

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Electrotécnica  
Sistemas Eléctricos de Energia



## **Previsão de vento baseado em Técnicas de *Data Mining***

**Manuel Almeida Capitão**

Tese submetida ao Instituto Superior de Engenharia do Porto

Para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

sob a orientação do

Doutor Filipe Miguel Tavares de Azevedo

e co-orientação da

Doutora Zita Maria Almeida do Vale

Porto, Outubro de 2010



*Dedico a minha esposa*

*e filhas*



# Agradecimentos

Quero começar por agradecer ao meu orientador Professor Doutor Filipe Azevedo e a minha co-orientadora Professora Doutora Zita Almeida Vale, por todo o apoio, estímulo e disponibilidade demonstrados ao longo deste trabalho, bem como todo o interesse que sempre lhe dedicaram.

Expresso, também, o meu agradecimento ao Engenheiro Sérgio Ramos, pela preciosa colaboração em diferentes fases do trabalho pelos meios disponibilizados sem os quais a realização desta dissertação não seria possível.

Quero manifestar o meu apreço e agradecimento ao GECAD, na pessoa da sua Directora por disponibilizar os meios e infra-estruturas conducentes a realização desta tese.

Aos meus colegas do GECAD e ao corpo docente deste Mestrado, que contribuíram para a minha evolução intelectual e a abertura a novas áreas científicas.

A minha família, por todos os sacrifícios que fizeram em meu nome.



## *Resumo*

Os problemas ambientais como a poluição e os altos preços dos combustíveis têm impulsionado o desenvolvimento de energias alternativas. A energia eólica é uma das energias que tem revelado um maior desenvolvimento na Europa nos últimos anos, sendo, normalmente, hoje uma das energias alternativas mais implementadas. Portugal ocupa o sexto lugar no *ranking* europeu e o nono mundial com uma potência cumulativa de 2,2% do total, numa Tabela liderada pelos Estados Unidos com 22,3%.

Apesar do crescimento nacional da produção de energia eólica, a capacidade de armazenar e gerir esse recurso é extremamente difícil, dada a sua natureza intermitente. A capacidade para gerir a integração da geração eólica na rede eléctrica, depende principalmente da previsão da velocidade do vento.

Os modelos de previsão da velocidade do vento incluem duas fases: a primeira refere-se à previsão das diferentes variáveis meteorológicas no local considerado (i.e. parque eólico) e a segunda reporta-se à modelização da previsão da velocidade do vento. O erro da previsão meteorológica, e o erro de modelização do processo de conversão contribuem para reduzir a precisão das previsões da velocidade do vento. O nível de precisão é muito variável e depende de diversos factores tais como o horizonte de previsão, as condições meteorológicas, etc.

Neste trabalho desenvolveram-se modelos e metodologias utilizando a ferramenta computacional – *Clementine* – baseada em redes neuronais artificiais *MLP (Multilayer Perceptron)*, para a previsão do vento com um horizonte temporal de 24 horas. O principal objectivo é identificar o melhor modelo e a melhor técnica de abordagem do problema.

O modelo referido utiliza dados reais provenientes do parque eólico São João de Cariri – Brasil situado a uma altitude de 486 m. A base de dados contém os valores mínimos, médios e máximos horários da velocidade, temperatura e direcção do vento do período

2006 a 2008. Os dados do período 2006 a 2007 foram utilizados para treinar a rede, e os de 2008 para a testar.

Os modelos foram avaliados com base no cálculo do erro médio absoluto percentual (*MAPE*).

Perante os resultados numéricos obtidos para os diferentes casos de estudo, conclui-se que o desempenho da ferramenta computacional *Clementine*<sup>1</sup> permitiu obter não só uma boa exactidão na previsão do vento, mas também um tempo de computação da ordem dos 3 minutos.

### ***Palavras-Chave***

Previsão eólica, redes neuronais, ferramenta *Clementine*, *Stream*.

---

<sup>1</sup> *Clementine version 12* [*Clementine Data Mining System, web page – <http://www.spss.com>*]



## *Abstract*

Environmental problems such as pollution and the high prices of fuels have propelled the development of alternative energies. Wind energy is one of the energies that have revealed a greater development in Europe over the recent years, being one of the most established alternative energies nowadays. Portugal occupies the sixth and ninth place in European and world rankings, respectively, having a cumulative power of 2,2% in a chart led by the U.S with 22,3%.

Despite the national growth of wind power production, the ability to store and manage this resource is extremely difficult given its intermittent nature and volatility. The ability to manage the integration of wind generation in the power grid depends mainly on the prediction of wind power, a task that has proved challenging.

Forecasting models include two phases: the first refers to the prediction of different meteorological variables considered in a given location (i.e., a specific wind farm) and the second relates to the forecast models of wind speed. The lack of accuracy in weather forecast and in the conversion process model contribute to a lesser accuracy in wind generation predictions – wind speed and energy production. The precision level is highly variable and depends on various factors such as the time horizon forecast, the weather, etc.

The present thesis has developed several models using the computational tool Clementine - based on artificial neural networks MLP (Multilayer Perceptron) -, to predict the wind with a time horizon of 24 hours. The main objective is to identify the most suitable and robust model and the best approach to the problem.

Data were collected in the wind park of St. João Cariri, Brazil, located at an altitude of 486 m. The database collected contains the minimum, average and maximum hourly rates of wind speed, temperature and direction in the time span between 2006 and 2008. Importantly, the period between 2006 and 2007 was used to train the network, whereas the year 2008 was used in the testing phase.

The models were evaluated based on calculating the mean absolute percentage error (MAPE).

Given the numerical results for different case studies, we conclude that the performance of the computational tool *Clementine*<sup>2</sup> has enabled not only accurate wind forecasts but also a computing time of about 3 minutes.

### **Keywords**

Wind forecasting, neural networks, tool Clementine, Stream.

---

<sup>2</sup> Clementine version 12 [Clementine Data Mining System, web page – <http://www.spss.com>]

# Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>XVII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	<b>XIX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	1
1.2. OBJECTIVOS PROPOSTOS .....	4
1.3. ESTRUTURA DA TESE .....	4
<b>2. ESTUDO DA ARTE</b> .....	<b>7</b>
2.1. CONTEXTO GERAL.....	7
2.2. PREVISÃO EÓLICA .....	9
2.3. FORMULAÇÃO DA PREVISÃO EÓLICA .....	11
2.4. MÉTODO DE PREVISÃO DE REFERÊNCIA .....	13
2.5. HORIZONTE DE PREVISÃO.....	14
2.6. DISTRIBUIÇÃO DOS ERROS DE PREVISÃO.....	14
2.7. ABORDAGEM ESTATÍSTICA.....	16
<b>3. ANÁLISE DOS FACTORES COM IMPACTO NA VELOCIDADE DO VENTO</b> .....	<b>19</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	19
3.2 VELOCIDADE E DIRECÇÃO DO VENTO.....	20
3.3 OROGRAFIA .....	21
3.4 RUGOSIDADE E OBSTÁCULOS .....	25
3.4.1 EDIFÍCIOS .....	27
3.4.2 BARREIRAS VEGETAIS.....	28
3.4.3 ÁRVORES POSICIONADAS ALEATORIAMENTE .....	29
3.5 EFEITO DE ESTEIRA .....	30
3.6 VENTO NO MAR.....	31
3.7 ATLAS EUROPEU DO VENTO.....	31
3.8 MODELOS UTILIZADOS NA PREVISÃO DA PRODUÇÃO EÓLICA .....	33
3.9 ANÁLISE DO ERRO .....	35

<b>4.</b>	<b>MODELOS DE PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO.....</b>	<b>39</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	39
4.2	MODELOS DE PREVISÃO.....	40
4.3	MODELOS DE REFERÊNCIA .....	41
4.4	MODELOS TÍPICOS MAIS CORRENTES .....	42
4.5	MODELOS FÍSICOS .....	42
4.6	MODELO MESOSCALA (MM5) .....	43
4.6.1	DESCRIÇÃO DO MODELO MESOSCALA (MM5).....	43
4.6.2	INFORMAÇÃO NECESSÁRIA PARA ESTUDO DO MODELO MM5 .....	46
4.6.3	VANTAGENS E DESVANTAGENS .....	46
4.7	MODELOS ESTATÍSTICOS.....	47
4.7.1	MODELOS DE REGRESSÃO.....	48
4.7.2	REGRESSÃO LINEAR SIMPLES.....	49
4.7.3	MODELO AUTO – REGRESSIVO.....	49
<b>5.</b>	<b>ESTUDO DA AMOSTRA .....</b>	<b>51</b>
5.1	DEFINIÇÃO DA AMOSTRA.....	54
5.2	MANUSEAMENTO DAS LEITURAS .....	55
5.2.1	INTRODUÇÃO.....	55
5.2.2	LIMPEZA E FILTRAGEM DOS DADOS .....	55
5.2.3	PREPARAÇÃO DOS DADOS.....	57
5.2.4	NORMALIZAÇÃO DOS DADOS.....	57
5.3	DESCRIÇÃO DOS DADOS .....	59
5.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	60
5.5	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS DADOS .....	61
5.6	ROSA DOS VENTOS .....	63
5.7	DESVIO PADRÃO.....	63
5.8	VARIÂNCIA.....	64
5.9	SIMETRIA .....	64
5.10	<i>KURTOSIS</i> .....	64
5.11	GRÁFICOS DAS VARIÁVEIS.....	65
5.11.1	FUNÇÃO DE AUTO-CORRELAÇÃO (ACF) .....	66
5.12	ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE DADOS .....	68
5.13	CORRELAÇÃO CRUZADA.....	68
5.13.1	<i>STREAM</i> PARA CORRELAÇÃO CRUZADA.....	68
5.13.2	VELOCIDADE DO VENTO COM A DIRECÇÃO DO VENTO.....	69
5.13.3	VELOCIDADE DO VENTO COM A TEMPERATURA DO AR.....	70
5.14	CONCLUSÃO.....	71
<b>6.</b>	<b>MODELOS DE PREVISÃO EÓLICOS PROPOSTOS .....</b>	<b>73</b>
6.1	INTRODUÇÃO.....	74
6.2	TÉCNICAS DE <i>DATA MINING</i> UTILIZADAS NA CARACTERIZAÇÃO .....	74
6.3	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA.....	75

6.4	PREPARAÇÃO DOS DADOS PARA <i>DATA MINING</i> .....	76
6.5	LIMPEZA DOS DADOS .....	76
6.6	TRATAMENTO DOS DADOS EM FALTA .....	76
6.6.1	DADOS DE ENTRADA DA REDE NEURONAL .....	77
6.6.2	DADOS DE ENTRADA DA REDE NEURONAL .....	77
6.7	NORMALIZAÇÃO DOS DADOS .....	79
6.8	MODELOS DE PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO .....	80
6.8.1	INTRODUÇÃO .....	80
6.9	APLICAÇÃO DE ALGORITMOS DE <i>DATA MINING</i> .....	80
6.10	PREVISÃO PARA UM HORIZONTE TEMPORAL DE 24 HORAS COM 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS .	85
6.10.1	STREAM PARA PREVISÃO 24 HORAS COM 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS .....	85
6.10.2	CASO DE TESTE 1 .....	86
6.10.2.1	ARQUITECTURA DA REDE .....	86
6.10.2.2	RESULTADOS OBTIDOS .....	88
6.10.2.2.1	GRÁFICOS DE SAÍDA .....	88
6.10.3	CASO DE TESTE 2 .....	90
6.10.3.1	ARQUITECTURA DA REDE .....	90
6.10.4	GRÁFICO DE SAÍDA – COM DIRECÇÃO DO VENTO .....	90
6.11	PREVISÃO PARA UM HORIZONTE DE 24 HORAS – 24 INTERVALOS DE 1 HORA .....	92
6.11.1	STREAM PARA PREVISÃO 24 HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA .....	93
6.11.2	CASO DE TESTE 1 .....	93
6.11.2.1	ARQUITECTURA DA REDE .....	93
6.11.2.2	RESULTADOS OBTIDOS .....	96
6.11.2.2.1	GRÁFICOS DE SAÍDA .....	96
6.11.3	TABELA RESUMO DOS VALORES MAPE .....	99
6.12	PREVISÃO PARA 24 HORAS COM 24 INTERVALOS DE 1 HORA E COM 24 SAÍDAS .....	100
6.12.1	STREAM PREVISÃO 24 HORAS COM 24 HORAS DE INTERVALO DE 1 HORA E - 24 SAÍDAS .....	100
6.12.2	CASO DE TESTE .....	101
6.12.2.1	ARQUITECTURA DA REDE .....	101
6.12.3	RESULTADOS OBTIDOS .....	102
6.12.3.1	GRÁFICOS DE SAÍDA .....	102
6.13	CONCLUSÕES GERAIS .....	105
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>107</b>
7.1	OBJECTIVOS ALCANÇADOS .....	108
7.2	PERSPECTIVAS FUTURAS .....	113
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>115</b>
	<b>ANEXO A – DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA <i>CLEMENTINE</i> .....</b>	<b>125</b>
A.1	DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA <i>CLEMENTINE</i> .....	126
A.2	INTRODUÇÃO .....	126
A.3	TÉCNICAS DE MODELAÇÃO .....	127
A.4	REDES NEURONAIS .....	127

A.5	INDUÇÃO DE REGRAS.....	128
A.6	ÁRVORES DE DECISÃO.....	128
A.7	REDES DE KOHONEN.....	128
A.8	INTERFACE DO <i>CLEMENTINE</i> .....	129
A.9	COMO UTILIZAR O <i>CLEMENTINE</i> .....	131
A.10	DESCRIÇÃO DOS ÍCONES.....	132
A.11	COMO O <i>CLEMENTINE</i> INTERPRETA OS DADOS.....	136
A.12	LEITURA DOS DADOS.....	136
A.13	criação da <i>STREAM</i> .....	136
A.14	SUPER-NÓS.....	137
A.15	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	138
<b>ANEXO B – FICHEIRO COM AQUISIÇÃO DE DADOS RELATIVOS AO MÊS DE JANEIRO DE 2006.....</b>		<b>139</b>
<b>ANEXO C – NORMALIZAÇÃO DOS DADOS.....</b>		<b>141</b>
<b>ANEXO D – RESUMO DOS CASOS DE TESTE - MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS (144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS).....</b>		<b>145</b>
<b>ANEXO E – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS SEM DIRECÇÃO DO VENTO E SEM TEMPERATURA DO AR – SPAN 9 (TESTE 1).....</b>		<b>149</b>
<b>ANEXO F – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS COM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 9 (TESTE 2).....</b>		<b>153</b>
<b>ANEXO G – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS SEM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 18 (TESTE 3).....</b>		<b>157</b>
<b>ANEXO H – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS SEM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 36 (TESTE 5).....</b>		<b>159</b>
<b>ANEXO I – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS COM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 36 (TESTE 6).....</b>		<b>163</b>
<b>ANEXO J – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS SEM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 72 (TESTE 7).....</b>		<b>167</b>
<b>ANEXO K – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS COM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 72 (TESTE 8).....</b>		<b>171</b>

<b>ANEXO L – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA SEM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 6 (TESTE 1)</b>	<b>173</b>
<b>ANEXO M – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA COM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 6 (TESTE 3)</b>	<b>177</b>
<b>ANEXO N – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA SEM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 12 (TESTE 5)</b>	<b>181</b>
<b>ANEXO O – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA COM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 12 (TESTE 7)</b>	<b>185</b>
<b>ANEXO P – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA SEM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 18 (TESTE 9)</b>	<b>189</b>
<b>ANEXO Q – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA COM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 18 (TESTE 11)</b>	<b>193</b>
<b>ANEXO R – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA SEM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 24 (TESTE 13)</b>	<b>197</b>
<b>ANEXO S – MODELOS PARA PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA COM DIRECÇÃO DO VENTO – SPAN 24 (TESTE 15)</b>	<b>201</b>





## *Lista de Figuras*

Figura 2.1 - Curva de potência de um aerogerador com potência nominal de 1800 kW .....	15
Figura 3.1 - Duração de uma campanha experimental versus precisão nas estimativas .....	20
Figura 3.2 - Aceleração do vento sobre uma elevação.....	22
Figura 3.3 - Orientações possíveis de linhas de cumeada. ....	22
Figura 3.4 - Forma de montes por ordem de preferências.....	23
Figura 3.5 - Zonas de re-circulação em falésias e escarpes.....	23
Figura 3.6 - Mapa de altimetria de Portugal Continental .....	25
Figura 3.7 - Escoamento em torno de um edifício .....	27
Figura 3.8 - Escoamento perturbado pela existência de um edifício.....	28
Figura 3.9 - Escoamento a jusante de uma barreira vegetal.....	28
Figura 3.10 - Efeito de esteira. ....	30
Figura 3.11 - Disposição das turbinas no terreno.....	30
Figura 3.12 - Colocação das turbinas num parque eólico. ....	31
Figura 3.13 - Atlas Europeu do vento obtido para a cota de 50 m.....	32
Figura 3.14 - Diferentes modelos utilizados na Previsão da Produção .....	34
Figura 4.1 - Previsão da energia eólica .....	40
Figura 4.2 - Esquema MM5. ....	43
Figura 4.3 - Arquitectura do Modelo Estatístico.....	48
Figura 5.1 - Mapa de localização do parque de São João do Cariri .....	52
Figura 5.2 - Mapa de São João do Cariri – PB.....	52
Figura 5.3 - Mapa de precipitação pluviométrico (1911-1990). ....	53
Figura 5.4 - Mapa de radiação solar global (1974-1998).....	53
Figura 5.5 - Mapa de Insolação (1974-1998).....	54
Figura 5.6 - Estatística dos dados fornecidos pelo <i>Software Clementine</i> .....	61
Figura 5.7 - Histograma da velocidade do vento.....	61
Figura 5.8 - Histograma da direcção do vento. ....	62
Figura 5.9 - Histograma da temperatura do ar.....	62
Figura 5.10 - Distribuição da direcção do vento .....	63
Figura 5.11 - Quadro resumo da análise estatística.....	65
Figura 5.12 - Gráfico da velocidade do vento.....	65
Figura 5.13 - Gráfico da direcção do vento.....	66
Figura 5.14 - Gráfico da temperatura do ar .....	66
Figura 5.15 - Correlograma da série de vento utilizada neste trabalho.....	67

Figura 5.16 - <i>Stream da correlação cruzada</i> .....	69
Figura 5.17 - <i>Web Node</i> que relaciona a velocidade do vento com a Direcção. ....	69
Figura 5.18 - <i>Web Node</i> que relaciona a velocidade do vento com a Temperatura do ar .....	70
Figura 6.1 - <i>Stream</i> da Rede Neuronal para previsão de valores em falta .....	77
Figura 6.2 - Temperatura do ar com erros de medição vs temperatura estimada.....	78
Figura 6.3 - <i>Comparação da temperatura real com valores estimados</i> .....	78
Figura 6.4 - <i>Stream</i> de treino e de teste da rede neuronal .....	81
Figura 6.5 - Definição das variáveis de entrada. ....	82
Figura 6.6 - Selecção dos campos a simular.....	82
Figura 6.7 - Campos excluídos da operação.....	83
Figura 6.8 - Configuração da rede neuronal.....	83
Figura 6.9 - Nó Diamante utilizado na <i>Stream</i> da Figura 6.4.....	84
Figura 6.10 - Campos seleccionados para criar o gráfico. ....	84
Figura 6.11 - <i>Stream</i> da previsão para 24 horas com 144 intervalos de 10 minutos .....	86
Figura 6.12 - Arquitectura da rede neuronal .....	87
Figura 6.13 - Modelo Neuronal de previsão de 24 horas (caso teste nº1).....	87
Figura 6.14 – Previsão do vento do dia 8/01/2008 (MAPE: 17,03%) – Teste 1 .....	89
Figura 6.15 - Histograma do Erro para o modelo do dia 7/01/2008.....	89
Figura 6.16 - Previsão do vento para o dia 8/01/2008 (MAPE: 16,74%) – resultados do teste 2 ....	90
Figura 6.17 - Histograma do Erro para o modelo com direcção do vento (do dia:8/01/2008).....	91
Figura 6.18 - Valores médios do MAPE .....	92
Figura 6.19 - Arquitectura da rede neuronal .....	93
Figura 6.20 – Modelo neuronal de previsão até 24 horas com direcção do vento .....	94
Figura 6.21 - Previsão do vento do dia 8/09/2008 (MAPE: 9,06%) - teste 1 .....	96
Figura 6.22 - Valores de comparação entre a velocidade média e a prevista.....	96
Figura 6.23 - Valores médios do MAPE .....	98
Figura 6.24 - <i>Stream</i> da previsão para 24 com previsão do dia seguinte .....	100
Figura 6.25 - Modelo neuronal de previsão até 24 horas. ....	101
Figura 6.26 - Previsão do vento do dia 01/01/2009 (MAPE: 11,91%) .....	102
Figura 6.27 - Previsão do vento do dia 02/01/2009 (MAPE: 19,17%) .....	103
Figura 6.28 - Previsão do vento do dia 03/01/2009 (MAPE: 5,09%) .....	103
Figura 6.29 - Previsão do vento do dia 04/01/2009 (MAPE: 8,2%) .....	103
Figura 6.30 - Evolução do MAPE.....	104
Figura 6.31 - Histograma do Erro .....	104
Figura 6.32 - Valores para intervalos de 10 minutos.....	105
Figura 6.33 - MAPE para previsão da velocidade do vento 24 horas - 24 intervalos de 1 hora ....	105
Figura 6.34 - MAPE com “re-injecção” dos dados).....	106
Figura A.1 - Rede Neuronal com as unidades organizadas por camadas.....	127
Figura A.2 - Redes de <i>Kohonen</i> . ....	129

Figura A.3 - Interface do <i>Clementine</i> .....	130
Figura A.4 - Exemplo de uma <i>Stream</i> .....	131
Figura D.2 - Comparação Valor MAPE (Teste 1 e Teste 2) – <i>Span 9</i> .....	147
Figura D.3 - Comparação Valor MAPE (Teste 3 e Teste 4) – <i>Span 18</i> .....	147
Figura D.4 - Comparação Valor MAPE (Teste 5 e Teste 6) – <i>Span 36</i> .....	147
Figura D.5 - Comparação Valor MAPE (Teste 7 e Teste 8) – <i>Span 72</i> .....	148
Figura E.1 - Previsão do vento do dia 15/11/2008 (MAPE: 16,33%) – <i>Span 9</i> (Teste 1).....	152
Figura E.2 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 17,39%) – <i>Span 9</i> (Teste 1).....	152
Figura E.3 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 17,03%) – <i>Span 9</i> (Teste 1).....	152
Figura F.1 - Previsão do vento do dia 15/11/2008 (MAPE: 15,84%) – <i>Span 9</i> (Teste 2).....	156
Figura F.2 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 17,29%) – <i>Span 9</i> (Teste 2).....	156
Figura F.3 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 16,74%) – <i>Span 9</i> (Teste 2).....	156
Figura G.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 17,09%) – <i>Span 18</i> (Teste 3) .....	158
Figura H.1 - Previsão do vento do dia 15/11/2008 (MAPE: 16,37%) – <i>Span 36</i> (Teste 5) .....	162
Figura H.2 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 16,69%) – <i>Span 36</i> (Teste 5) .....	162
Figura H.3 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 17,16%) – <i>Span36</i> (Teste 5) .....	162
Figura I.1 - Previsão do vento do dia 15/11/2008 (MAPE: 17,39%) – <i>Span 36</i> (Teste 6).....	166
Figura I.2 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 16,00%) – <i>Span 36</i> (Teste 6).....	166
Figura I.3 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 15,14%) – <i>Span 36</i> (Teste 6).....	166
Figura J.1 - Previsão do vento do dia 15/11/2008 (MAPE: 16,44%) – <i>Span 72</i> (Teste 7).....	170
Figura J.2 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 16,25%) – <i>Span 72</i> (Teste 7).....	170
Figura J.3 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 16,94%) – <i>Span72</i> (Teste 7).....	170
Figura K.1 - Previsão do vento do dia 14/11/2008 (MAPE: 15,98%) – <i>Span 72</i> (Teste 8) .....	172
Figura K.2 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 16,34%) – <i>Span72</i> (Teste 8) .....	172
Figura K.3 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 16,13%) – <i>Span 72</i> (Teste 8) .....	172
Figura L.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 15,34%) – <i>Span 6</i> (Teste 1).....	175
Figura L.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 10,63%) – <i>Span 6</i> (Teste 1).....	175
Figura L.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 14,45%) – <i>Span 6</i> (Teste 1).....	175
Figura M.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 15,23%) – <i>Span 6</i> (Teste 3).....	179
Figura M.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 10,47%) – <i>Span 6</i> (Teste 3).....	179
Figura M.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 14,14%) – <i>Span 6</i> (Teste 3).....	179
Figura N.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 16,06%) – <i>Span 12</i> (Teste 5) .....	183
Figura N.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 10,97%) – <i>Span 12</i> (Teste 5) .....	183
Figura N.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 14,56%) – <i>Span 12</i> (Teste 5) .....	183
Figura O.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 12,81%) – <i>Span 12</i> (Teste 7) .....	187
Figura O.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 12,41%) – <i>Span 12</i> (Teste 7) .....	187
Figura O.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 14,37%) – <i>Span 12</i> (Teste 7) .....	187
Figura P.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 14,79%) – <i>Span 18</i> (Teste 9).....	191
Figura P.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 11,70%) – <i>Span 18</i> (Teste 9).....	191

Figura P.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 13,97%) – <i>Span 18</i> (Teste 9) .....	191
Figura Q.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 14,61%) – <i>Span 18</i> (Teste 11) .....	195
Figura Q.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 11,42%) – <i>Span 18</i> (Teste 11) .....	195
Figura Q.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 14,17%) – <i>Span 18</i> (Teste 11) .....	195
Figura R.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 13,47%) – <i>Span 24</i> (Teste 13).....	199
Figura R.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 12,20%) – <i>Span 24</i> (Teste 13).....	199
Figura R.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 13,77%) – <i>Span 24</i> (Teste 13).....	199
Figura S.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 14,33%) – <i>Span 24</i> (Teste 15) .....	203
Figura S.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 14,01%) – <i>Span 24</i> (Teste 15) .....	203
Figura S.3 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 13,52%) – <i>Span 24</i> (Teste 15) .....	203

## *Lista de Tabelas*

Tabela 3.1 - Tipos de superfície e comprimentos de rugosidade correspondentes. ....	26
Tabela 3.2 - Coeficientes de porosidade atribuídos aos obstáculos .....	29
Tabela 5.1 - Análise estatística dos dados.....	60
Tabela 5.2 - Tabela de desvio padrão, variância, simetria, <i>kurtosis</i> .....	64
Tabela 5.3 - Tabela que relaciona a velocidade do vento com a Direcção .....	70
Tabela 5.4 - Tabela que relaciona a velocidade do vento com a Temperatura do ar. ....	71
Tabela 6.1 - Nome dos ficheiros fornecidos pela Rede Sonda.....	75
Tabela 6.2 - Caso de estudo – modelos com 144 intervalos de 10 minutos.....	88
Tabela 6.3 - Valores de comparação entre velocidade medida e prevista.....	89
Tabela 6.4 - Valores de comparação entre velocidade medida e prevista.....	91
Tabela 6.5 - Resumo MAPE .....	92
Tabela 6.6 - Caso de estudo – modelos com 24 intervalos de 1 hora.....	95
Tabela 6.7 - Resumo MAPE .....	97
Tabela 6.8 - Tabela resumo do MAPE.....	99
Tabela 6.9 - Configuração da rede neuronal .....	101
Tabela 6.10 - Valores de comparação entre velocidade medida e prevista.....	104
Tabela 7.1 - Valore médio MAPE para um horizonte temporal de 24 horas .....	111
Tabela 7.2 - Valore médio MAPE para um horizonte temporal de 24 horas .....	112
Tabela D.1 - Caso de estudo – modelos de previsão de 24 horas - 144 intervalos de 10 minutos. ....	146
Tabela E.1 - Previsão (15-11-2008) – <i>Span 9</i> s/ dir. vento e s/ Temp. ar (Teste1) .....	150
Tabela F.1 - Previsão do vento (15-11-2008) com direcção do vento – <i>Span 9</i> (Teste 2) .....	154
Tabela H.1 - Previsão do vento (15-11-2008) – <i>Span 36</i> sem Direcção do vento (Teste 5).....	160
Tabela I.1 - Previsão do vento (15-11-2008) – com Direcção vento - <i>Span 36</i> (Teste 6).....	164
Tabela J.1 - Previsão do vento (15-11-2008) - <i>Span 72</i> sem Direcção do vento (Teste 7) .....	168
Tabela L.1 - Previsão do vento (08-01-2008) - <i>Span 6</i> sem direcção do vento (Teste 1) .....	174
Tabela M.1 - Previsão do vento (08-01-2008) – com Direcção vento - <i>Span 6</i> (Teste 3).....	178
Tabela N.1 - Previsão do vento (08-01-2008) – <i>Span 12</i> sem Direcção do vento (Teste 5).....	182
Tabela O.1 - Previsão do vento (08-01-2008) – com Direcção do vento <i>Span 12</i> (Teste 7).....	186
Tabela P.1- Previsão do vento (08-01-2008) – <i>Span 18</i> sem Direcção do vento .....	190
Tabela Q.1 - Previsão do vento (08-01-2008) – com Direcção do vento - <i>Span 18</i> .....	194
Tabela R.1 - Previsão do vento (08-01-2008) – <i>Span 24</i> sem Direcção do vento (teste 13).....	198
Tabela S.1 - Previsão do vento (08-01-2008) – <i>Span 24</i> com Direcção do vento (teste 15).....	202



## Lista de abreviaturas

<b>ACF</b>	Função de Auto-Correlação
<b>AEI</b>	Agência Internacional de Energia.
<b>ANEMOS</b>	<i>Development of a Next Generation Wind Resource Forecasting System for the Large-Scale Integration of Onshore and Offshore Wind Farms</i>
<b>ANNs</b>	<i>Artificial Neural Networks</i>
<b>AR</b>	Auto-Regressivos
<b>ARIMA</b>	<i>Auto-Regressive Integrated Moving Averages</i>
<b>ASII</b>	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
<b>BE</b>	<i>Bias Error</i>
<b>BSRN</b>	Baseline Surface Radiation Network
<b>CCF</b>	<i>Clementine Cache Format</i>
<b>CFD</b>	Computational Fluid Dynamic
<b>CPTEC</b>	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
<b>DC</b>	Descoberta de Conhecimento
<b>DCA</b>	Departamento de Ciências Atmosféricas
<b>DCBD</b>	Descoberta de Conhecimento em Base de Dados
<b>DEMs</b>	<i>Digital Elevation Models</i>
<b>Disp</b>	<i>Dispersion</i>
<b>DM</b>	<i>Data Mining</i>
<b>EWEA</b>	<i>European Wind Energy Association</i>
<b>FER</b>	Fonte de Energia Renovável
<b>GCM</b>	<i>Global Circulation Model</i>
<b>GRIB</b>	<i>Gridded Binary Data</i>
<b>GTOPO30</b>	<i>Global Topographic Data</i>
<b>GWEC</b>	<i>Global Wind Energy Council</i>
<b>IEA</b>	Agência Internacional de Energia
<b>INPE</b>	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
<b>ISEP</b>	Instituto Superior de Engenharia do Porto
<b>MA</b>	Média Móvel

<b>MAE</b>	<i>Mean Absolute Error</i>
<b>MAPE</b>	Erro Médio Absoluto Percentual
<b>MM5</b>	<i>Fifth Generation Mesoscale Model</i>
<b>MOS</b>	<i>Model Output Statistics</i>
<b>NWP</b>	<i>Numerical Weather Prediction</i>
<b>PACF</b>	Função de Auto-Correlação Parcial
<b>PCM</b>	Power Curve Model
<b>ODBC</b>	<i>Open Database Connectivity</i>
<b>PSU/NCAR</b>	Pennsylvania State University/National Central for Atmospheric Research
<b>Risø</b>	National Laboratory for Sustainable Energy
<b>REN</b>	Rede Eléctrica Nacional
<b>RMSE</b>	<i>Root Mean Square Error</i>
<b>RNA</b>	Redes Neurais Artificiais
<b>SCADA</b>	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
<b>SEN</b>	Sistema Eléctrico Nacional
<b>Sdbias</b>	<i>Variability Error</i>
<b>Sde</b>	<i>Standard Deviation of Error</i>
<b>Sonda</b>	Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais
<b>UFCG</b>	Universidade Federal de Campina Grande
<b>USE</b>	Unidade de Sistemas de Energia
<b>USGS</b>	<i>United States Geological Survey</i>
<b>VPP</b>	<i>Virtual Power Producer</i>
<b>WASP</b>	<i>Wind Atlas Analysis and Application Program</i>
<b>WFPC</b>	<i>Wind Farm Power Curve</i>
<b>WRMC</b>	<i>World Radiation Monitoring Center</i>



# 1. INTRODUÇÃO

Este capítulo introduz o tema que se pretende abordar na presente dissertação. Na parte inicial, resume-se de forma sucinta a situação energética actual e aborda-se temas como o aquecimento global, o esgotamento de fontes de energia convencionais, o aumento do dióxido de carbono e a procura de fontes alternativas mais limpas, com ênfase na energia eólica.

Por último, são apresentados os objectivos do trabalho e apresenta-se a estrutura da dissertação.

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Estudos recentes têm mostrado que durante o último século a temperatura média na superfície da terra tem aumentado significativamente: de  $0.6 \pm 0.2^\circ C$  (HOUGHTON, et. al., 2001). A mesma fonte informou que a concentração actual de dióxido de carbono e metano na atmosfera é a mais alta registada em 420 000 anos. Além disso, as concentrações desses gases aumentaram 31% e 151% desde 1750. O aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera tem contribuído para o aquecimento global. Estas descobertas levaram a opinião pública a exigir a introdução de medidas para reduzir as emissões de dióxido de carbono em diversos países.

Esta consciencialização ambiental recente conduziu ao reconhecimento da não sustentabilidade e riscos associados ao uso de combustíveis fósseis. A não sustentabilidade e os riscos

associados ao uso dos combustíveis fósseis foram uma da consciencialização recente. Actualmente, estes combustíveis fósseis dominam o sistema energético mundial. O petróleo é utilizado principalmente no sector dos transportes enquanto o gás e o carvão são empregados principalmente na produção de electricidade. A Agência Internacional de Energia prevê um aumento de 60% da necessidade de energia até 2030 e uma duplicação da procura de electricidade (WORLD ENERGY OUTLOOK 2004, 2004).

A preocupação mundial sobre o aquecimento global e a perspectiva de esgotamento de fontes de energia convencionais obrigaram as entidades governamentais a procurar fontes alternativas de energia mais limpas (que produz menos CO<sub>2</sub>) e duráveis.

Em vários países, desenvolveram-se políticas para promover o uso de meios de conversão da energia e implementação da eficiência energética e utilização das energias renováveis (THE GLOBAL RENEWABLE ENERGY POLICIES AND MEASURES DATABASE, 2006). Neste contexto, a União Europeia aprovou em 2001 a directivas sobre promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis. Esta Directiva estabelece metas sobre a utilização de energias renováveis para a produção de electricidade em todos os países membros. Especificamente, esta directiva estabelece que 12% do consumo de energia primária e 22,1% de electricidade produzida em 2010 na UE será de origem de fontes renováveis (DIRECTIVE 2001/77/EC OF THE EUROPIEN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, 2001).

