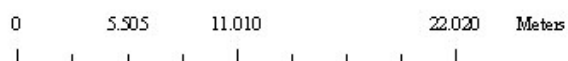
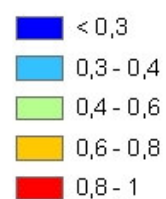
### Legenda



## Turbulência Relativa (CFD) Madeira - 50 m (Oeste)

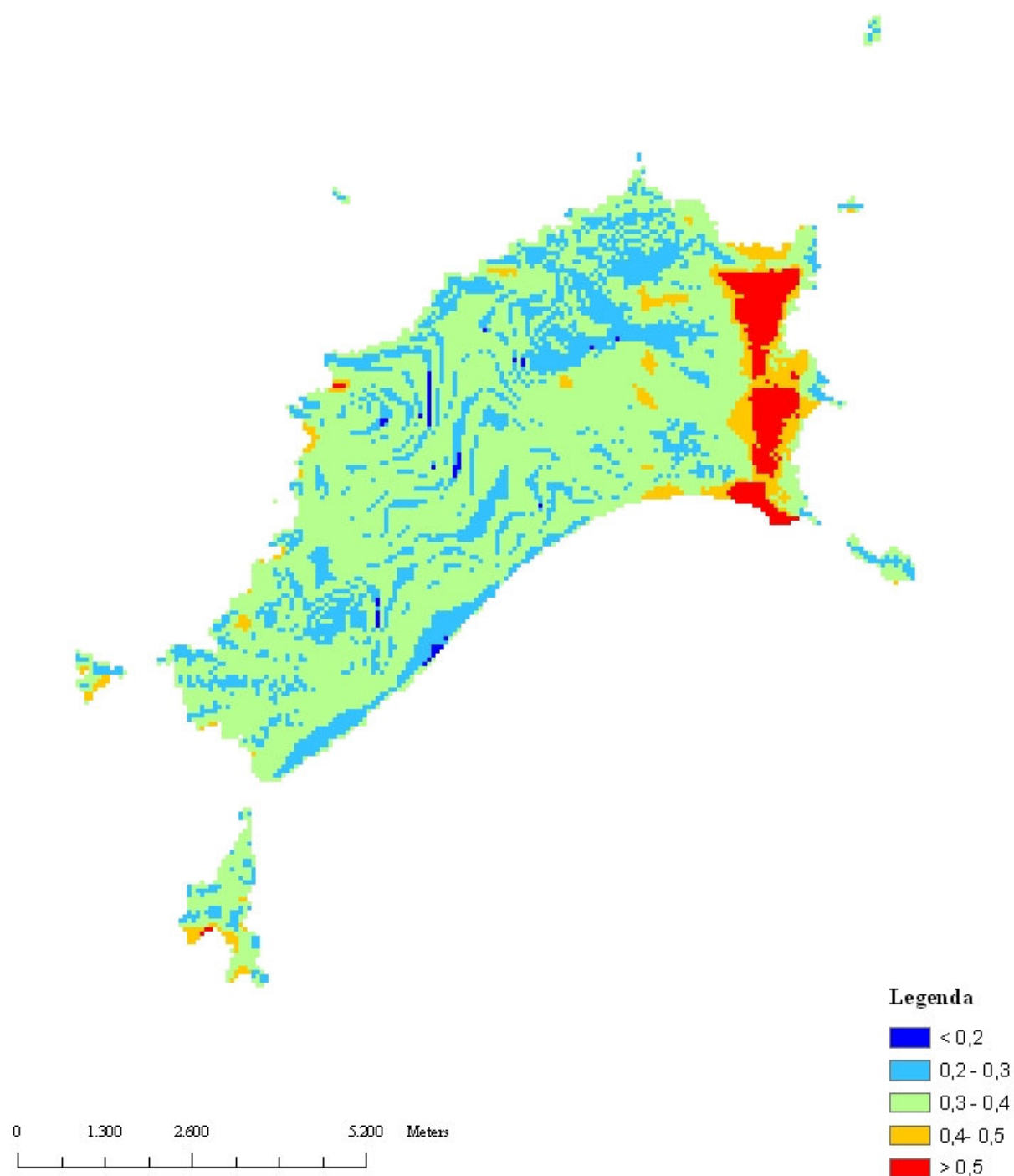


### Legenda

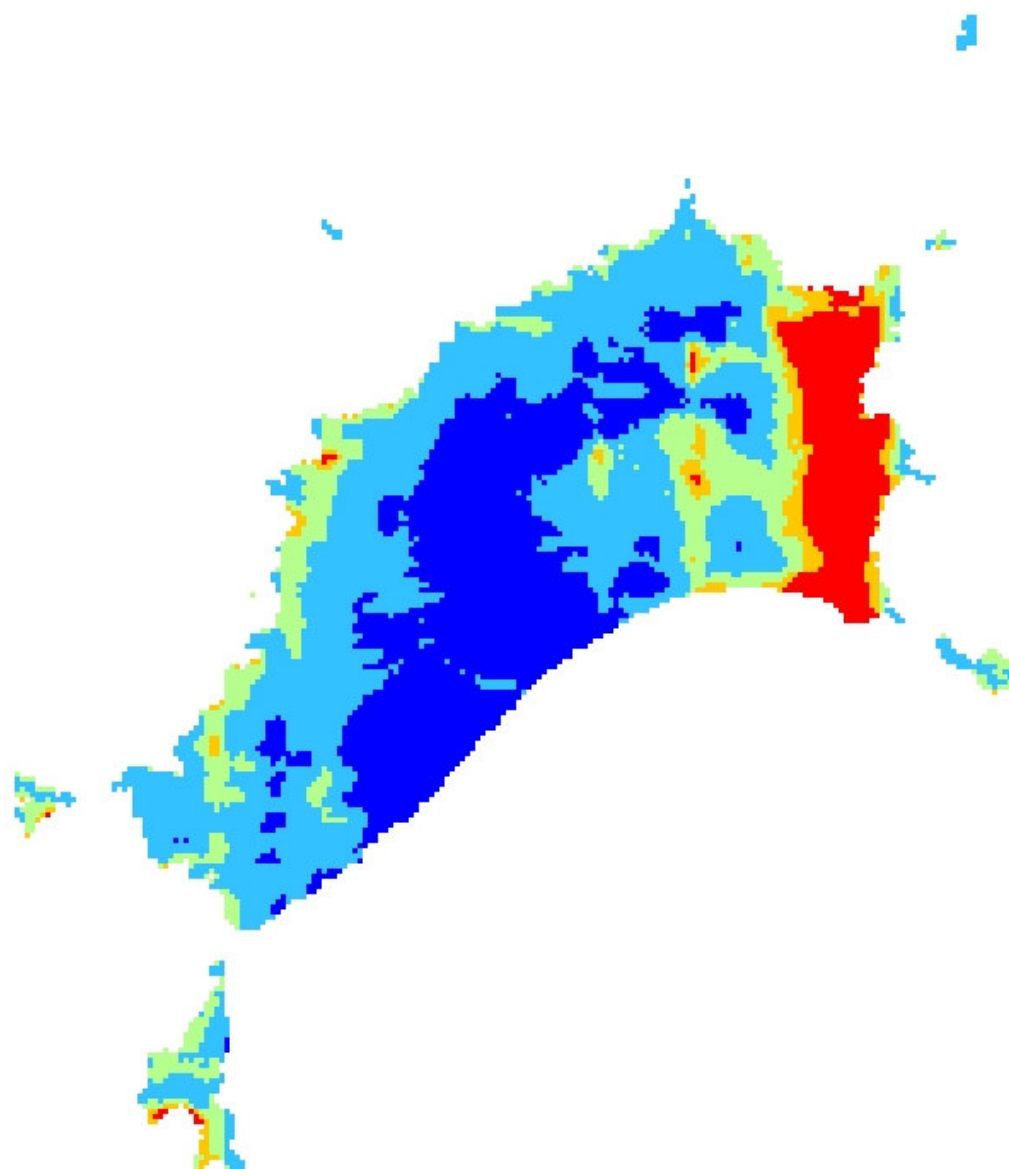




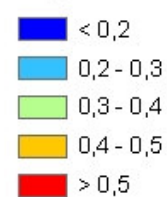
## Intensidade de Turbulência (CFD) Porto Santo - 10 m (Norte)



## Intensidade de Turbulência (CFD) Porto Santo - 40 m (Norte)



### Legenda



0 1.300 2.600 5.200 Meters

### 4.3. POTENCIAL EÓLICO

Numa perspectiva global, indicativa do potencial eólico, as figuras que se seguem classificam as zonas com potencial efectivo para aplicações eólicas nas ilhas da Madeira e Porto Santo a 10 e 40 metros de altura.

Encontram-se também as figuras relativas ao declive de ambas as ilhas, na medida em que este é também, para além dos já apresentados anteriormente, um factor de contribuição na determinação da zona espacial mais favorável à instalação de aerogeradores.

A classificação consta de 3 bandas indicativas das zonas com potencial (a verde), sem potencial (a vermelho) e com potencial condicionado (a amarelo).

Para esta classificação, foram tidos em conta diversos factores, nomeadamente a velocidade média do vento, a turbulência, o declive do terreno e a ocupação humana. Por sua vez, foram definidos limites mínimos e máximos para cada um destes indicadores.

No que diz respeito à velocidade média do vento, consideraram-se 3 gamas: desfavorável para velocidades inferiores a 6 m/s; favorável para velocidades superiores a 7 m/s e condicional para valores intermédios.