A maioria das fontes de energia renováveis pode ser utilizada para produzir electricidade. As fontes de energia mais utilizadas são: hídrica, solar fotovoltaica, energia solar, eólica, biomassa e geotérmica. De todas as fontes, a eólica é a que, actualmente, tem um maior crescimento. A capacidade instalada mundialmente aumentou de 4,8 mil MW em 1995 para mais de 74.223 MW em 2006 (GLOBAL WIND, 2006). O *Global Wind Energy Council* (GWEC) prevê que em 2020, 180 000MW serão instalados em todo o mundo. Vários factores contribuíram para a evolução significativa da energia eólica.

O primeiro factor é a disponibilidade do recurso. Outro factor que pesa em favor da energia eólica é o seu custo em comparação com outras energias renováveis. A energia eólica é uma das tecnologias renováveis mais concorrenciais (WORLD ENERGY OUTLOOK 2004, 2004). Embora outras tecnologias como a energia hidráulica e geotérmica sejam mais competitivas, a

disponibilidade destas é limitada em determinados territórios. Um terceiro factor, adicionado aos dois anteriores, é o importante apoio à energia eólica por parte das entidades políticas. Medidas eficazes de apoio têm sido implementadas em vários países. O efeito destas medidas pode ser verificado através da análise da evolução do mercado de energia eólica. Em 2001, apenas cinco países chegaram a 1000MW de energia eólica instalada, quatro anos depois, onze países ultrapassaram esse limite (GLOBAL WIND, 2005).

O nível elevado de energia eólica injectado nas redes eléctricas pode causar problemas para os gestores de rede, porque, ao contrário das fontes de energia convencionais, o vento é variável e não controlável. Deste modo, não é possível a utilização desta energia para manter um equilíbrio da rede. Para possibilitar a injeção de grandes quantidades de energia eólica nas redes eléctricas, a solução tradicional é aumentar as reservas para compensar as flutuações inesperadas da mesma.

Em muitas redes, as reservas adicionais são fornecidas por centrais eléctricas que utilizam combustíveis fósseis. Estas reservas vão aumentar o custo de operação da rede e as emissões de gases poluentes no meio ambiente vão reduzir os benefícios esperados do uso da energia eólica. Uma solução viável para este problema seria a utilização de meios de armazenamento de energia para atenuar as variações do vento. Vários estudos foram realizados (Anderson and Leach, 2004; Castronuovo & Peças Lopes, 2004) para analisar a possibilidade de utilizar os meios de armazenamento ou outras fontes de energia renováveis como a energia hidráulica, para atenuar os efeitos da variabilidade do vento. Estes estudos mostram que tais sistemas combinados podem ser viáveis, nomeadamente no âmbito do mercado liberalizado da energia.

Para manter o equilíbrio do sistema, os gestores das redes eléctricas devem planificar a disponibilidade dos meios de produção necessários para satisfazer as necessidades de consumo de energia eléctrica. Técnicas como modelos de previsão, algoritmos de *unit commitment* e de determinação do despacho económico são utilizadas para otimizar a técnica e economicamente a produção (Castro and Ferreira, 2001). Assim a previsão da produção eólica é importante nas redes com forte penetração de produção de energia eólica (Fagan, et. al., 2005).

## 1.2. OBJECTIVOS PROPOSTOS

Os elevados níveis de produção eólica no sistema produtor de Portugal e de muitos países europeus tem motivado o desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão para produtores e operadores da rede eléctrica. A previsão eólica possui diversas aplicações, que vão desde a operação segura da rede eléctrica por parte do operador até à participação no mercado de electricidade por parte do produtor.

No entanto, dada a imprevisibilidade da velocidade do vento, o despacho de produção eólica tem sido impraticável, o que dificulta a utilização deste tipo de energia. Neste sentido, a presente dissertação tem como objectivo principal o desenvolvimento de um modelo de previsão de vento baseado em Técnicas de *Data Mining*. Para atingir este objectivo, procede-se a uma análise inicial dos factores que influenciam a velocidade do vento (e.g., temperatura, direcção do vento, etc.), conhecimento este que é essencial na construção de um modelo de previsão mais robusto. Após esta análise, o modelo é testado com simulação de alguns casos de teste que permitam analisar a ferramenta desenvolvida. O melhor modelo será aquele que apresenta um menor erro médio absoluto percentual (MAPE) entre o valor medido da velocidade do vento e o valor previsto. Os modelos a ser testados são os seguintes:

Previsão para um horizonte temporal de 24 horas com 144 intervalos de 10 minutos;

Previsão para um horizonte temporal de 24 horas com 24 intervalos de 1 hora;

Previsão para um horizonte de 24 horas com 24 intervalos de 1 hora para criar modelos que permitam realizar a previsão do dia seguinte utilizando os dados previstos do dia anterior.

Os resultados obtidos com estes modelos são posteriormente comparados com os existentes na literatura.

## 1.3. ESTRUTURA DA TESE

A presente dissertação é constituída por sete capítulos e 20 anexos. O objectivo desta dissertação é desenvolver um modelo de previsão do vento baseado em técnicas de *Data Mining*, para apoiar os produtores no despacho da produção eólica.

Ao presente Capítulo de introdução sucede o Capítulo 2, seguindo uma sequência lógica para o desenvolvimento do tema abordado. Este capítulo consiste no estado da arte da previsão eólica.

Faz-se uma contextualização geral da energia eólica, assim como uma formulação matemática do problema de previsão eólica.

O terceiro capítulo consiste numa descrição dos factores que influenciam a velocidade do vento, bem como uma caracterização dos diferentes modelos utilizados na previsão da produção eléctrica de base eólica, concluindo com uma análise do erro de previsão que permite uma avaliação dos modelos.

O quarto capítulo aborda os métodos mais utilizados na previsão nomeadamente os modelos de referência, os modelos físicos e os modelos estatísticos.

No quinto capítulo apresenta-se a análise e o tratamento da base de dados utilizando a ferramenta *Data Mining – Clementine*.

No sexto capítulo são apresentados os testes de avaliação e os modelos de previsão utilizando as técnicas de inteligência artificial (RNA) para horizontes de vinte e quatro horas.

No sétimo e último capítulo são apresentadas conclusões sobre o trabalho desenvolvido e sugestões para um trabalho futuro.



## 2. ESTUDO DA ARTE

Neste capítulo apresenta-se o estudo da arte da previsão eólica. Faz-se uma contextualização geral da energia eólica e são revistos os benefícios deste tipo de energia e os factores que influenciam o erro de previsão da velocidade do vento. De seguida, os modelos de previsão utilizando as redes neuronais são referidos. Desenvolve-se também uma formulação da previsão eólica. Abordam-se os métodos de previsão de referência e o horizonte de previsão.

### 2.1. CONTEXTO GERAL

Actualmente, um dos grandes desafios da Humanidade é satisfazer a crescente necessidade de energia e, simultaneamente, minimizar as consequências dos actos agressivos no meio ambiente, responsáveis pelas mudanças climáticas que alteram as características do planeta.

A Agência Internacional de Energia (IEA) estima que o consumo mundial de electricidade poderá duplicar entre 2002 e 2030 (Millais, 2005a). Até 2030, o sector energético, fortemente dependente de combustíveis fósseis, poderá ser responsável por 45% das emissões globais de carbono. A utilização da energia eólica vai contribuir para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa (Millais e Teske, 2005). Actualmente, os parques eólicos instalados na Europa eliminam a emissão de mais de 50 milhões de toneladas de dióxido de carbono por ano (Millais, 2005a)

A nível mundial, estima-se que o potencial eólico excede o dobro do consumo mundial de electricidade previsto para o ano 2020, pelo que é actualmente considerado a fonte energética de maior crescimento.

Os objectivos definidos pela indústria e pela Comissão Europeia para o desenvolvimento da energia eólica durante a última década foram expandidos, tendo o *European Wind Energy Association* (EWEA) definindo novas metas a atingir. Actualmente, a potência instalada em toda a Europa excede os 40GW. No entanto, em 2010, a União Europeia deverá ter uma potência total de 75GW e, em 2020, essa potência atingirá os 180GW (Zervos, 2003), o que corresponde a um aumento de 25% das metas definidas em 2000 e aproximadamente ao dobro do definido em 1997. Devido à grande evolução tecnológica na produção de energia eólica e ao rápido desenvolvimento do mercado, esta energia é essencial para a União Europeia cumprir as metas definidas. O aumento da produção de energia eléctrica, com recurso a energias renováveis (onde se inclui a energia eólica), estima-se em 22,1% em 2020, comparativamente com os 14% verificados em 1997.

Em Portugal, a evolução do sector eólico, quando comparada com outros países Europeus, tem sido relativamente lenta, embora se verifique um maior crescimento nos últimos anos. Os principais factores para o reforço do aproveitamento desta fonte de energia renovável – FER – são, sobretudo, os compromissos assumidos por Portugal em termos internacionais, no que respeita ao cumprimento do Protocolo de Quioto e à Directiva 2001/77/CE da União Europeia. No âmbito desta Directiva Europeia, Portugal comprometeu-se a alargar a utilização de energias renováveis, de forma a que, em 2010, 45% da energia eléctrica tivesse origem em fontes renováveis. Além disso, e no que concerne especificamente à energia eólica, o nosso país comprometeu-se a instalar uma capacidade de 3750 MW. Após a análise dos resultados obtidos ao longo dos últimos anos, pode concluir-se que os objectivos foram amplamente alcançados (REN, 2010).

Os trabalhos de pesquisa na área da previsão das energias eólicas começaram no século XX (anos 80; Mc Carthy, 1998). Desde então, centros de investigação e empresas investiram no desenvolvimento de métodos e ferramentas operacionais, o que conduziu a um aumento considerável no número de modelos de previsão existentes.



No nosso país, o crescente interesse pelo desenvolvimento de ferramentas de previsão de produção com base eólica deve-se ao concurso público criado em 2006 com o objectivo de promover um "Cluster Industrial Eólico" que, entre vários pontos, engloba a atribuição de direitos de ligação para 1700MW de potência com base eólica. Está prevista a construção de três centros de despacho para gestão da produção eólica, para os quais será necessário desenvolver ferramentas de previsão eólica.

Não tenho, aqui, o intuito de apresentar um estudo detalhado de todas as metodologias de previsão existentes na literatura; uma visão geral das metodologias desenvolvidas pode ser encontrada em Yuan-Kang & Jing-Shan – 2007 e Costa, et. al. - 2008.

## **2.2. PREVISÃO EÓLICA**

A produção de energia com recurso a fontes eólicas tem sido alvo de grande expansão e crescente reconhecimento por parte do meio industrial. No entanto, um dos maiores problemas é a sua variabilidade devido à oscilação da velocidade do vento (Giebel,2003). O vento não pode ser controlado nem armazenado (Lange, 2003).

Actualmente, a expansão e o desenvolvimento da energia eólica na Europa surge paralelamente ao processo de desregularização dos mercados eléctricos de energia. Uma vez que a energia eólica está a beneficiar de incentivos. Isto irá implicar que no caso de incumprimentos de propostas de venda de energia apresentadas no mercado, os produtores de energia eólica serão penalizados, visto que a variabilidade do recurso eólico é uma fonte de penalização num ambiente de mercado (Milborrow, 2001). Além disso, para encorajar os produtores a participarem no mercado, alguns países como Espanha (Garcia e Arriba, 2004) escolheram adicionar um prémio no mercado de preços. Este prémio representa as vantagens ecológicas dessa energia renovável.

Uma forma de compensar o impacto da variabilidade do recurso eólico ou incerteza na produção consiste em recorrer a sistemas de armazenamento de energia. A associação entre sistemas de armazenamento e parques eólicos é de todo o interesse para os promotores eólicos, isto porque permitem diminuir as penalizações no mercado de ajustes. É possível com esta associação controlar o fornecimento de energia, podendo-se armazenar energia em períodos com baixos preços - ou períodos com elevada velocidade do vento - e mais tarde vender energia

quando o preço de mercado é elevado (Korpaas et al., 2003; Bathurst & Strbac, 2003; Castronuovo & Peças Lopes, 2004).

A previsão de vento de curto prazo para um horizonte temporal de 24 horas consiste em previsões do vento para as próximas horas ao nível do parque eólico. A fase seguinte envolve a transformação da velocidade do vento em potência produzida. A fase de previsão é normalmente baseada num modelo de previsão numérico das condições atmosféricas (*NWP – Numerical Weather Prediction*). Segue-se a fase que corresponde a modelizar o sistema de conversão da velocidade do vento em potência (chamada curva de potência) do parque eólico, tendo em consideração a curva de potência individual de cada aerogerador, assim como, a densidade do ar, a turbulência, as características do terreno e outros parâmetros que influenciam a produção.

A fase que mais provoca maior impacto no erro de previsão é a meteorológica. É fácil imaginar que quanto melhor for a previsão do vento, melhor será a previsão da produção do parque eólico. Esta afirmação é sustentada por vários estudos que procuram quantificar a importância das previsões NWP no erro da previsão da produção (Holtinen & Hirvonen, 2005; Lange, 2003).

Os métodos de previsão numérica de condições meteorológicas (*NWP – Numerical Weather Prediction*)<sup>3</sup> estão bem comprovados no que diz respeito à previsão de vento com um horizonte de previsão de várias horas ou mais. A previsão de velocidade do vento correspondente pode ser convertida numa produção aproximada de energia quanto ao parque eólico pretendido. Os modelos de previsão numérica das condições meteorológicas podem também ser especificamente sintonizados, recorrendo, para esse efeito, a correções exactas de Modelos de Elevação Digital (*DEMs – Digital Elevation Models*) e de Estatísticas de Produção Modelo (*MOS – Model Output Statistics*) para intervalos de tempo mais reduzidos, embora tenham demonstrado serem pouco úteis para um curtíssimo prazo ou para um “horizonte temporal quase real”.

---

<sup>3</sup> O *Numerical Weather Prediction* (NWP) é um modelo computacional de previsão numérica das condições meteorológicas, desenvolvido para simular o comportamento da atmosfera.

No que diz respeito aos intervalos de tempo a muito curto prazo, as técnicas de previsão disponíveis vão desde a abordagem da persistência de “padrões de referência industriais” passando por métodos estatísticos e métodos baseados no recurso a Redes Neurais Artificiais (ANNs – *Artificial Neural Networks*).

O modelo de persistência fundamenta-se na elevada correlação entre os valores actuais e previsionais, a curto prazo, e iguala, simplesmente, o valor de previsão para a observação actual (ou seja, não prevê nenhuma mudança relativamente ao intervalo de previsão). A abordagem por persistência revela-se menos válida à medida que o intervalo de previsão aumenta, mas demonstrou ser uma primeira aproximação útil para as previsões de energia eólica e de vento a curto prazo, providenciando um padrão de referência a partir do qual se podem comparar técnicas alternativas.

Quanto ao “horizonte temporal quase real”, têm sido empreendidos esforços quanto à aplicação de redes neuronais a fim de modelar e calcular a produção da turbina eólica (Baillie and Bollerslev, 1992; Balea, et. al., 2004). No entanto, a afinação específica exigida e a falta de portabilidade geral destas abordagens podem revelar-se restritivas.

Até à data, nenhuma abordagem particular atingiu uma aceitação industrial generalizada e o simples modelo de persistência é frequentemente utilizado, no entanto, é necessário obter previsões mais exactas.

### **2.3. FORMULAÇÃO DA PREVISÃO EÓLICA**

Previsão é a arte de prever o que vai acontecer no futuro partindo do conhecimento que se tem sobre situações actuais e passadas. É importante referir que se trata de uma forma de extrapolação: um modelo de previsão é construído com base num conjunto de dados e usado fora desse conjunto de dados. De certa forma, as previsões são condicionais e devem ser formuladas do seguinte modo: “dado um conjunto de dados e assumindo que o comportamento modelado continua no futuro, pode-se prever que . . .”. Isto significa que se assume que o futuro é igual ao passado, esta é a primeira fonte de incerteza nas previsões. Logo, é essencial alimentar os modelos de previsão com a informação mais recente.

A previsão concentra-se na evolução no tempo da variável a prever  $p$ . A variável a prever apresenta um intervalo de amostragem fixo e a evolução de  $p$  é representada por uma série

temporal discreta  $(p_t, t \in T)$ . Os valores de  $\{p_t\}_{t \in T}$  podem ser instantâneos ou médias dos valores no intervalo de amostragem considerado.

A variável  $p$  a prever no problema de previsão eólica é a potência produzida por uma turbina eólica, parque eólico ou uma área de rede com vários parques eólicos. Os períodos de amostragem da potência produzida são normalmente de 30 minutos ou 1 hora. Estes são os intervalos mais utilizados nas previsões por razões de ordem técnica quer dos mercados (neste caso é 1 hora), quer dos operadores do sistema eléctrico. A previsão do valor de  $p$  realizada no instante  $t$  para o instante  $t+k$  tem a designação de  $\hat{p}_{t+k/t}$ , e não é mais do que o valor previsto da potência para o instante  $t+k$  dado que estamos no instante  $t$ , onde  $k$  tem várias designações tais como horizonte de previsão ou instante de previsão.

Em estatística existe a distinção entre dois tipos de modelos: univariados e multivariados. Um modelo univariado apenas considera os valores passados da variável  $p$ , este modelo indica que  $p_t$  pode ser expressa como a soma da função  $g_u$  composta pelos  $l$  valores passados de  $p$  e uma perturbação aleatória  $e_t$ :

$$p_t = g_u(p_{t-1}, p_{t-2}, \dots, p_{t-l}) + e_t \quad (2.1)$$

onde  $e_t$  erro aleatório de observação (ou ruído branco), uma distribuição normal com média zero e variância comum  $\sigma_e^2$ .

Alternativamente pode ser considerada a formulação de um modelo multivariado, onde, para além dos valores passados da variável que se pretende prever, são também utilizadas variáveis explicativas, mais propriamente previsões das variáveis explicativas. No problema de previsão da produção eólica as variáveis explicativas são normalmente: velocidade do vento, direcção, temperatura, pressão e densidade do ar. Num modelo multivariado  $p_t$  é expressa em função dos valores passados de  $p$ , valores passados das variáveis explicativas  $x$ , previsões das variáveis explicativas e também uma perturbação aleatória:

$$p_t = g_m(p_{t-1}, p_{t-2}, \dots, p_{t-l}, x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-m}, \hat{x}_{t/t-1}) + e_t \quad (2.2)$$

Ambos os modelos apresentados podem ser utilizados para descrever a relação entre as variáveis consideradas e  $p_{t+k}$ .

O problema de previsão de produção eólica pode então ser formulado da seguinte forma:

$$p_{t+k/t} = f(p_t, p_{t-1}, p_{t-2}, \dots, p_{t-1}, x_t, x_{t-1}, \dots, x_{t-m}, \hat{x}_{t/k/t}) + e_t \quad (2.3)$$

O trabalho da previsão passa por determinar uma função  $f$  que melhor descreve o processo considerado. Em termos físicos, o conceito que um sistema de aprendizagem pretende adquirir é a curva de potência do aerogerador/parque, ou seja, a função  $f$  não é mais do que a equação que caracteriza a curva de potência do parque.

## 2.4. MÉTODO DE PREVISÃO DE REFERÊNCIA

Diz-se que um sistema de previsão só tem interesse se conseguir ser melhor dos que os métodos de referência. Estes métodos não são resultados da criação de modelos, mas apenas de simples considerações.

O método mais conhecido é a persistência. Neste método o valor previsto de produção é o mesmo do último valor medido:

$$\hat{p}_{t+k/t}^p = p_t \quad (2.4)$$

Apesar da sua simplicidade, este método pode ser difícil de superar até às primeiras 6 horas devido à escala de mudanças na atmosfera. O método da persistência também possuiu uma justificação estatística para o seu excelente desempenho nas primeiras horas, isto porque não é mais do que uma versão simplificada de um modelo autorregressivo. A simples interpretação de um diagrama de autocorrelação e autocorrelação parcial da série de produção do parque permite determinar que estamos na presença de um modelo autoregressivo de segunda ordem (Rodrigues, et. al., 2007).

Uma generalização do método da persistência é substituir o último valor medido pela média dos últimos  $n$  valores medidos.

$$\hat{p}_{t+k/t}^{MA,n} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} p_{t-i} \quad (2.5)$$

Este método é muitas vezes conhecido como média móvel (MA). Quando  $n$  tende para infinito, este método tende para a média global:

$$\hat{p}_{t+k/t}^0 = \bar{p}_t \quad (2.6)$$

Onde  $\bar{p}_t$  é a média de todos os valores medidos da potência produzida até ao instante  $t$ .

## 2.5. HORIZONTE DE PREVISÃO

Da consulta da literatura existente foram extraídas as seguintes conclusões sobre a classificação do horizonte temporal:

- **Previsões de muito curto prazo:** o horizonte de previsão é apenas de algumas horas, não existindo unanimidade para esse número de horas. Segundo (Mohrlen, 2004), esse horizonte tem um limite de 9 horas, segundo (Giebel, 2002) pode variar entre 3 e 10 horas;
- **Previsões de curto prazo:** estas previsões vão desde o limite da previsão de "muito curto prazo" até 48 ou 72 horas. Na maioria dos trabalhos este horizonte encontra-se limitado até 48 horas, no entanto a tendência actual é efectuar previsões até 72 horas (Yuan-Kang & Jing-Shan, 2007; Giebel et al., 2007). Esta previsão é essencial para a participação nos mercados eléctricos diários de energia. No caso do mercado Espanhol, o prazo de apresentação das ofertas de venda no mercado diário termina às 10 horas de cada dia, pelo que um horizonte de previsão de 38 horas consegue cobrir todo o dia seguinte. No entanto, em outros países a hora de encerramento do mercado pode ser diferente, pelo que o horizonte necessário para cobrir o dia seguinte pode variar;
- **Previsões de médio prazo:** correspondem a horizontes acima das 72 horas e até 5-7 dias. Quanto maior o horizonte, maiores os erros de previsão (Giebel et al., 2007). Actualmente é muito difícil realizar previsões atmosféricas para horizontes acima dos 7 dias.

## 2.6. DISTRIBUIÇÃO DOS ERROS DE PREVISÃO

A forma das distribuições dos erros de previsão eólica tem sido alvo de estudo, principalmente em trabalhos em que o objectivo é estimar a incerteza da previsão eólica. Grande parte dos actuais sistemas e algoritmos de previsão eólica têm como entrada previsões de variáveis meteorológicas provenientes de um outro modelo de previsão numérica. Depois é uma tarefa do modelo estatístico converter estas previsões meteorológicas em previsões de produção de energia eléctrica.

Conforme se pode verificar na figura 2.1, o sistema de conversão de velocidade do vento em energia eléctrica tem uma forma não linear. Para algumas gamas de valores de velocidade do vento pequenos erros na previsão da velocidade reflectem-se em grandes erros na produção. Em contraste, na zona linear ("achatada") da curva pequenos desvios de velocidade reflectem-se em insignificantes desvios na produção. No fundo o que a curva de potência faz é amplificar ou atenuar erros na previsão da velocidade do vento em função do valor da sua derivada local.

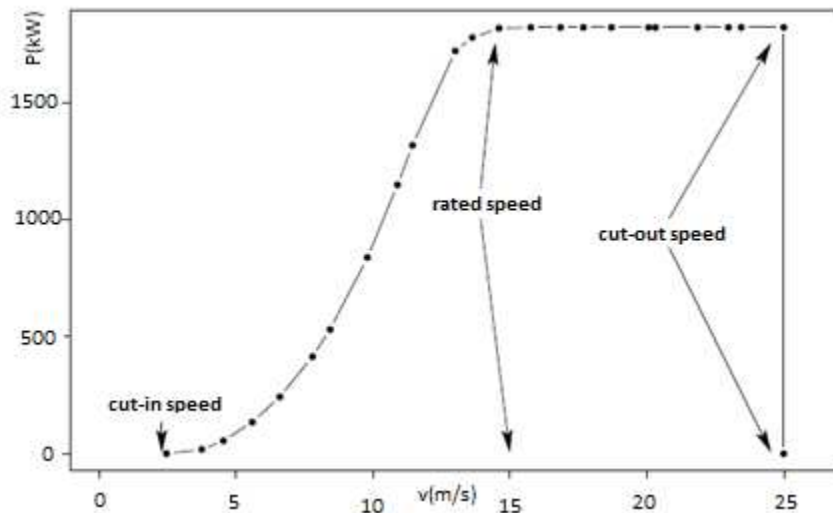


Figura 2.1 - Curva de potência de um aerogerador com potência nominal de 1800 kW

Lange (2004) verificou que da análise dos erros de previsão de produção e velocidade do vento em seis parques eólicos na Alemanha, o desvio padrão (relativo à potência instalada) do erro da previsão da produção é cerca de 1,8 a 2,6 vezes maior do que o erro de previsão da velocidade do vento. A distribuição do erro de previsão da velocidade do vento apresenta uma forma quase simétrica centrada em zero, em outros estudos também este resultado é verificado (Giebel, 2000; Landberg, 1994).

As distribuições do erro de previsão da velocidade do vento foram testadas para os diferentes locais com o teste estatístico do qui-quadrado tendo-se verificado em quase todos que a distribuição pode ser aproximada por uma distribuição Gaussiana.

Em contraste, a distribuição dos erros de previsão da produção eólica já não apresenta as mesmas características, estando bastante longe de ter uma forma Gaussiana. Em 2005 o teste paramétrico do qui-quadrado e o não-paramétrico de *Lilliefors* foram aplicados por Lange às

distribuições do erro de seis parques eólicos situados na Alemanha, não tendo sido válida para qualquer parque a hipótese de distribuição Gaussiana do erro.

A análise da distribuição do erro de previsão é também alvo de estudo em (Bludszuweit, et. al., 2008). O autor utilizou dados medidos de dois parques eólicos para simular três cenários de previsão baseados na persistência. Verificou-se que a distribuição dos erros de previsão apresenta um achatamento variável, possuindo valores para o achatamento desde 3 até 10. A distribuição dos erros de previsão pode então ser caracterizada como uma distribuição com "caudas pesadas".

Igualmente nos diversos sistemas de previsão, distribuições com uma forma não Gaussianas dos erros são encontradas (Sideratos & Hatzigryriou, 2007; Pinson, 2006; Tsikalakis, et. al., 2006; Lange, 2003). As distribuições são geralmente assimétricas, com um elevado achatamento em ambas as "caudas" e um elevado "pico" perto do erro nulo. Da análise dos resultados dos diversos sistemas de previsão verifica-se que a característica não linear da curva de potência altera as propriedades estatísticas da distribuição do erro.

## **2.7. ABORDAGEM ESTATÍSTICA**

A abordagem estatística consiste em um ou vários modelos que procuram estabelecer a relação entre o histórico de potência produzida e previsões das variáveis explicativas (velocidade, direcção, temperatura, etc.). Os modelos da abordagem estatística são criados através de um ajuste a um conjunto de treino (definindo a função  $f$  da equação 2.3) e são usados sobre um conjunto de teste, ou em situações reais de previsão.

Os modelos estatísticos modernos são constituídos por uma parte auto-regressiva que modela a persistência do comportamento do vento, e uma parte que consiste numa transformação não linear das variáveis meteorológicas explicativas em potência produzida. As variáveis de entrada dos modelos são os valores previstos das condições meteorológicas de um modelo NWP meso-escala e os valores históricos de produção.

Sem as previsões do modelo NWP seria impossível efectuar previsões com qualidade para um horizonte superior a 6 horas. Os modelos puramente baseados em séries temporais apresentam um excelente desempenho quando comparados com o modelo de referência até 6-10 horas,



enquanto os modelos baseados em previsões NWP apresentam um melhor desempenho a partir das 6 horas (Kariniotakis, 2006; Giebel, 2002).

Uma outra abordagem é a chamada abordagem física (Landberg, 1994; Bailey [et al.], 1999). A ideia principal da abordagem física é aperfeiçoar os resultados das previsões NWP para determinar o vento na área do parque e à altura da *nacelle* (cabine que contém todos os componentes do aerogerador). São usadas considerações físicas sobre o terreno tais como: rugosidade, orografia e obstáculos. Um método conhecido é o uso de modelos CFD (*Computational Fluid Dynamic*) (Castro, 1997) que permitem captar com grande exactidão o campo do vento no parque eólico considerando uma descrição completa do terreno. Quando o vento ao nível do parque eólico e à altura da torre é conhecido, o segundo passo consiste em converter a velocidade do vento em potência. Usualmente esta tarefa é realizada recorrendo a curvas de potência teóricas (curvas dadas pelo fabricante), embora existam estudos (Cabezon, et. al., 2004) que revelam o interesse do uso de curvas de potência empíricas em vez das teóricas.



### 3. ANÁLISE DOS FACTORES COM IMPACTO NA VELOCIDADE DO VENTO

Neste capítulo serão expostos os factores que influenciam a velocidade do vento. Faz-se uma análise e caracterização dos recursos num determinado local considerando-se os parâmetros mais relevantes, nomeadamente, a velocidade e direcção do vento, orografia local, obstáculos e rugosidade, assim como a vegetação e uso do solo. Aborda-se o conceito de efeito de esteira e as condições particulares do vento no mar (*offshore*). Fala-se do Atlas Europeu do Vento tendo como principal objectivo estimar os recursos onde não existem dados de medição de vento. Por fim, descreve-se os modelos utilizados na previsão do vento e apresenta-se as fórmulas para avaliar a base de dados empregada neste trabalho.

#### 3.1 INTRODUÇÃO

A previsão da energia produzida é um problema complexo, devido ao comportamento aleatório do vento e à falta de linearidade introduzida pela curva de potência dos aerogeradores.

É de salientar que a média anual da velocidade, da direcção, da intensidade de turbulência, dos padrões sazonais e do perfil diário da velocidade média do vento podem alterar-se

substancialmente para distâncias reduzidas e características orográficas relativamente suaves. Assim, a sua caracterização espacialmente detalhada assume um carácter imperativo.

A caracterização do recurso eólico num dado local, depende de diversos parâmetros que condicionam, de forma mais ou menos determinante, o escoamento atmosférico de um dado local ou de uma dada região, sendo os seguintes parâmetros os mais relevantes (Troen, 1989):

- velocidade e direcção do vento;
- orografia local;
- obstáculos e rugosidade - vegetação e uso do solo.

### 3.2 VELOCIDADE E DIRECÇÃO DO VENTO

Para se obter uma correcta caracterização do escoamento atmosférico num determinado local, deve necessariamente realizar-se as medições da velocidade e direcção do vento. Geralmente, nos locais onde se pretende instalar os parques eólicos, são realizadas as campanhas experimentais de medida, durante, pelo menos, doze meses consecutivos. Embora, sempre que possível, se deva prolongar por períodos superiores, de forma a reduzir as incertezas associadas à variabilidade inter-anual do escoamento atmosférico (Figura 3.1).

Fonte: (Silva, 1996)

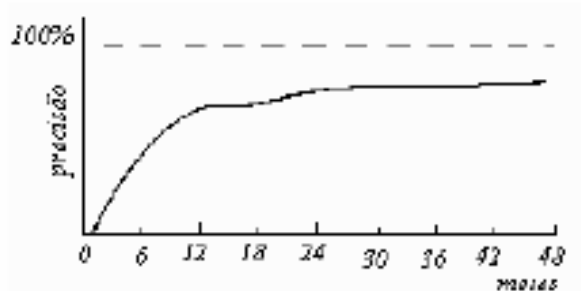


Figura 3.1 - Duração de uma campanha experimental versus precisão nas estimativas

As medidas são normalmente obtidas a alturas que podem situar-se á altura meteorológica de referência (10 m, e 80 m), no entanto, estas devem ser obtidas tão próximo quanto possível do rotor das turbinas a instalar. Sempre que aparece a necessidade de transpor verticalmente os valores de velocidade do vento, recorre-se a métodos estatísticos – leis de regressão – ou às leis logarítmicas ou de potências, esta última geralmente utilizada no domínio da energia eólica.

$$V_{Z_1} = V_{Z_{ref}} \cdot x \left( \frac{Z_1}{Z_{ref}} \right)^\alpha \quad (3.1)$$

Conforme podemos confirmar na expressão (3.1),  $V_{Z_1}$  é a velocidade que se pretende conhecer à altura  $Z_1$ ,  $V_{Z_{ref}}$  é a velocidade conhecida à altura de referência  $Z_{ref}$ , e  $\alpha$  é o coeficiente de rugosidade Tabela do, ou experimentalmente determinado (Simões, 2004).

### 3.3 OROGRAFIA

A orografia constitui um dos elementos mais importantes na caracterização do escoamento atmosférico de um dado local, dada a sua elevada dependência da complexidade do terreno em análise (terreno plano, elevações de declive suave ou terreno montanhoso).

As montanhas podem alterar as características do escoamento atmosférico de diferentes formas. O aquecimento das encostas das montanhas durante o dia e arrefecimento durante a noite fazem com que o ar adjacente à montanha aqueça ou arrefeça por condução e mistura. A diferença de temperatura que se faz sentir entre o ar perto da montanha e o ambiente circundante vai dar origem a fenómenos de brisa.

Quando a estabilidade estática é neutra, o escoamento sobre as montanhas cria gradientes de pressão na direcção do escoamento que juntamente com atrito por fricção à superfície pode produzir separação do fluxo.

Este fenómeno vai provocar turbilhões em esteira a montante ou a jusante da montanha podendo atingir distâncias de várias vezes a altura da montanha, consoante o declive da mesma.

Quando a separação ocorre a jusante da montanha, a esteira produzida pode ir até 10 ou 20 vezes a altura do cume da elevação, enquanto que, quando ocorre a montante, os turbilhões produzidos “aninham-se” na base da mesma e são estrangidos pela sua presença. Neste caso, a esteira não vai além de duas alturas da montanha. Este fenómeno é quase inexistente em elevações de inclinação suave, e neste caso, existindo concentração das linhas de corrente, verifica-se um aumento da velocidade do vento e conseqüente aumento de energia que pode ir até duas vezes o valor obtido sem a perturbação do terreno, (Figura 3.2) (Felgueiras, 2003).

Fonte: (Felgueiras, 2003)

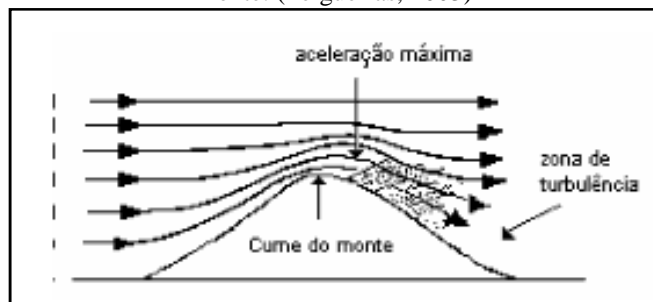


Figura 3.2 - Aceleração do vento sobre uma elevação

Alguns critérios gerais para a selecção de locais em terreno montanhoso são:

- cristas perpendiculares à direcção predominante do vento. As cristas são preferíveis às colinas com a mesma inclinação;
- colinas de inclinação suave (entre 3 e 4) onde os cumes não são nem muito planos, nem muito acentuados, nem de forma dentada;
- colinas onde a vegetação seja rasteira.

A localização de um parque numa linha de cumeada tem algumas vantagens, uma vez que esta actua como uma torre. Os efeitos de arrefecimento junto ao solo são parcialmente evitados e pode existir aceleração do vento aumentando desta forma a energia disponível no local. Neste tipo de terreno são vários os efeitos a ter em conta e o peso da componente térmica pode ser relevante devido aos ventos de vale e de montanha que, eventualmente, se formam. Na Figura 3.3 apresentam-se várias orientações possíveis e respectivas classificações.

Fonte: (Simões, 2004)

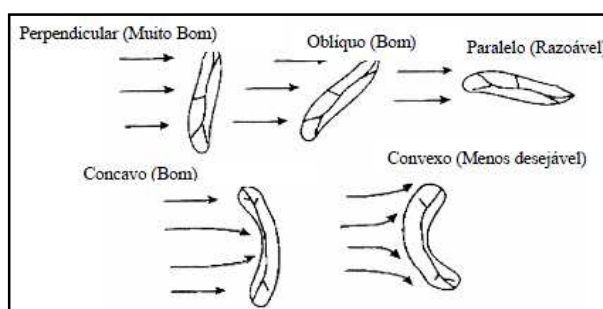


Figura 3.3 - Orientações possíveis de linhas de cumeada.

A orientação das linhas de cumeada em relação à direcção predominante do vento é um factor importante na determinação da quantidade de aceleração do vento sobre a mesma. A forma dos

montes condiciona o escoamento tornando-se num factor importante para a escolha do local (Figura 3.4).

Fonte: (Simões, 2004)

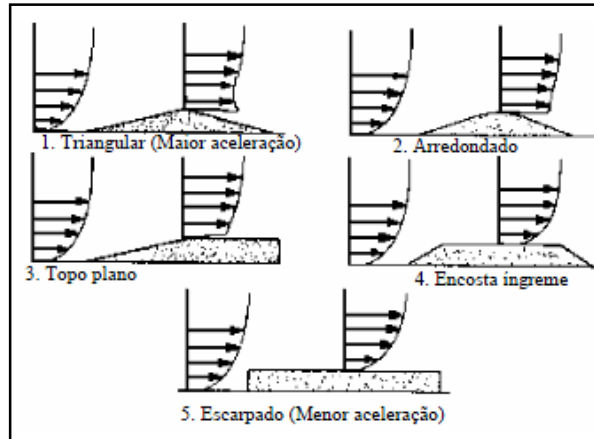


Figura 3.4 - Forma de montes por ordem de preferências

A existência de escarpas e falésias introduz zonas de re-circulação no escoamento as quais dificultam o posicionamento dos sistemas de medida e aproveitamento de energia do vento.

No entanto, se os sistemas eólicos forem criteriosamente posicionados podem aproveitar-se, fora destas zonas nomeadamente, locais onde o escoamento acelera e conseqüentemente ocorre um acréscimo da energia produzida (Figura 3.5).

Fonte: (Simões, 2004)

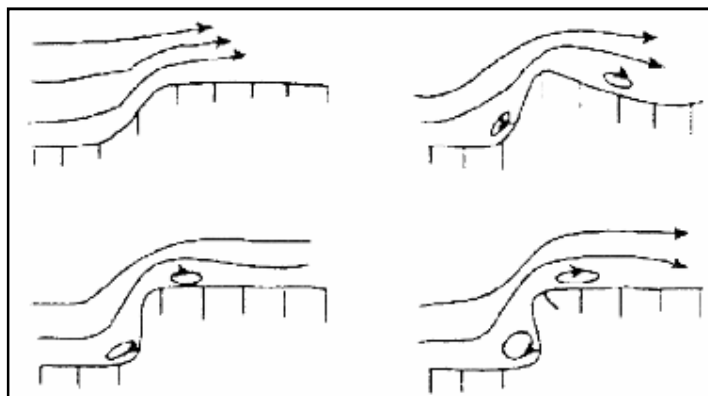


Figura 3.5 - Zonas de re-circulação em falésias e escarpas.

O escoamento em terreno montanhoso pode no entanto resumir-se de acordo com os seguintes parâmetros (Felgueiras, 2003):

- o regime de vento na cumeada não é sujeito a grandes variações, mas depende do local e da época do ano;
- a correlação entre a direcção do vento num terreno complexo e uma dada referência em campo aberto é válida apenas para um local;
- em média, o vento na cumeada é mais elevado no Inverno do que no Verão;
- mesmo em dias globalmente calmos pode observar-se no cume vento com substancial velocidade.

Ainda dentro das orografias complexas, há que referir o caso de depressões marcadas como os desfiladeiros ou os vales estreitos com orientação apropriada onde o escoamento pode ser acelerado se o vento for “canalizado” ao longo da depressão. As depressões estão, em geral, parcialmente rodeadas de terreno mais elevado, donde, é necessário que o local escolhido esteja na direcção predominante do vento.

Os mapas de altimetria normalmente utilizados neste tipo de estudos são digitalizados em formato vectorial com a ajuda de uma mesa digitalizadora, considerando uma área mínima de 5 x 5 km em redor do mastro anemométrico ou do local em estudo, com curvas de nível espaçadas de 10 m. Uma vez que, a maioria dos locais do nosso país, com interesse do ponto de vista do aproveitamento eólico, são de natureza muito complexa, as áreas são, na maioria das vezes, alargadas de forma a considerar elementos orográficos que possam influenciar o escoamento atmosférico nas regiões de interesse (10 x10 km).

Neste tipo de estudos, é normalmente utilizada cartografia digital 1:25 000 em formato vectorial, englobando uma área considerável em redor do mastro anemométrico e desejavelmente, do parque eólico. Para além da cartografia referida, foi também utilizada informação sobre altimetria, disponibilizada pela USGS – *United States Geological Survey*, base de dados geográfica do projecto GTOPO30, introduzida no modelo meso-escala MM5, também utilizado para a geração de mapas de recurso conforme Figura 3.6.



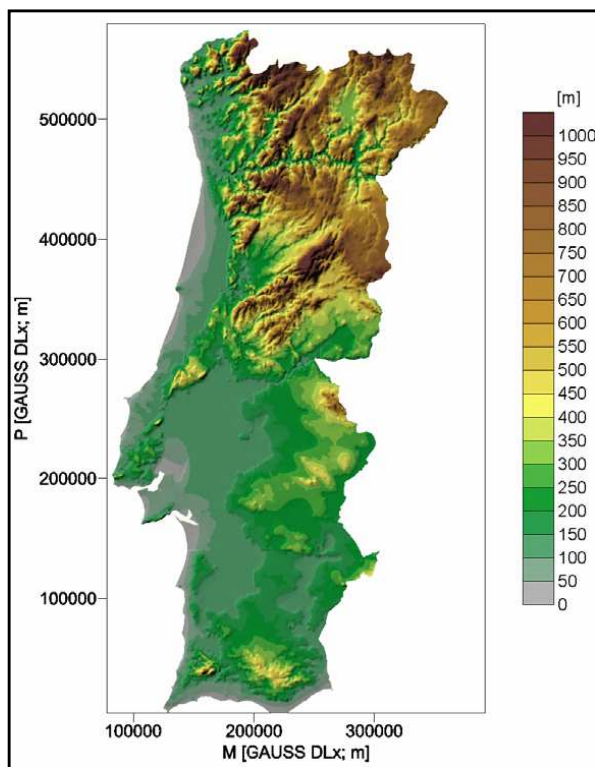


Figura 3.6 - Mapa de altimetria de Portugal Continental

### 3.4 RUGOSIDADE E OBSTÁCULOS.

A rugosidade de um dado local é outro dos parâmetros de entrada considerados indispensáveis neste tipo de estudos, uma vez que influencia de forma determinante o escoamento atmosférico junto ao solo e conseqüentemente a energia disponível num determinado local.

Por rugosidade entende-se, no sentido mais geral do termo, o tipo de ocupação do solo característica de uma dada região ou local – vegetação, localidades, zonas de cultivo, etc. O local ideal é caracterizado por rugosidade homogénea e reduzida, sendo no entanto mais frequente encontrar locais onde se encontram vários tipos de rugosidade que se interpenetram.

A rugosidade de uma determinada área em estudo é normalmente representada na forma de mapa vectorial, embora o mesmo possa fazer-se através de ficheiros em formato tabular. No caso presente, optou-se por utilizar a informação na forma de mapa vectorial.

No caso de existir uma campanha experimental de medição do vento, o chamado “mapa de rugosidade” é normalmente construído após a recolha em campo da informação sobre o tipo de vegetação e outros elementos de rugosidade, que circundam o mastro anemométrico e

respectiva classificação. Os dados são obtidos com base em visitas aos locais para uma identificação *in situ* das diferentes tipologias existentes e aferição das suas dimensões (Tabela 3.1) (Felgueiras, 2003).

**Tabela 3.1 - Tipos de superfície e comprimentos de rugosidade correspondentes.**

Tipo de superfície	Comprimento de rugosidade $Z_0$ (cm)
Água	~0.001
Areia	0.01 - 0.1
Neve	0.1 - 0.6
Relva (~0.01 m)	0.1 - 1
Erva baixa	1 - 4
Terreno lavrado	2 - 3
Erva alta	4 - 10
Pinhal	90 - 100
Árvores e algumas casas	20 - 40
Cidade ou grandes aglomerados de casas	80 - 120
Centros de grandes cidades	200 - 300

Fonte: (Felgueiras, 2003)

O mapa inicial de rugosidade de cada área em estudo é construído no local através da identificação das manchas vegetais e dos elementos considerados como rugosidade. Dado que normalmente, o local onde se encontra instalado o mastro não permite uma visualização global de toda a área de interesse, o mapa é, posteriormente, melhorado e completado com recurso a fotografias tiradas nas imediações do mastro anemométrico, de forma a identificar todos os quadrantes visíveis do local e outros pontos vistos de locais distantes. Durante as visitas, procede-se também à confirmação de manchas de rugosidade existentes na cartografia disponível, de forma a apoiar a construção dos mapas finais. Na inexistência de campanhas experimentais, recorre-se a informação cartográfica e digital disponível.

No final, as manchas identificadas são digitalizadas sobre mapas cartográficos georeferenciados e sobrepostas ao mapa de altimetria da região. O mapa final passa, assim, a ser um “compósito” da informação de orografia e rugosidade e é utilizado na estimativa das diversas grandezas envolvidas, bem como na geração de mapas de distribuição espacial das mesmas.

É frequente existirem perto do mastro anemométrico, elementos sombra que não podem ser classificados como rugosidade. Neste caso, denominam-se obstáculos e é necessário proceder à sua correcta identificação e caracterização da sua influência no desenvolvimento do

escoamento. Os obstáculos podem ser de várias naturezas: casas, depósitos de água, postos de vigia florestais, aglomerados de árvores ou mesmo grandes estruturas de pedra. Em seguida apresenta-se uma breve descrição do escoamento quando sujeito aos variados tipos de obstáculo.

### 3.4.1 EDIFÍCIOS

Muito embora não seja comum instalar aerogeradores nas proximidades de edifícios, este posicionamento pode ocorrer, por exemplo, em quintas ou na proximidade de estruturas urbanísticas. Para além disso, é frequente a instalação de mastros anemométricos em terrenos com obstáculos deste tipo durante as campanhas experimentais de caracterização geral do vento. As perturbações produzidas pelos edifícios aumentam em altitude a jusante. O escoamento é obstruído pelo edifício formando uma esteira ainda a montante do mesmo. Após a passagem pelo obstáculo forma-se uma esteira em forma de ferradura que se estende ainda a alguma distância para jusante, conforme Figura 3.7.

Fonte: (Simões, 2004)

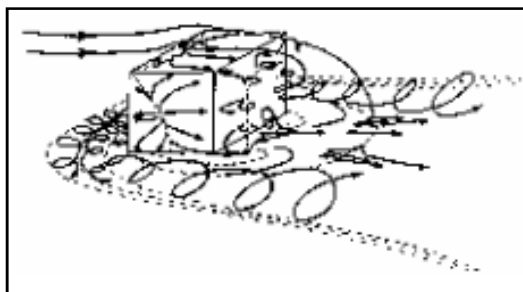


Figura 3.7 - Escoamento em torno de um edifício

Algumas precauções a tomar para evitar a influência de edifícios passam por posicionar o sistema eólico (Figura 3.8):

- a uma distância a montante de mais do que duas vezes a altura do edifício;
- a uma distância mínima a jusante de dez ou mesmo vinte vezes a altura do edifício;
- pelo menos 3 a 5 vezes a direcção transversal do edifício se o sistema eólico está colocado transversalmente ao edifício relativamente ao escoamento.

Fonte: (Simões, 2004)

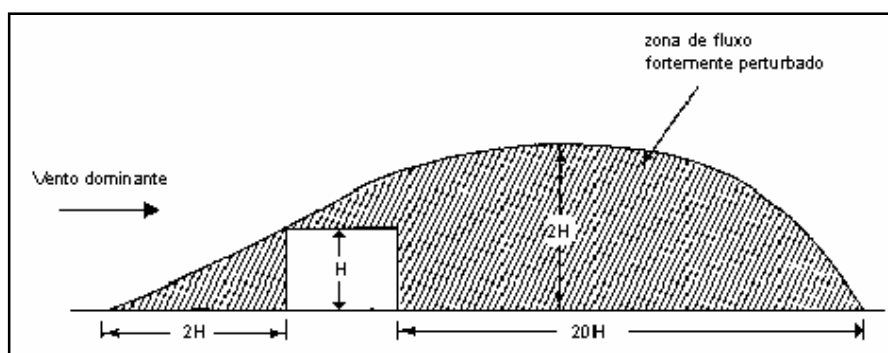


Figura 3.8 - Escoamento perturbado pela existência de um edifício.

### 3.4.2 BARREIRAS VEGETAIS

Em regra, as barreiras vegetais são constituídas por filas de árvores posicionadas oblíqua ou perpendicularmente ao local que pretendem proteger. Existem, no entanto, algumas formas de minimizar a influência das barreiras vegetais, tais como, a escolha de um local afastado (para jusante) ou para os lados da barreira ou, em última análise, a utilização de uma torre suficientemente alta para minimizar a perturbação do escoamento.

O grau de perturbação do escoamento depende da altura, profundidade e porosidade da barreira vegetal. Como porosidade entende-se a percentagem de área aberta que se pode ver quando se olha através da barreira vegetal. Quanto mais alta é a barreira, maior distância atinge o escoamento perturbado a jusante do obstáculo (Figura 3.9), e conseqüentemente maior distância é necessária para que o escoamento recupere a sua energia inicial.

Fonte: (Felgueiras, 2003)



Figura 3.9 - Escoamento a jusante de uma barreira vegetal.

### 3.4.3 ÁRVORES POSICIONADAS ALEATORIAMENTE

A existência de árvores posicionadas de forma aleatória num local que, à primeira vista, demonstre algum interesse do ponto de vista energético, pode constituir um problema. A esteira produzida por este tipo de obstáculo, embora seja de intensidade mais fraca do que a produzida pelos obstáculos referidos anteriormente, prolonga-se por maiores distâncias. A perda de velocidade pode variar entre 3 % e 20 %, e a perda de energia produzida pode variar entre 9 % e 40 %, dependendo estes valores do tipo de folhagem e da distância ao ponto de interesse (Felgueiras, 2003).

No caso de se escolher um local onde exista este tipo de obstáculo, deve considerar-se a hipótese de instalação de torres anemométricas de alturas elevadas de forma a minimizar a influência da barreira.

A representação dos obstáculos é feita no local através da medição das distâncias do mastro aos dois cantos mais próximos do obstáculo e respectivos ângulos, altura e profundidade. É também atribuído, posteriormente, um coeficiente de porosidade a cada obstáculo (Tabela 3.2) (Felgueiras, 2003).

A porosidade define-se através da equação 3.2:

$$p = 1 - \frac{A_T}{A_{ef}} \quad (3.2)$$

Em que  $A_T$  é a área total ocupada pelo objecto e  $A_{ef}$  é a sua área efectiva.

Conforme podemos observar na Tabela 3.2, a porosidade de um edifício é nula; a porosidade das árvores varia entre o verão e o inverno de acordo com a quantidade de folhas.

Sempre que os obstáculos se encontrem a menos de 1 km medido segundo uma das direcções predominantes, eles terão de ser tidos em conta no projecto de instalação da turbina.

**Tabela 3.2 - Coeficientes de porosidade atribuídos aos obstáculos**

Aparência da barreira	Porosidade ( $P$ )
Sólida (parede)	0
Muito dessa	< 0.35
Densa	0.35 - 0.50
Aberta	> 0.50

Fonte: (Felgueiras, 2003)

### 3.5 EFEITO DE ESTEIRA

A turbina eólica produz energia mecânica a partir da energia do vento incidente, o vento que “sai” da turbina tem um conteúdo energético muito inferior ao do vento que “entrou” na turbina. De facto, na parte de trás da turbina forma-se uma esteira de vento turbulento com velocidade reduzida relativamente ao vento incidente. Na Figura 3.10 podemos verificar o efeito de esteira obtido injectando fumo branco no ar que passa através da turbina.

Fonte: (Danish Wind Turbine Manufacturers Association)



Figura 3.10 - Efeito de esteira.

A colocação das turbinas dentro de um parque eólico terá de ser efectuada de modo criterioso devido ao efeito de esteira, conforme podemos constatar nas Figuras 3.11 e 3.12. É habitual espaçar as turbinas de uma distância entre cinco e nove diâmetros na direcção preferencial do vento e entre três e cinco diâmetros na direcção perpendicular. Mesmo tomando estas medidas, a experiência mostra que a energia perdida devido ao efeito de esteira é de cerca de 5%.

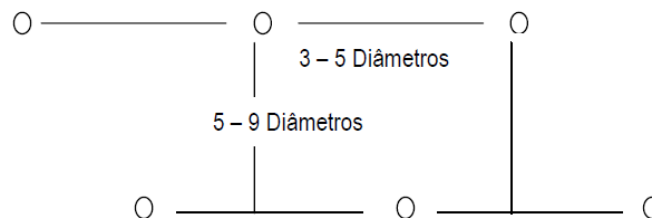


Figura 3.11 - Disposição das turbinas no terreno.

Fonte: (Danish Wind Turbine Manufacturers Association)

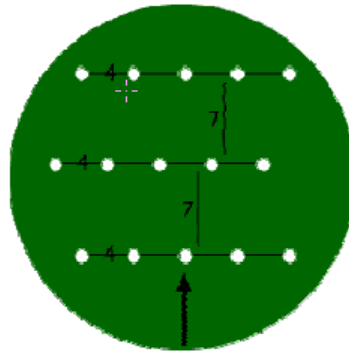


Figura 3.12 - Colocação das turbinas num parque eólico.

### 3.6 VENTO NO MAR

No mar, o vento apresenta condições particulares (*offshore*). O facto de, em geral, a rugosidade do mar apresentar valores baixos, faz com que a variação da velocidade do vento com a altura seja pequena, e, portanto, a necessidade de haver torres elevadas não seja premente. Por outro lado, o vento no mar é, normalmente, menos turbulento do que em terra, o que faz esperar uma vida útil mais longa para as turbinas.

A experiência de parques eólicos em operação no mar da Dinamarca revela que o efeito dos obstáculos em terra, mesmo para distâncias superiores a 20 km, parece ser superior ao inicialmente previsto. Por outro lado, os resultados obtidos até ao momento indicam que o recurso eólico no mar poderá ser superior às estimativas disponíveis em cerca de 5 a 10%.

### 3.7 ATLAS EUROPEU DO VENTO

Para estimar o recurso energético em locais propícios onde não existe registos de medição de vento, foi proposta uma metodologia de avaliação do recurso eólico, sendo esta o motor de desenvolvimento do Atlas Europeu do Vento (Figura 3.13) (Troen and Petersen, 1989).

Fonte (Troen and Petersen, 1989)

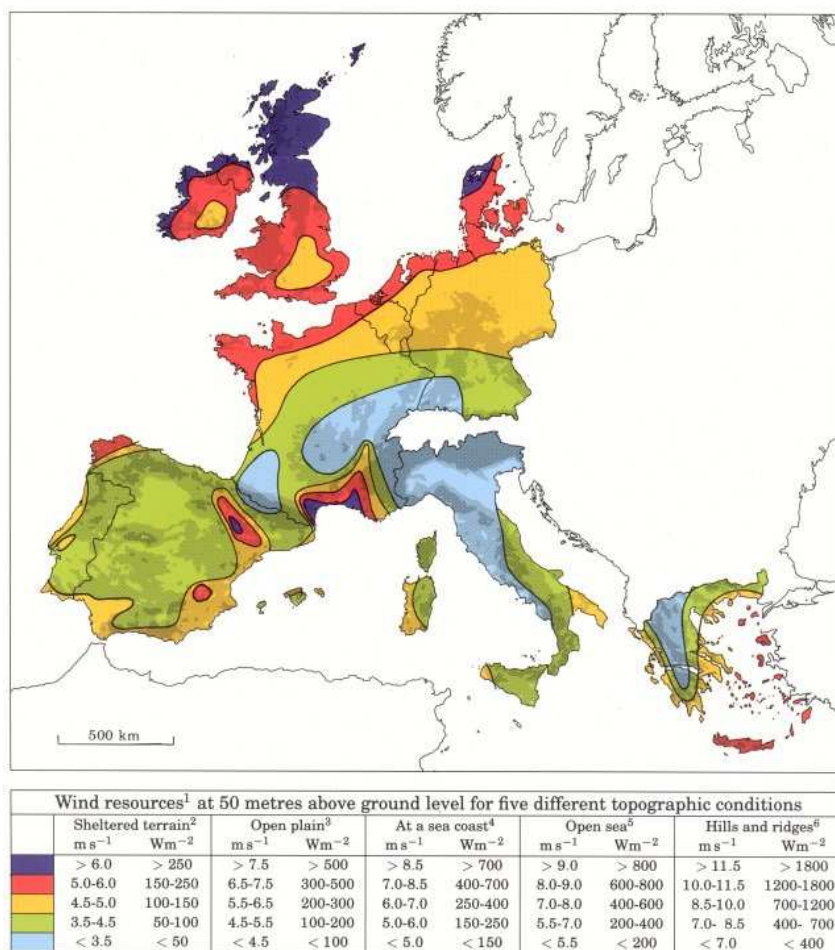


Figura 3.13 - Atlas Europeu do vento obtido para a cota de 50 m

A metodologia espacial de avaliação do recurso energético proposta pelo *National Laboratory for Sustainable Energy – Risø* – serviu de base para o desenvolvimento do modelo numérico *WAsP – Wind Atlas Analysis and Application Program*. O modelo *WAsP*, para além de permitir a avaliação do recurso energético do vento de forma pontual no local de medida, possui modelos 3D de terreno que conduzem à caracterização espacial da área em redor desse ponto de medida, tendo assim a capacidade de estimar a produção energética de um parque eólico (incluindo as perdas por efeito de esteira) servindo-se da informação meteorológica proveniente de um mastro anemométrico. Hoje em dia, o *WAsP* tornou-se num modelo de referência para a energia eólica, sendo o mais utilizado a nível mundial no sector.

Convém referir que as estimativas energéticas do escoamento atmosférico obtidas pelo modelo *WAsP* são feitas em função de uma distribuição de probabilidade de vento, (a distribuição de *Weibull*), ajustada aos dados de vento monitorizados.



Esta distribuição é caracterizada por dois parâmetros estatísticos, muito utilizados no sector da eólica e tem a vantagem de reproduzir com boa aproximação a climatologia da ocorrência de classes de vento no local em monitorização (Troen and Petersen, 1989).

Muito embora, o *WAsP* efectue estimativas energéticas para locais afastados do mastro anemométrico, é de esperar que se realizem campanhas de medição nos locais onde o modelo estime valores de energia aparentemente excessivos para confirmação das estimativas obtidas, em especial nos locais situados em terreno complexo (Troen and Petersen, 1989; Costa, 2004).

É de realçar que o modelo *WAsP* não consegue caracterizar a variabilidade espacial e temporal do escoamento, dada a simplicidade da sua concepção, no entanto, consegue extrapolar com alguma aproximação, as estimativas energéticas do local em estudo utilizando topografia de elevada resolução espacial (ex: 10 m). Uma das preocupações centrais na construção do Atlas Europeu do Vento foi a definição do período de longo termo a ser considerado. Por um lado, seria difícil de arranjar várias estações com 30 anos de dados (definição de normal climatológica). Neste caso, teria de ser utilizado um número muito restrito de estações meteorológicas, sendo esta uma situação a evitar (Costa, 2004).

### **3.8 MODELOS UTILIZADOS NA PREVISÃO DA PRODUÇÃO EÓLICA**

A previsão da produção de energia eléctrica de base eólica destina-se a apoiar a negociação nos mercados diários de electricidade, a fornecer informações aos operadores de redes para validar as condições de exploração dos dias seguintes e apoiar os promotores dos parques nas decisões de planeamento da manutenção dos aerogeradores - Unidade de Sistemas de Energia (USE), assim como, ao despacho, à negociação dos mercados e à gestão do sistema. A Figura 3.14 resume os diferentes modelos que devem ser utilizados para obter a previsão da produção.

Fonte: (Rodrigues, 2005)

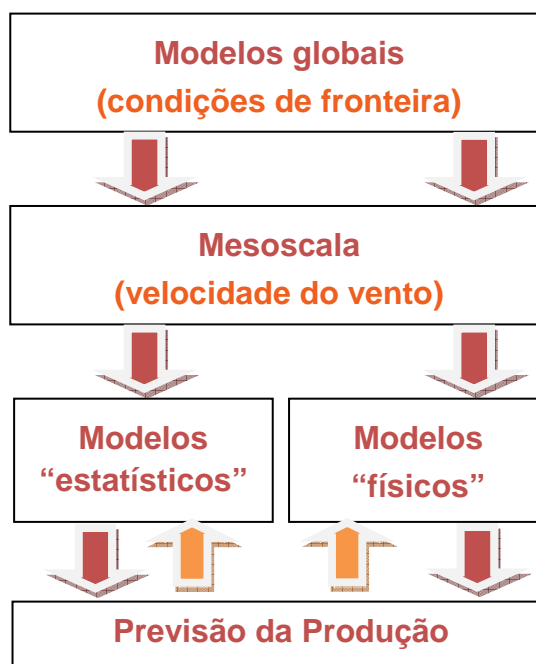


Figura 3.14 - Diferentes modelos utilizados na Previsão da Produção

A previsão da produção por parque eólico, monitorizada em tempo real (*SCADA*), é feita com base na previsão meteorológica para um ou dois pontos geográficos em cada parque e a velocidade do vento convertida em MW a partir da curva estimada de velocidade do vento/MW para cada parque. Este método é bastante útil para fornecer valores aproximativos da produção de energia eólica (Trancoso, et. al., 2006).

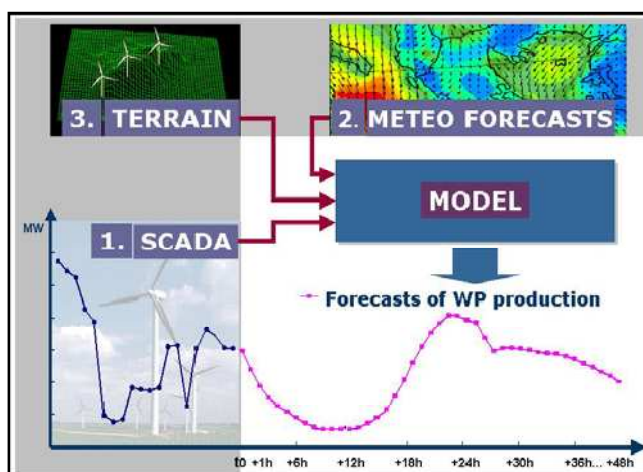


Figura 3.15 - Esquema representativo de um sistema de previsão eólica

### 3.9 ANÁLISE DO ERRO

Com base em dados históricos é possível avaliar a correlação entre variáveis, isto é, relacionar a variável sobre a qual se pretendem fazer previsões com outras que possam explicar o seu comportamento. Os coeficientes de correlação linear calculam-se conforme a equação 3.3:

$$\rho = \frac{\sum X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\sum X_i^2 - n \bar{X}^2} \sqrt{\sum Y_i^2 - n \bar{Y}^2}} \quad (3.3)$$

Em que:

$\rho$  – coeficiente de correlação linear;

$X_i$  e  $Y_i$  – são pares de valores observados ( $i = 1, \dots, n$ );

$\bar{X}$  e  $\bar{Y}$  – são os valores médios dos valores observados  $X$  e  $Y$ , respectivamente.

$n$  – número de amostras.

O cálculo do coeficiente de auto-correlação para defasamentos de  $k$  instantes de tempo pode ser calculado pela equação 3.4, e mede o grau de relacionamento linear entre duas observações defasadas de  $k$  instantes (Kariniotakis, et. al., 2004).

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} \frac{(Y_t - \bar{Y})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{(n-k)}}{\sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n}} \quad (3.4)$$

$r_k$  – coeficiente de auto-correlação para o defasamento  $k$ ;

$n$  – número de observações;

$Y_t$  – observação correspondente ao instante  $t$ ;

$\bar{Y}$  – média das observações;

$k$  – intervalo de tempo.

Obtém-se o erro da previsão pela diferença entre a velocidade do vento prevista e observada, e normalizado pela média das velocidades observadas.

$$\varepsilon = x_i^p - x_i^o \quad (3.5)$$

Na equação 3.5,  $\varepsilon$  representa o erro e  $x_i^p$  e  $x_i^o$  são as velocidades do vento previstas e observadas respectivamente. O erro viés (BE, *Bias Error*) mede a tendência do modelo para sobreavaliar ou subavaliar uma variável, e é definido matematicamente para uma dada variável  $x$ , por:

$$BE(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i^p - X_i^o) \quad (3.6)$$

Onde  $N$  é o número total de observações/previsões, os índices  $p$  e  $o$  indicam a previsão e observação da velocidade do vento, respectivamente. Um valor positivo do erro viés indica uma predisposição do modelo em sobreavaliar uma variável particular. Reciprocamente, um valor negativo do erro viés implica uma subavaliação do modelo na avaliação de uma variável.

A raiz do erro médio quadrático (RMSE, *Root Mean Square Error*) é a raiz quadrada da média das diferenças individuais quadráticas entre a previsão e as observações e é definido por:

$$RMSE(x) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i^p - X_i^o)^2} \quad (3.7)$$

Esta medida retém as unidades físicas da variável prevista e mede o erro típico da previsão do modelo (Lange, 2005).

O desvio padrão do viés (sde, *Standard Deviation of Error*) mede as flutuações do erro quando o viés é removido.

$$sde(x) = \sigma \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i^p - X_i^o) \right) \quad (3.8)$$

O erro da variabilidade (*sdbias, Variability Error*) é a diferença entre o desvio padrão da velocidade prevista e o desvio padrão da velocidade observada.

$$sdbias(x) = \sigma \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i^p) \right) - \sigma \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i^o) \right) \quad (3.9)$$

A dispersão ou erro de fase (*disp*) envolve o valor do coeficiente de correlação das velocidades com os desvios padrões da velocidade prevista e da velocidade observada.

$$disp(x) = \sqrt{2\sigma \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i^p) \right) \sigma \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i^o) \right) (1-r)} \quad (3.10)$$

Onde  $r$  é o coeficiente de correlação de *Pearson* e  $\sigma$  é o desvio padrão (Trancoso, et. al., 2006).

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{v_i - p_i}{v_i} \right| \cdot 100\% \quad (3.11)$$

Onde N é o horizonte de previsão (neste trabalho N=144 e N=24);  $v_i$  é o valor médio e  $p_i$  é o valor previsto.

No próximo capítulo, faz-se uma apresentação dos diferentes modelos de previsão e dos modelos de referência. Realiza-se uma descrição dos modelos de regressão linear simples e auto-regressivos.



## 4. MODELOS DE PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO.

Apresentam-se, aqui, os diferentes modelos de previsão, nomeadamente os modelos físicos e estatísticos. Faz-se também uma descrição dos modelos de referência e dos modelos de regressão, regressão linear simples e auto-regressivo.

### 4.1 INTRODUÇÃO

Os métodos de previsão eólica podem ser classificados em dois grupos: métodos físicos e métodos estatísticos. A estes grupos também podemos juntar os métodos de referência, que são métodos simples permitindo fornecer a previsão eólica a baixo custo, e que servem de referência para avaliar os benefícios provenientes da utilização de métodos mais avançados. O método de referência mais comum é a persistência, esse método diz que a previsão da velocidade do vento será igual ao último valor medido para a qual todas as previsões são iguais à média de todas as medidas da velocidade do vento disponíveis ao nível do site considerado (Pinson, 2006).

Alguns métodos baseiam-se nas leis físicas simplificadas, enquanto outros necessitam de utilizar fórmulas provenientes da mecânica dos fluidos, que vão permitir obter previsões mais precisas (nomeadamente para os terrenos com tipologias complexas), porém estes métodos são de elevado custo.

Os métodos estatísticos baseiam-se sobre os modelos puramente matemáticos que descrevem a evolução das séries temporais de produção eólica a partir de valores históricos destas séries temporais. Os modelos de redes neuronais não necessitam de informações físicas do problema, excepto para a escolha de variáveis a serem utilizadas (Pinson, 2006).

## 4.2 MODELOS DE PREVISÃO

Actualmente, tem-se assistido a uma intensa integração da energia eólica no sistema eléctrico produtor. Dada a contribuição que esta forma de energia apresenta e atendendo à variabilidade do recurso primário, o vento, surgem vários problemas relacionados nomeadamente com a participação nos Mercados Eléctricos de Electricidade. Numa lógica de mercado eléctrico, os promotores eólicos ou os intermediários que os representem, terão que apresentar propostas de produção discretizadas de hora a hora com uma antecedência superior a 24 horas. Se o promotor tiver acesso a ferramentas que o informem acerca da produção prevista para um determinado período, poderá estabelecer para os períodos com menor capacidade de produção de energia eléctrica as manutenções planeadas. Por outro lado, no caso de o promotor constatar que durante um longo período de tempo o parque produziu muito menos que o previsto, pode concluir que as perdas do parque estão a afectar a produção. Neste caso pode proceder a acções de manutenção correctivas - como por exemplo proceder à limpeza das pás -, com o fim de reduzir as perdas (Rodrigues, et. al., 2007).

Fonte: (Rodrigues, et. al., 2007)

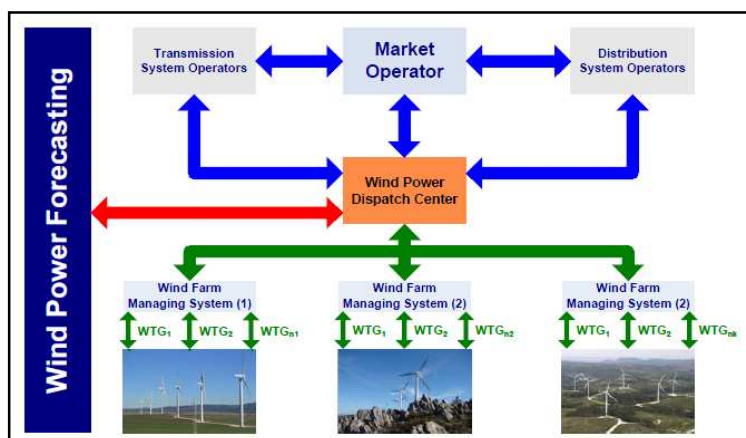


Figura 4.1 - Previsão da energia eólica



Os modelos de previsão podem assentar na combinação de duas soluções diferentes:

- Modelos Físicos (baseiam-se nas leis físicas que representam o comportamento do escoamento do ar através do terreno, envolvendo orografia, rugosidade e *layout's* dos parques, entre outros);
- Modelos Estatísticos (baseiam-se na informação disponível do passado. Utilizam técnicas estatísticas e de inteligência computacional).

A informação necessária ao funcionamento do sistema de previsão divide-se em dois conjuntos: variáveis de entrada do modelo de previsão e informação “estática” do parque. A informação “estática” do parque é composta pelas seguintes variáveis:

- Coordenadas dos aerogeradores;
- Altitude no ponto de coordenada do aerogerador;
- Altura da torre;
- Modelo do aerogerador;
- Potência do aerogerador;
- Referência de cada aerogerador;
- Número de aerogeradores do parque;
- Curvas características das máquinas instaladas.