Quanto à turbulência, consideraram-se apenas 2 gamas. A turbulência relativa (caso da Madeira) é favorável para valores inferiores a 80% e a intensidade de turbulência (caso de Porto Santo) é favorável para valores inferiores a 40%.

No que diz respeito à inclinação do terreno, considerou-se que a gama favorável de declives encontra-se abaixo dos 15% e a gama desfavorável acima dos 25%, sendo a gama intermédia (15 a 25%) considerada como condicional.

A ocupação humana é um factor decisivo na determinação do potencial efectivo útil de uma região. Contudo, este indicador não foi considerado como factor limitante no cálculo do potencial eólico efectivo, ou seja, não teve peso na definição das gamas de potencial eólico acima definidas. Assim, embora não se

tenha entrado em consideração com a ocupação urbana aquando da eliminação das zonas desfavoráveis a aplicações eólicas, procedeu-se a uma sobreposição de *layers* (potencial eólico e ocupação urbana simultaneamente), o que permite uma visualização global dos níveis de potencial associados às várias regiões das ilhas, sendo que, pela própria intervenção humana, estas zonas poderão ser alteradas.

A definição e delimitação das zonas de ocupação urbana foi definida com vários propósitos, nomeadamente o de identificar as zonas desocupadas onde se poderiam instalar parques eólicos.

Neste trabalho, a zona de ocupação urbana foi definida como a área do território que reúne simultaneamente as duas condições: i) 300 metros de raio em redor de qualquer edificação identificada nas cartas do IGEO e ii) existência de pelo menos três edificações no interior de um raio de 300 metros em redor de cada uma delas.

Note-se que o valor de 300 metros (existem autores a considerar outros valores) poderá ser demasiado permissivo tendo em conta que, por vezes, refere-se 500 metros como a distância mínima para colocação de aerogeradores. Contudo, é um indicador para a definição da zona de ocupação urbana.

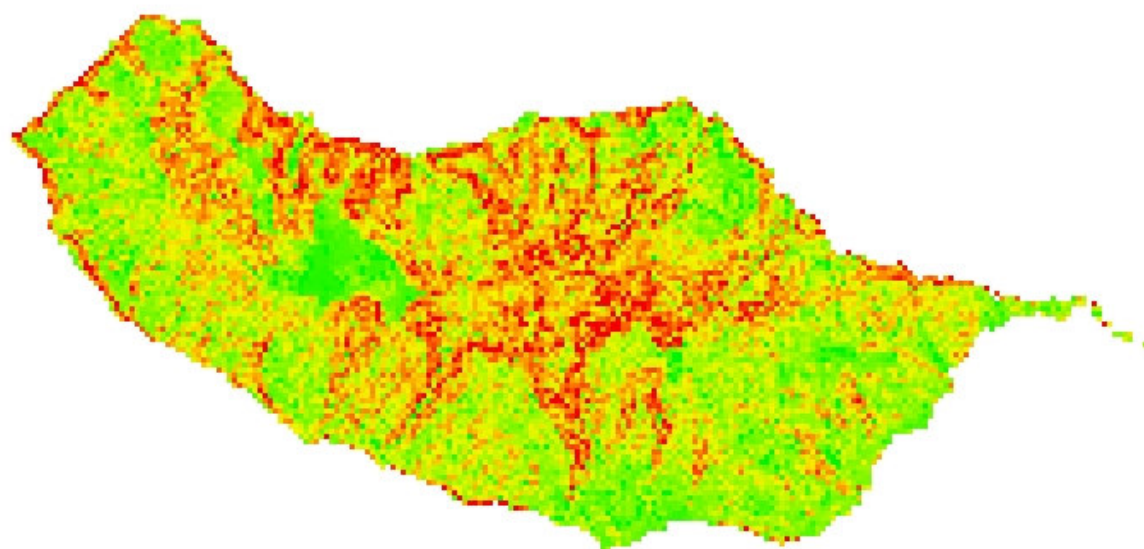
Nas zonas de maior densidade edificada poder-se-ia ter dado mais alguma margem para a colocação de aerogeradores, porém, este valor permite excluir mais facilmente zonas rurais com ruínas, estações elevatórias, santuários, etc., que, podendo não oferecer constrangimentos à colocação de aerogeradores, apareceriam como zonas a excluir.

Além da zona de ocupação urbana, seria pertinente, ou mesmo essencial, que se definisse zonas de interesse ecológico, zonas constrangidas pelo espaço aéreo, ou mesmo outras, para as quais existam outros interesses ou dificuldades associadas. Contudo, essas (eventuais) zonas não foram definidas por falta de dados ou ausência de critérios definidos.

Concluindo, as regiões que correspondem à gama favorável de todos os indicadores é considerada zona de potencial. As regiões que possuam pelo menos um indicador desfavorável é considerada zona sem potencial. Por fim, as regiões que possuam pelo menos um indicador na gama condicionada e os restantes indicadores nas gamas favoráveis são consideradas zonas de potencial condicionado.

Note-se, particularmente, que as zonas condicionadas podem tender para zonas favoráveis ou desfavoráveis à luz de outros factores como, por exemplo, tipo de geradores de energia empregues, intervenção nas características orográficas, margem de erro associada às previsões, etc..