### 4.3 MODELOS DE REFERÊNCIA

Qualquer modelo ou método de previsão da velocidade média do vento ou da Energia Eléctrica, só poderá ser considerado satisfatório se, à partida, obtiver melhores resultados, ou seja, menores erros na previsão, que os métodos de previsão considerados como de referência.

O método de referência mais simples é o da persistência, em que se considera que o valor futuro previsto é igual ao verificado no presente. Apesar da sua simplicidade, este método é difícil de bater em horizontes temporais a muito curto prazo (Kariniotakis, et. al., 2004; Zack, 2003; Giebel, 2003). A sua generalização conduz a outro método, denominado método das médias móveis, em que se prevê um valor futuro coma média de  $n$  valores passados, no limite a média de todos os dados passados disponíveis.

Outro método considerado como de referência assenta em conceitos climatológicos (Kariniotakis, et. al., 2004; Zack, 2003; Giebel, 2003; Pérez-Llera, et. al., 2002), ou seja, utiliza as médias das estatísticas meteorológicas acumuladas durante vários anos, para uma dada localização durante intervalos de tempo definidos. Tipicamente, este método obtém melhores desempenhos que a persistência no caso de previsões para horizontes temporais a partir de 12 a 18 horas (Zack, 2003; Giebel, 2003).

#### **4.4 MODELOS TÍPICOS MAIS CORRENTES**

No campo das previsões a muito curto prazo e a curto prazo existem fundamentalmente duas abordagens diferentes, a que utiliza modelos físicos e a que utiliza modelos estatísticos, existindo no entanto alguns sistemas em que se utilizam uma combinação de ambos, uma vez que na realidade, ambas são necessárias para o sucesso das previsões (Kariniotakis, et. al., 2004; Giebel, 2003).

#### **4.5 MODELOS FÍSICOS**

O *Wind Farm Power Curve* – WFPC ou modelo de matrizes baseia-se na simulação computacional do fluxo atmosférico na área do parque eólico, com base na velocidade, direcção do vento num determinado local dentro do domínio e nas características estimadas do vento nos pontos onde estão instaladas os aerogeradores. Com a curva de potência do aerogerador é possível fazer uma estimativa da produção global do parque eólico, incluindo perdas por efeito esteira. Esta previsão pode ser efectuada através da simulação computacional que consiste na resolução de equações de fluxo tendo em consideração as características do local, locais adjacente, orografia, rugosidade e possíveis obstáculos. A construção do parque eólico requer um grande número de simulações, com o objectivo de prever as gamas de velocidades do vento em que funcionam as turbinas eólicas, aumentando assim o número de sectores validados. O modelo WFPC é utilizado para gerar uma série de potência capaz de treinar os modelos estatísticos, mas também pode ser utilizado para a previsão do vento num parque eólico num determinado período (Rodrigues, et. al., 2007).

## 4.6 MODELO MESOSCALA (MM5)

### 4.6.1 DESCRIÇÃO DO MODELO MESOSCALA (MM5)

O modelo de mesoscala da PSU/NCAR (Pennsylvania State University/National Central for Atmospheric Research) é um modelo de área limitada, não-hidrostático, com um sistema de coordenadas sigma, o modelo foi desenvolvido para simular ou prever a circulação atmosférica de mesoscala. O modelo é apoiado por uma série de programas de pré e pós processamento, que no seu conjunto são designados como sistema de modelação MM5. O sistema de modelação MM5 é principalmente escrito em Fortran, e foi desenvolvido na Penn State e na NCAR como um modelo de mesoscala comunitário com contribuições de usuários de todo o mundo. O *software* do sistema de modelação MM5 é distribuído livremente e é apoiado pelo Grupo de Previsão de Mesoscala da divisão de meteorologia de mesoscala e microscala da NCAR (Dudhia, et. al., 2003).

Fonte: (Grell, et. al., 1994; Gill, et. al., 2003)

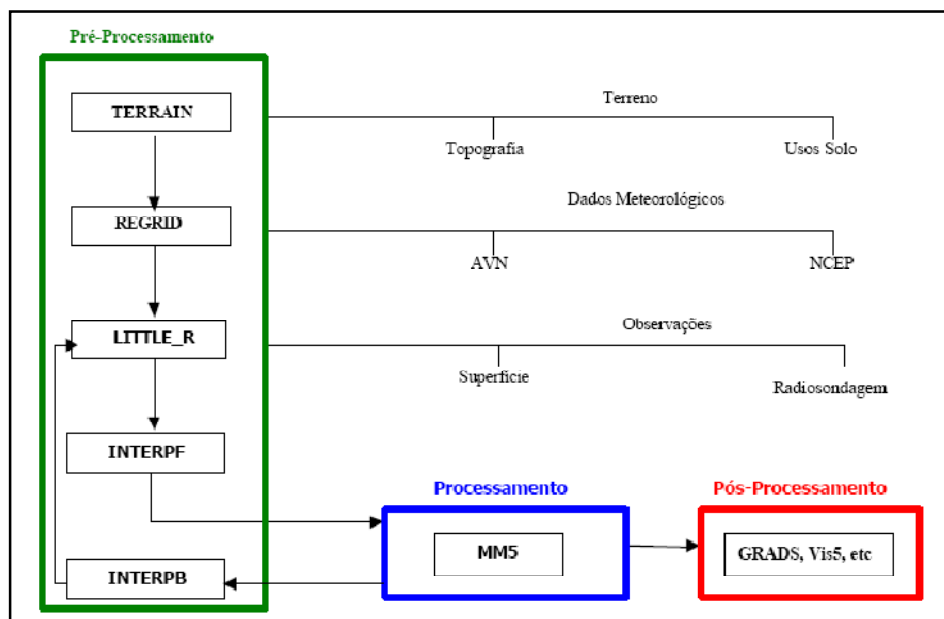


Figura 4.2 - Esquema MM5.

Na figura 4.2 pode-se observar os módulos utilizados pelo modelo MM5, os programas usados para o pré-processamento são: o TERRAIN, o REGRID, o LITTLE\_R, o INTERPF e o INTERPB. O processamento dos dados e a obtenção das previsões é feito por um programa que tem o mesmo nome, MM5. O pós-processamento, ou seja, a visualização dos resultados obtidos pode ser feita por vários programas, entre os quais, o GRADS.

O programa TERRAIN define todos os domínios terrestres que serão usados e a relação entre eles. Para cada domínio define a sua extensão e número de pontos da malha. Para o domínio maior o utilizador define a latitude e longitude do ponto central, o número de pontos da malha e a distância entre pontos consecutivos da malha.

O REGRID interpola horizontalmente os dados meteorológicos em níveis de pressão ou à superfície para a malha dos diferentes domínios. Esta interpolação horizontal é feita com o método biparábólico. O REGRID é constituído por dois subprogramas. O pregrid que coloca a informação meteorológica em vários formatos diferentes GRIB (*Gridded Binary Data*) num dado formato standard e o regridder que faz a interpolação para as malhas de todos os domínios definidos no TERRAIN a todos os níveis de pressão.

O LITTLE-R é o programa que permite que os dados iniciais sejam melhorados com observações de pressão ao nível do mar, de velocidade e direcção do vento, de temperatura e temperatura de orvalho. A coordenada vertical que referencia estas observações pode ser a pressão ou a altitude. A qualidade das observações é controlada para o instante a que a observação se refere analisando a relação entre as observações e os pontos da malha mais próximos.

A alteração dos valores referentes aos pontos da malha pode ser feita de acordo com dois métodos: o esquema de Cressman e o esquema Multiquadrático.

O INTERPF cria os ficheiros de condições iniciais e condições fronteira que o MM5 vai utilizar partindo dos dados do REGRID ou do LITTLE-R. Este programa calcula as várias superfícies sigma, em função da altura, e faz a interpolação vertical dos dados de superfícies isobáricas adjacentes para superfícies a sigma constante. Calcula também as variáveis adicionais que são precisas para o modelo não hidrostático nomeadamente a velocidade vertical e a perturbação da pressão. A velocidade vertical é obtida integrando a divergência da velocidade horizontal. Este programa faz uma análise de diagnóstico aos dados de velocidade horizontal e remove a divergência horizontal média.

Um modelo de previsão numérica do tempo é um modelo computacional desenvolvido para simular o comportamento da atmosfera. Este resolve um sistema complexo de equações matemáticas baseadas nas leis da física de modo a prever o estado futuro da atmosfera partindo

de condições iniciais específicas. As equações matemáticas são as formas mais completas e complexas das equações dinâmicas e termodinâmicas. Em adição com processos físicos, como a radiação, nuvens, precipitação e trocas à superfície são representadas no modelo usando esquemas de parametrizações.

O modelo divide o planeta em várias camadas verticais que representam níveis da atmosfera, e divide a superfície do planeta numa malha de caixas horizontais separadas por linhas semelhantes às linhas de longitude e latitude. Desde modo, o planeta é coberto por uma malha tri-dimensional. O tamanho típico destas malhas num modelo NWP (*Numerical Weather Prediction*) global é aproximadamente de 150 km na direcção este-oeste e 100 km na direcção norte-sul, com 20 a 40 níveis verticais. Isto significa que a atmosfera será representada por cerca de um milhão ou mais cubos individuais. Em cada destes cubos, as componentes do vento, temperatura, pressão e humidade são calculadas. O modelo usa tipicamente um passo de tempo de 10 minutos de tempo simulado para fazer uma previsão de 5 a 10 dias.

As equações do modelo são integradas no tempo para prever o estado da atmosfera num tempo futuro. As equações são não lineares, e pequenos erros nas condições iniciais amplificam à medida que a simulação avança no tempo, de modo que a diferença entre as condições atmosféricas prevista e as condições reais da atmosfera aumenta ao longo da previsão. Devido a estes erros as previsões realistas usando modelos de previsão numérica só podem ser efectuada para um período máximo de 5-10 dias. Este comportamento da atmosfera é um exemplo de um sistema caótico não linear.

A capacidade e desempenho dos computadores limitam a resolução que é possível simular em modelos NWP globais. Porém, podem ser feitas previsões mais precisas se usarmos resoluções mais altas. Consequentemente, modelos NWP de área limitada ou regional são usados com resoluções mais altas em domínios mais pequenos. Estes modelos usam malhas horizontais de cerca de 10 km.

À medida que a resolução melhora, processos de escala menor podem ser simuladas explicitamente.

#### **4.6.2 INFORMAÇÃO NECESSÁRIA PARA ESTUDO DO MODELO MM5**

Como o sistema de modelação MM5 é projectado principalmente para estudos/simulações em tempo-real, ele requer o seguinte conjunto de dados para efectuar o processamento:

- Topografia e tipos de uso do terreno (em categorias);
- Dados atmosféricos em grelhas que têm pelo menos as seguintes variáveis: pressão ao nível médio do mar, vento, temperatura, humidade relativa e altura geopotencial;
- Dados observados que contêm sondagens e dados da superfície (Opcional).

Em situações de parques em que o histórico de medidas do *SCADA* é inferior a 6 meses ou parques em situação de início de exploração não é possível construir modelos a partir de um histórico de previsões do *MM5*.

#### **4.6.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS**

A utilização do modelo de Mesoscala MM5 (5th Generation Mesoscale Model), possibilita a introdução da topografia, sendo assim é de esperar que o modelo consiga uma melhor representação da circulação local devido à topografia. Esta circulação não pode ser simulada no modelo operacional do centro europeu pois este usa uma malha grossa. A utilização de um modelo de alta resolução possibilita uma melhor representação dos sistemas de circulação de mesoscala na região, e conseqüentemente contabilizar a sua influência no tempo local.

Uma das principais vantagens da utilização do MM5 é a possibilidade de escolher uma parametrização adequada para a região.

Um dos grandes problemas será encontrar a parametrização que melhor represente a taxa de precipitação da região. A precipitação será muito sensível à convecção, esta distribui quantidades de calor sensível e latente na vertical. A libertação e redistribuição vertical de energia por células convectivas de pequena escala (1-10 km) exercem uma influência significativa na evolução dos sistemas de circulação de mesoscala, e talvez nos sistemas de circulação sinópticos.

## 4.7 MODELOS ESTATÍSTICOS

Os modelos estatísticos requerem treino, baseado em dados históricos recolhidos do parque eólico. No entanto, o período dos dados pode não ser suficiente para treinar os modelos estatísticos. Nestes casos, os modelos físicos devem apoiar na construção de uma série artificial para poderem ser usados.

Os modelos físicos também podem ser usados como uma ferramenta complementar aos modelos estatísticos convertendo-se em previsões meteorológicas.

A abordagem estatística consiste em um ou vários modelos que procuram estabelecer a relação entre o histórico de potência produzida (medido pelo *SCADA*), e previsões das variáveis explicativas (velocidade, direcção, temperatura, etc.). A adaptação dos modelos é efectuada sobre um conjunto de treino e são usados sobre um conjunto de teste ou para situações reais de previsão.

É importante a definição de modelos estatísticos chamados "caixa negra", este tipo de modelos são construídos a partir dos dados de uma forma mecânica, podem ser: redes neuronais, *Support Vector Machines*, etc.

Actualmente os modelos estatísticos modernos são constituídos por uma parte auto-regressiva que modela a persistência do comportamento do vento e uma parte que consiste numa transformação não linear das variáveis explicativas meteorológicas em potência produzida. Os dados usados são os valores resultantes de um modelo NWP mesoscala e os valores passados de produção, sem as previsões do modelo NWP seria impossível efectuar previsões com qualidade para um horizonte superior a 6 horas. Os modelos que usam exclusivamente séries temporais apresentam performances excelentes até 6-10 horas (Rodrigues, et. al., 2007).

Fonte: (Rodrigues, et. al., 2007)

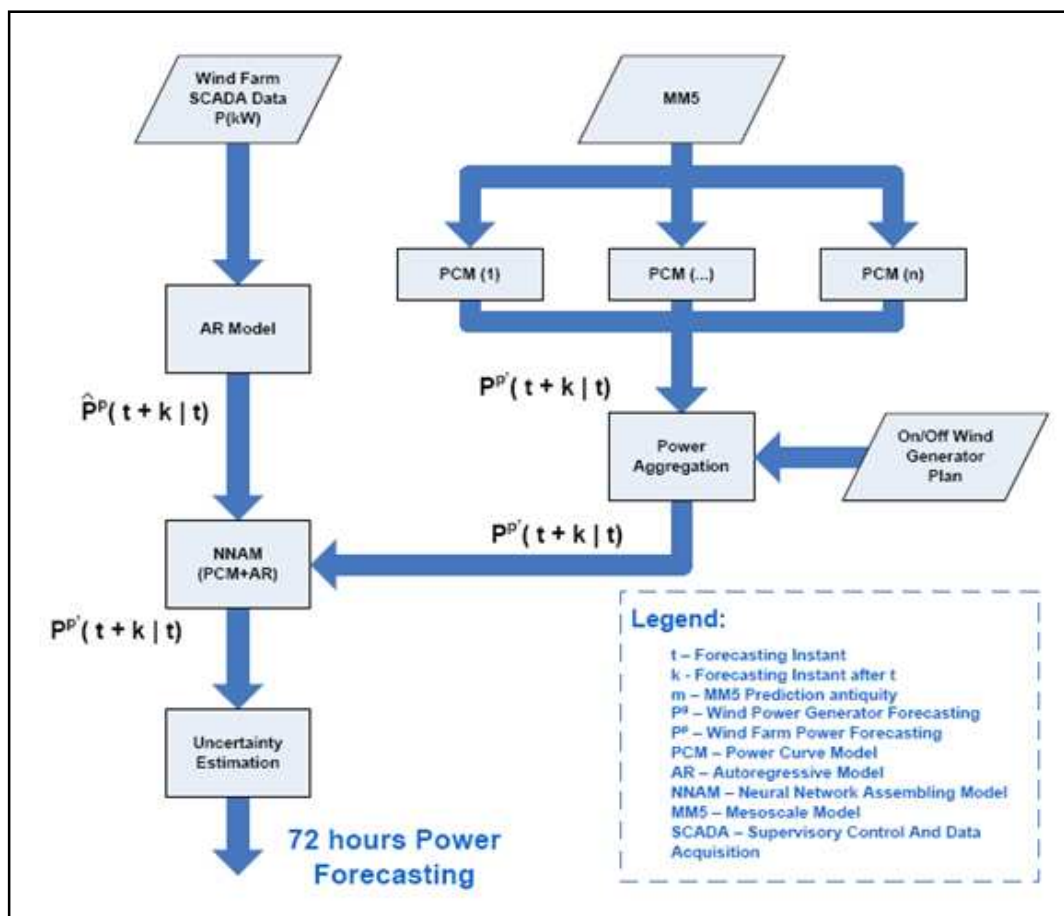


Figura 4.3 - Arquitetura do Modelo Estatístico

O *Power Curve Model* (PCM) é um modelo que converte as previsões meteorológicas em Energia Elétrica a ser gerada pelo aerogerador. Além de modelar a característica da curva de potência do aerogerador, este modelo estabelece uma correspondência da velocidade do vento em energia, bem como uma correção na produção aerogerador ou exploração devido ao erro associado com as previsões meteorológicas.

O PCM pode ser aplicado em cada aerogerador ou a um “cluster” (parque eólico). Os dados de entrada e a previsão do vento podem ser obtidos também num ponto de referência do parque eólico (Rodrigues, et. al., 2007).

#### 4.7.1 MODELOS DE REGRESSÃO

Pode-se definir que a análise de regressão é uma metodologia estatística que estuda (modela) a relação entre duas ou mais variáveis.



O objectivo da análise de regressão é estimar a projecção de uma série de dados baseada na relação entre duas ou mais variáveis. Se a relação entre as variáveis for expressa pela equação de uma recta, diz-se que as variáveis são linearmente relacionadas e o modelo de estimativa é chamado regressão linear. Caso contrário, a relação é definida como não linear e o modelo denomina-se de regressão não linear. Nos problemas reais, geralmente não se sabe qual o modelo que melhor exprime o relacionamento entre as variáveis, se linear ou não linear. Assim sendo, tem-se que testar os dois modelos para verificar qual deles se ajusta melhor ao problema.

Na prática, o problema resume-se em calcular os valores das constantes desconhecidas da equação matemática que relaciona as variáveis, denominadas parâmetros da equação e então projectar estimativas de valores futuros para a série.

#### 4.7.2 REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

A regressão linear modela a relação entre uma variável dependente  $Y$  e uma variável independente  $X$ . O caso mais simples de regressão é quando se tem duas variáveis e a relação entre elas pode ser representada por uma linha recta.

O modelo de regressão linear apresenta vantagens e desvantagens tais como:

- **Vantagens:** capacidade de relacionar uma variável dependente  $Y$  com uma variável independente  $X$  e a capacidade de prever e explicar a variável dependente;
- **Desvantagens:** conhecer os valores da variável independente  $X$  para prever  $Y$  e é muito difícil confirmar se o modelo causal definido é o mais adequado.

#### 4.7.3 MODELO AUTO – REGRESSIVO

Num modelo auto-regressivo temporal  $X_t$  é expresso linearmente em termos dos valores passados da série e da perturbação aleatória  $a_t$  relativa ao instante  $t$ . A ordem deste processo depende do valor mais antigo sobre o qual a regressão se baseia. Num processo auto-regressivo de ordem  $p$ , o modelo pode escrever-se como:

$$X_t = \delta + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + a_t \quad (4.1)$$

em que os vários  $\varphi_i$  são constantes reais e a série dos  $a_i$  apresenta distribuição normal de valores independentes. Um modelo auto-regressivo (*AR*) é simplesmente uma regressão linear do valor corrente da série sobre um ou mais dos valores anteriores da série. Por isso, estes modelos podem ser gerados utilizando a técnica dos mínimos quadrados. Para determinar a ordem do modelo *AR*, pode-se utilizar um gráfico de auto-correlação total e parcial, que permite verificar se a série temporal pode ser modelada por um modelo *AR* e avaliar a ordem do modelo a utilizar. A auto-correlação é o conceito de correlação estendido às séries temporais, calculando uma relação entre valores da série e valores da mesma série com um certo atraso  $k$  (intervalo de tempo) (Barros, 2002).

No capítulo seguinte é feita uma descrição do parque eólico de São João do Cariri onde foram recolhidos os dados. Faz-se uma análise estatística dos atributos e cria-se uma *stream*<sup>4</sup> com o *Software Clementine* de modo a identificar as relações existentes entre as variáveis.

---

<sup>4</sup> Dado não haver uma tradução precisa que ilustre estas figuras, será utilizada a palavra *stream*, ao longo desta dissertação, para designar as ilustrações geradas pelo software *Clementine*.

## 5. ESTUDO DA AMOSTRA

Neste capítulo descreve-se o parque eólico onde foram recolhidos os dados para análise. Realiza-se um tratamento estatístico dos dados e traça-se um correlograma para avaliar as tendências da série. Cria-se uma *stream* com o *Software Clementine* para identificar a correlação cruzada, permitindo identificar as relações existentes entre as variáveis.

O parque eólico situa-se a uma latitude/longitude de 7° 22' S/36° 31' O e altitude de 486 m (conforme localização na figura 5.1) encontra-se na área central do Estado da Paraíba e insere-se na Meso-região da Borborema e Micro-região do Cariri Oriental, na Superfície do Planalto da Borborema (Figura 5.2), sobre a litologia cristalina.

Apresenta um relevo suave, ondulado e faz parte da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, Sub-bacia do rio Taperoá e Riacho Namorados (PAES-SILVA et. al., 2003). Os principais tipos de solos encontrados são: Luvisolo Crômico Vértico, Vertissolo e Neossolo Lítico.

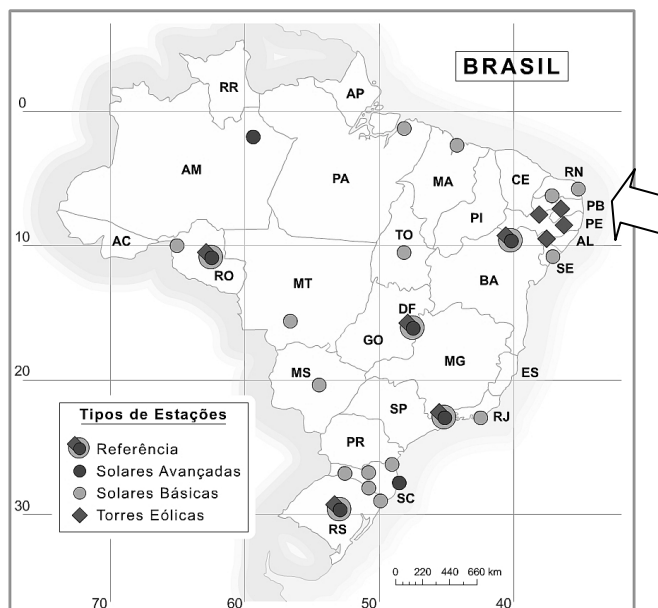


Figura 5.1 - Mapa de localização do parque de São João do Cariri

A vegetação é predominantemente Caatinga hiperxerófila, decorrente do tipo climático que envolve a região, BSh – semi-árido quente com chuvas de verão, segundo Köppen um bioclima do tipo 2b (9 a 11 meses secos) – sub-desértico quente de tendência tropical, mediante classificação de Gaussen (GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA, 1985). Com precipitação média de 400 mm/ano (Figura 5.3) e variabilidade de 84 e 93 mm/ano. A humidade relativa é de 70 %, aproximadamente e a evapotranspiração é de 2.000 mm/ano.

Fonte: (IBGE ,2004)

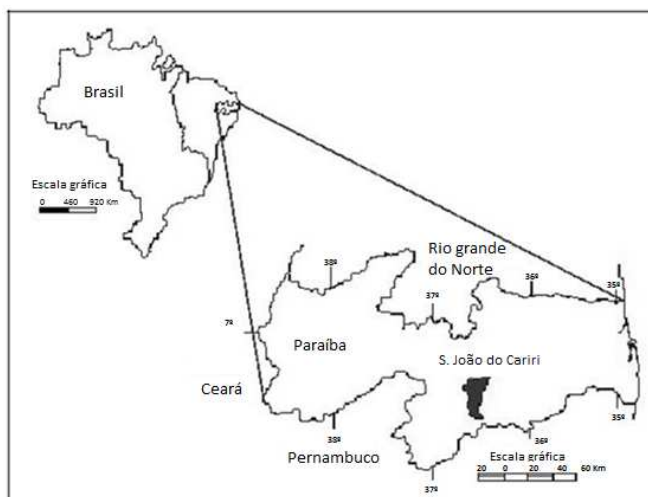
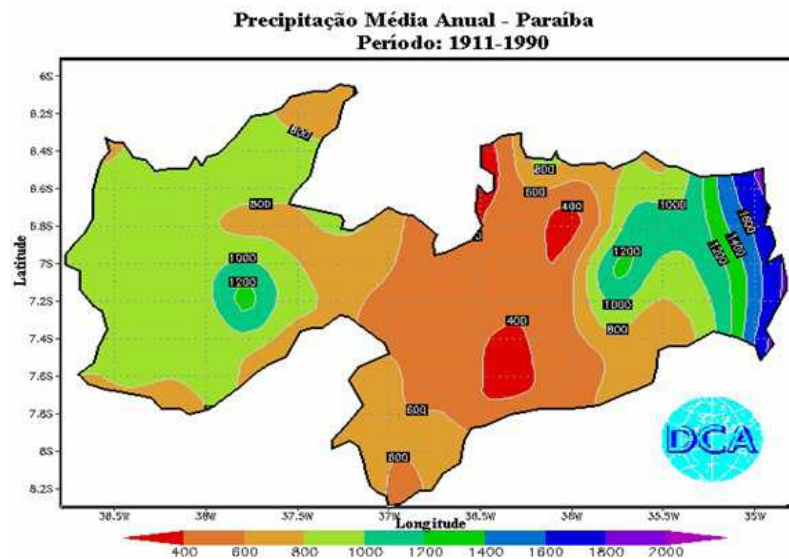


Figura 5.2 - Mapa de São João do Cariri – PB

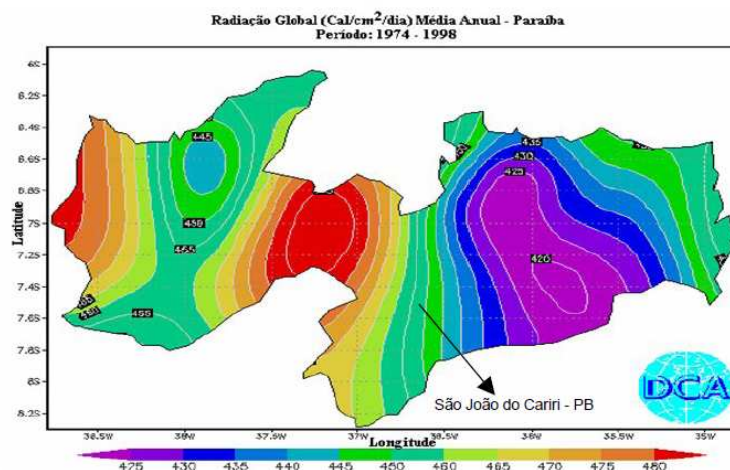
A nebulosidade geralmente está acima de 5/10 de céu encoberto, mas apesar de ser relativamente elevada não indica que estas nuvens proporcionem regularidade na precipitação,

ou seja, esta região caracteriza-se por uma alta variabilidade inter-anual na precipitação pluviométrica (ARAUJO, 2005).



**Figura 5.3 - Mapa de precipitação pluviométrico (1911-1990).**  
 Fonte: (DCA/UFCG, 2004)

O período mais quente do ano situa-se entre Novembro e Janeiro atingindo valores médios máximos de temperatura de 25 °C. No mês de Julho a temperatura é mais amena atingindo valores médios mínimos de 21 °C (VAREJÃO-SILVA, et. al., 1984).



**Figura 5.4 - Mapa de radiação solar global (1974-1998)**  
 Fonte: (DCA/UFCG, 2004)

A incidência da radiação solar global varia entre 450 a 460 Cal cm<sup>-2</sup>/dia e insolação média de 7,6 a 7,8 horas/ano com um total anual oscilando entre 2.000 a 2.900 horas/ano (DCA/UFCG, 2004) (Figuras 5.4 e 5.5). Embora esta região esteja próxima do Equador terrestre, a insolação

diária é geralmente inferior ao comprimento do dia derivado a elevada nebulosidade local (ARAUJO, 2005).

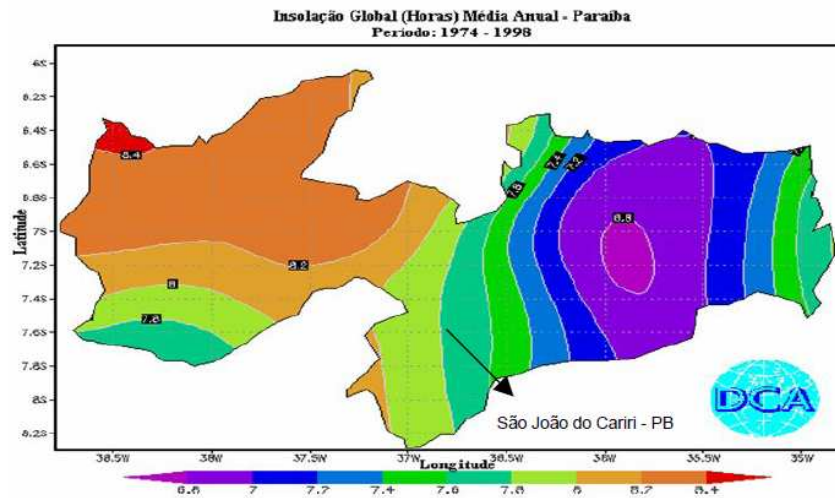


Figura 5.5 - Mapa de Insolação (1974-1998)

Fonte: (DCA/UFPG, 2004)

## 5.1 DEFINIÇÃO DA AMOSTRA

Com base em dados históricos recolhidos no parque eólico São João de Cariri – Brasil, pretende-se definir e implementar um processo que nos conduza à descoberta de conhecimento contido nesses dados de forma a determinar e caracterizar modelos baseados em redes neuronais para previsão da velocidade do vento.

Os dados foram fornecidos pelo projecto SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais), um projecto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) coordenado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) situado em Cachoeira Paulista Brasil, (Martins, et. al., 2005).

## **5.2 MANUSEAMENTO DAS LEITURAS**

### **5.2.1 INTRODUÇÃO**

As medições dos dados foram realizadas por aparelhos de medição situados nas torres verticais de 25 e 50 m. Esses instrumentos fornecem valores mínimos, médios e máximos horários da velocidade, direcção do vento e temperatura do ar.

Essas medições ocorreram durante o período de Janeiro de 2006 e Dezembro de 2008, surgindo grandes volumes de dados armazenados que contêm a informação recolhida do respectivo parque eólico.

A base de dados foi disponibilizada em suporte informático, em ficheiro com formato csv representada pela Tabela B1 do anexo B, esta última representa uma parte dos dados do ficheiro denominado SCR0601WD e caracteriza a aquisição de dados relativos ao mês de Janeiro de 2006 (parque eólico São João do Cariri) com uma cadência de 10 minutos. Em cada um destes ficheiros é registado o número do sítio, a velocidade do vento, direcção do vento e temperatura do ar para alturas de 25 e 50m como também o dia semana, a data, a hora e o ano. No total existem 36 ficheiros deste tipo, totalizando 162.144 registos.

Assim, teremos um conjunto de leituras recolhidas com uma determinada cadência e durante um determinado período de tempo para a análise e respectiva extracção de previsão da velocidade do vento.

Torna-se, pois, necessário manusear adequadamente todo este volume de dados armazenados de forma a extrair o conhecimento neles contidos.

### **5.2.2 LIMPEZA E FILTRAGEM DOS DADOS**

As operações de selecção, limpeza e pré-processamento dos dados são cruciais para a obtenção de resultados válidos e relevantes (Rodrigues, 2000). A imprecisão dos dados é uma característica da grande maioria dos sistemas de informação. Os dados adquiridos e armazenados de forma automática são muitas vezes imprecisos e sujeitos a um procedimento de detecção e filtragem dos dados invulgares. A proveniência de dados anómalos ou ausência

dos mesmos pode ter origem no próprio equipamento de medição (avarias), no processo de transmissão, com a eventual perda da informação. De forma a ultrapassar estas dificuldades, torna-se necessário utilizar técnicas que auxiliem a completar os dados em falta (que se tenha detectado), ou até mesmo eliminar eventuais leituras anómalas ou deficientes. Este primeiro procedimento é designado como processo de limpeza de dados e corresponde à primeira fase de *Data Minig* (DM).

No caso em estudo, o processo de limpeza e qualificação dos dados foi assegurado pela rede SONDA que aplica os critérios de análise estabelecidos pela *Meteorological Resource Center*.

Segundo Rodrigues (Rodrigues et al., 1998), de forma a clarificar os passos envolvidos no tratamento prévio dos dados, foram definidas três fases:

1. Fase de selecção: é conveniente ter em atenção o volume de dados que é necessário ao estudo, como devem ser recolhidos e a periodicidade da recolha das amostras;
2. Fase de limpeza que consiste essencialmente: no tratamento de dados omissos e por isso em falta, conversão de dados não numéricos para valores numéricos, eliminação de dados em mau estado, conversão de unidades, etc;
3. Fase de pré-processamento que é a mais importante das fases precedentes ao processo de exploração, uma vez que é nesta fase que os dados são transformados na sua forma final para serem tratados pelos algoritmos de DM. O pré-processamento é a chave para o desenvolvimento de bons modelos, uma vez que é nesta fase que deve ser incorporado o conhecimento que se possui do domínio, de forma a simplificar o problema de modelação. Esta fase reveste-se de experimentação extensiva de modo a alcançarem-se os melhores resultados.

Os métodos de limpeza de dados estão intimamente ligados ao domínio em estudo e a participação e conhecimento de peritos é, nesta fase, vital.

No processo de análise e filtragem dos dados, a detecção de dados anómalos e preenchimento de dados em falta são alvo de atenção e cuidado por parte do analista. No trabalho efectuado no âmbito da presente dissertação a rede SONDA submeteu os dados a um processo de aferição



como o objectivo de identificar os dados anómalos. Através desse processo é possível não só garantir a credibilidade dos dados, mas também alertar a equipe responsável pela manutenção dos equipamentos sempre que se verifique alguma anomalia. O processo de qualificação dos dados obtidos pela rede SONDA baseia-se na estratégia de controlo de qualidade de dados adoptada pela BSRN (*Baseline Surface Radiation Network*).

Assim como o WRMC (*World Radiation Monitoring Center*) procede com relação aos dados da BSRN, a rede SONDA não altera a base de dados original. A execução do processo de controlo de qualidade não corrige os dados, apenas sinaliza aqueles que estão suspeitos de estarem incorrectos, criando um código de qualificação para cada dado seleccionado. Esses códigos numéricos de 4 dígitos são guardados separadamente em arquivos que podem ser consultados pelo utilizador, ficando ao seu critério a utilização de dados considerados duvidosos. Podem, ainda, ser utilizadas técnicas estatísticas para a previsão de dados. No caso dos dados pertencerem ao domínio real, pode ser utilizada a regressão linear, no caso dos dados serem classificados como categóricos podem ser usadas técnicas baseadas em árvores de decisão. Em alternativa, poderão ser utilizadas redes neuronais, que a partir dos dados históricos podem criar modelos capazes de determinar os dados em falta.

### **5.2.3 PREPARAÇÃO DOS DADOS**

Definidos os objectivos da descoberta de conhecimento que se pretende alcançar, a etapa seguinte é, precisamente, a recolha dos dados necessários à resolução do problema.

Durante o processo de análise e de validação dos dados foram detectadas valores de temperatura incorrectos (valores improváveis de acontecer, i.e.  $-74^{\circ}\text{C}$ ).

De forma a colmatar essas falhas, esses dados foram retirados da amostra e substituídos pelos valores de temperatura que se estimaram através da implementação de uma rede neuronal, caracterizada no capítulo seguinte, para previsão dos valores da temperatura em falta.

### **5.2.4 NORMALIZAÇÃO DOS DADOS**

A normalização de dados é uma técnica de pré-processamento muito utilizada na Descoberta de Conhecimento (DC). O modo como os dados são codificados/agregados tem uma grande influência nos resultados obtidos (Rodrigues, 2000).

Após o preenchimento dos dados anómalos verificados, os dados estão, agora, prontos para serem estudados.

Este processo de normalização, não é mais que converter os dados para uma outra escala, de forma a ser possível efectuar o estudo e comparação dos diversos atributos a analisar.

A redução dos dados a uma mesma escala mostrou-se fundamental para o estudo de previsão da velocidade do vento. A selecção do factor de normalização dever ser feita tendo em consideração o tipo de dados disponíveis, o tipo de análise que se pretende perpetrar, bem como o tipo de algoritmo de DM que se utilize.

Em diversos trabalhos efectuados nos modelos de obtenção previsão da velocidade do vento são descritos diferentes factores de normalização.

Em (Rodrigues, 2000) são apresentadas algumas das muitas formas de normalizar dados, bem como as respectivas vantagens, nomeadamente:

- ❑ Normalização Min-Max: É realizada uma transformação linear do conjunto de entrada original para um novo conjunto, normalmente [0-1], preservando todas as relações iniciais dos valores dos dados, não introduzindo alterações nos dados, isto é, a forma do histograma ou diagrama é mantida;
- ❑ Normalização Zscore: Transforma os dados das variáveis de entrada de tal forma que a média é zero e a variância um. Este tipo de normalização é usado quando existem valores isolados que dominam a normalização Min-Max, ou quando existem valores em falta na amostra, não se conhecendo o máximo e o mínimo das variáveis de entrada;

Normalização Sigmoidal: Normaliza dados de entrada não-lineares num intervalo [-1,1]. Inicialmente, são calculados a média e o desvio padrão dos dados de entrada. A fórmula utilizada por este tipo de normalização é a seguinte:

$$y' = \frac{1 - e^{-\alpha}}{1 + e^{-\alpha}} \quad (5.1)$$

Em que:

$$\alpha = \frac{y - \textit{média}}{\textit{desvio padrão}}$$

Esta normalização é apropriada sempre que se pretende incluir pontos isolados no conjunto de dados a analisar.

Para melhorar o desempenho das redes neuronais artificiais (RNA) nos modelos de previsão, procedeu-se a uma normalização dos dados.

### 5.3 DESCRIÇÃO DOS DADOS

Para criar modelos de previsão da velocidade de vento, é necessário analisar os atributos que fazem parte da base de dados, de modo a não influenciar a grandeza a ser prevista – velocidade do vento. Deste modo, determinar-se-ão os principais atributos que constituirão os modelos, assim como, as suas estruturas. Os modelos criados são univariados, ou seja, uma única variável - velocidade do vento.

Os dados anemómetros da estação eólica são constituídos pelos valores medidos - direcção média do vento (0° a 360° horários), temperatura do ar (°C) e velocidade média do vento (m/s) (medidos a 50 metros de altitude), num intervalo de 10 minutos durante o período de Janeiro de 2006 a Dezembro de 2008, totalizando 162.144 registos.

Os dados recolhidos e alvo de estudo possuem os seguintes campos:

- site (sitio do parque eólico);
- ano (ano da recolha dos dados);
- dia (data e hora da recolha dos dados);
- data (data da recolha dos dados);

- mins (tempo em minutos);
- vel\_25 (velocidade do vento medido a uma altitude de 25m);
- Dir\_25 (direcção do vento medida a uma altitude de 25m);
- Temp\_25 (temperatura do ar medida a uma altitude de 25m);
- vel\_50 (velocidade do vento medido a uma altitude de 50m);
- Dir\_50 (direcção do vento medida a uma altitude de 50m);
- Temp\_50 (temperatura do ar medida a uma altitude de 50m).

## 5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados analisados referem-se ao período de 2006 a 2007. Apresenta-se na Tabela 5.1 a análise dos valores estatísticos da velocidade média horária do vento, da direcção do vento e da temperatura do ar medidos a 50 metros de altitude.

Na Tabela seguinte apresenta-se o valor mínimo, valor máximo e a média das principais variáveis utilizadas.

**Tabela 5.1 - Análise estatística dos dados**

<b>Período: 2006 - 2007</b>	<b>Velocidade do vento</b>	<b>Direcção do vento</b>	<b>Temperatura do ar</b>
Média	5.51 m/s	164.10°	24.23°C
Máximo	14.08 m/s	360°	34.45°C
Mínimo	0 m/s	0.21°	15.68°C

Os valores da Tabela foram obtidos através do *software Clementine conforme* podemos verificar na figura 5.6. É de salientar que o valor da velocidade varie entre 0 m/s e 14,08 m/s, a direcção do vento de 0,21° a 360° e a temperatura do ar de 15,68°C a 34,45°C.

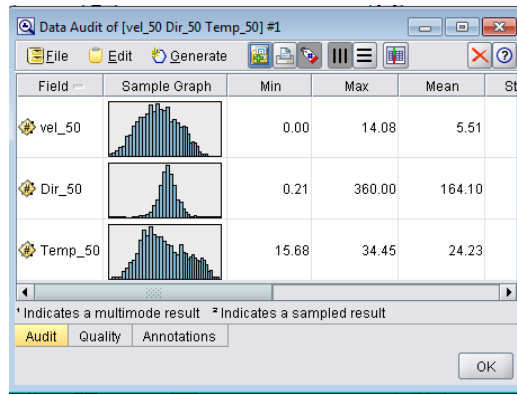


Figura 5.6 - Estatística dos dados fornecidos pelo Software Clementine

## 5.5 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS DADOS

Para a representação gráfica de dados contínuos, usa-se um diagrama de áreas ou histograma, formado por uma sucessão de rectângulos adjacentes, tendo cada um por base um intervalo de classe e por área a frequência relativa ou a frequência absoluta. Deste modo, a área total será igual a 1 quando se utilizarem as frequências relativas, e igual a  $n$  (dimensão da amostra) quando se utilizarem as frequências absolutas.

Nas Figuras 5.7, 5.8 e 5.9 observam-se os comportamentos das variáveis velocidade do vento, direcção do vento e temperatura do ar.

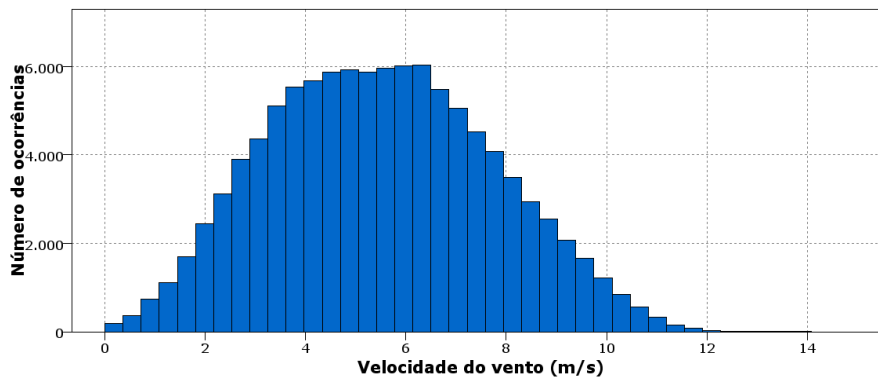
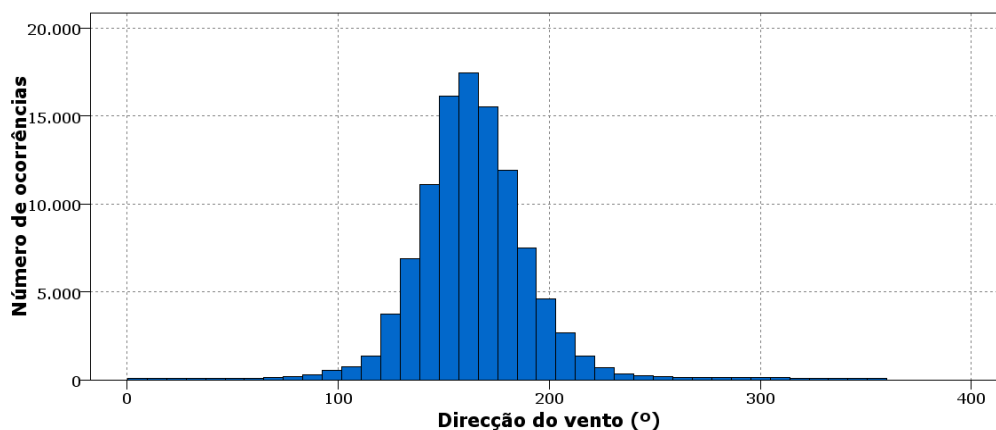


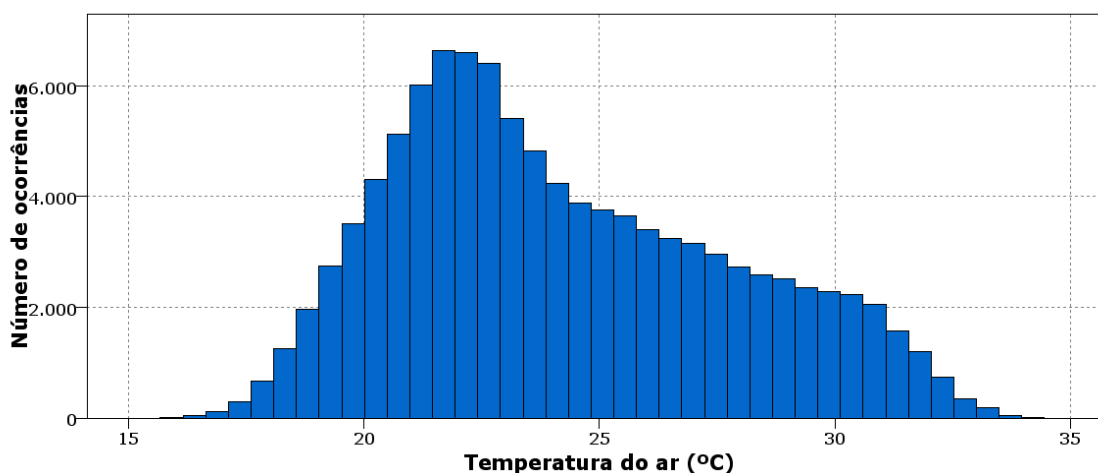
Figura 5.7 - Histograma da velocidade do vento.

Conforme podemos constatar no histograma da Figura 5.7, a distribuição da frequência, demonstra que na maior parte dos casos a velocidade do vento a 50 m de altitude não ultrapassa a velocidade do vento de 12 m/s. Também se verifica que o histograma indica que a velocidade do vento não segue uma distribuição Normal. Em geral, a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta aos registos da velocidade do vento é a distribuição de *Weibull* (Custódio, 2009)



**Figura 5.8 - Histograma da direcção do vento.**

No histograma da Figura 5.8, verifica-se que a distribuição da frequência, demonstra que na maior parte dos casos a direcção do vento a 50 m de altitude varia entre 130° e 200°.



**Figura 5.9 - Histograma da temperatura do ar.**

Pela análise da Figura 5.9 nota-se que, no período de 2006 a 2007, a distribuição da frequência da temperatura do ar variou de 15°C a 34°C. A variação, de 19 °C da temperatura, deve-se a insolação diária que é geralmente inferior a duração do dia derivado a elevada nebulosidade local.

## 5.6 ROSA DOS VENTOS

Na Figura 5.10 está representada a distribuição das direcções do vento segundo os quatro pontos cardeais e os quatros colaterais (Norte, Sul, Este, Oeste, Nordeste, Noroeste, Sudeste e sudoeste).

Na Figura seguinte, a rosa dos ventos indica que os ventos no parque eólico de São João do Cariri são predominantemente de Sul.

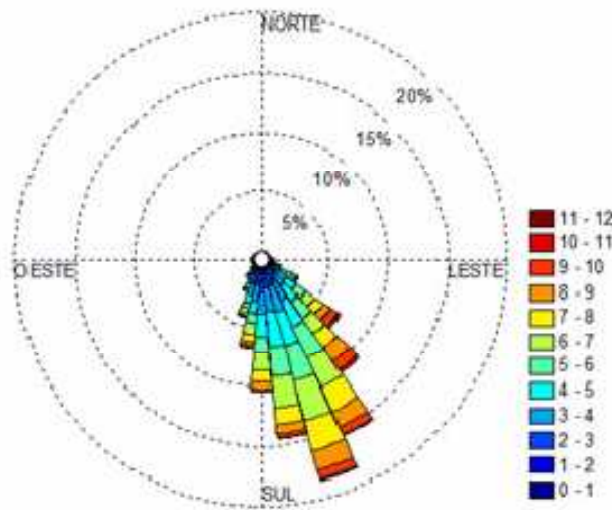


Figura 5.10 - Distribuição da direcção do vento

## 5.7 DESVIO PADRÃO

O desvio padrão (representado pela sigla  $s$ ) é uma medida que só pode assumir valores não negativos e quanto maior for, maior será a dispersão dos dados.

Algumas propriedades do desvio padrão, que resultam imediatamente da definição, são:

- o desvio padrão é sempre não negativo e será tanto maior, quanta mais variabilidade houver entre os dados.
- se  $s = 0$ , então não existe variabilidade, isto é, os dados são todos iguais.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (5.2)$$

onde:

$s$  – desvio padrão;

$x_i$  - valor observado;

$n$  - número total observações;

$\bar{x}$  - soma de todos os valores observados ( $x_i$ ) dividido pelo número total de observações ( $n$ ):

A Tabela 5.2, apresenta o desvio padrão, variância, simetria e *Kurtosis* das variáveis principais utilizadas na previsão do vento. Estas medidas permitem a análise da distribuição dos dados.

## 5.8 VARIÂNCIA

Define-se a variância, e representa-se por  $s^2$ , como sendo a medida que se obtém somando os quadrados dos desvios das observações da amostra, relativamente à sua média, e dividindo pelo número de observações da amostra menos um:

$$s^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \quad (5.3)$$

## 5.9 SIMETRIA

Define-se como sendo uma medida que mostra a simetria dos dados da distribuição de probabilidade de uma variável. Uma curva normal apresenta simetria igual a zero, enquanto um valor negativo indica dados deslocados para a direita (cauda negativa longa) e valores positivos indicam dados deslocados para a esquerda (cauda positiva longa).

## 5.10 KURTOSIS

É uma medida de achatamento da distribuição dos dados. Em relação à curva normal, uma medida negativa indica um achatamento e uma positiva indica picos ou um alongamento.

Tabela 5.2 - Tabela de desvio padrão, variância, simetria, *kurtosis*

Período: 2006 - 2007	Velocidade do vento	Direcção do vento	Temperatura do ar
<b>Desvio Padrão</b>	2.24 m/s	29.25°	3.58°C
<b>Variância</b>	5.00 m/s	896.91°	12.84°C
<b>Simetria</b>	0.15 m/s	0.73°	0.44°C
<b><i>Kurtosis</i></b>	-0.53 m/s	7.54°	-0.68°C





Figura 5.11 - Quadro resumo da análise estatística

Encontram-se na da Figura 5.11 os valores estatísticos da série de dados utilizada para treinar a rede.

### 5.11 GRÁFICOS DAS VARIÁVEIS

Os gráficos representam as variáveis; velocidade do vento; direcção e temperatura do ar que serão utilizadas como atributos de entrada nos modelos de previsão usando redes neuronais artificiais.

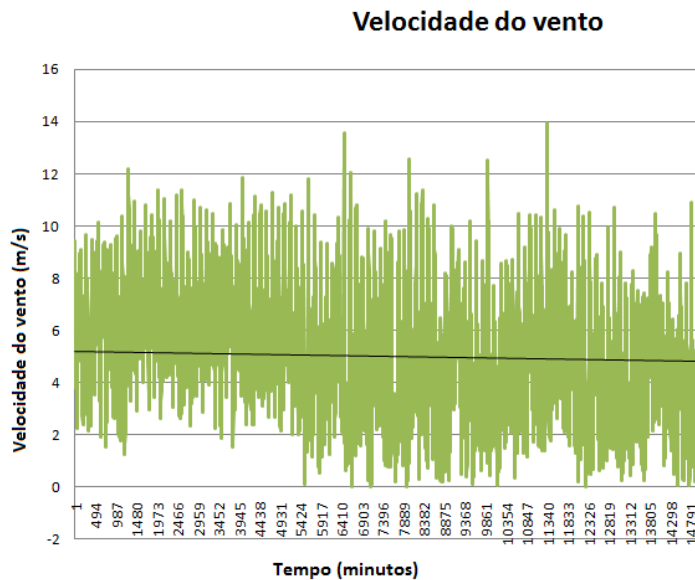


Figura 5.12 - Gráfico da velocidade do vento.

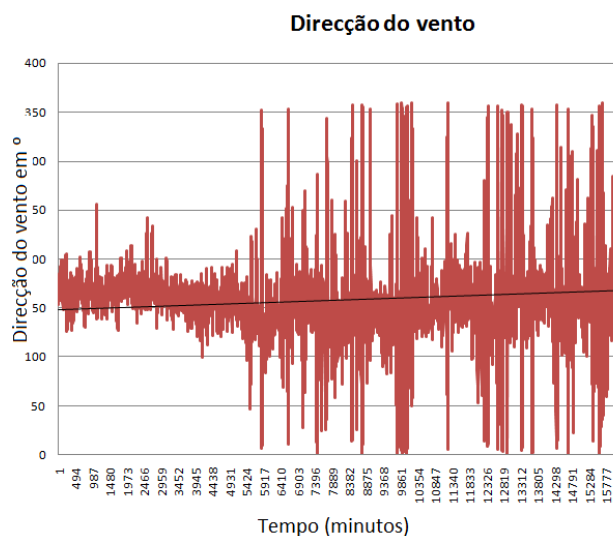


Figura 5.13 - Gráfico da direcção do vento.

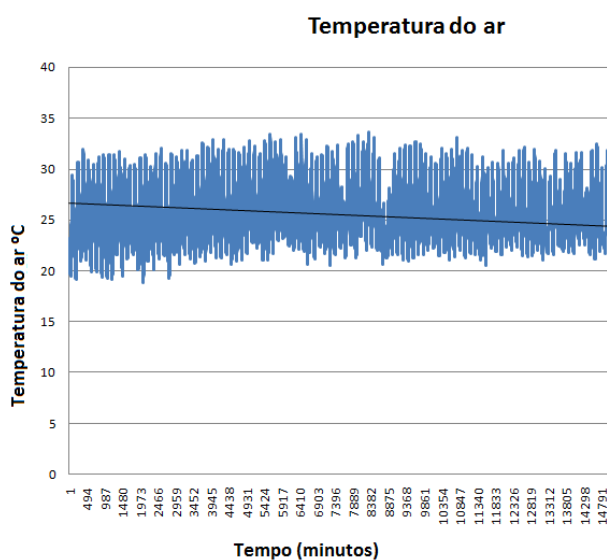


Figura 5.14 - Gráfico da temperatura do ar

Estes gráficos demonstram o comportamento das variáveis velocidade do vento, temperatura do ar e direcção do vento. Pode-se constatar que as séries são complexas com grandes variações em curtos espaços de tempo.

### 5.11.1 FUNÇÃO DE AUTO-CORRELAÇÃO (ACF)

A função auto-correlação é uma função que associa a cada valor de um intervalo de tempo, o seu respectivo coeficiente de correlação.

A representação gráfica da auto-correlação é chamada de autocorrelograma ou simplesmente correlograma.

Observa-se um decréscimo da função de auto-correlação à medida que se aumenta a distância entre as observações e, no caso das séries temporais, o decorrer do tempo. Pode-se dizer que os valores vizinhos guardam mais semelhança entre si do que os valores muito distantes.

A função auto-correlação é uma medida de interdependência entre as observações. Permite verificar a estacionaridade da série.

Ao construir o correlograma, o coeficiente não diminui rapidamente para zero a medida que  $k$  cresce, temos uma série não estacionária, caso contrário tem-se uma série estacionária (Barros, 2002).

Temos na Figura 5.15 a representação do correlograma da série de ventos utilizada neste trabalho. Na representação gráfica, o eixo das abcissas representa o intervalo de tempo (10 em 10 minutos), o eixo das ordenadas identifica o valor dos respectivos coeficientes de auto-correlação da série. Após uma análise do correlograma, identificou-se os coeficientes de auto-correlação mais relevantes. Constatou-se que quanto maior for o coeficiente de auto-correlação, maior será a sua relevância. Deste modo, conclui-se que os modelos de previsão de curto prazo terão um melhor desempenho que os modelos com um longo horizonte, isto porque os coeficientes de auto-correlação decrescem com o intervalo de regressão.

Constata-se na Figura 5.15 que os coeficientes de auto-correlação aumentam para intervalos próximos de cem, isto deve-se ao facto de existir uma sazonalidade diária.

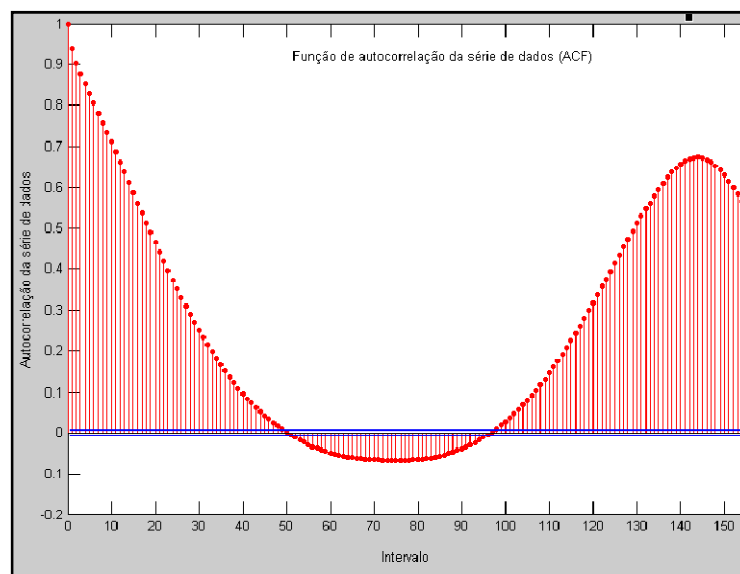


Figura 5.15 - Correlograma da série de vento utilizada neste trabalho

## 5.12 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE DADOS

Iniciou-se a exploração dos dados temperatura do ar, velocidade do vento e direcção utilizando umas das técnicas de visualização disponíveis na ferramenta *Clementine*, nomeadamente os *Web nodes*. Esta forma de apresentação gráfica facilita a interpretação dos relacionamentos existentes entre os dados e permite uma melhor identificação das variáveis mais influentes no modelo, neste caso a velocidade do vento.

## 5.13 CORRELAÇÃO CRUZADA

Os gráficos obtidos com a correlação cruzada permitem identificar algumas relações interessantes entre dois ou mais atributos simbólicos. As ligações são representadas graficamente, através de linhas. As relações mais fortes são desenhadas a traço mais espesso e mais carregado passando a traço menos carregado e menos espesso quando as relações são menos significativas. Dados não ligados indicam que não houve qualquer relação entre eles.

### 5.13.1 STREAM PARA CORRELAÇÃO CRUZADA

Na *Stream* da Figura 5.16, utilizou-se como *source node* o ícone *variable file* com os dados de velocidade do vento do período Janeiro 2006 a Dezembro 2007.

O gráfico obtido da Figura 5.17 demonstra que existe uma correlação da velocidade do vento no intervalo 1m/s - 11m/s com a direcção do vento no intervalo 120°-400°. Neste relacionamento verificou-se um total de 95.532 registos relacionados.

Do mesmo modo, nota-se que a velocidade do vento no intervalo 3m/s-11m/s está correlacionada com a temperatura do ar no intervalo 14°C-35°C, conforme se pode verificar na Figura 5.18. Perante a análise da Tabela 5.5, conclui-se que o relacionamento está presente em aproximadamente 105.120 registos.

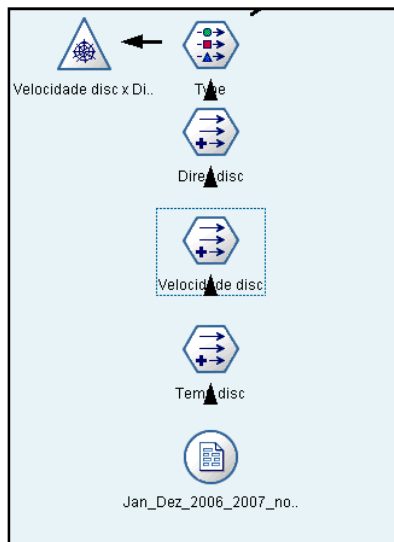


Figura 5.16 - Stream da correlação cruzada

### 5.13.2 VELOCIDADE DO VENTO COM A DIRECÇÃO DO VENTO

Este gráfico foi obtido com a Stream da Figura 5.16 e representa os relacionamentos existentes entre a velocidade de vento e a respectiva direcção. As linhas espessas de cor azul representam as relações mais fortes com a velocidade do vento. Neste caso foram consideradas apenas as relações mais significativas.

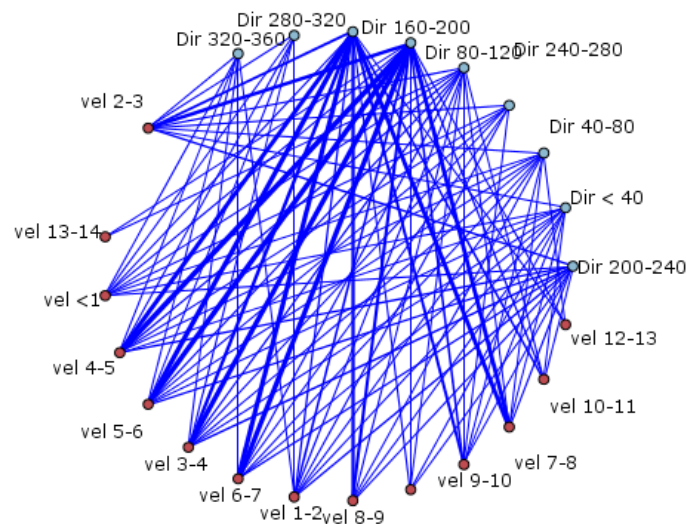


Figura 5.17 - Web Node que relaciona a velocidade do vento com a Direcção.

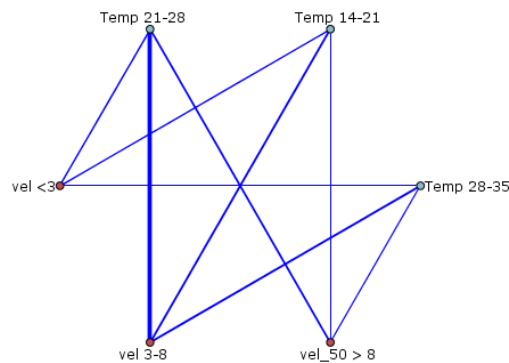
A Tabela 5.3 identifica as relações existentes entre a velocidade do vento e a direcção do vento, assim como a quantidade de relações existentes nas diferentes configurações.

**Tabela 5.3 - Tabela que relaciona a velocidade do vento com a Direcção**

Links	Field 1	Field 2
8.260	Velocidade disc = "vel 4-5"	Direc disc = "Dir 160-200"
7.994	Velocidade disc = "vel 5-6"	Direc disc = "Dir 160-200"
7.599	Velocidade disc = "vel 6-7"	Direc disc = "Dir 160-200"
7.585	Velocidade disc = "vel 3-4"	Direc disc = "Dir 160-200"
7.320	Velocidade disc = "vel 5-6"	Direc disc = "Dir 120-160"
7.261	Velocidade disc = "vel 6-7"	Direc disc = "Dir 120-160"
6.189	Velocidade disc = "vel 4-5"	Direc disc = "Dir 120-160"
5.858	Velocidade disc = "vel 7-8"	Direc disc = "Dir 120-160"
5.835	Velocidade disc = "vel 7-8"	Direc disc = "Dir 160-200"
4.802	Velocidade disc = "vel 2-3"	Direc disc = "Dir 160-200"
4.435	Velocidade disc = "vel 8-9"	Direc disc = "Dir 120-160"
4.365	Velocidade disc = "vel 3-4"	Direc disc = "Dir 120-160"
3.586	Velocidade disc = "vel 8-9"	Direc disc = "Dir 160-200"
3.010	Velocidade disc = "vel 9-10"	Direc disc = "Dir 120-160"
2.387	Velocidade disc = "vel 2-3"	Direc disc = "Dir 120-160"
1.701	Velocidade disc = "vel 9-10"	Direc disc = "Dir 160-200"
1.668	Velocidade disc = "vel 1-2"	Direc disc = "Dir 160-200"
1.377	Velocidade disc = "vel 10-11"	Direc disc = "Dir 120-160"
1.282	Velocidade disc = "vel 3-4"	Direc disc = "Dir 200-240"
1.223	Velocidade disc = "vel 2-3"	Direc disc = "Dir 200-240"
954	Velocidade disc = "vel 4-5"	Direc disc = "Dir 200-240"
841	Velocidade disc = "vel 1-2"	Direc disc = "Dir 200-240"

### 5.13.3 VELOCIDADE DO VENTO COM A TEMPERATURA DO AR

Este gráfico representa os relacionamentos existentes entre a velocidade de vento e a temperatura do ar. Em semelhança com o gráfico anterior, as linhas espessas de cor azul representam as relações mais fortes com a velocidade do vento. Neste caso, também só foram consideradas as relações mais significativas.



**Figura 5.18 - Web Node que relaciona a velocidade do vento com a Temperatura do ar**

**Tabela 5.4 - Tabela que relaciona a velocidade do vento com a Temperatura do ar.**

Strong Links

Links	Field 1	Field 2
46.091	Velocidade disc = "vel 3-8"	Temp disc = "Temp 21-28"
14.464	Velocidade disc = "vel 3-8"	Temp disc = "Temp 28-35"
14.314	Velocidade disc = "vel 3-8"	Temp disc = "Temp 14-21"
12.287	Velocidade disc = "vel_50 > 8"	Temp disc = "Temp 21-28"
7.234	Velocidade disc = "vel <3"	Temp disc = "Temp 21-28"
5.845	Velocidade disc = "vel <3"	Temp disc = "Temp 14-21"
3.062	Velocidade disc = "vel_50 > 8"	Temp disc = "Temp 28-35"
1.686	Velocidade disc = "vel <3"	Temp disc = "Temp 28-35"
137	Velocidade disc = "vel_50 > 8"	Temp disc = "Temp 14-21"

Esta Tabela mostra a quantidade de relações existentes entre a velocidade do vento e a temperatura do ar nas diferentes configurações.

Esta correlação não pode ser estudada com os dados disponíveis da base de dados porque estes correspondem aos valores médios que não têm em conta os gradientes médios diários. Porém existem situações específicas que devido à sua frequência se impõem estatisticamente. É o caso das brisas matinais e das brisas existentes ao anoitecer que correspondem a valores baixos da velocidade do vento com uma grande frequência.

## 5.14 CONCLUSÃO

Após a análise estatística da série constituída pelos dados de 2006 a 2007, verificou-se que esta é bastante oscilatória, tendo variações da velocidade do vento de 0 m/s a 14,08 m/s, assim como, uma média de 5,51 m/s e um desvio padrão de 2,24 m/s.

Conforme podemos constatar nas Figuras 5.7, 5.8, 5.9, e nas Tabelas 5.1 e 5.2, nota-se que os valores da velocidade do vento estão concentrados à volta da média com uma concentração para a esquerda (simetria de 0,15). O valor da *kurtosis* para uma distribuição normal é de -0,15.

De acordo com a Figura 5.15 verifica-se uma forte autocorrelação da velocidade do vento com o *time lag* (atraso no tempo).

Constata-se que os coeficientes de autocorrelação são positivos nos intervalos de tempo de zero a cinquenta, negativos entre cinquenta e cem e voltam a aumentar na proximidade do intervalo cem. Podemos concluir que este fenómeno deve-se ao facto de existir uma sazonalidade diária. Verifica-se na Figura 5.17 uma correlação entre a direcção do vento e a velocidade do vento que é devida à localização do parque eólico, as massas de água oceânicas e continentais, assim como, a orografia e outros fenómenos locais de zona.

De acordo com a Figura 5.18 constata-se uma correlação da temperatura do ar com a velocidade do vento. Como já referido anteriormente, não é aconselhável utilizar os dados da temperatura do ar disponíveis da base de dados porque estes são valores médios que não têm em conta os gradientes médios diários.

Este capítulo vereou, essencialmente, no estudo da amostra, pois é importante conhecer tão bem quanto possível os dados disponíveis para estudo.

Apresenta-se no próximo capítulo os diferentes testes de avaliação dos modelos de previsão eólica utilizando as técnicas de inteligência artificial para o desenvolvimento de modelos de previsão com um horizonte temporal de vinte e quatro horas.



## 6. MODELOS DE PREVISÃO EÓLICOS PROPOSTOS

Utilizaram-se, neste capítulo, as técnicas de inteligência artificial – Redes Neurais Artificiais (RNA) - para o desenvolvimento de modelos de previsão utilizando um horizonte temporal de vinte e quatro horas. Para o treino da rede neuronal foram utilizados os métodos disponibilizados pela ferramenta *Clementine*, nomeadamente os métodos *Quick*<sup>5</sup>, *Dynamic*<sup>6</sup>, *Multiple*<sup>7</sup>, *Prune*<sup>8</sup> e *RBFN*<sup>9</sup>. Procedeu-se ainda à avaliação quantitativa e qualitativa dos resultados obtidos.

---

<sup>5</sup> O processo de treino da rede tem início com a melhor previsão da saída pretendida, sendo normalmente mais rápido que os outros métodos (Watkins, 2000).

<sup>6</sup> O método *Dynamic* é útil na resolução de problemas complexos ou susceptíveis de *overtraining*. Normalmente apresenta melhores resultados que o método *Quick* embora seja mais demorado (Watkins, 2000).

<sup>7</sup> Permite treinar em paralelo diferentes saídas. Requer bastante tempo para apresentar resultados (Watkins, 2000).

<sup>8</sup> Este método é recomendado para treinar redes neuronais com um grande número de nodos de entrada e de camadas intermédias. À medida que a rede é treinada os níveis e camadas em excesso vão sendo removidos. Este tempo consome bastante tempo, mas apresenta normalmente bons resultados (Watkins, 2000).

<sup>9</sup> A função de base radial (RBFN) é uma técnica utilizada para a predição e classificação supervisionada. O RBFN olha para um conjunto dos dados como um sistema espacial, tendo como requisito a predefinição das saídas da rede, para que os modelos possam ser aplicados aos dados. Neste método os dados são treinados num única passagem, pelo que apresenta mais rapidamente resultados (Watkins, 2000).

## 6.1 INTRODUÇÃO

Actualmente, tem-se assistido a uma intensa integração da energia eólica no sistema eléctrico produtor. Dada a contribuição que esta forma de energia apresenta e atendendo à variabilidade do recurso primário, o vento, surgem vários problemas relacionados nomeadamente com a participação nos Mercados de Energia Eléctrica.