## Declive do Terreno Madeira



0 5.505 11.010 22.020 Meters

**Legenda**

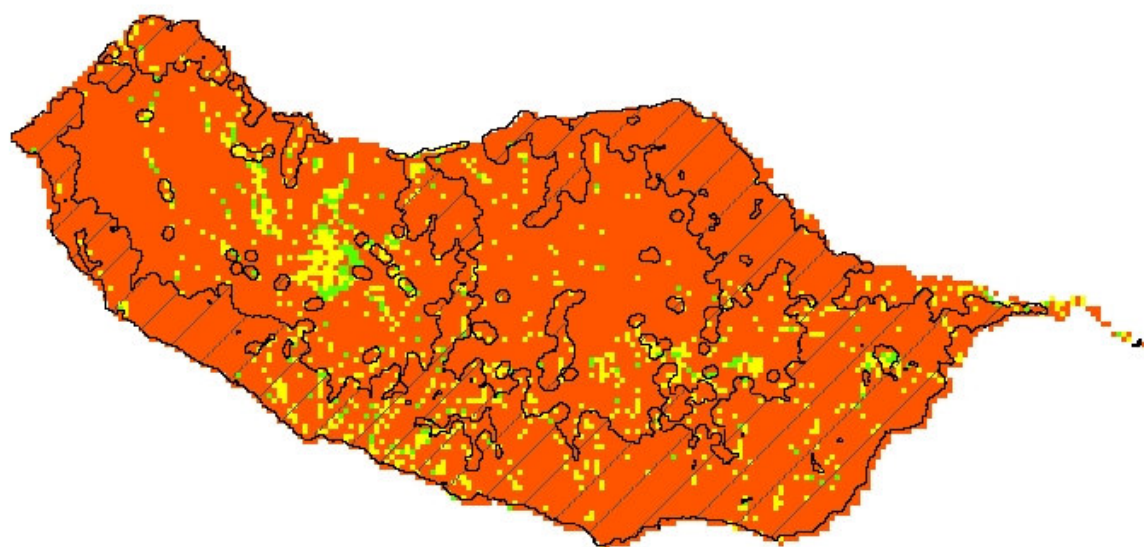
%



High : 86,791328

Low : 0,000000

## Potencial Eólico Madeira - 10 m

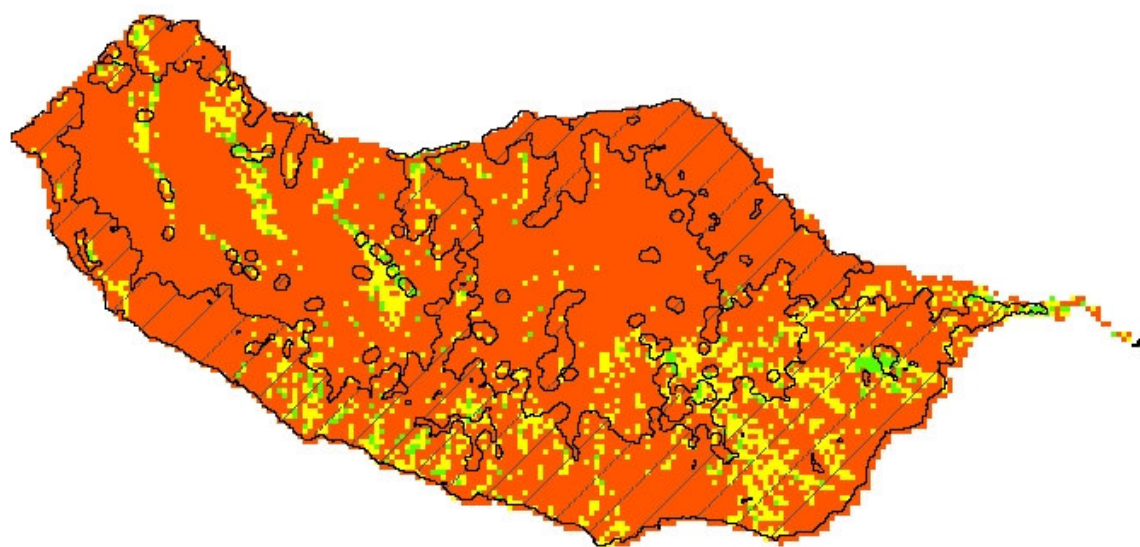


0 5.505 11.010 22.020 Meters

### Legenda

- desfavorável
- favorável
- condicional
- ocupação humana

## Potencial Eólico Madeira - 40 m

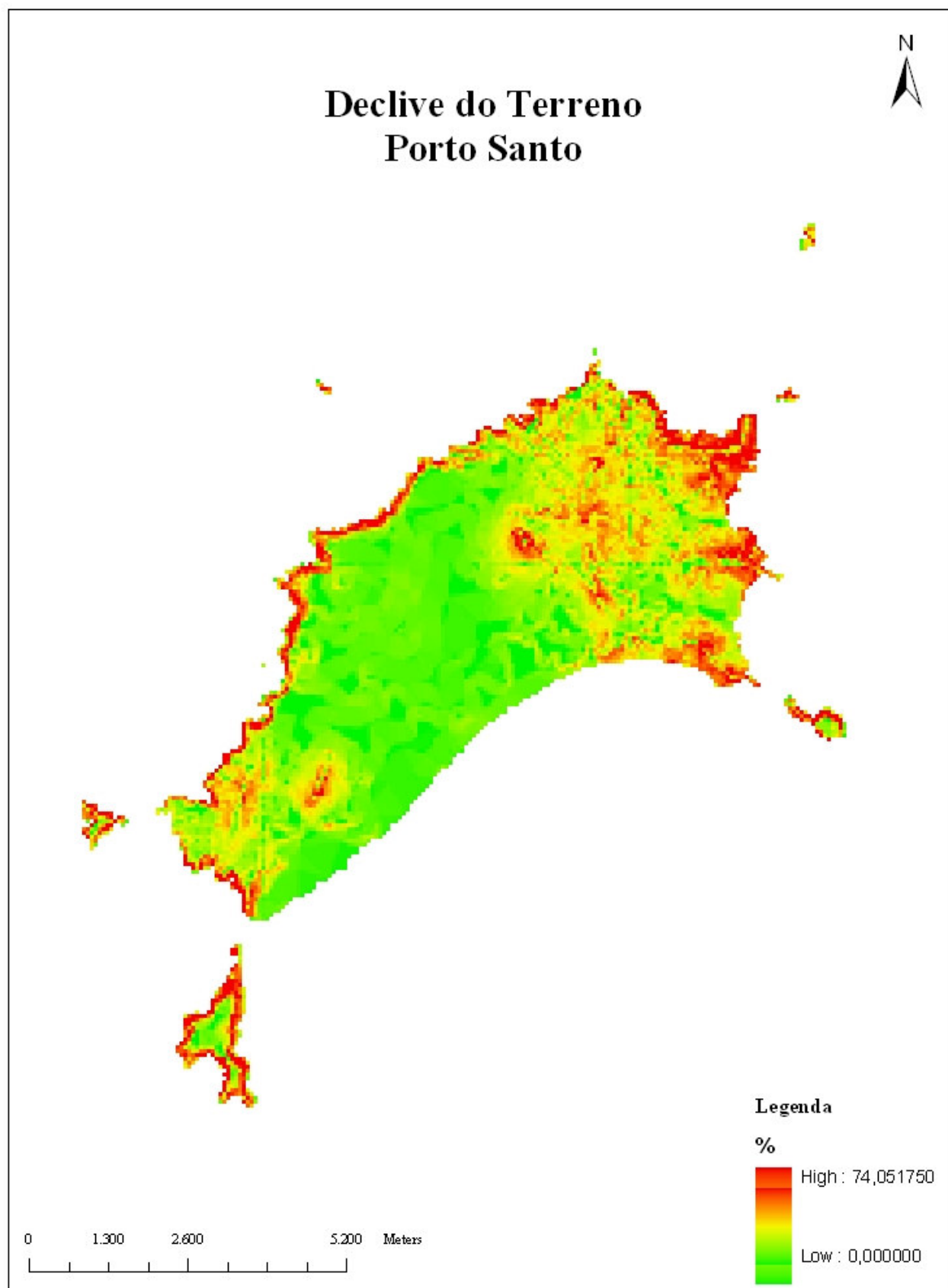


0 5.505 11.010 22.020 Meters

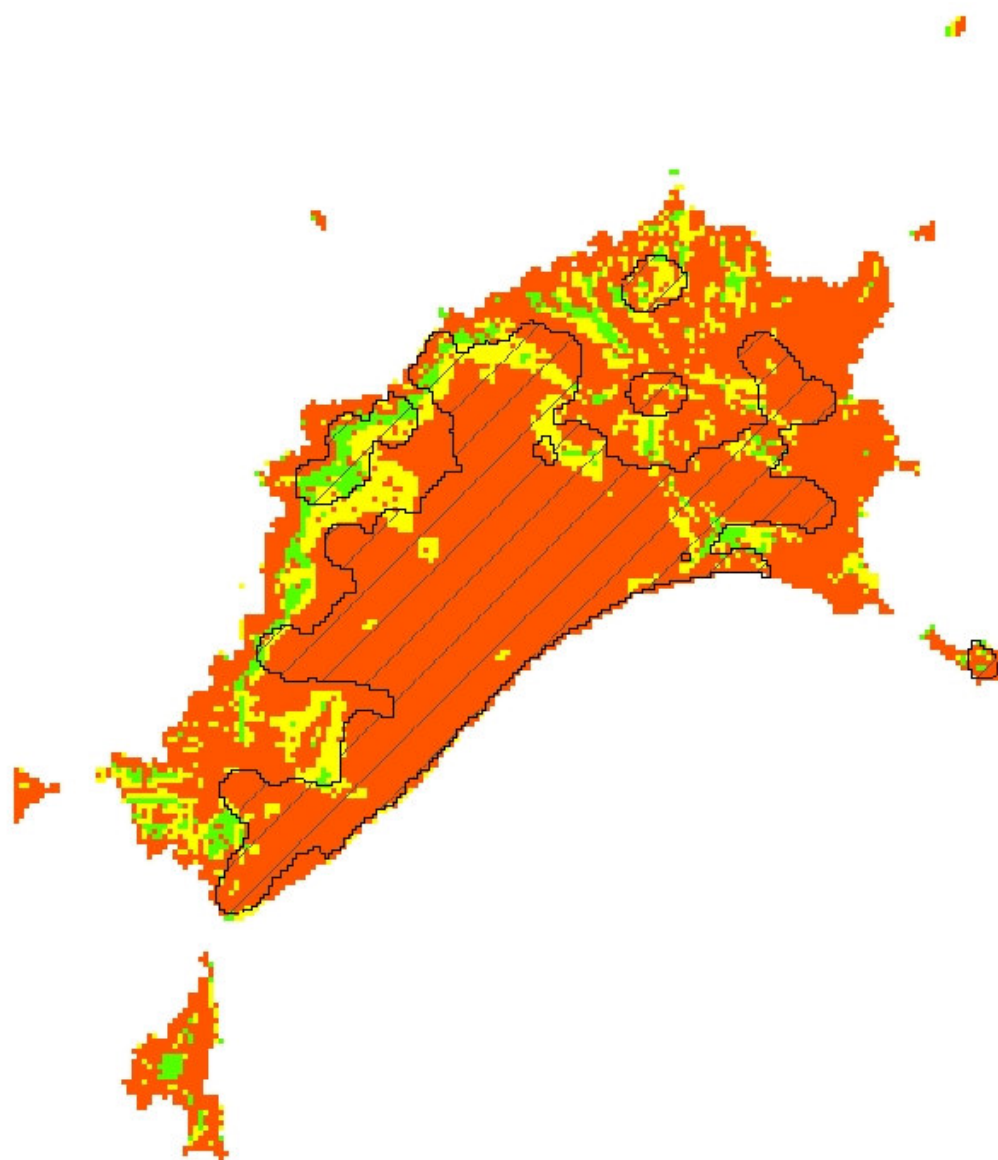
### Legenda

-  desfavorável
-  favorável
-  condicional
-  ocupação humana





## Potencial Eólico Porto Santo - 10 m

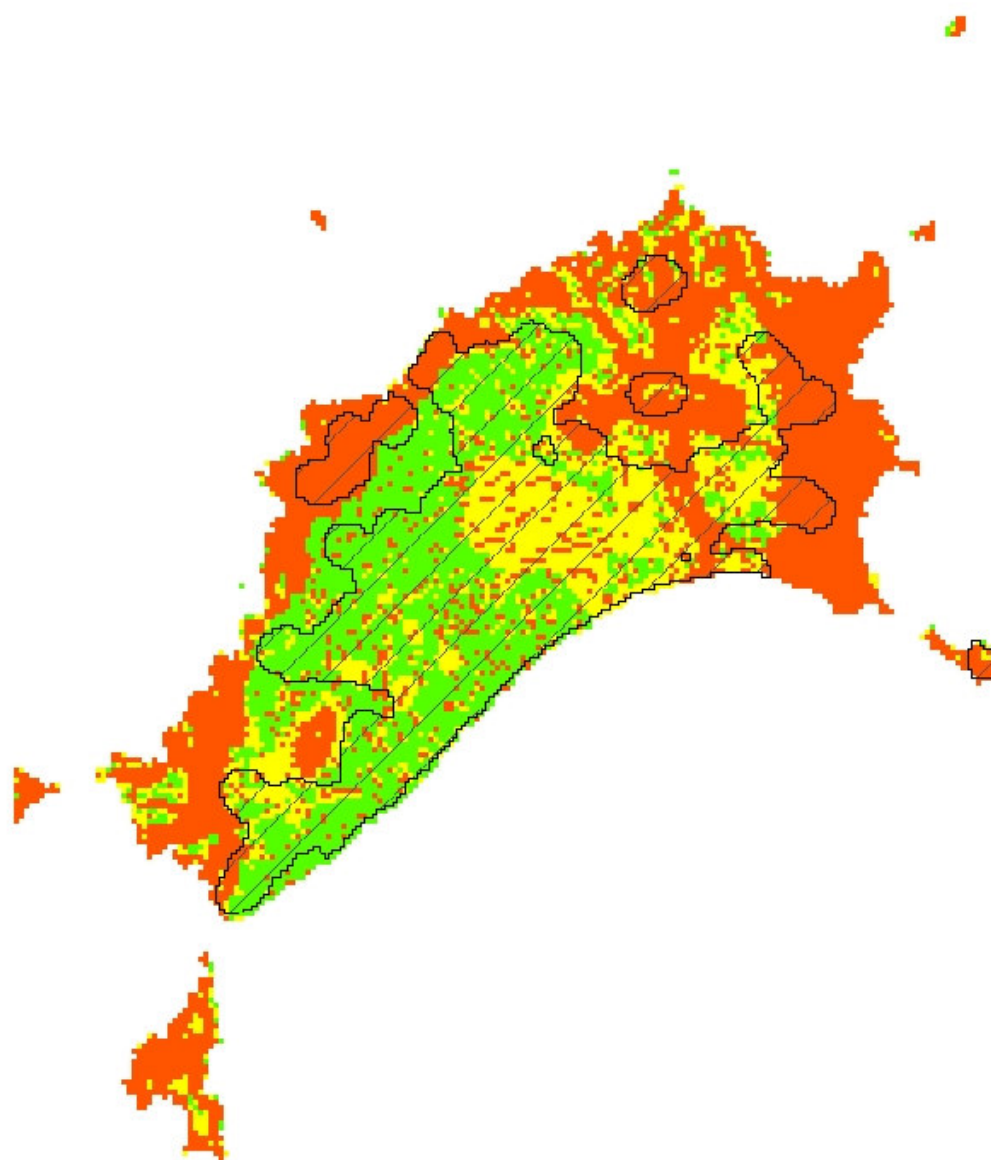


0 1.300 2.600 5.200 Meters

### Legenda

- desfavorável
- favorável
- condicional
- ocupação humana

## Potencial Eólico Porto Santo - 40 m



0 1.300 2.600 5.200 Meters

### Legenda

- desfavorável
- favorável
- condicional
- ocupação humana

#### 4.4. RESULTADOS DE PORMENOR

Foram feitos quatro cálculos com maior resolução espacial (resolução de 25 x 25 metros) nas zonas de potencial mais promissor, conhecido *à priori*.

Os referidos cálculos abrangeram 3 zonas: Ponta do Pargo, Paúl da Serra e Caniçal, sendo que para a última zona foram usadas duas estações meteorológicas diferentes, nomeadamente Areeiro e Funchal Observatório.

Os resultados são apresentados unicamente para 40 metros, uma altura de referência para um aerogerador disponível no mercado.

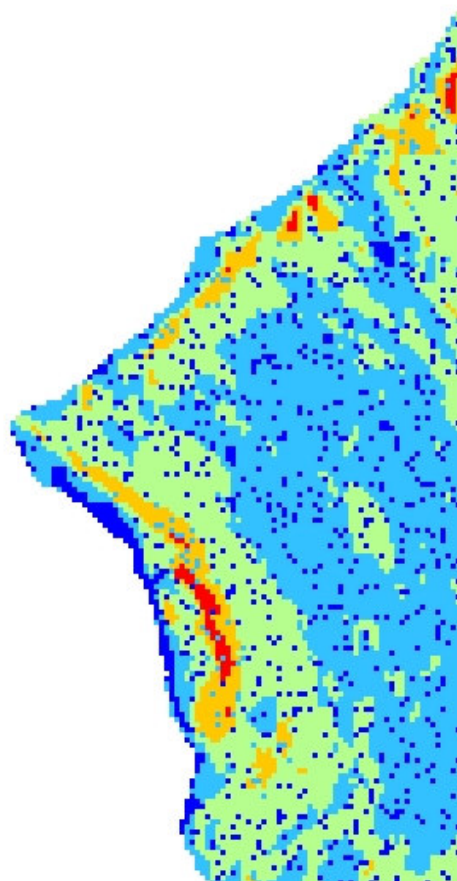