Numa lógica de mercado, os promotores eólicos ou os intermediários que os representem, terão que apresentar propostas de produção discretizadas de hora a hora com uma antecedência superior a 24 horas

Se o promotor tiver acesso a ferramentas que o pode informar acerca da produção prevista para um determinado período, este poderá planificar as manutenções dos equipamentos para os períodos com menor capacidade de produção.

O objectivo de avaliar e desenvolver modelos para a previsão horário da velocidade do vento é identificar o melhor modelo e a melhor técnica de abordagem para o problema.

Neste trabalho procedeu-se a avaliação dos modelos com base no cálculo do erro médio absoluto percentual (*MAPE*) estimado durante a fase de testes.

Os modelos realizados são os seguintes:

- Previsão para um horizonte temporal de 24 horas com 144 intervalos de 10 minutos.
- Previsão para um horizonte temporal de 24 horas com 24 intervalos de 1 hora.
- Previsão para um horizonte de 24 horas com 24 intervalos de 1 hora para criar modelos que permitam realizar a previsão do dia seguinte utilizando os dados previstos do dia anterior.

## 6.2 TÉCNICAS DE *DATA MINING* UTILIZADAS NA CARACTERIZAÇÃO

Os dados alvo de estudo foram disponibilizados pela rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais), e resultam de uma campanha realizada nos anos 2006 a 2008. A aplicação de técnicas de DM para a descoberta de conhecimento contido nestas bases de dados foi executada com recurso à ferramenta *Clementine*.

O *software Clementine* faculta um conjunto completo de funcionalidades de DM e uma boa interface para programação visual. A programação visual é, aliás, uma das características mais atractivas desta ferramenta, permitindo a construção de aplicações de DM de uma forma intuitiva e comportando a integração de todos os estágios do DM. É, assim, uma ferramenta que suporta todas as fases do processo de descoberta de conhecimento como, por exemplo, o acesso aos dados, restrições na análise de certos dados, visualização dos resultados em forma de texto, de Tabela ou de gráfico, etc.

Neste trabalho são utilizados algoritmos de Rede Neurais Artificiais (RNA), descritos no capítulo 6.10, para a obtenção e caracterização dos modelos de previsão da velocidade do vento.

### 6.3 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA

Os dados utilizados neste trabalho resultaram de uma campanha de recolha de informação ocorrida entre 2006 e 2008, pela rede SONDA em são João do Cariri – Brasil.

Os registos foram disponibilizados em suporte informático, sob o formato csv suportado pelo *Software Excel*, num total de 36 ficheiros (um ficheiro por cada mês do ano). Os nomes dos ficheiros estão disponíveis na Tabela 6.1.

**Tabela 6.1 - Nome dos ficheiros fornecidos pela Rede Sonda**

Nome Ficheiro	Mês	Ano	Nome Ficheiro	Mês	Ano	Nome Ficheiro	Mês	Ano
SCR0601WD.csv	Janeiro	2006	SCR0701WD.csv	Janeiro	2007	SCR0801WD.csv	Janeiro	2008
SCR0602WD.csv	Fevereiro	2006	SCR0702WD.csv	Fevereiro	2007	SCR0802WD.csv	Fevereiro	2008
SCR0603WD.csv	Março	2006	SCR0703WD.csv	Março	2007	SCR0803WD.csv	Março	2008
SCR0604WD.csv	Abril	2006	SCR0704WD.csv	Abril	2007	SCR0804WD.csv	Abril	2008
SCR0605WD.csv	Maio	2006	SCR0705WD.csv	Maio	2007	SCR0805WD.csv	Maio	2008
SCR0606WD.csv	Junho	2006	SCR0706WD.csv	Junho	2007	SCR0806WD.csv	Junho	2008
SCR0607WD.csv	Julho	2006	SCR0707WD.csv	Julho	2007	SCR0807WD.csv	Julho	2008
SCR0608WD.csv	Agosto	2006	SCR0708WD.csv	Agosto	2007	SCR0808WD.csv	Agosto	2008
SCR0609WD.csv	Setembro	2006	SCR0709WD.csv	Setembro	2007	SCR0809WD.csv	Setembro	2008
SCR0610WD.csv	Outubro	2006	SCR0710WD.csv	Outubro	2007	SCR0810WD.csv	Outubro	2008
SCR0611WD.csv	Novembro	2006	SCR0711WD.csv	Novembro	2007	SCR0811WD.csv	Novembro	2008
SCR0612WD.csv	Dezembro	2006	SCR0712WD.csv	Dezembro	2007	SCR0812WD.csv	Dezembro	2008

A rede SONDA também disponibiliza os ficheiros com a qualidade dos dados. Esse ficheiro permite-nos identificar a percentagem de dados errados.

## **6.4 PREPARAÇÃO DOS DADOS PARA *DATA MINING***

As bases de dados foram disponibilizadas em ficheiros com formato cvs. Ainda acerca da folha da Tabela B1 do anexo B, esta representado parte do ficheiro denominado SCR0601WD.csv com os valores dos atributos do parque de São João do Cariri do mês de Janeiro de 2006 com uma cadência de 10 minutos. Em cada um destes ficheiros é registado não só o valor da velocidade do vento como também o dia da semana, a data, a hora, o sítio, os minutos, a direcção do vento e a temperatura do ar. No total, existem 36 ficheiros deste tipo, totalizando 160.704 registos.

## **6.5 LIMPEZA DOS DADOS**

A operação de limpeza dos dados é crucial para a obtenção de resultados válidos e relevantes. Antes de se proceder ao manuseamento dos dados, de forma a ser retirado conhecimento, é necessário proceder à sua inspecção, ou seja, identificar e eliminar dados errados.

A fase de limpeza de dados consiste, essencialmente, no tratamento de dados omissos, conversão de dados não numéricos para valores numéricos, eliminação de dados errados, etc.

No ano de 2008 verificaram-se ficheiros com suspeita de dados anómalos, os quais foram alvo de análise. No entanto, não se verificou a existência de dados anómalos nos ficheiros relacionados com os anos 2006 e 2007.

## **6.6 TRATAMENTO DOS DADOS EM FALTA**

De forma a completar a totalidade dos registos da base de dados foram estimados valores de temperatura. Nos ficheiros que apresentavam falta de registos numa cadência igual ou inferior a 1 hora, os dados em falta foram estimados por interpolação.

No caso em que foram detectados dados em falta superiores a 1 hora, procedeu-se à estimativa dos valores em falta, recorrendo-se à utilização de uma rede neuronal artificial.

Assim, com base no histórico dos dados da rede SONDA treinou-se a rede neuronal, utilizando o *software Clementine*, para previsão do atributo temperatura em falta. A Figura 6.1 mostra a *stream* utilizada para criação da rede neuronal com recurso ao *software* mencionado.

Esta Figura é composta por uma série de nós com funções distintas e específicas. Na secção 6.9 é feita uma descrição de cada um destes nós, para além de outros, pelo que não será feita agora essa exposição.

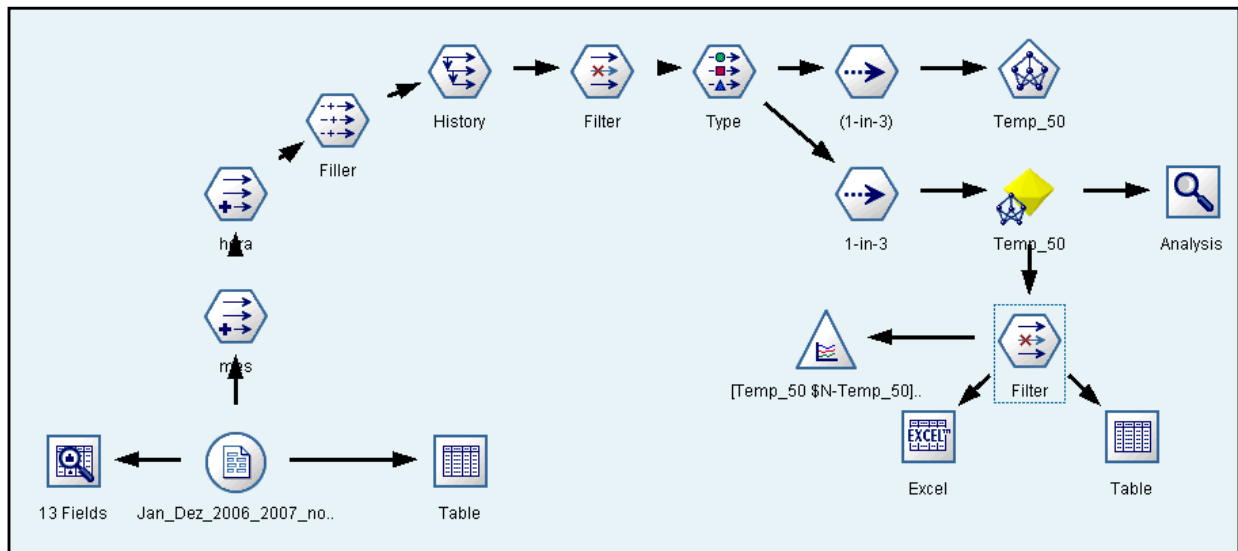


Figura 6.1 - Stream da Rede Neuronal para previsão de valores em falta

### 6.6.1 DADOS DE ENTRADA DA REDE NEURONAL

A rede neuronal implementada, conforme Figura 6.1, teve como objectivo o preenchimentos de dados em falta, designadamente valores de temperatura (altura 50 m), com o intuito de aproveitar a base de dados para estudo.

Do conjunto dos dados iniciais, 2/3 foram utilizados para treinar a rede neuronal artificial e 1/3 dos dados foram usados para teste. Na secção seguinte apresentam-se os resultados obtidos.

### 6.6.2 DADOS DE ENTRADA DA REDE NEURONAL

A Figura 6.2 representa o gráfico da temperatura à saída da rede neuronal. A curva a azul representa a temperatura real, registada pelo anemómetro de 10 em 10 minutos no parque eólico, no qual foram detectadas falha de registos. A curva a vermelho representa os valores da temperatura estimada

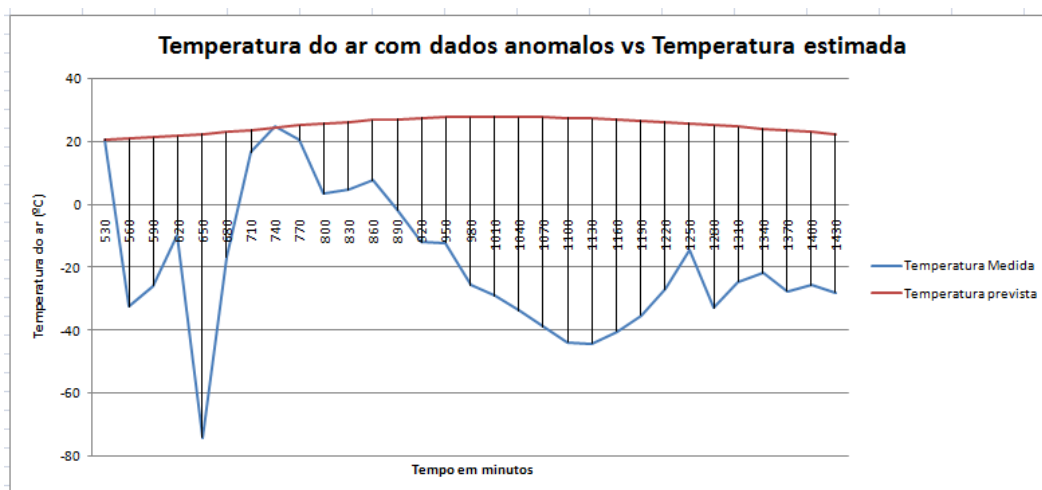


Figura 6.2 - Temperatura do ar com erros de medição vs temperatura estimada

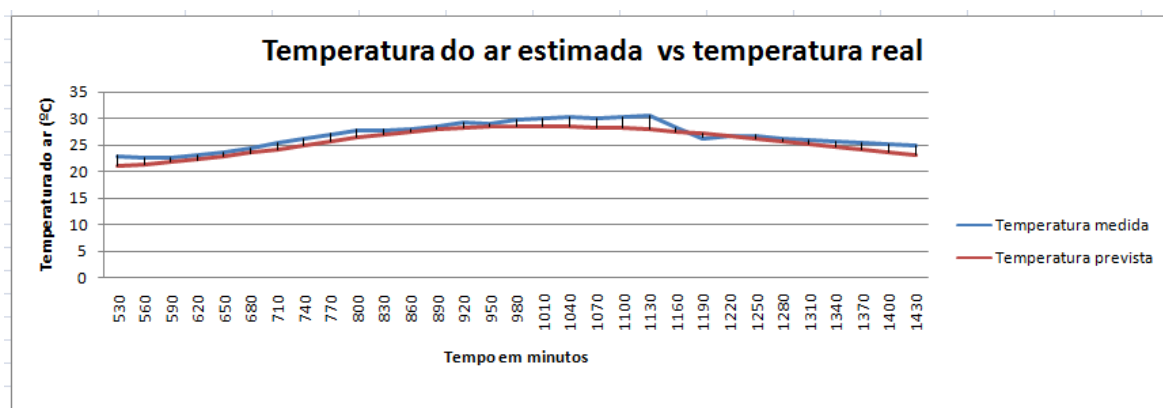


Figura 6.3 - Comparação da temperatura real com valores estimados

Na Figura 6.3, constata-se que os valores previstos aproximam-se dos valores reais pela análise do histórico da base de dados. Com a informação do valor dessa temperatura do ar estimada procedeu-se, de seguida, ao preenchimento dos respectivos valores em falha, de modo a ser feito, posteriormente, o tratamento completo dos dados. Para a previsão da temperatura do ar foram utilizados os dados previstos do dia anterior permitindo a “re-utilização” dos atributos de saída como dados de entrada da rede neuronal para previsão dos valores do dia seguinte (“*looping*”).

## 6.7 NORMALIZAÇÃO DOS DADOS

Após a estimação dos valores em falta e da redução do volume de dados, torna-se agora necessário efectuar a sua normalização. De facto, a redução dos dados a uma mesma escala é fundamental para o estudo dos mesmos, assim como facilitar o treino das redes neuronais.

A escolha do factor de normalização a utilizar deve ser feita considerando os dados disponíveis, à análise que se pretende efectuar e o tipo de resultados finais que se deseja obter. O tipo de normalização a usar, neste trabalho, deverá permitir comparar a forma dos gráficos representativos, de forma a determinar o melhor modelo para a previsão da velocidade do vento.

Foi utilizada a velocidade do vento máxima e mínima como factor de normalização, assim como, a direcção máxima e mínima do vento e temperatura máxima e mínima do ar. Este tipo de normalização é designado por normalização Min-Máx, já abordado na secção 5.2.4. e foi adoptado para o presente estudo.

A expressão 6.1 corresponde ao factor de normalização utilizado:

$$\overline{X}(k) = \frac{0,1 \cdot (X_{\max} - X(k)) - 0,9 \cdot (X_{\min} - X(k))}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (6.1)$$

Sendo:

$\overline{X}(k)$  - valor normalizado para o instante  $k$  ;

$X_{\max}$  - valor máximo da amostra;

$X(k)$  - valor da leitura no instante  $k$  ;

$X_{\min}$  - valor mínimo da amostra;

$k$  - índice referente ao instante em que o registo foi efectuado.

Com este tipo de normalização todos os gráficos representativos da velocidade do vento, direcção do vento e temperatura do ar apresentam valores pertencentes ao intervalo [0,1,0,9]. Este tipo de normalização realiza uma transformação linear do conjunto de entrada original e

preserva exactamente todas as relações iniciais dos valores dos dados, não introduzindo qualquer alteração nos mesmos (Rodrigues, 2000).

A título de exemplo, nas Tabelas C1, C2 e C3 do anexo C são apresentadas, partes de uma folha de cálculo com os dados anemométricos de 2006 a 2008 do parque eólico de São João do Cariri com os atributos da velocidade e direcção do vento, assim como a temperatura do ar normalizados no mesmo período de tempo.

## **6.8 MODELOS DE PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO**

### **6.8.1 INTRODUÇÃO**

A metodologia utilizada para testar e comparar o desempenho dos modelos de previsão da velocidade do vento envolve a utilização de um conjunto de dados de teste independente de quaisquer dados utilizados para treinar, afinar ou validar o modelo.

Quando se procura estabelecer um modelo de previsão e testá-lo, verificam-se então diversos conjuntos de dados apropriados, um conjunto de dados para treino e um conjunto de dados para teste, que devem ser definidos. O conjunto de dados de treino deverá ser utilizado a fim de estabelecer, experimentar ou afinar o modelo, ao passo que o conjunto de dados de teste (que não é utilizado de maneira alguma para o desenvolvimento do modelo) deverá ser apenas utilizado para a medição do desempenho do modelo, com base em medidas de erros a ter em consideração.

Aquando da afinação e da comparação do desempenho de modelos competitivos, os princípios básicos para uma boa técnica experimental devem ser utilizados, o que inclui apenas a mudança de uma variável a um determinado momento e a utilização dos mesmos dados de experimentação e medidas de erros a fim de obter comparações válidas.

### **6.9 APLICAÇÃO DE ALGORITMOS DE *DATA MINING***

Após avaliação dos dados, procedeu-se à aplicação de técnicas de *Data Mining* para construção de modelos de previsão da velocidade do vento. Os dados foram divididos em dois conjuntos. O primeiro que contém os dados do período 2006 a 2007 será utilizado para construir e treinar a rede neuronal, e o segundo, com dados de 2008, vai permitir testar e validar esta última.



De seguida, descreve-se os principais tipos de nós, a configuração de cada um, assim como, os elementos constituintes de uma *Stream* de treino.

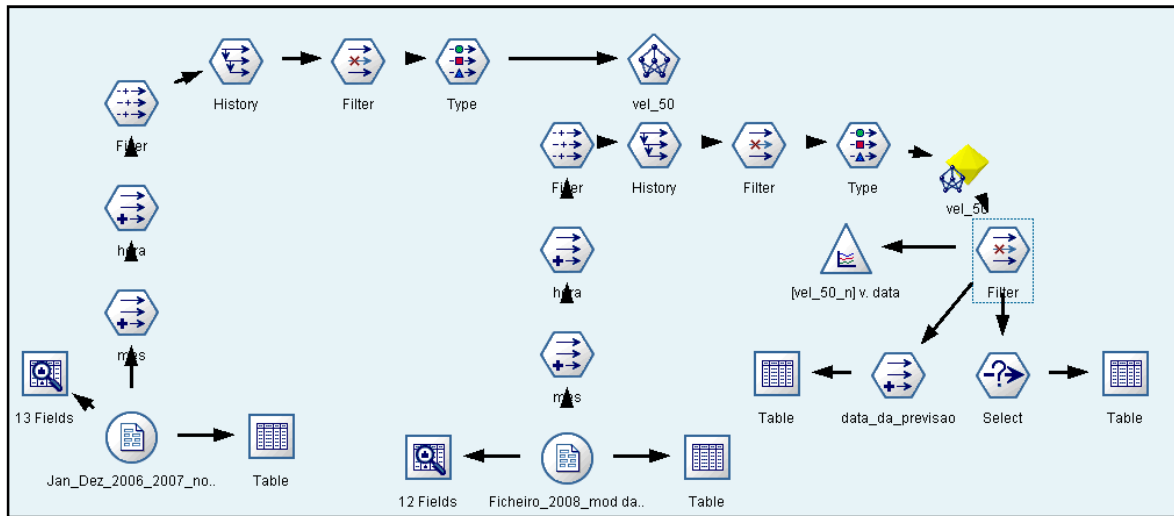


Figura 6.4 - *Stream* de treino e de teste da rede neuronal

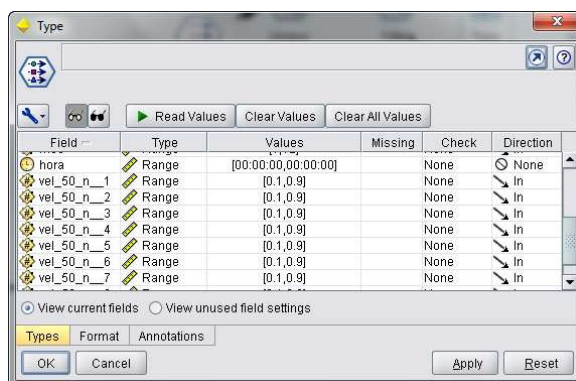
A fim de treinar a rede neuronal, utilizou-se como *source node* o ícone *variable file* com os dados de velocidade do vento do período de Janeiro 2006 a Dezembro 2007, assim como o método de treino disponibilizado pelo *software Clementine*, o método *Quick*.

Para testar usou-se os dados de Janeiro 2008 a Dezembro de 2008.

O processo de treino da rede tem início

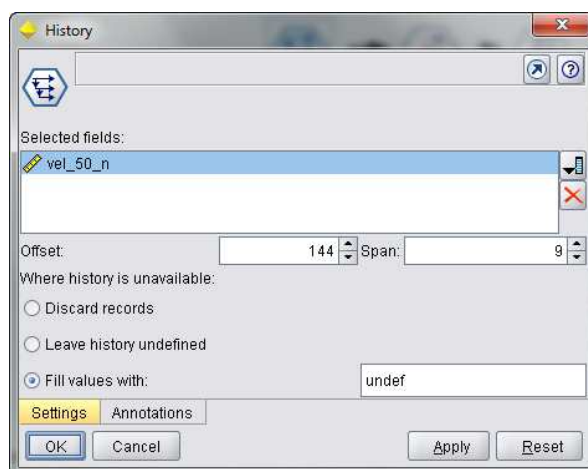
Da Figura 6.4, salienta-se os principais tipos de nós:

- Nó origem: nó de entrada que importa dados provenientes de ficheiros ou Tabelas. Segundo o exemplo apresentado, foi utilizado um ficheiro de texto com extensão. txt - Jan\_Dez\_2006\_2007\_normalizado.txt.
- Nó *type*: Este nó permite definir os atributos como sendo de entrada (*In*), de previsão (*Out*) ou de exclusão (*None*), conforme o representado na Figura 6.5.



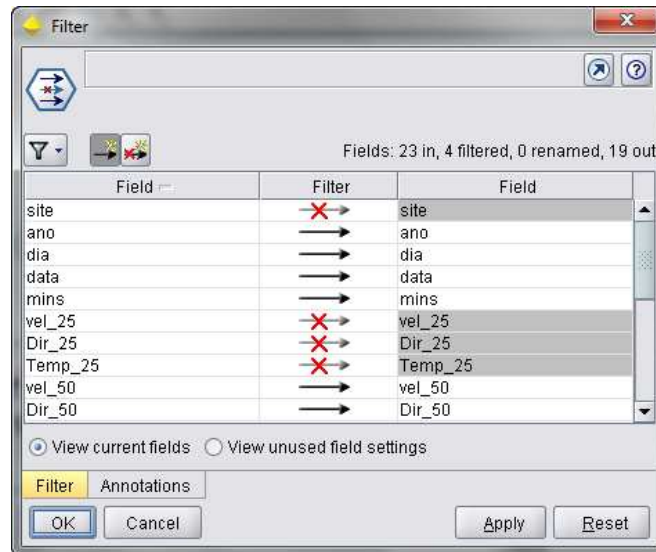
**Figura 6.5 - Definição das variáveis de entrada.**  
(No *Type* utilizado na *stream* 6.4)

- *Nó histórico*: nó que permite reter valores de registos anteriores em dados sequenciais, sendo este bastante importante quando se trata de séries temporais de dados.
- *Offset*: especifica o último registo anterior ao registo actual, a partir do qual se pretende extrair valores.
- *Span*: especifica a quantidade de registos que se pretende adicionar a base de dados histórica para extrair informação, com base na localização especificada pelo *Offset*.



**Figura 6.6 - Selecção dos campos a simular.**  
(*Nó History* utilizado na *Stream* da Figura 6.4)

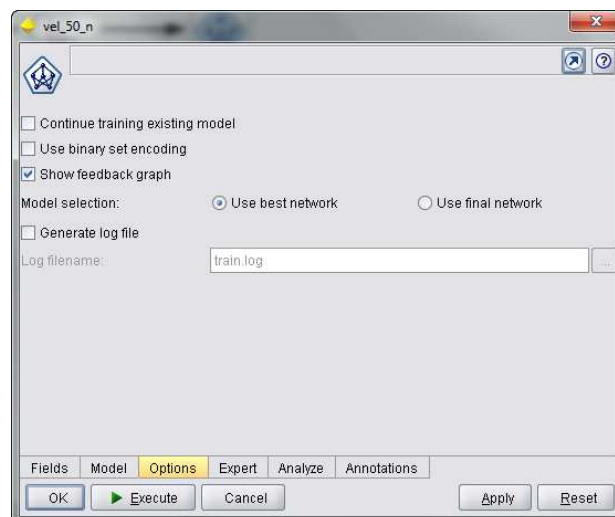
- *Nó filter*: Este nó permite filtrar a informação.



**Figura 6.7 - Campos excluídos da operação.**

(Nó *Filter* utilizado na *Stream* da Figura 6.4)

- *Nó neural Net*: Este nó permite criar e treinar uma rede neuronal para previsão de um valor específico. Depois de treinar a rede, os dados obtidos são disponibilizados num nó diamante.



**Figura 6.8 - Configuração da rede neuronal.**

(Nó *Neural Net* utilizado na *Stream* da Figura 6.4)

- *Nó Diamante*: nó que detém os processos de DM na forma de modelos de treino.

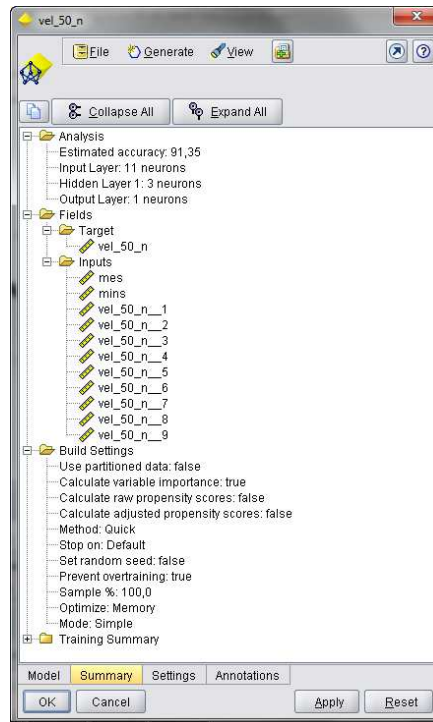


Figura 6.9 - Nó Diamante utilizado na *Stream* da Figura 6.4

- Nó *table*: os dados são disponibilizados sob a forma de Tabela.
- Nó *plot*: conforme a Figura 6.10, constata-se que os campos seleccionados, para a criação do gráfico, são o intervalo de tempo no eixo das abcissas (intervalo de 10 minutos) e no eixo das coordenadas a velocidade real do vento e a prevista.

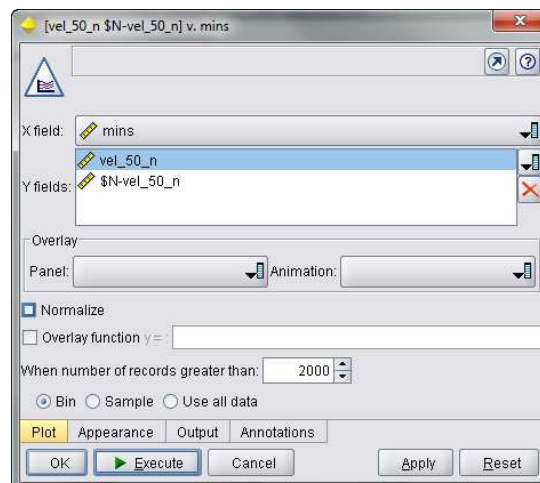


Figura 6.10 - Campos seleccionados para criar o gráfico.

## 6.10 PREVISÃO PARA UM HORIZONTE TEMPORAL DE 24 HORAS COM 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS

Todos os modelos desenvolvidos neste trabalho utilizam redes neuronais do tipo *Multi-Layer Perceptron* com três camadas: camada de entrada, camada oculta e a camada de saída.

Para este caso de estudo e para o horizonte de previsão escolhido, foram desenvolvidos oito modelos com diferentes características, de modo a identificar o melhor a ser utilizado para a previsão da velocidade do vento.

Foram, ainda, realizados um conjunto de testes no *software Clementine* para avaliar qual a configuração do método utilizado que apresentaria um menor erro médio absoluto em percentagem (MAPE). Para o efeito, utilizou-se a *Stream* de teste da Figura 6.11. A configuração da rede neuronal está definida na Figura 6.12

A configuração de cada teste encontra-se discriminada na Tabela 6.2.

### 6.10.1 STREAM PARA PREVISÃO 24 HORAS COM 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS

A Figura 6.11 mostra a *stream* utilizada no processamento de dados dos diferentes casos de teste da Tabela 6.1. Em todos os testes realizados, a *stream* manteve a mesma configuração, alterando-se apenas os valores “*Offset*”<sup>10</sup> e “*Span*”<sup>11</sup> do nó Histórico e os atributos no nó *Type*, conforme indicado na Tabela 6.2.

Para treinar a rede neuronal (identificada por “a”), conforme representado na *stream* da Figura 6.11), aplicou-se como *source node* o ícone *variable file* com os dados de velocidade do vento do período de Janeiro 2006 a Dezembro 2007 numa totalidade de 108.096 registos (66% da base de dados), assim como o método de treino disponibilizado pelo *software Clementine*. Para

---

<sup>10</sup> Especifica o último registo anterior ao registo actual, a partir do qual se pretende extrair valores.

<sup>11</sup> Especifica a quantidade de registos que se pretende adicionar a base de dados histórica para extrair informação, com base na localização especificada pelo *Offset*.

testar a rede (parte “b”), conforme representado na *stream* da Figura 6.11), aplicou-se os dados de Janeiro a Dezembro de 2008 representando uma totalidade de 57.024 registos (33% da base de dados), o método utilizado foi o *Quick* por ser o que apresentava bons resultados num tempo de processamento da ordem dos minutos.

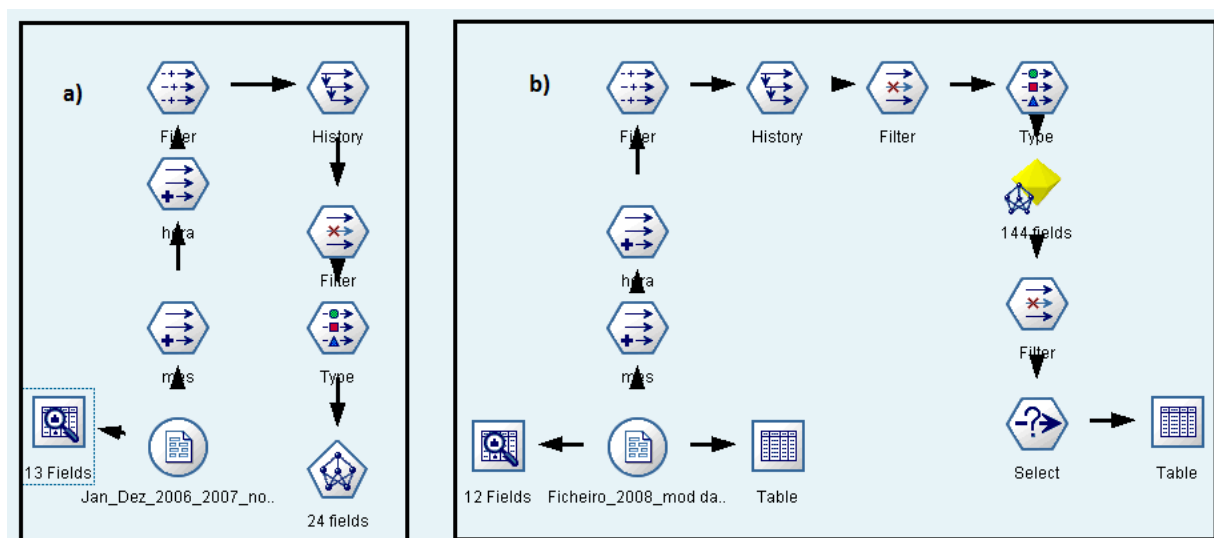


Figura 6.11 - *Stream* da previsão para 24 horas com 144 intervalos de 10 minutos

## 6.10.2 CASO DE TESTE 1

### 6.10.2.1 ARQUITECTURA DA REDE

Conforme podemos verificar na Figura 6.12, a arquitectura da rede neuronal do teste de ensaio nº1 é constituída por uma camada de entrada de 11 neurónios; uma camada escondida com 3 neurónios e um neurónio como camada de saída.

É de salientar também que os atributos de entrada são constituídos de nove entradas da velocidade do vento (*vel\_50\_n\_1* até *vel\_50\_n\_9*) que antecedem o horizonte de previsão, o mês do ano (*mês*) e a hora do dia em minutos (*mins*).

Verifica-se também uma saída que representa a previsão da velocidade do vento no instante  $k+1$  (*vel\_50\_n*).

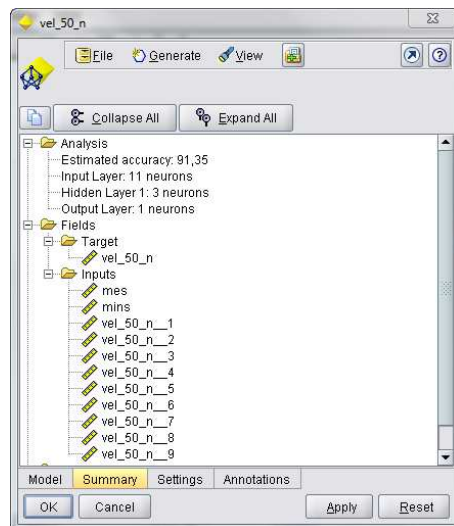


Figura 6.12 - Arquitetura da rede neuronal

De seguida apresenta-se o diagrama ilustrando a arquitetura do modelo neuronal para este caso de teste nº1. Como se pode observar, na rede neuronal artificial, os atributos de entrada são constituídos pela velocidade do vento, o mês do ano e pelo intervalo de tempo em minutos. A rede neuronal está constituída por três camadas, uma de entrada com 11 neurónios, 1 camada escondida com 3 neurónios e uma camada de saída constituída por um neurónio.

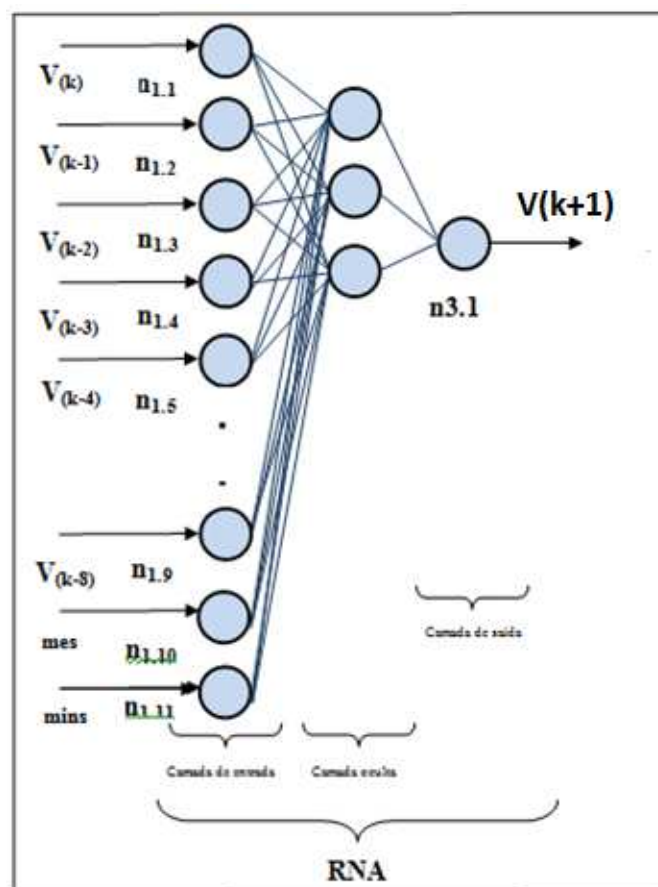


Figura 6.13 - Modelo Neuronal de previsão de 24 horas (caso teste nº1)

Apresenta-se na Tabela 6.2 as diversas configurações das redes neuronais utilizadas nos restantes casos de teste a realizar, ou seja, realizaram-se oito modelos distintos nos quais se efectuaram 38 simulações em cada um deles, totalizando 304 simulações por este caso de estudo.