Para termos comparativos, é também apresentada a figura da área correspondente ao cálculo efectuado para o pormenor da Ponta do Pargo referente à velocidade média do vento feita com uma resolução de 100 x 100 m.

Conclui-se de imediato que o padrão e as gamas de velocidades são próximas, sendo que existe naturalmente uma afectação. Da análise dos vários cálculos também se verifica que a fonte de erro proveniente da resolução espacial é relativamente pequena num contexto global da existência de potencial eólico na ilha da Madeira.

Ainda assim, ficam salientadas as questões de pormenor por forma a que uma visualização local da distribuição dos ventos possa ser feita com maior qualidade.

Um outro aspecto de grande importância na feitura dos cálculos de pormenor é a diferença, que se quis evidenciar aquando dos cálculos com resolução 100 x 100 m, entre os resultados da zona do Caniçal obtidos através dos dados meteorológicos do Funchal RUEMA e do Areeiro. Este é um assunto complexo que evidencia a dificuldade de se fazer uma abordagem científica da questão e, por outro lado, a forçosa dependência de dados meteorológicos (de qualidade, em grande número e em tantas localizações quanto possível).

## Velocidade Média do Vento (WaSP) Ponta do Pargo, Madeira - 40 m



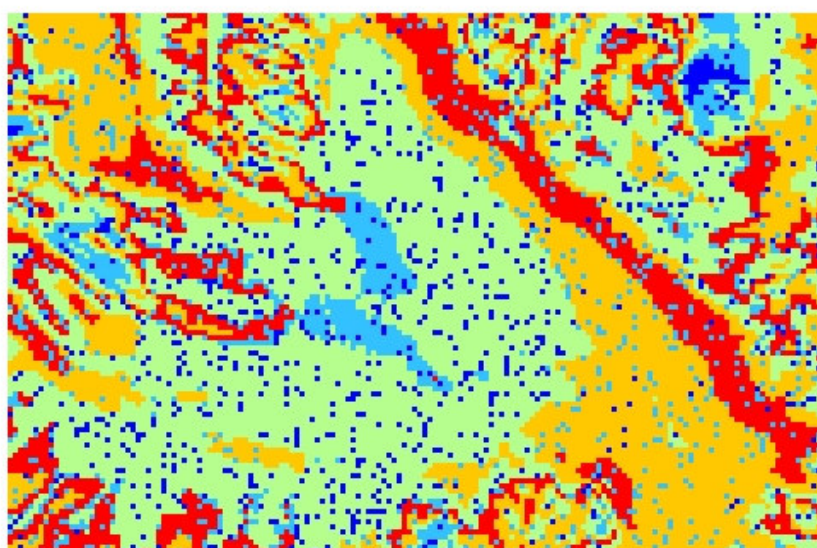
### Legenda

velocidade média do vento (m/s)

- < 3,0
- 3,0 - 4,5
- 4,5 - 6
- 6,0 - 7,5
- > 7,5

0 1.100 2.200 4.400 Meters

## Velocidade Média do Vento (WaSP) Paúl da Serra, Madeira - 40 m



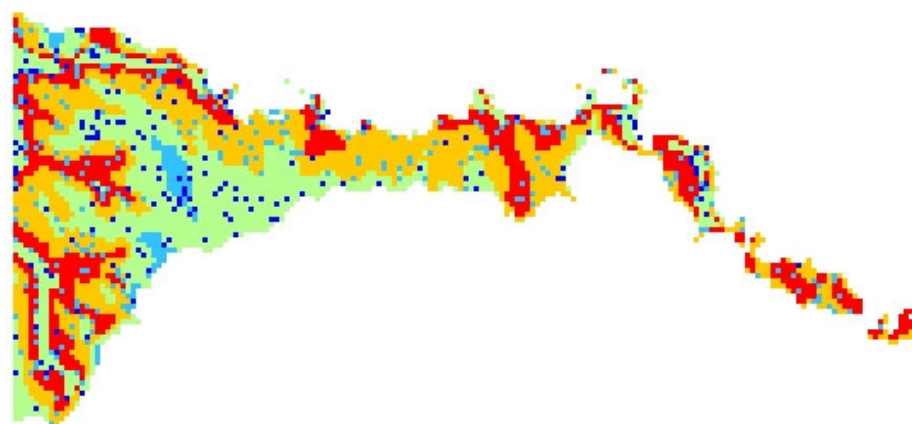
### Legenda

velocidade média do vento (m/s)