Conforme se poderá observar na Tabela 6.2 foram efectuados diversos testes com diferentes combinações dos dados de entrada bem como do valor do *span* permitindo aumentar ou reduzir a quantidade de registos na entrada da rede neuronal, mostrando os resultados obtidos na secção seguinte.

**Tabela 6.2 - Caso de estudo – modelos com 144 intervalos de 10 minutos**

Teste	Entradas	Variável Entrada	Nº neurónios	Intervalo (Entrada)	Saída	Variável Saída	Intervalo (Saída)	Neurónios escondidos	Span	Offset
Teste1	Mês do ano.	mes	1	k até k-8	Vel. vento	\$N-vel_50_n	k+1	1:3	9	144
	A hora do dia em	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_n	9							
Teste2	Mês do ano.	mes	1	k até k-8	Vel. vento	\$N-vel_50_n	k+1	1:3	9	144
	A hora do dia em	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_n	9							
Teste3	Mês do ano.	mes	1	k até k-17	Vel.	\$N-vel_50_n	k+1	1:3	18	144
	A hora do dia em	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_n	18							
Teste4	Mês do ano.	mes	1	k até k-17	Vel. Vento	\$N-vel_50_n	k+1	1:3	18	144
	A hora do dia em	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_n	18							
Teste5	Mês do ano.	mes	1	k até k-35	Vel.	\$N-vel_50_n	k+1	1:3	36	144
	A hora do dia em	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_n	36							
Teste6	Mês do ano.	mes	1	k até k-35	Vel. Vento	\$N-vel_50_n	k+1	1:3	36	144
	A hora do dia em	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_n	36							
Teste7	Mês do ano.	mes	1	k até k-71	Vel.	\$N-vel_50_n	k+1	1:3	72	144
	A hora do dia em	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_n	72							
Teste8	Mês do ano.	mes	1	k até k-71	Vel. Vento	\$N-vel_50_n	k+1	1:7	72	144
	A hora do dia em	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_n	72							
	Direcção do vento.	Dir_50_n	72							

## 6.10.2.2 RESULTADOS OBTIDOS

### 6.10.2.2.1 GRÁFICOS DE SAÍDA

A partir da análise da Figura 6.14, constata-se que o valor estimado da velocidade do vento, representado de cor vermelho, acompanha a tendência do vento no decorrer do dia.





Figura 6.14 – Previsão do vento do dia 8/01/2008 (MAPE: 17,03%) – Teste 1

Na Figura 6.15 apresenta-se o desempenho do modelo neuronal para previsão da velocidade do vento num horizonte de vinte e quatro horas. Observa-se aqui que a maior parte dos erros cometidos encontra-se no intervalo [-1, 1] m/s.

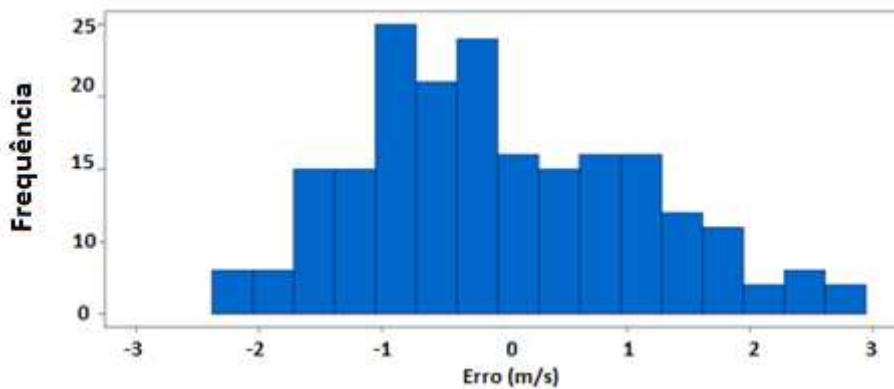


Figura 6.15 - Histograma do Erro para o modelo do dia 7/01/2008

Constata-se que na Tabela 6.3, o erro médio absoluto horário (MAE) foi de 0,919 m/s, o erro máximo 2,778 m/s, o erro mínimo -2,386 m/s e o erro médio -0,03 m/s.

Tabela 6.3 - Valores de comparação entre velocidade medida e prevista

Comparing \$N-vel_50 with vel_50	
Minimum Error	-2,386
Maximum Error	2,778
Mean Error	-0,03
Mean Absolute Error	0,919
Standard Deviation	1,128
Linear Correlation	0,822
Occurrences	144

Após análise da Tabela 6.5 verificou-se que para um conjunto de 38 ensaios, do caso de teste 1, o valor médio do erro médio absoluto em percentagem - MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) é de 22,64%.

## 6.10.3 CASO DE TESTE 2

### 6.10.3.1 ARQUITECTURA DA REDE

Em relação ao teste anterior, acrescentou-se neste apenas a variável da direcção do vento, assim sendo, as variáveis de entrada são constituídas de nove entradas da velocidade do vento, nove entradas da direcção do vento, mês do ano e a hora do dia em minutos e uma saída com a previsão do vento no instante  $k+1$ .

A rede possui 20 neurónios de entrada (9 para direcção do vento, 9 para velocidade do vento, 1 para o mês e 1 para hora do dia).

### 6.10.4 GRÁFICO DE SAÍDA – COM DIRECÇÃO DO VENTO

Aqui também, o valor estimado da velocidade do vento acompanha a tendência da velocidade do vento medido no decorrer do dia.

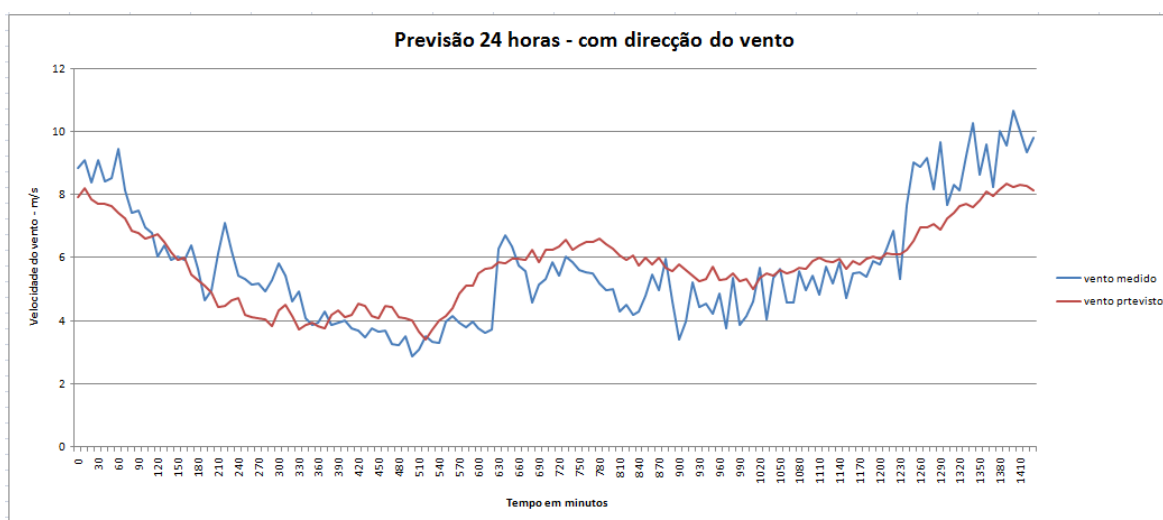


Figura 6.16 - Previsão do vento para o dia 8/01/2008 (MAPE: 16,74%) – resultados do teste 2

Pode-se constatar na Figura 6.17 o desempenho do modelo neuronal para a previsão da velocidade do vento num horizonte de vinte e quatro horas. Observa-se que o mínimo desvio da previsão ocorre para velocidade do vento mais de 1 m/s.

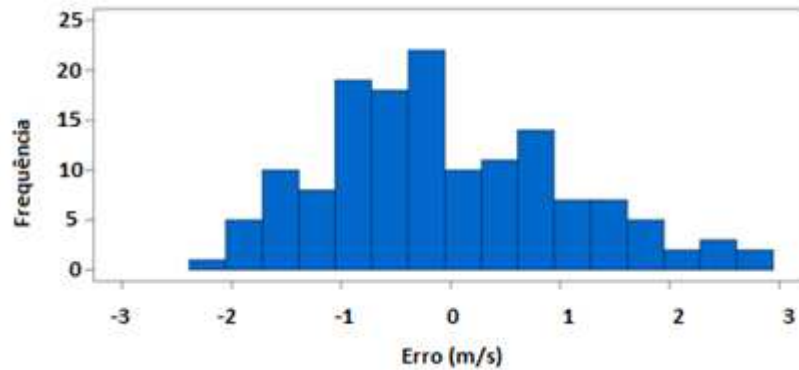


Figura 6.17 - Histograma do Erro para o modelo com direcção do vento (do dia:8/01/2008)

Conforme os valores da Tabela 6.4, constata-se que o erro médio absoluto horário (MAE) obtido foi de 0,898 m/s. O erro máximo obtido foi de 2,78 m/s. O erro mínimo foi de -2,387 m/s e finalmente, o erro médio foi de -0,042 m/s.

Tabela 6.4 - Valores de comparação entre velocidade medida e prevista

Comparing \$N-vel\_50 with vel\_50

Minimum Error	-2,387
Maximum Error	2,78
Mean Error	-0,042
Mean Absolute Error	0,898
Standard Deviation	1,102
Linear Correlation	0,831
Occurrences	144

Após configuração da rede, procedeu-se ao processamento dos dados conforme a configuração do caso de teste 2, verificou-se que para um conjunto de 38 ensaios o valor médio do erro médio absoluto em percentagem – MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) é de 21,94%. Os resultados obtidos mostram que a utilização dos dados da direcção do vento melhora o valor do MAPE em 0,71% relativamente ao valor obtido no caso de teste 1.

Como podemos constatar na Tabela 6.5 encontra-se um resumo dos valores do MAPE de todos os casos de teste realizados para a previsão de vento de 24 horas com 144 intervalo de 10 minutos. Realizaram-se 38 ensaios por cada teste o que perfaz um total de 304 testes. Os testes com numeração ímpar foram processados na rede neuronal sem o atributo direcção do vento, já os de numeração par incluíram essa mesma direcção.

Nota-se que os valores da direcção do vento no caso do teste 8 não influenciaram de maneira significativa a variável de saída – velocidade do vento. O MAPE obtido com a direcção do vento é de 21,52%, enquanto, sem direcção do vento o erro é de 21,48%.

Tabela 6.5 - Resumo MAPE

Caso de estudo	Direcção do vento	Span	MAPE	Nº de ensaios
Teste 1	não	9	22.64%	38
Teste 2	sim	9	21.94%	38
Teste 3	não	18	21.83%	38
Teste 4	sim	18	21.74%	38
Teste 5	não	36	21.54%	38
Teste 6	sim	36	21.42%	38
Teste 7	não	72	21.48%	38
Teste 8	sim	72	21.52%	38

De acordo com a Figura 6.18 verifica-se que o menor valor obtido do MAPE foi de 21,42% no caso do teste 6. A rede neuronal artificial deste modelo tem uma arquitectura de 74 neurónios de entrada e um de saída. Os quatro atributos de entrada são o mês do ano, intervalo de tempo em minutos, a velocidade e a direcção do vento. O valor do *span* é de 36.

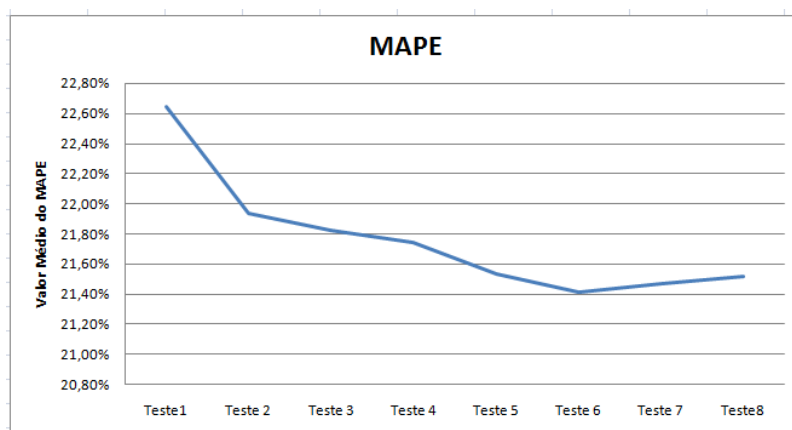


Figura 6.18 - Valores médios do MAPE

Na Tabela D1 do anexo D pode-se analisar os valores dos MAPE dos restantes casos de teste, assim como, nas Tabelas dos anexos E até K os valores do MAPE de alguns ensaios com os respectivos Figuras de comparação da saída da velocidade do vento com a velocidade prevista.

## 6.11 PREVISÃO PARA UM HORIZONTE DE 24 HORAS – 24 INTERVALOS DE 1 HORA

Para este horizonte de previsão, foram desenvolvidos 16 modelos para permitir identificar o modelo com menor erro de previsão. Estes modelos estão identificados na Tabela 6.6.

### 6.11.1 *STREAM* PARA PREVISÃO 24 HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA

A *Stream* utilizada para processar os dados dos 16 casos de teste é a *stream* da Figura 6.11. Manteve-se a mesma configuração, para todos os casos de teste, alterando-se apenas os valores “*Offset*” e “*Span*” do nó Histórico e os atributos no nó *Type*. Aplicou-se como *source node* o ícone *variable file* com os dados de velocidade do vento do período de Janeiro 2006 a Dezembro 2007 e de Janeiro a Dezembro de 2008 com a cadência dos dados de hora a hora.

### 6.11.2 CASO DE TESTE 1

#### 6.11.2.1 ARQUITECTURA DA REDE

Encontra-se, na Figura 6.19, a arquitectura da rede utilizada na construção deste modelo. As variáveis são seis entradas correspondentes a velocidade do vento que antecedem o horizonte de previsão, o mês do ano e a hora do dia. Constata-se também uma saída que representa as previsões no tempo  $k+1$ .

A entrada da rede neuronal está constituída por uma camada de 8 neurónios; uma camada escondida de 3 neurónios e um neurónio como camada de saída.

É de salientar também que os atributos de entrada são constituídos de nove entradas da velocidade do vento (*vel\_50\_med\_1* até *vel\_50\_med\_6*) que antecedem o horizonte de previsão, o mês do ano (*mês*) e a hora do dia em minutos (*mins*). Verifica-se também uma saída que representa a previsão da velocidade do vento no instante  $k+1$  (*vel\_50\_med*).

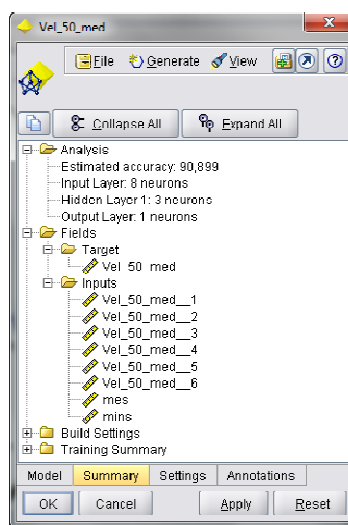


Figura 6.19 - Arquitectura da rede neuronal

Na Figura seguinte, as variáveis de entrada e a variável de saída do caso de teste 1 em estudo representa-se a configuração da rede neuronal que é constituída pelos neurónios de entrada, ocultos e de saída.

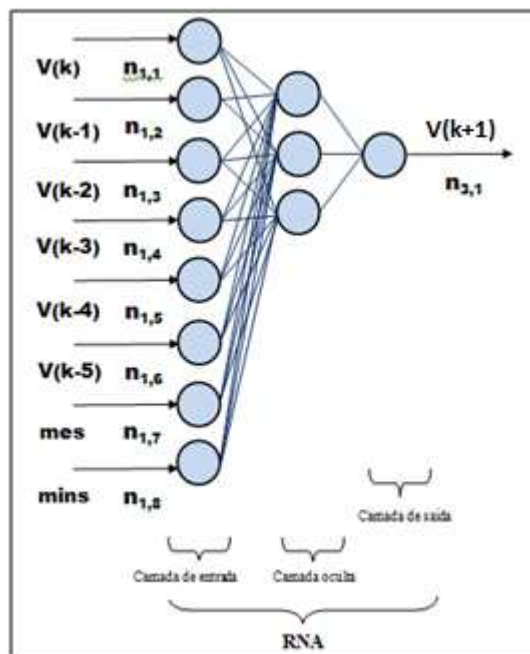


Figura 6.20 – Modelo neuronal de previsão até 24 horas com direcção do vento

Apresenta-se na Tabela 6.6 as diversas configurações das redes neuronais utilizadas nos restantes casos de teste a realizar, ou seja, realizaram-se oito modelos distintos nos quais se efectuaram 19 simulações em cada um deles, totalizando 304 simulações para este caso de estudo.

Poderá, ainda, observar-se na Tabela 6.6 os diversos testes efectuados com diferentes combinações dos dados de entrada bem como do valor do *span*, reportando-se os resultados obtidos na secção seguinte.

**Tabela 6.6 - Caso de estudo – modelos com 24 intervalos de 1 hora**

Teste	Entradas	Variável Entrada	Nº neurónios	Intervalo (Entrada)	Saída	Variável Saída	Intervalo (Saída)	Neurónios escondidos	Span	Offset
Teste1	Mês do ano.	mes	1	k até k-5	Vel. vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:3	6	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	6							
Teste2	Mês do ano.	mes	1	k até k-5	Vel. vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:3	6	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	6							
	Direcção do vento.	Dir_50_med	6							
Teste3	Mês do ano.	mes	1	k até k-5	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:3	6	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	6							
	Direcção do vento.	Dir_50_med	6							
Teste4	Mês do ano.	mes	1	k até k-5	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:3	6	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	6							
	Temperatura do ar	Temp_50_med	6							
Teste5	Mês do ano.	mes	1	k até k-11	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:3	12	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	12							
Teste6	Mês do ano.	mes	1	k até k-11	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:3	12	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	12							
	Temperatura do ar	Temp_50_med	12							
Teste7	Mês do ano.	mes	1	k até k-11	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:3	12	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	12							
	Direcção do vento.	Dir_50_med	12							
Teste8	Mês do ano.	mes	1	k até k-11	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:7	12	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	12							
	Temperatura do ar	Temp_50_med	12							
Teste9	Mês do ano.	mes	1	k até k-17	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:4	18	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	18							
Teste10	Mês do ano.	mes	1	k até k-17	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:8	18	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	18							
	Temperatura do ar	Temp_50_med	18							
Teste11	Mês do ano.	mes	1	k até k-17	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:3	18	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	18							
Teste12	Mês do ano.	mes	1	k até k-17	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:3	18	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Temperatura do ar	Temp_50_med	18							
Teste13	Mês do ano.	mes	1	k até k-23	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:7	24	24
	Velocidade do vento.	vel_50_med	24							
Teste14	Mês do ano.	mes	1	k até k-23	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:4	24	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	24							
	Temperatura do ar	Temp_50_med	24							
Teste15	Mês do ano.	mes	1	k até k-23	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:8	24	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	24							
Teste16	Mês do ano.	mes	1	k até k-23	Vel. Vento	\$N- vel_50_med	k+1	1:3	24	24
	A hora do dia em minutos.	mins	1							
	Velocidade do vento.	vel_50_med	24							
	Temperatura do ar	Temp_50_med	24							

## 6.11.2.2 RESULTADOS OBTIDOS

### 6.11.2.2.1 GRÁFICOS DE SAÍDA

Note-se que o valor previsto da velocidade do vento acompanha a tendência do vento no decorrer do dia.

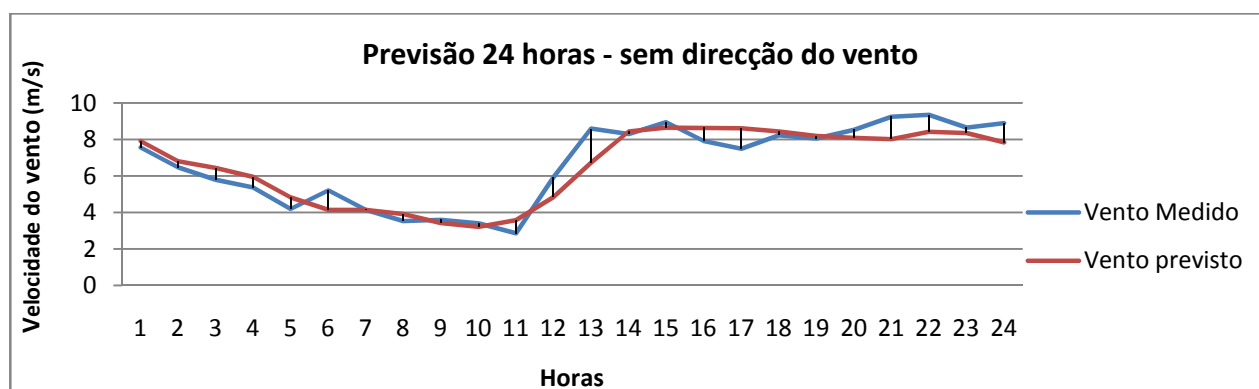


Figura 6.21 - Previsão do vento do dia 8/09/2008 (MAPE: 9,06%) - teste 1

Observa-se na Figura 6.22 um erro médio absoluto horário (MAE) com um valor de 0,608 m/s. O erro mínimo foi de -1,118 m/s. O erro máximo teve um valor de 1,855 m/s e o erro médio de 0,112 m/s.

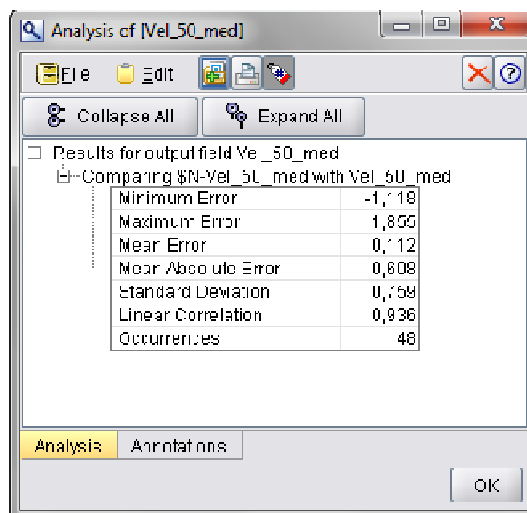


Figura 6.22 - Valores de comparação entre a velocidade média e a prevista

Procedeu-se ao processamento dos dados conforme a configuração do caso de teste 1, constatou-se que para um conjunto de 19 ensaios o valor médio do MAPE é de 16,67%.



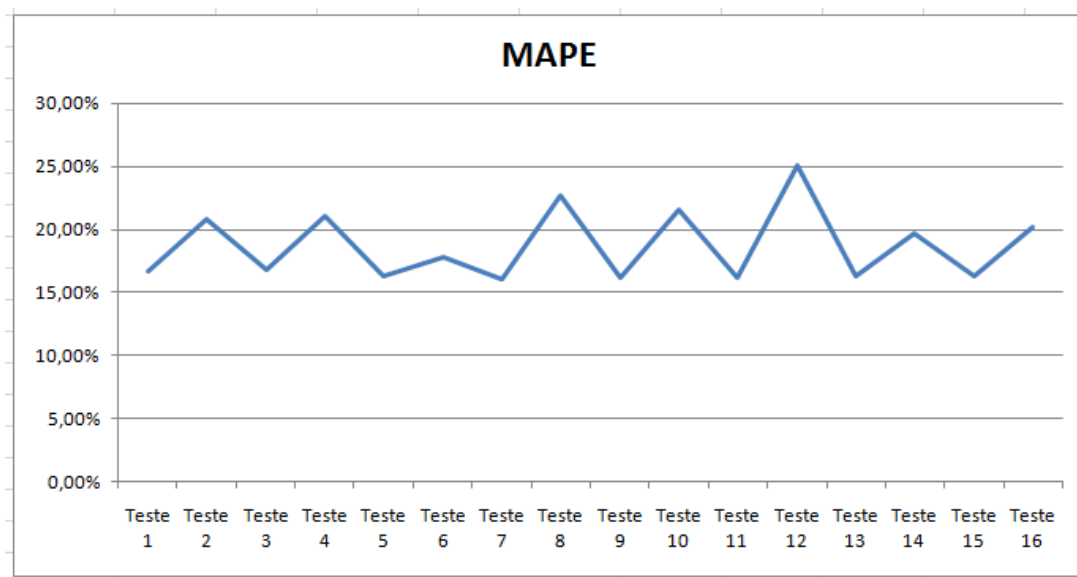
Apresenta-se na Tabela 6.7 um resumo dos valores do MAPE de todos os casos de teste realizados para a previsão de vento de 24 horas com 24 intervalos de 1 hora. Realizaram-se 19 ensaios por cada teste o que perfaz um total de 304 testes.

**Tabela 6.7 - Resumo MAPE**

Caso de estudo	Direcção do vento	Temperatura do ar	Span	MAPE	Nº de ensaios
Teste 1	não	não	6	16.67%	19
Teste 2	sim	sim	6	20.85%	19
Teste 3	sim	não	6	16.79%	19
Teste 4	não	sim	6	21.06%	19
Teste 5	não	não	12	16.34%	19
Teste 6	sim	sim	12	17.75%	19
Teste 7	sim	não	12	16.06%	19
Teste 8	não	sim	12	22.64%	19
Teste 9	não	não	18	16.18%	19
Teste 10	sim	sim	18	21.51%	19
Teste 11	sim	não	18	16.16%	19
Teste 12	não	sim	18	25.03%	19
Teste 13	não	não	24	16.36%	19
Teste 14	sim	sim	24	19.73%	19
Teste 15	sim	não	24	16.34%	19
Teste 16	não	sim	24	20.12%	19

Como referido anteriormente, a direcção do vento como variável de entrada permitiu obter um bom resultado do MAPE. A melhoria do erro médio absoluto percentual deve-se aos vários factores, tais como, a massa de ar e a orografia do parque eólico de São João do Cariri que conjuntamente com a corrente marítima criam condições preferenciais para que existam nesse local maiores ou menores gradientes de pressão que influenciarão a velocidade do vento.

Conforme a Figura 6.23 verifica-se que o menor valor médio do MAPE (16,06%) foi obtido no teste 7. A configuração deste modelo apresenta vinte e seis entradas, sendo doze da velocidade do vento, doze da direcção do vento, o mês do ano e a hora do dia.



**Figura 6.23 - Valores médios do MAPE**

Nas Tabelas dos anexos L até S pode-se analisar os valores dos MAPE dos restantes casos de teste, assim como o respectivo gráfico de comparação da saída da velocidade do vento medida com a velocidade do vento prevista.

Na Tabela 6.8 encontrará um resumo dos valores do MAPE dos 304 ensaios realizados.

## 6.11.3 TABELA RESUMO DOS VALORES MAPE

Tabela 6.8 - Tabela resumo do MAPE

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8	Teste 9	Teste 10	Teste 11	Teste 12	Teste 13	Teste 14	Teste 15	Teste 16
Data	MAPE Quick 24 horas Span 6	MAPE Quick 24 horas Span 6 - c/ dir e temp	MAPE Quick 24 horas span 6 - c/ Dir	MAPE Quick 24 span 6 - C/ temp	MAPE Quick 24 horas Span 12	MAPE Quick 24 horas Span 12 - c/ dir e temp.	MAPE Quick 24 horas span 12 - c/ Dir.	MAPE Quick 24 span 12 - c/ temp	MAPE Quick 24 horas Span 18	MAPE Quick 24 horas Span 18 - c/ dir. e temp.	MAPE Quick 24 horas span 18 - c/ Dir.	MAPE Quick 24 span 18 - c/ temp.	MAPE Quick 24 horas Span 24	MAPE Quick 24 horas Span 24 - c/ dir. e temp.	MAPE Quick 24 horas span 24 - c/ Dir.	MAPE Quick 24 span 24 - c/ temp.
08-01-2008	15.34%	12.53%	15.23%	14.03%	16.06%	11.71%	12.81%	12.58%	14.79%	12.50%	14.61%	12.64%	13.47%	14.38%	14.33%	13.06%
29-01-2008	15.50%	16.61%	15.95%	15.62%	14.13%	25.25%	13.43%	25.96%	13.70%	29.24%	13.61%	26.53%	12.48%	18.62%	11.95%	16.53%
15-02-2008	17.72%	21.76%	17.78%	22.10%	15.79%	15.76%	13.26%	21.30%	14.86%	17.04%	14.43%	25.27%	14.11%	19.10%	13.61%	17.53%
08-03-2008	19.82%	24.75%	19.37%	23.26%	18.67%	17.60%	17.25%	32.25%	18.71%	24.90%	18.48%	35.69%	20.53%	20.75%	19.06%	21.69%
22-04-2008	18.28%	24.69%	18.51%	24.77%	18.82%	24.46%	17.78%	27.97%	19.15%	30.90%	19.04%	31.66%	19.03%	30.93%	18.96%	33.28%
15-05-2008	19.71%	21.19%	20.40%	19.33%	18.98%	22.85%	21.09%	29.83%	19.26%	28.23%	20.20%	29.67%	22.08%	28.53%	20.53%	28.54%
08-06-2008	10.63%	18.53%	10.47%	19.87%	10.97%	12.08%	12.41%	22.53%	11.70%	19.12%	11.42%	28.10%	12.20%	17.21%	14.01%	18.69%
22-06-2008	25.01%	32.58%	24.73%	25.10%	24.63%	23.06%	24.83%	25.81%	23.42%	24.03%	23.28%	28.65%	22.84%	17.03%	23.48%	18.00%
08-07-2008	13.79%	20.96%	13.52%	21.26%	15.26%	18.18%	17.30%	21.58%	16.29%	20.42%	16.07%	26.06%	17.30%	23.14%	18.30%	22.63%
29-07-2008	11.06%	19.19%	11.43%	21.19%	12.35%	14.87%	14.11%	23.88%	12.72%	20.84%	12.26%	28.17%	12.90%	16.26%	14.31%	17.64%
22-08-2008	14.03%	17.77%	14.00%	22.21%	13.97%	16.39%	13.19%	24.48%	13.90%	21.48%	14.00%	28.58%	13.52%	20.58%	13.98%	21.74%
08-09-2008	9.06%	16.08%	9.80%	17.57%	9.53%	14.64%	10.02%	15.27%	10.35%	14.29%	9.96%	18.27%	9.20%	15.91%	9.82%	16.28%
22-09-2008	11.18%	17.69%	11.25%	21.82%	11.04%	14.25%	10.23%	22.27%	10.41%	20.36%	11.33%	27.28%	11.01%	19.64%	10.24%	21.90%
08-10-2008	14.45%	24.19%	14.14%	23.67%	14.56%	13.57%	14.37%	20.99%	13.97%	15.88%	14.17%	24.55%	13.77%	14.53%	13.52%	15.80%
22-10-2008	16.91%	23.06%	16.73%	22.35%	16.39%	18.86%	16.93%	21.77%	17.10%	18.45%	16.81%	23.07%	18.08%	19.38%	18.83%	19.56%
08-11-2008	24.82%	22.21%	25.00%	25.42%	23.41%	22.66%	20.55%	19.41%	22.29%	24.27%	22.96%	21.13%	21.64%	20.77%	23.07%	22.89%
22-11-2008	18.20%	16.88%	18.68%	16.23%	16.31%	20.15%	17.37%	20.84%	16.11%	20.12%	15.58%	18.83%	17.60%	18.56%	16.00%	18.05%
08-12-2008	29.72%	27.41%	29.98%	28.41%	25.95%	18.34%	26.88%	29.46%	26.16%	30.69%	25.38%	26.32%	28.21%	25.69%	23.62%	24.07%
22-12-2008	11.56%	18.05%	11.99%	15.87%	13.58%	12.59%	11.26%	12.01%	12.56%	15.96%	13.44%	15.13%	10.83%	13.93%	12.90%	14.34%
<b>Média:</b>	<b>16.67%</b>	<b>20.85%</b>	<b>16.79%</b>	<b>21.06%</b>	<b>16.34%</b>	<b>17.75%</b>	<b>16.06%</b>	<b>22.64%</b>	<b>16.18%</b>	<b>21.51%</b>	<b>16.16%</b>	<b>25.03%</b>	<b>16.36%</b>	<b>19.73%</b>	<b>16.34%</b>	<b>20.12%</b>

## 6.12 PREVISÃO PARA 24 HORAS COM 24 INTERVALOS DE 1 HORA E COM 24 SAÍDAS

Este caso de estudo vai permitir criar modelos para previsão do dia seguinte, utilizando os dados estimados do dia anterior. Os dados de entrada da rede neuronal são compostos pela velocidade do vento, direcção do vento, temperatura do ar, hora do dia e o respectivo mês. Os dados de saída da rede neuronal são posteriormente utilizados como dados de entrada para previsão dos valores do dia seguinte.

### 6.12.1 STREAM PREVISÃO 24 HORAS COM 24 HORAS DE INTERVALO DE 1 HORA E - 24 SAÍDAS

A Figura 6.24 mostra a *stream* utilizada no processamento de dados dos diferentes casos de teste. Em todos os casos de teste, a *stream* manteve a mesma configuração, alterando-se apenas os valores “*Offset*” e “*Span*” do nó Histórico e os atributos no nó *Type*.