- < 3,0
- 3,0 - 4,5
- 4,5 - 6,0
- 6,0 - 7,5
- > 7,0

0 1.100 2.200 4.400 Meters

## Velocidade Média do Vento (WaSP) Canical (EMA Funchal), Madeira - 40 m



### Legenda

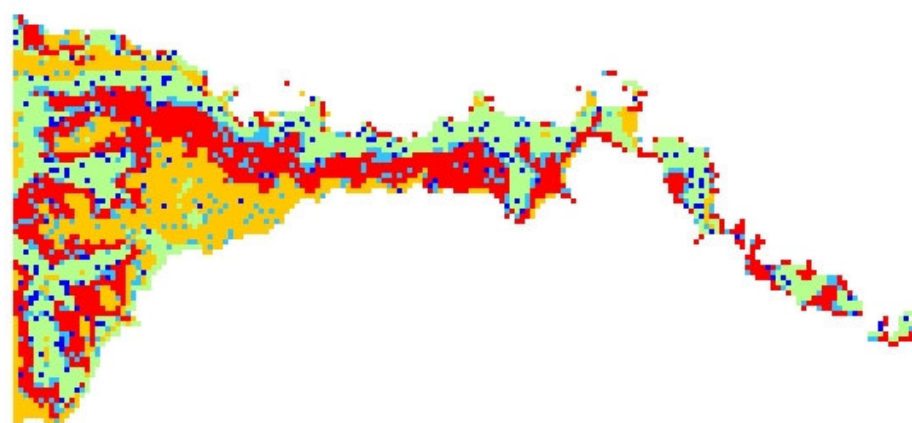
velocidade média do vento (m/s)

- < 3,0
- 3,0 - 4,5
- 4,5 - 6,0
- 6,0 - 7,5
- > 7,5

0 1.100 2.200 4.400 Meters



## Velocidade Média do Vento (WaSP) Canical (EMA Areeiro), Madeira - 40 m



### Legenda

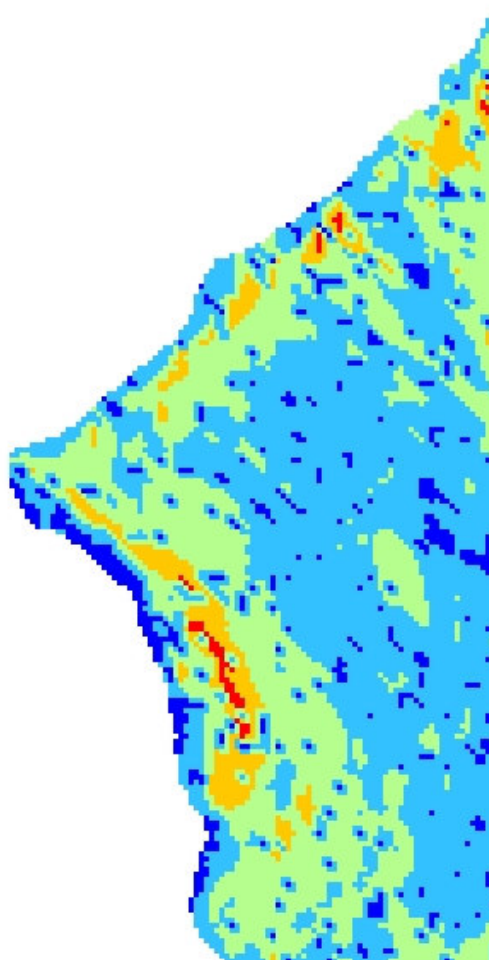
velocidade média do vento (m/s)

- < 3,0
- 3,0 - 4,5
- 4,50 - 6,0
- 6,0 - 7,5
- > 7,5

0 1.100 2.200 4.400 Meters



## Velocidade Média do Vento (WAsP) Ponta do Pargo, Madeira - 40 m (resolução 100 x 100)



0 1.000 2.000 4.000 Metros

### Legenda

velocidade média do vento (m/s)

- < 3,0
- 3,0 - 4,5
- 4,5 - 6,0
- 6,0 - 7,5
- > 7,5

#### **4.5. FIABILIDADE DAS PREVISÕES – ÍNDICE DE COMPLEXIDADE DO TERRENO**

A questão da fiabilidade das previsões efectuadas para o recursos eólico, ou seja, da capacidade do programa WAsP para prever as características do vento nas condições impostas, é de extrema importância aquando da avaliação dos resultados obtidos.

Para testar se, eventualmente, o caso de estudo cai fora dos limites de aplicabilidade do programa, procedeu-se ao cálculo dos valores de um parâmetro indicativo dessa condição, denominado Índice de Complexidade do Terreno (RIX, do inglês “*ruggedness index*”). Este coeficiente é definido como a percentagem da área de terreno à volta de um sítio específico, que é mais complexo do que um terreno de referência em que o declive é crítico, no sentido em que provoque o deslocamento do escoamento. O índice RIX é uma medida da extensão da separação do fluxo do vento e, por isso, da extensão em que o tipo de terreno viola os requisitos dos modelos lineares de previsão, tal como os usados pelo WAsP.

Se os índices estão perto de zero, então o terreno encontra-se claramente dentro dos limites de utilização do WAsP, enquanto que o afastamento em relação ao zero pode induzir erros significativos. Contudo, apesar de o terreno ser complexo, se os índices de complexidade dos dois locais, o de realização das medições das características do vento e aquele para onde se realizam as previsões, forem semelhantes, com os dados topográficos precisos pode-se esperar que o WAsP dê bons resultados, admitindo que a afectação de um sobre o outro se dá no mesmo sentido.

São apresentados em seguida os índices de complexidade calculados para as regiões próximas das seis estações meteorológicas utilizadas: Funchal, Areeiro, Santana / S. Jorge, Ponta do Sol / Lugar de Baixo, Calheta / Ponta do Pargo, Porto Santo / Aeroporto.

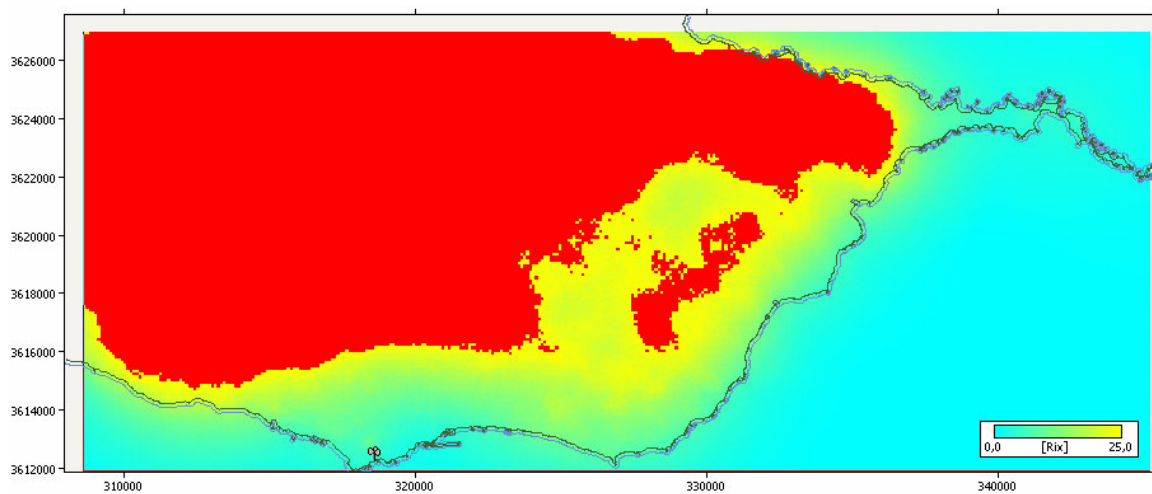
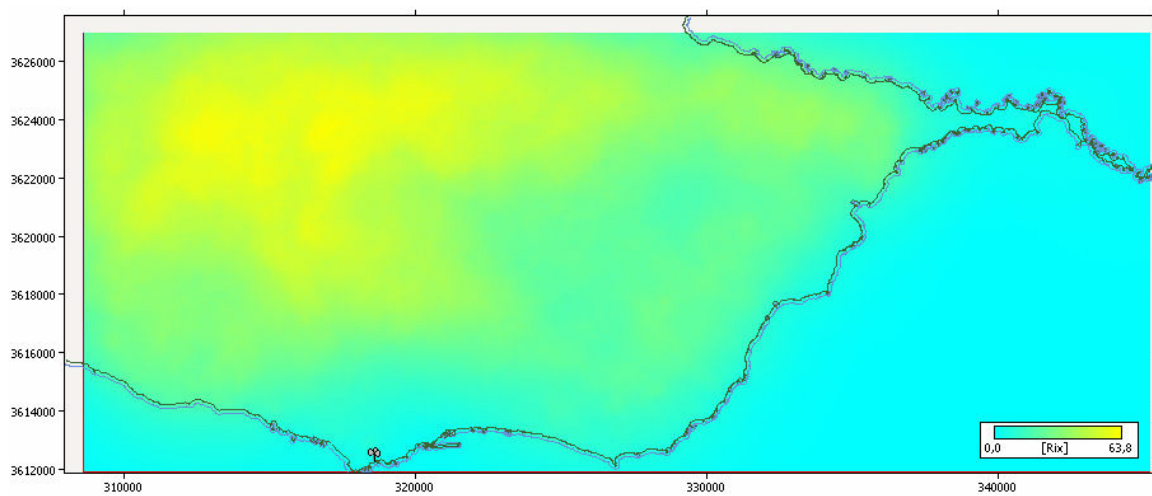
É notória, desde logo, a grande complexidade de qualquer um dos locais. A título de exemplo, em locais do Continente considerados de complexidade moderada, os valores de RIX variam tipicamente entre 10 e 15.

Assim, embora qualitativamente a previsão efectuada possa dar algumas indicações interessantes, num tipo de terreno como o da Madeira, só com medidas locais representativas, quer em termos de duração quer no respeito à cobertura de cada estação de medição, se pode esperar obter informação válida quanto ao nível do recurso.

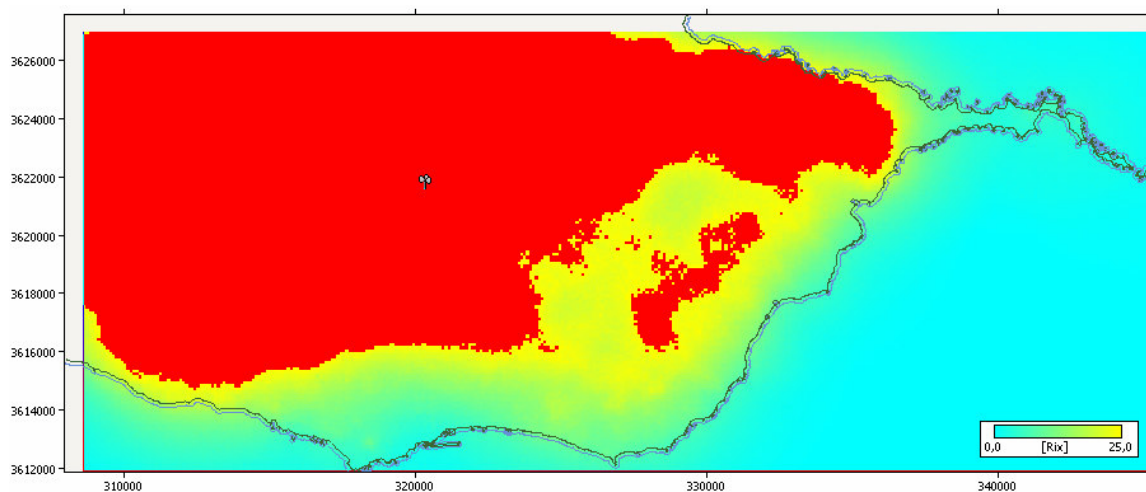
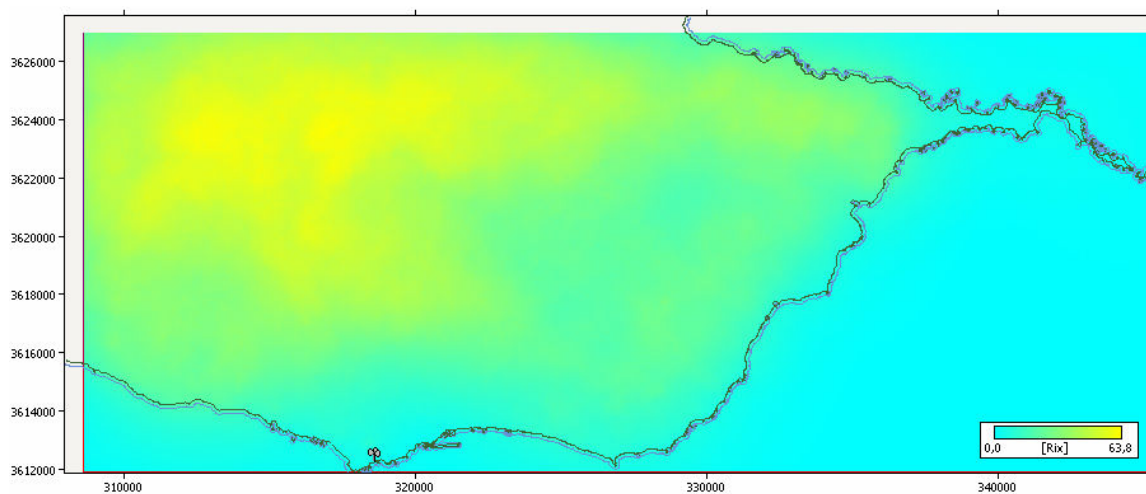
Nas figuras seguintes, é apresentada a quantificação do RIX para a região adjacente a cada estação meteorológica. É também apresentada, além da referida quantificação, a região (a vermelho) onde o RIX toma valores iguais ou superiores a 25. Sendo dado que as maiores garantias de fiabilidade se concentram em índices RIX inferiores a 20, as referidas figuras pretendem fazer notar, de uma forma conservadora, que os resultados das zonas a vermelho poderão ser menos credíveis.

Repare-se, por outro lado, e como referido acima, que a zona do Areeiro poderá ter desvios não proporcionais ao RIX, uma vez que a estação meteorológica de referência para a região encontra-se sob o mesmo tipo complexo de terreno.

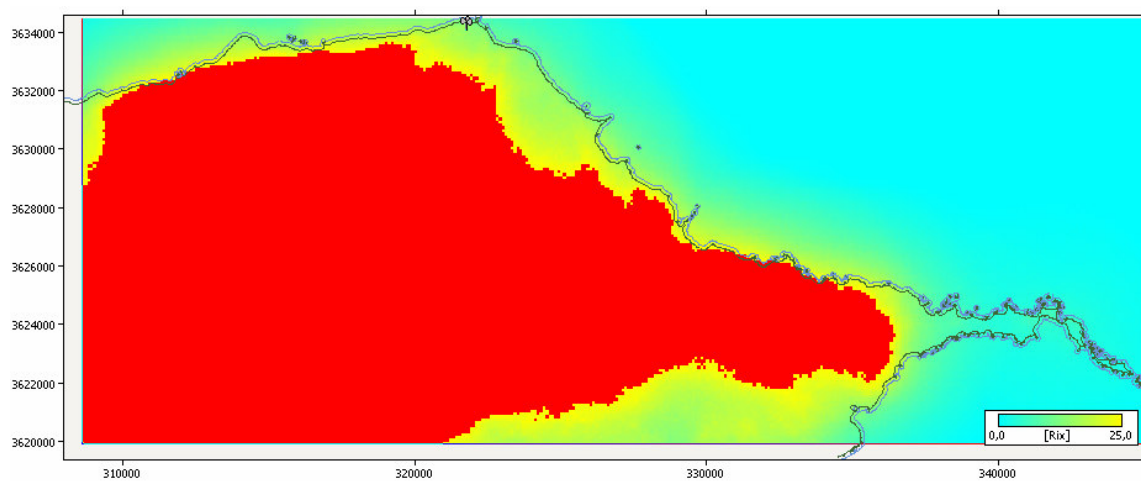
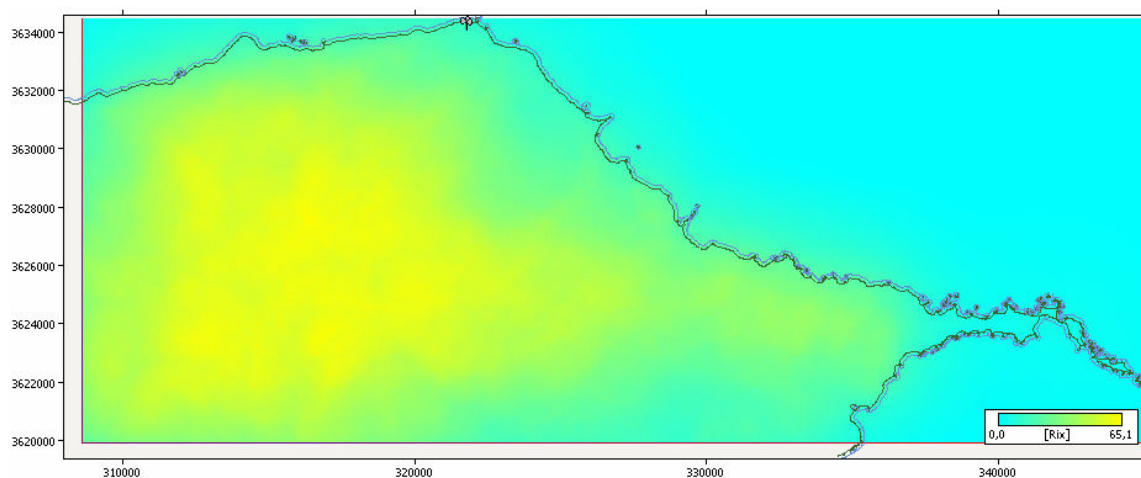
## Funchal



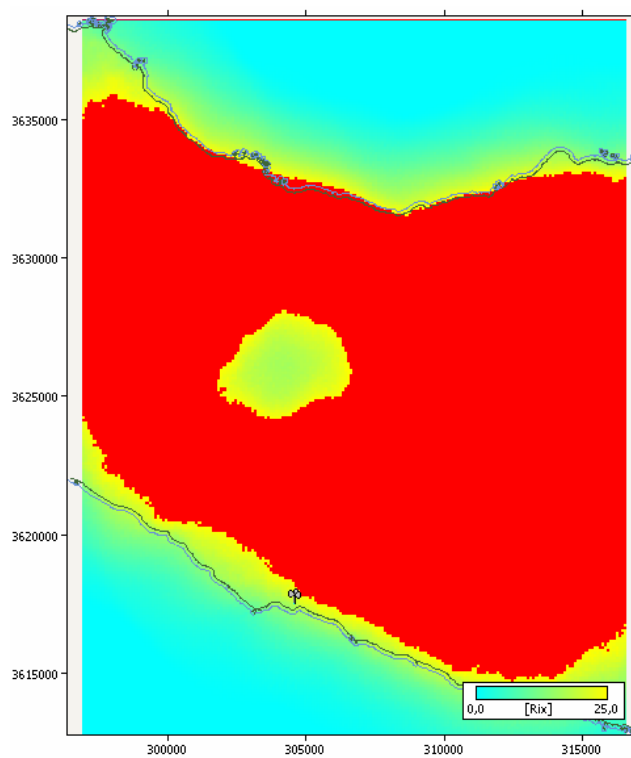
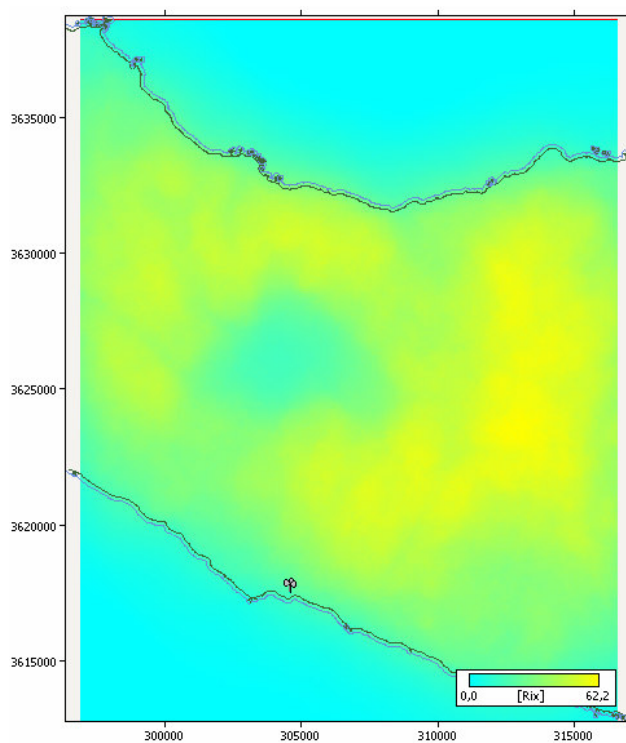
## Areeiro



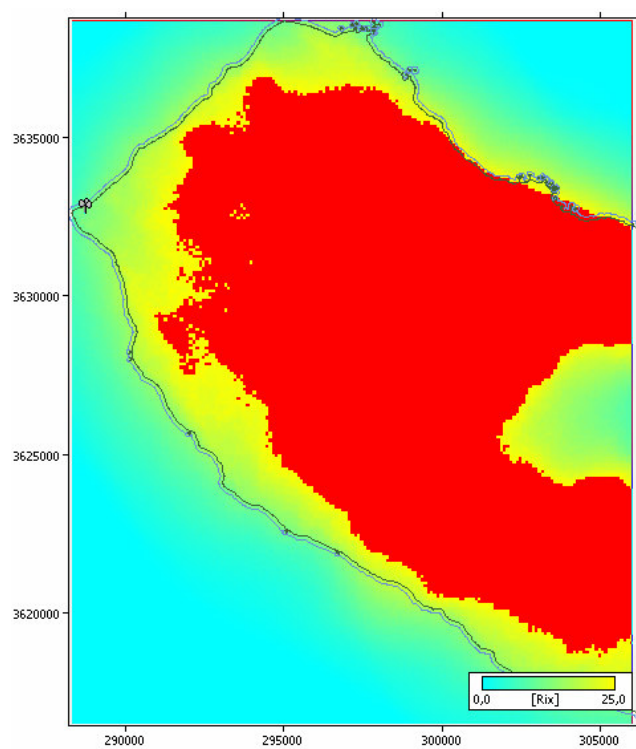
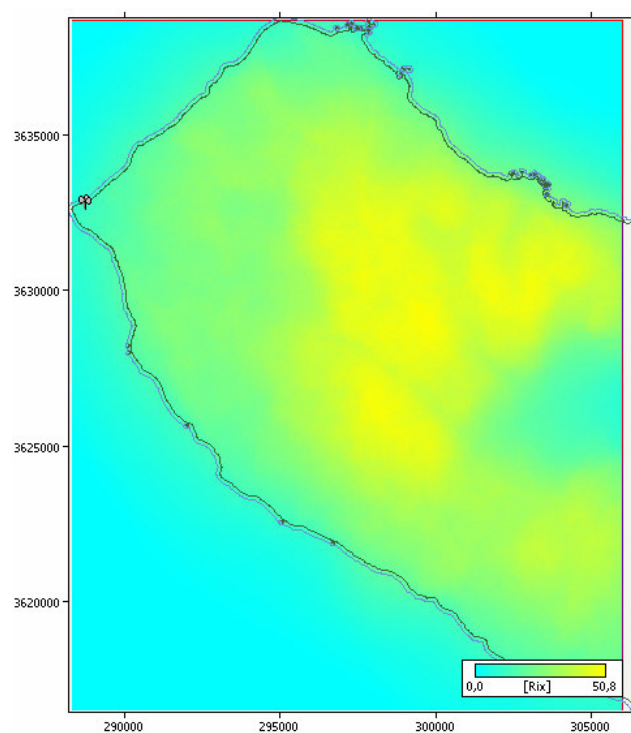
## Santana / S. Jorge



## Ponta do Sol / Lugar de Baixo

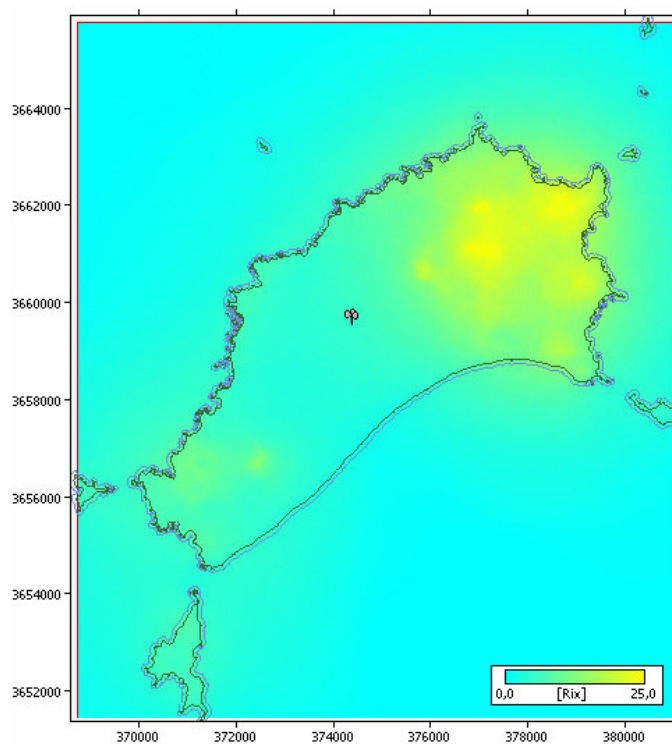
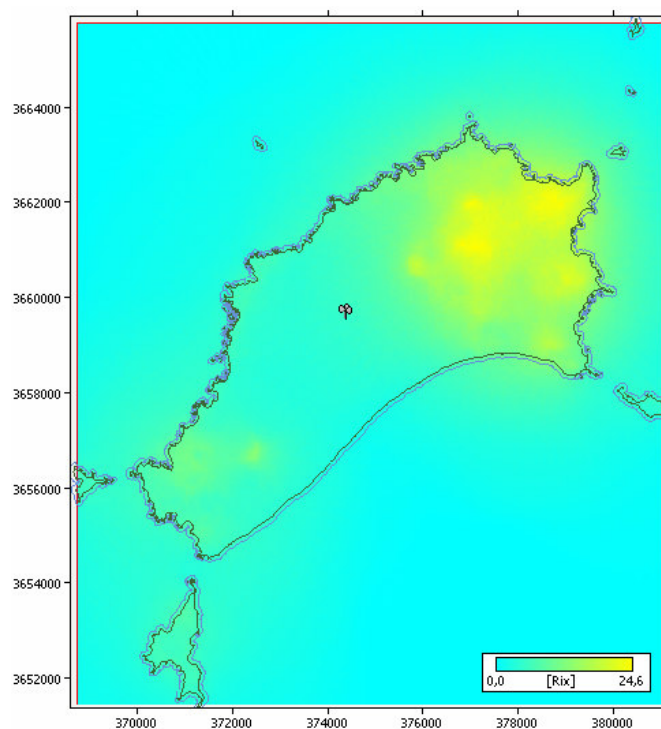


## Calheta / Ponta do Pargo





## Porto Santo / Aeroporto



## **5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES**

A determinação do regime de ventos e do potencial eólico disponível para fins energéticos requer a disponibilidade de dados das características do vento que devem ser simultaneamente fiáveis, relativos a um período suficientemente amplo para que se possa extrapolar para o longo termo, e obtidos, pelo menos parcialmente, num ponto representativo da área em análise.

Ora, o estudo efectuado abrangeu a totalidade das ilhas da Madeira e Porto Santo e os dados utilizados provieram apenas de 7 estações meteorológicas (6 na Madeira e 1 no Porto Santo). Se, por um lado, não se dispôs de medidas locais suficientes que abrangessem satisfatoriamente toda a região estudada, por outro, há que ter em conta as diferentes exposições do relevo aos ventos dominantes e a complexidade geral da orografia das ilhas, o que dificulta a utilização dos modelos de previsão e extrapolação vocacionados para este tipo de estudo.

A título de exemplo, é de salientar as diferenças significativas nos níveis do recurso previsto aquando do cálculo do potencial eólico na zona Este da ilha da Madeira pelas quatro estações diferentes que se encontram nesta região.

A conciliação entre as estações da zona Este da ilha ou a eleição de uma como a mais representativa era uma possibilidade a seguir. Contudo, foi feito um estudo mais rigoroso desta zona e estabelecidas ponderações respeitantes aos dados das estações meteorológicas a utilizar, nomeadamente a estação de São Jorge para a zona Nordeste da ilha e as estações Areeiro e Funchal RUEMA para a zona centro e sudeste da mesma.

Ainda que, de um ponto de vista quantitativo, seja difícil proceder a uma avaliação com rigor, o estudo efectuado poderá produzir resultados qualitativamente interessantes, permitindo identificar as áreas onde potencialmente tem maior interesse o desenvolvimento de outros estudos com vista à concretização de investimentos.

Embora constituam uma indicação qualitativa do recurso eólico, os resultados apresentados neste relatório deverão assim ser encarados com as reservas decorrentes das limitações mencionadas.

Da análise dos resultados, fica patente que existem diversas zonas com potencial eólico significativo, destacando-se o Paúl da Serra, o Caniçal e a Ponta do Pargo. Estes são efectivamente os locais de melhor aptidão para o desenvolvimento de projectos no domínio da energia eólica.

A complexidade do terreno é um factor decisivo na elaboração de estimativas do recurso eólico. O relevo da Madeira não é propício à instalação de grandes parques eólicos, à excepção do planalto do Paúl da Serra, pela extensão relativamente plana que caracteriza este local. Mesmo para projectos de pequena dimensão, não há muitos locais na ilha que reünam condições favoráveis, simultaneamente do ponto de vista do recurso e da ausência de conflitos.

Mesmo na posse de informação mais relevante, é de admitir que a área em estudo coloque dificuldades na previsão do recurso eólico. Situações de instabilidade atmosférica diferente da condição de neutralidade e fenómenos como o de estratificação, que pode ocorrer a altitudes elevadas, não são tratados no modelo de escoamento utilizado.

O tipo de resposta que o WAsP proporciona, permitindo obter estimativas do recurso eólico e caracterizar ventos a partir de um conjunto de medições mais ou menos representativas, não é facilmente acessível a partir de outros modelos que, contudo, permitiriam caracterizar algumas das situações mais frequentes, em termos de direcção e gamas de velocidades, podendo daí tirar-se importantes conclusões. Ainda assim, a frequência com que as situações referidas poderão ocorrer e em que extensão podem afectar a previsão do recurso numa base anual, por exemplo, são questões cuja resposta não é imediata e que exigiriam estudos mais aprofundados sobre o clima local.

Admitindo-se que existam ainda algumas outras restrições de natureza ambiental, de colisão com outro tipos de utilização de solos ou do espaço aéreo, a

determinação do potencial eólico das ilhas da Madeira e Porto Santo foi feita tendo em conta não só o recurso eólico, como também o declive do terreno e a turbulência.

A comparação dos Resultados CFD com WAsP para a Madeira, não obstante as diferentes aproximações usadas, com níveis de incerteza diferentes, leva a duas conclusões. Por um lado, existem tendências que se encontram vincadas no padrão de escoamentos, embora o cálculo CFD preveja maiores velocidades do vento pois esses dados não foram escalados para os valores medidos. Por outro lado, conclui-se que existirão fenómenos locais, dinâmicas térmicas, por exemplo, que induzem alterações significativas para além da orografia, ao escoamento de aproximação dominante. A própria não estacionariedade dos ventos, inclusive em altura (vento geostrófico) introduzirá alterações claras ao padrão da distribuição dos ventos na ilha. Repare-se, em jeito de nota, e devido à não estacionariedade e a todas as não linearidades envolvidas, que a média das ocorrências muitas vezes difere da ocorrência ditada por condições médias.

De uma forma genérica, pode-se observar que o vento de Norte terá influência significativa na maior parte da ilha, à excepção da zona Sudoeste, que parece estar mais afectada de ventos dominantes vindos do mar. É isto também que se conclui da observação da rosa dos ventos para a estação da Ponta do Sol.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Atalaya S., Utilização de um Sistema de Informação Geográfica na Avaliação do Potencial Energético Renovável, Projecto de Termodinâmica Aplicada, IST, Lisboa. (2000)
- [2] Mortensen G. & Petersen E., Influence of Topographical Input Data on the Accuracy of Wind Flow Modelling in Complex Terrain, Wind Energy and Atmospheric Department, Risø National Laboratory, Denmark (1997)
- [3] Bowen A. & Mortensen N., Exploring the Limits of WASP – The Wind Atlas Analysis and Application Program, Mechanical Engineering Department, University of Canterbury, New Zealand; Meteorology and Wind Energy Department, Risø National Laboratory, Denmark (1996)
- [4] Troen I. & Petersen E., European Wind Atlas, Department of Meteorology and Wind Energy, Risø National Laboratory, Denmark (1989)
- [5] Caldeira R., Groom S., Milller P., Pilgrim D. & Nezlin N., Sea-surface Signatures of Island Mass Effect Phenomena Around Madeira Island, Northeast Atlantic, Remote Sensing of Environment, ELSEVIER (2001)

## ANEXOS

### MEMÓRIA DESCRITIVA DOS FICHEIROS DE DADOS PRODUZIDOS

#### MADEIRA:

##### **Formato Raster:**

m\_vel10 - velocidade média do vento a 10 m de altura (m/s) (WAsP)

m\_vel40 - velocidade média do vento a 40 m de altura (m/s) (WAsP)

m\_v50\_n\_cfd - velocidade média do vento (Norte) a 50 m de altura (m/s) (CFD)

m\_v50\_s\_cfd - velocidade média do vento (Sul) a 50 m de altura (m/s) (CFD)

m\_v50\_e\_cfd - velocidade média do vento (Este) a 50 m de altura (m/s) (CFD)

m\_v50\_w\_cfd - velocidade média do vento (Oeste) a 50 m de altura (m/s) (CFD)

m\_t50\_n\_cfd - turbulência relativa (Norte) a 50 m de altura (CFD)

m\_t50\_s\_cfd - turbulência relativa (Sul) a 50 m de altura (CFD)

m\_t50\_e\_cfd - turbulência relativa (Este) a 50 m de altura (CFD)

m\_t50\_w\_cfd - turbulência relativa (Oeste) a 50 m de altura (CFD)

m\_pot10 - potência disponível por unidade de área a 10 m de altura (W/m<sup>2</sup>)

m\_pot40 - potência disponível por unidade de área a 40 m de altura (W/m<sup>2</sup>)

m\_declive - declive do terreno (%)

m\_vel10\_clas - classificação da velocidade média do vento a 10 m de altura (m/s)

m\_vel40\_clas - classificação da velocidade média do vento a 40 m de altura (m/s)

m\_t50\_clas - classificação da turbulência relativa (Norte) a 50 m de altura

m\_dec\_clas - classificação do declive (%)

m\_ocuphum - delimitação da ocupação humana

m\_pot\_eol\_10 - potencial eólico a 10 m de altitude

m\_pot\_eol\_40 - potencial eólico a 40 m de altitude

m\_ocuphum - delimitação da zona de ocupação humana

### **Formato Vectorial:**

m\_ocuphumana - delimitação da zona de ocupação humana

### **PORTO SANTO:**

#### **Formato Raster:**

ps\_vel10 - velocidade média do vento a 10 m de altura (m/s) (WAsP)

ps\_vel40 - velocidade média do vento a 40 m de altura (m/s) (WAsP)

ps\_v10\_cfd - velocidade média do vento a 10 m de altura (m/s) (CFD)

ps\_v40\_cfd - velocidade média do vento a 40 m de altura (m/s) (CFD)

ps\_t10\_cfd - intensidade de turbulência (Norte) a 10 m de altura (CFD)

ps\_t40\_cfd - intensidade de turbulência (Norte) a 40 m de altura (CFD)

ps\_pot10 - potência disponível por unidade de área a 10 m de altura (W/m<sup>2</sup>)

ps\_pot40 - potência disponível por unidade de área a 40 m de altura (W/m<sup>2</sup>)

ps\_declive - declive do terreno (%)

ps\_vel10\_clas - classificação da velocidade média do vento a 10 m de altura (m/s)

ps\_vel40\_clas - classificação da velocidade média do vento a 40 m de altura (m/s)

ps\_t10\_clas - classificação da turbulência (Norte) a 10 m de altura

ps\_t40\_clas - classificação da turbulência (Norte) a 40 m de altura

ps\_dec\_clas - classificação do declive (%)

ps\_ocuphum - delimitação da ocupação humana

ps\_pot\_eol\_10 - potencial eólico a 10 m de altura

ps\_pot\_eol\_40 - potencial eólico a 40 m de altura

ps\_ocuphum - delimitação da zona de ocupação humana

#### **Formato Vectorial:**

ps\_ocuphumana - delimitação da zona de ocupação humana

#### **RESULTADOS DE PORMENOR:**

##### **Formato Raster:**

ponta\_pargo40 - velocidade média do vento a 40 m de altura na zona de Ponta do Pargo (m/s) (WAsP)

paul\_serra40 - velocidade média do vento a 40 m de altura na zona do Paúl da Serra (m/s) (WAsP)

canical\_f40 - velocidade média do vento a 40 m de altura na zona do Caniçal (m/s) (WAsP - estação meteorológica do Funchal Observatório)

canical\_a40 - velocidade média do vento a 40 m de altura na zona do Caniçal (m/s) (WAsP - estação meteorológica do Areeiro)



## **AGRADECIMENTOS**

Instituto Geográfico Português (IGP)

Instituto de Meteorologia (IM)

Eng. Filipe Oliveira (AREAM)