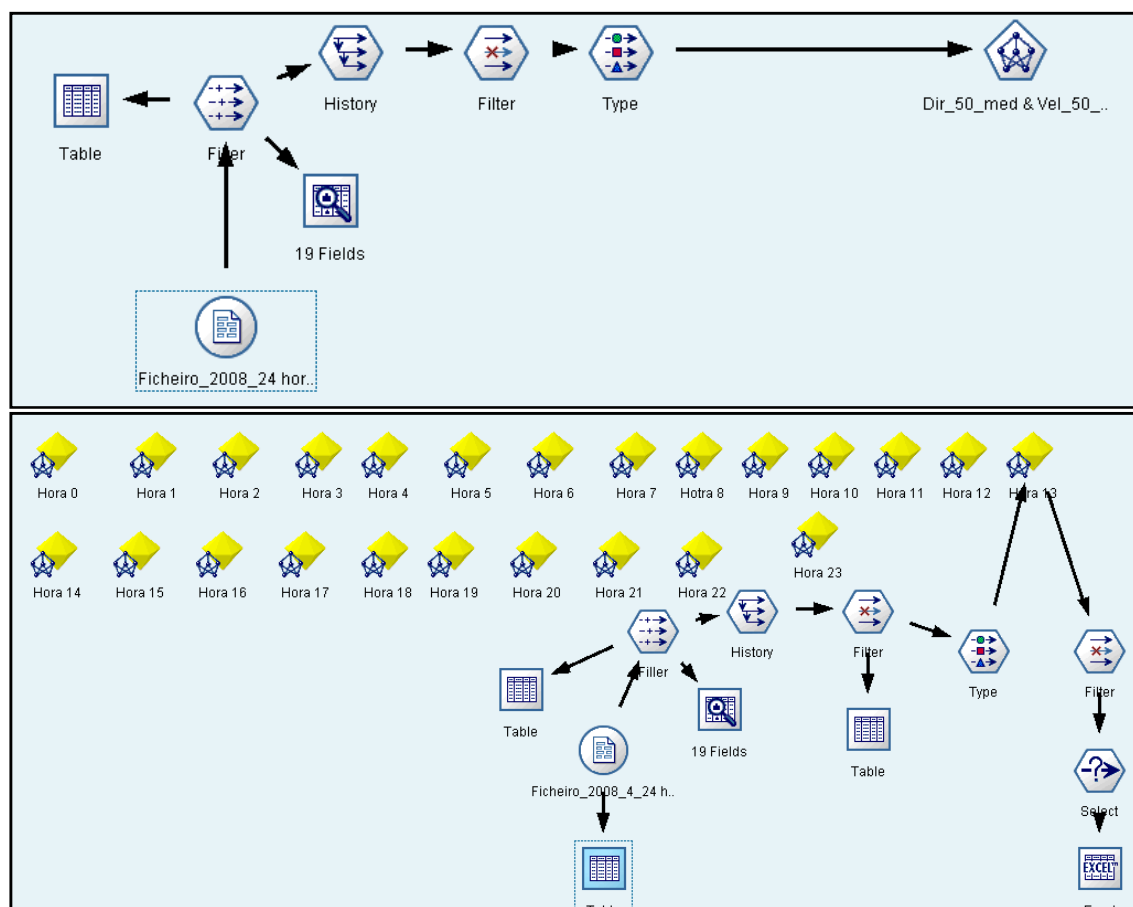


Figura 6.24 - Stream da previsão para 24 com previsão do dia seguinte

## 6.12.2 CASO DE TESTE

### 6.12.2.1 ARQUITECTURA DA REDE

Apresenta-se, de seguida, na Figura 6.25 a arquitectura da rede, assim como, na Tabela 6.9 a configuração do respectivo modelo.

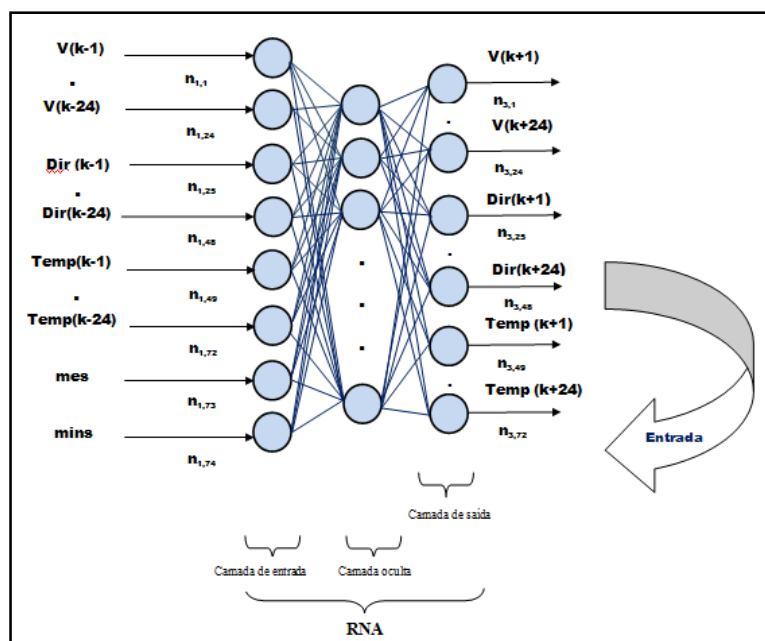


Figura 6.25 - Modelo neuronal de previsão até 24 horas.

Como podemos constatar, na Tabela 6.9 as variáveis nesta arquitectura são constituídas de vinte e quatro entradas da velocidade do vento, vinte e quatro entradas da direcção do vento, vinte e quatro entradas da temperatura do ar que antecedem o horizonte de previsão, o mês do ano e a hora do dia, assim como, três saídas que representam as previsões da velocidade do vento, da temperatura do ar e direcção do vento no instante  $k+1$  até  $k+24$ .

Tabela 6.9 - Configuração da rede neuronal

Atributos de entrada	Atributos de saída
Uma variável para identificar: - O mês do ano; - A hora do; - 24 entradas da velocidade do vento no instante $k$ até $k-24$ ; - 24 entradas da direcção do vento no instante $k$ até $k-24$ ; - 24 entradas da temperatura do ar no instante $k$ até $k-24$ .	Velocidade do vento no instante $k+1$ até $k+24$ . Direcção do vento no instante $k+1$ até $k+24$ . Temperatura do ar no instante $k+1$ até $k+24$ .

De seguida apresentam-se os resultados obtidos com este tipo de arquitectura da rede neuronal.

### 6.12.3 RESULTADOS OBTIDOS

#### 6.12.3.1 GRÁFICOS DE SAÍDA

O gráfico da previsão do vento da Figura 6.26 para o dia 01 de Janeiro apresenta valores que se podem considerar bons. O erro médio é de 11,91%. É de salientar que o maior desvio entre a velocidade prevista e a medida acontece por volta das 4 horas da manhã.

Após ter realizado a previsão dos dados para o dia 01 de Janeiro de 2009 procedeu-se à colocação dos mesmos na base de dados de modo a possibilitar a previsão do dia seguinte. Realizou-se a previsão dos dados até ao dia 04 de Janeiro de 2009.

Nas figuras 6.26, 6.27, 6.28 e 6.29 representaram-se a velocidade do vento prevista dos dias um, dois, três e quatro de Janeiro de 2009 de modo a visualizar a sua evolução. Analisando as figuras seguintes, constata-se que o erro médio absoluto percentual, no dia três de Janeiro de 2009, é praticamente quatro vezes inferior ao do dia anterior (ver Figura 6.30), isto deve-se ao facto da variação diária do vento ser significativa o que pode provocar descidas ou subidas do erro médio absoluto.

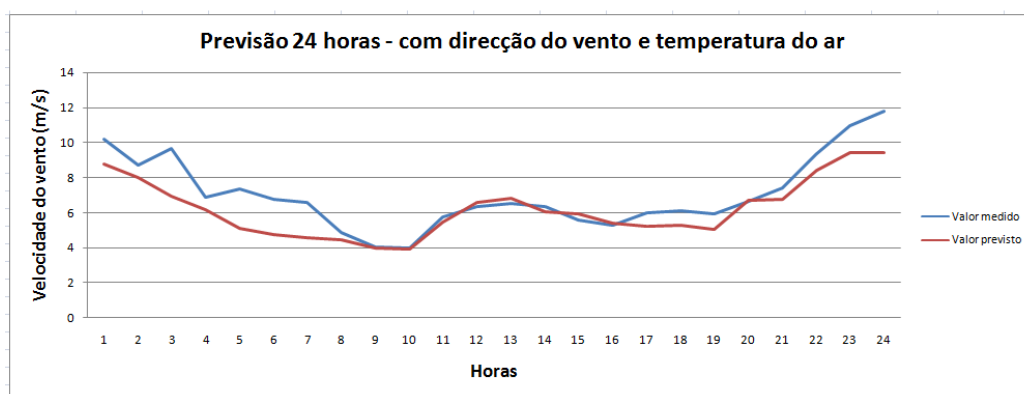


Figura 6.26 - Previsão do vento do dia 01/01/2009 (MAPE: 11,91%)

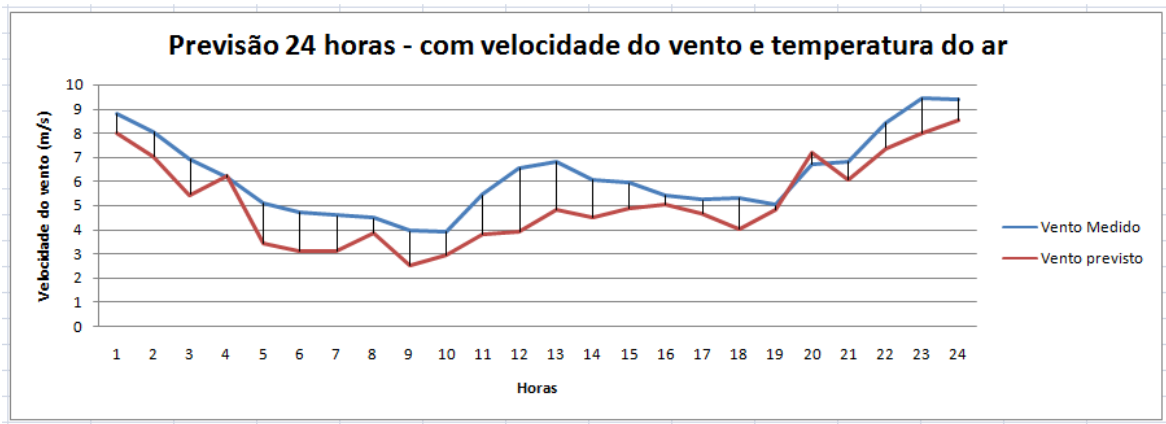


Figura 6.27 - Previsão do vento do dia 02/01/2009 (MAPE: 19,17%)

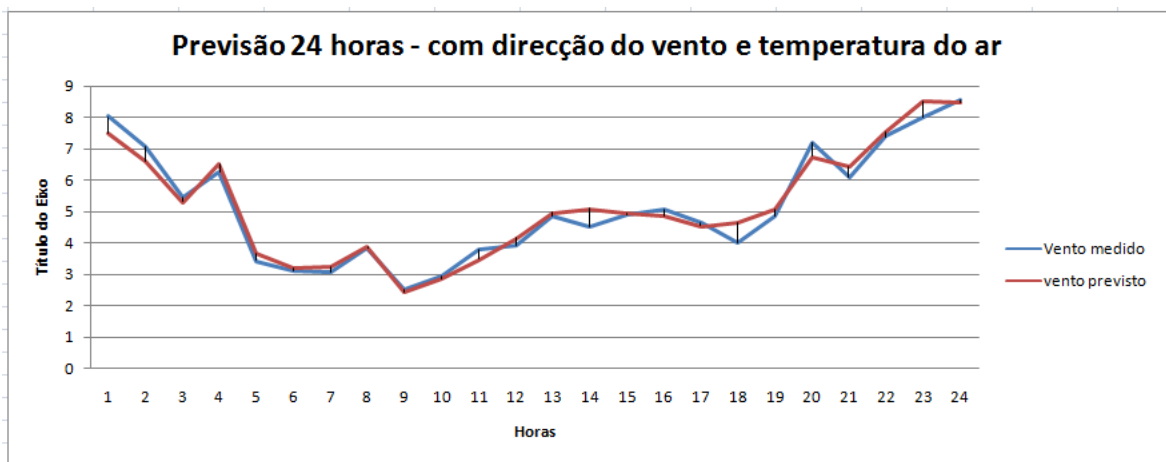


Figura 6.28 - Previsão do vento do dia 03/01/2009 (MAPE: 5,09%)

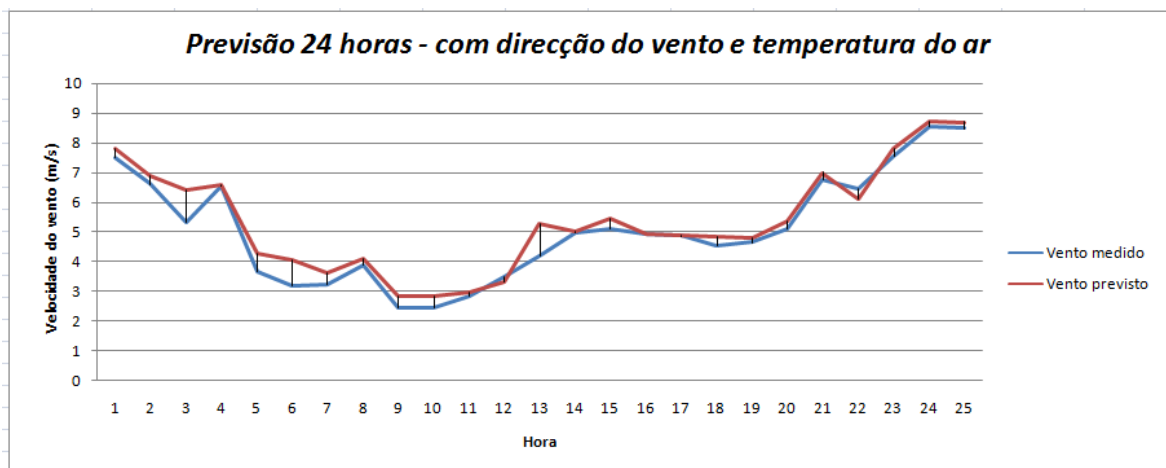


Figura 6.29 - Previsão do vento do dia 04/01/2009 (MAPE: 8,2%)

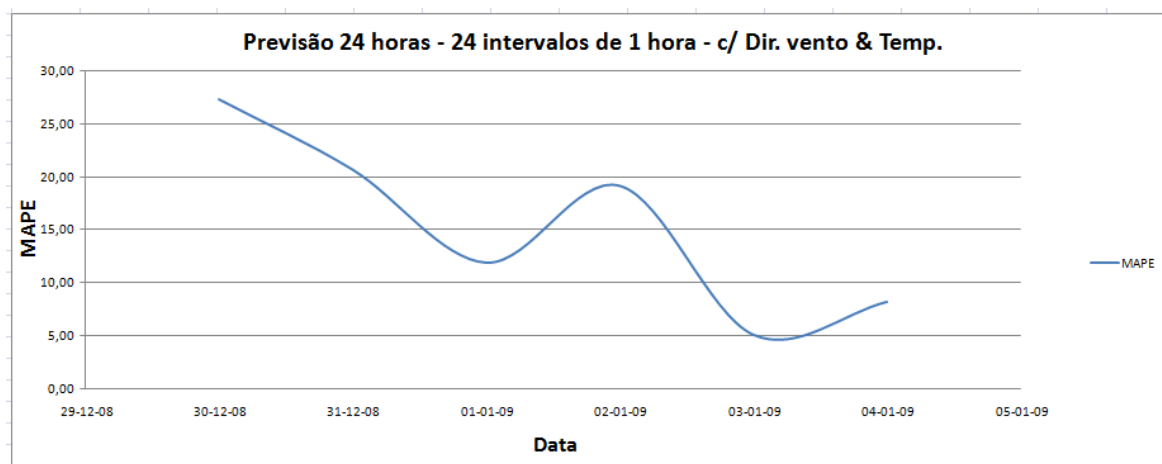


Figura 6.30 - Evolução do MAPE

Na Figura 6.31 verifica-se que o desempenho do modelo neuronal para a previsão da velocidade do vento num horizonte de vinte e quatro horas é razoável uma vez que apresenta um valor reduzido do MAPE. Observa-se que a maioria dos erros encontra-se na faixa de 2 m/s.

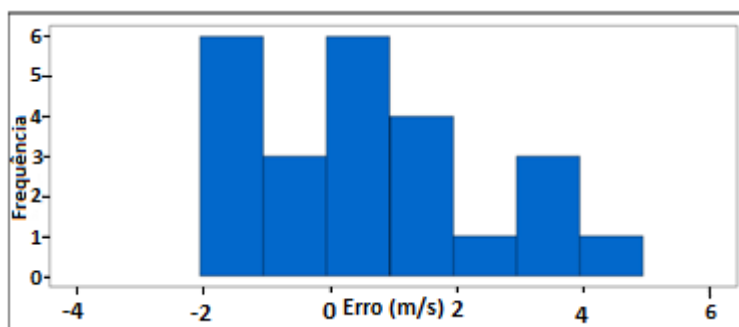


Figura 6.31 - Histograma do Erro

Em relação à Tabela 6.10, verifica-se que o erro médio absoluto horário (MAE) obtido foi de 1,535 m/s. O erro máximo obtido é de 4,645 m/s. O erro mínimo é de -2,052 m/s e finalmente, o erro médio é de 0,612 m/s.

Tabela 6.10 - Valores de comparação entre velocidade medida e prevista

Comparing \$N-Vel_50_med with Vel_50_med	
Minimum Error	-2,052
Maximum Error	4,645
Mean Error	0,612
Mean Absolute Error	1,535
Standard Deviation	1,885
Linear Correlation	0,518
Occurrences	24



### 6.13 CONCLUSÕES GERAIS

Na maioria dos casos, os resultados obtidos apresentaram melhor desempenho (menor MAPE) quando se utilizaram os dados da direcção do vento como atributo de entrada da rede neuronal.

Constata-se que a utilização da temperatura do ar como atributo de entrada na rede neuronal vai piorar o MAPE, isso deve-se ao facto dos dados disponíveis da temperatura do ar serem valores médios e não gradientes de temperatura.

É de salientar que o tempo de processamento da rede neuronal é menor quando se cria modelos com um horizonte temporal de 24 horas com 24 intervalos de uma hora. Isso deve-se ao facto da quantidade de dados a processar ser de menor quantidade na entrada da rede neuronal.

Relativamente aos modelos criados com 144 intervalos de 10 minutos, o melhor resultado obtido do MAPE foi de 21,42% (Teste 6). A rede neuronal de horizonte temporal de 24 horas é constituída de 74 neurónios de entrada utilizando a direcção do vento conforme apresentado na Figura 6.32.

Modelos com 144 intervalo de 10 minutos							
Teste1	Teste2	teste3	teste4	teste5	teste6	teste7	teste8
21.64%	21.94%	21.83%	21.74%	21.54%	21.42%	21.48%	21.52%

Figura 6.32 - Valores para intervalos de 10 minutos

Quanto aos modelos obtidos com a rede neuronal de horizonte temporal de 24 horas e com 24 intervalos de 1 hora, o menor erro médio absoluto em percentagem de 16,06% foi obtido com a rede constituída de 26 neurónios de entrada utilizando a direcção do vento. O melhor resultado foi obtido no teste 7 conforme se pode constatar na Figura 6.33.

Modelos com 24 intervalos de 1 hora															
Teste1	teste2	Teste3	Teste4	Teste5	Teste6	Teste7	Teste8	Teste9	Teste10	Teste11	Teste12	Teste13	Teste14	Teste15	Teste16
16.67%	20.85%	16.79%	21.06%	16.34%	17.75%	16.06%	22.64%	16.18%	21.51%	16.16%	25.03%	16.36%	19.73%	16.34%	20.12%

Figura 6.33 - MAPE para previsão da velocidade do vento 24 horas - 24 intervalos de 1 hora

Com respeito aos modelos de 24 horas com “re-injecção” dos dados previstos, o valor médio mínimo do MAPE de 5,09% foi obtido no caso 3. A rede neuronal está constituída

de 74 neurónios utilizando a direcção do vento e a temperatura do ar, conforme se constata na Figura 6.34.

<b>Modelos com intervalos de 24 horas</b>			
<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>	<b>Caso 4</b>
<b>11,91%</b>	<b>19,17%</b>	<b>5,09%</b>	<b>8,20%</b>

**Figura 6.34 - MAPE com “re-injecção” dos dados)**

No capítulo seguinte são identificados e descritos os contributos do trabalho realizado. Apresenta-se algumas sugestões para trabalho futuro, de modo a complementar o estudo iniciado nesta tese.

## 7. CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos ao longo do trabalho e as conclusões finais. São, ainda, apresentadas algumas directrizes para trabalho futuro de forma a melhorar e complementar o estudo encetado nesta dissertação.

A previsão da produção de energia eléctrica de base eólica destina-se a apoiar a negociação nos mercados diários de electricidade, a fornecer informações aos operadores de redes para validar as condições de exploração dos dias seguintes e apoiar os promotores dos parques nas decisões de planeamento da manutenção dos aerogeradores.

Sendo Portugal um país com elevada potência instalada em parques eólicos face à média europeia, terá de se munir de ferramentas computacionais apropriadas para a previsão da potência eólica, com o objectivo de solucionar as dificuldades ao nível da gestão de produção eléctrica.

A metodologia proposta neste trabalho para previsão da velocidade do vento é baseada em redes neuronais artificiais. Para esse efeito, utilizou-se a ferramenta informática *Clementine* para o respectivo tratamento da base de dados.

Devido à impossibilidade de se obter informação num parque eólico português, optou-se por recolher dados no parque eólico de São João do Cariri – Brasil de forma a implementar a metodologia proposta. O parque eólico situa-se no Estado de Paraíba, está a 458m de altitude, localizado na área geográfica semi-árida do Nordeste brasileiro.

## **7.1 OBJECTIVOS ALCANÇADOS**

O objectivo principal desta dissertação visou o desenvolvimento e implementação de modelos de previsão da velocidade do vento recorrendo-se à utilização de redes neuronais e a técnicas de *Data Mining* para um horizonte temporal de 24 horas.

Para a concretização deste objectivo foi inicialmente efectuado um levantamento e análise dos factores com impacto na velocidade do vento, descreveram-se e caracterizaram-se os parâmetros que condicionam o escoamento atmosférico do parque eólico de São João do Cariri - Brasil, nomeadamente a velocidade e direcção do vento, orografia local, obstáculos e rugosidade, assim como a vegetação e uso do solo.

O tipo de clima do parque eólico é caracterizado pela alta humidade relativa e pouco volume pluviométrico e apresenta precipitações de chuva bastante irregulares no tempo variando em média entre 300 mm e 800 mm/ano. As altas temperaturas de 26° C com pequena variação inter-anual exercem forte efeito sobre a evapotranspiração que, por sua vez, determinam o défice hídrico.

O subsolo é rico em rochas cristalinas (de baixa permeabilidade), a formação de aquíferos subterrâneos é inibida. O regime de chuvas rápidas e fortes impedem a penetração de água no subsolo. Outra característica do semi-árido brasileiro é a presença de sais nos solos, precipitados pela evaporação intensa, o que inibe a produtividade agrícola. A cobertura vegetal predominante é a Caatinga, mas também há uma área importante de mato.

A amostra de dados que serviu de base ao trabalho desenvolvido foi disponibilizada pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE – Rede sonda). Os dados foram recolhidos no período de Janeiro de 2006 a Dezembro de 2008. O tratamento e pré-processamento dos dados foram realizados pela mesma entidade.

A base de dados foi recolhida durante os anos de 2006, 2007 e 2008 sendo constituída por diversos parâmetros, designadamente:

- sitio;
- ano;
- dia;
- minutos;
- velocidade do vento;
- temperatura do ar;
- direcção do vento.

Posteriormente, procedeu-se à normalização dos dados de modo a obter um bom desempenho das redes neuronais artificiais (RNA). A importância da normalização dos dados é fundamentada permitindo assegurar que todas as variáveis usadas nos modelos tenham igual peso durante o treino, visto que os neurónios artificiais são, geralmente, compostos por funções de activação que são limitadas. A normalização permitirá eliminar valores elevados (picos que se tenham manifestado de forma intempestiva, quer seja de temperatura, velocidade do vento, etc.) dando maior consistência aos dados de entrada e facilitar o treino das redes neuronais.

Com recurso a técnica de *Data Mining* e seguindo a metodologia assente na descoberta de conhecimento da base de dados, foi implementado o modelo de forma a extrair conhecimento a partir da base de dados disponível.

Na fase de pré-processamento dos dados foram detectados registos de dados em falta, nomeadamente valores de temperatura durante parte do ano de 2008. De forma a preencher esses dados em falta, aproveitando os dados para estudo, foi implementada uma rede neuronal artificial a fim de estimar e preencher essas lacunas verificadas nos dados. Os resultados obtidos pela estimação da rede neuronal preencheram todos os dados em falta e verificou-se que seguiam uma tendência dos dados reais.

Os dados recolhidos estavam em formato csv pelo que houve necessidade de todo um processo de tratamento e adequação dos mesmos para um formato compatível com os algoritmos a utilizar, nomeadamente, formatos xls e txt.

Com suporte do *Software Clementine* foi desenvolvido e implementado um modelo para determinar a correlação existente entre a velocidade do vento e a sua direcção bem como a velocidade do vento e temperatura do ar.

Após análise dos resultados obtidos, verificou-se a existência de uma forte correlação entre a velocidade do vento e a sua direcção, e uma fraca correlação entre, a velocidade do vento e a temperatura do ar.

De salientar que a correlação existente entre a velocidade e direcção do vento deve-se à orografia do parque eólico e a outros fenómenos locais de zona. A fraca correlação existente entre a velocidade do vento e a temperatura do ar poderá ser um indicador sobre a possibilidade em não considerar a temperatura do ar como atributo de entrada nos modelos implementados.

De forma a estimar o valor da velocidade do vento foram desenvolvidos e testados diversos modelos de previsão, nomeadamente:

- Previsão para um horizonte temporal de 24 horas com 144 intervalos de 10 minutos;
- Previsão para um horizonte temporal de 24 horas com 24 intervalos de 1 hora;
- Previsão para um horizonte de 24 horas com 24 intervalos de 1 hora para criar modelos que permitam realizar a previsão do dia seguinte utilizando os dados previstos do dia anterior.

Descreveram-se os diversos modelos de previsão de vento implementados para cada “horizonte temporal”. De forma a avaliar os modelos implementados analisou-se a forma das distribuições dos erros de previsão eólica permitindo estimar a incerteza da mesma. Assim, a fim de avaliar os modelos utilizou-se o erro médio absoluto em percentagem – MAPE como referência.

Relativamente aos modelos criados com 144 intervalos de 10 minutos, o melhor resultado obtido do MAPE foi de 21,42% com a inclusão do atributo direcção do vento. Quanto aos modelos obtidos com a rede neuronal de horizonte temporal de 24 horas e com 24 intervalos de 1 hora, o menor erro médio absoluto em percentagem – MAPE – foi de 16,06% também com o atributo de entrada direcção do vento. Com respeito aos modelos

de 24 horas com “re-injecção” dos dados previamente previstos, o valor mínimo do MAPE foi de 5,09% com direcção do vento.

É de salientar que o menor erro (MAPE) foi obtido com a direcção do vento como atributo de entrada da Rede Neuronal Artificial. O bom desempenho deste modelo deve-se ao relacionamento existente entre a velocidade do vento e a sua direcção. Isto é devido à disposição das massas oceânicas e das massas continentais que influenciam a temperatura. Tendo em consideração as massas de ar típicas da latitude e conjugando isto com a orografia e eventualmente outros fenómenos locais de zona, nomeadamente, a corrente marítima fria, tudo isto vai criar condições preferenciais para que existam determinados quadrantes com maiores ou menores gradientes de pressão, os quais resultam do vento.

Finalmente, comparam-se os resultados obtidos pelo método desenvolvido e com os resultados dos métodos existentes em trabalhos científicos similares na área de estudo. Em trabalhos semelhantes, onde se utilizou a Ferramenta *MatLab* 6.5 (Aquino, 2009), verificou-se que o valor médio do MAPE então obtido foi de 42.21 % (em modelos criados com um horizonte temporal de 24 horas, 144 intervalos de 10 minutos e direcção do vento como atributo de entrada). Na presente dissertação e com recurso ao *Software Clementine*, o valor médio do MAPE foi de 21.42%, aqui também, com a direcção do vento como variável de entrada.

No caso de teste onde a direcção do vento como atributo de entrada estava ausente, o valor médio obtido com os modelos criados no *Matlab* foi de 49,26%, enquanto que, nos modelos criados com o *Clementine* o valor médio MAPE foi de 21,54% - ver Tabela 7.1

**Tabela 7.1 - Valore médio MAPE para um horizonte temporal de 24 horas  
(144 intervalos de 10 minutos)**

Modelos com 144 intervalo de 10 minutos			
MatLab		Clementine	
C/ Dir Vento	S/ Dir Vento	C/ Dir Vento	S/ Dir Vento
41.21%	49.26%	21.42%	21.54%

Relativamente aos modelos criados com o *MatLab* 7.0, conforme valores da Tabela 7.2, concluiu-se que para o modelo neuronal (RNA) o valor médio foi de 29,72%, enquanto

que, no modelo neuronal com análise de multiresolução através da transformada de *Wavelet* (RNA + TW), o valor médio do MAPE foi de 27,56%.

Utilizando a Ferramenta *Clementine* com o método *Quick*, concluiu-se, que o valor médio MAPE foi de 16,06% com a direcção do vento e de 21,45% com a temperatura do ar como variável de entrada.

**Tabela 7.2 - Valore médio MAPE para um horizonte temporal de 24 horas  
(24 intervalos de 1 hora)**

Modelos com 144 intervalo de 10 minutos			
MatLab		Clementine	
RNA	RNA + TWA	C/ Dir Vento	C/ Temperatura
29.72%	27.56%	16.06%	21.54%

O presente estudo procura superar as limitações apresentadas na previsão da velocidade do vento de modo a minimizar o erro médio do MAPE ao nível de criação de modelos para previsão do vento com um horizonte de 24 horas. Os modelos apresentam valores bastantes satisfatórios face aos encontrados na literatura científica e objecto de análise comparativa.

O trabalho apresentado e desenvolvido nesta dissertação poderá constituir um forte e decisivo contributo para as empresas produtoras de energia eléctrica com base eólica.

A recolha e tratamento dos dados, bem como o preenchimento de dados em falta, de modo a aproveitar todo o conjunto de dados de entrada para estudo, podem ser considerado como contributos do presente trabalho.

Como contributo poderá ser, também, identificada a criação, implementação e validação dos vários algoritmos de previsão da velocidade do vento utilizados os quais deram origem a várias centenas de simulações.



## 7.2 PERSPECTIVAS FUTURAS

Nesta secção, pretende-se apresentar uma nova abordagem aplicada à previsão da velocidade do vento, de forma a potenciar o presente trabalho.

De forma a melhorar os resultados do trabalho de previsão de vento baseado em técnicas de *Data Mining* sugere-se o estudo dos seguintes pontos:

- Verificar a influência de outras grandezas na entrada do modelo de previsão, tais como: humidade do ar, pressão, etc.

A humidade do ar vai indicar as características próprias da massa de ar. Considera-se que o aumento da humidade do ar, deve-se a influência do ar marítimo e um abaixamento ao ar continental.

O vento (ar em movimento), resulta das diferenças de pressão que por sua vez são originadas pelo desigual aquecimento da superfície da terra.

- Estudar as redes neuronais RBF para desenvolver outros modelos de previsão.
- Criar modelos mistos de previsão através da combinação das redes neuronais com a lógica *fuzzy*.
- Desenvolver pesquisas com outras bases de dados para permitir avaliar os modelos de correlação.
- Utilizar as redes de *Kohonen* para identificar as sazonalidades dos dados do vento.
- Utilização de dados de parque eólicos nacionais.
- Com base nos resultados obtidos efectuar uma aplicação ao despacho no âmbito do VPP.



## *Referências Bibliográficas*

Anderson, D. and Leach, M. (Sept. 2004). Harvesting and redistributing renewable energy: on the role of gas and electricity grids to overcome intermittency through the generation and storage of hydrogen, *Energy Policy*, vol. 32, no. 14, pp. 1603–1614. Acessado a 31 de Março de 2010 em <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V2W-49CN3VC-1/2/9eb357d90ddba2736e32bd4f664b864d>

Aquino B., (2009). Previsão de Ventos e Geração Eólica: Buscando a Melhor Modelagem através da Inteligência Artificial. XI SIMPÓSIO DE ESPECIALISTAS EM PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO E EXPANSÃO ELÉTRICA, Março de 2009.

Barros, M. (2002) *Introdução às Séries Temporais e aos Modelos ARIMA*, Capítulo 5, pp. 1-77, 2002.

Bailey, B, et. al. (1999). Short-term wind forecasting – development and application of a mesoscale model. *Proceedings of the European Wind Energy Conference EWEC*. Nice, 1999.

Baillie, R. T. and Bollerslev, T. (1992). Prediction in dynamic models with time-dependent conditional variances. *J. Econometrics*, 51, pp. 91–113, 1992.

Balea, L., et. al. (2004). Quantification of capacity credit and reserve demand from the large-scale integration of wind energy in the French power system. *CD-Proc. of the 2004 Global Windpower Conference*. Chicago, Illinois (USA), March 2004.

Bathurst, G. & Strbac, G. (2003). Value of combining energy storage and wind in short-term energy and balancing markets. *Electric Power Systems Research*, vol.67, pp. 1–8, 2003.

Bludszuweit, H.; Domínguez-Navarro, J. & Llombart, A. (2008). Statistical analysis of wind power forecast error. *IEEE Transactions on Power Systems*, (Aceite), 2008.

Cabazon, D., et. al.. (2004). *Comparison of methods for power curve modelling*. CD-Proc. of the 2004 Global Windpower Conference. Chicago, Illinois (USA), 2004.

Castro, F. (1997). Métodos Numéricos para a Simulação de Escoamentos Atmosféricos sobre Topografia Complexa. Porto: Ph. D. thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1997.

Castro, Rui M. G. (2005). *Introdução à Energia Eólica*. Lisboa: IST, 2005.

Castro, R. and Ferreira, L. (2001). *A comparison between chronological and probabilistic methods to estimate wind power capacity credit*, *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 16, no. 4, pp.904–909, 2001.

Castronuovo, E. & Peças Lopes, J. (2004). *On the optimization of the daily operation of a wind-hydro power plant*. *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 19(3), pp. 1599–1606, 2004.

Clementine (1994-1998), *Clementine Data Mining System: Reference Manual version 5*, 1994-1998.

Clementine – versão 12. Acedido a 29 de Março de 2010 em <http://www.funkytype.com/software/software/spss-clementine-v12.0-200812213170/>

Costa, A., et. al.. (2008). *A review on the young history of the wind power short-term prediction*. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. (Aceite), 2008.

Costa, P. (2004). *Atlas do potencial eólico para Portugal Continental*. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2004.

Custodio, R. S. (2009). Energia eólica para produção de energia eléctrica, Electrobrás, Rio de Janeiro, Janeiro de 2009

Danish Wind Turbine Manufacturers Association. Acedido em 25 de Fevereiro de 2010 em <http://www.windpower.dk/>

DIRECTIVE 2001/77/EC OF THE EUROPIEN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 27 SEPTEMBER 2001 ON THE PROMOTION OF ELECTRICITY PRODUCED FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE INTERNAL ELECTRICITY MARKET, *Official Journal of the European Commission*, vol. L 283, pp.33–40, 2001. Acedido a 10 de Abril 2010 em [http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2001/l\\_283/l\\_28320011027en00330040.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2001/l_283/l_28320011027en00330040.pdf)

Dudhia, J., et. al. (2003). *PSU/NCAR Mesoscale Modelling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modelling System Version 3, 2003, NCAR Mesoscale and Microscale Meteorology Division*, 362 pp, 2003.

Fagan, F., et. al. (2005). Grid code provisions for wind generators in ireland, in *Power Engineering Society General Meeting. IEEE*, 2005, pp. 1241–1247 Vol. 2, 2005.

Felgueiras, A. (2003). Geração Eólica, Parte II. *Potencial Eólico*, pp. 12-37, Abril de 2003.

Filipe Azevedo, Zita A. Vale and P. B. Moura Oliveira (2007), “A *Decision-Support System Based on Particle Swarm Optimization for Multi-Period Hedging in Electricity Markets*”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 22, No. 3, August 2007

Filipe Azevedo, Zita A. Vale, P. B. Moura Oliveira and H. M. Khodr (2010), “A *Long-Term Risk Management Tool for Electricity Markets Using Swarm Intelligence*”, *Elsevier - Electric Power Systems Research* 80, pp. 424-433, 2010

García Barquero, C. & Arriba Segurado, P. (2004), Case study # 12: Spanish Royal Decree 2818/1998 - ‘*Special regime of the electricity market*’. *REACT - Renewable Energy Action, Altener AL/2002/157*, Outubro de 2004.

Giebel, G. (2000). *On the benefits of distributed generation of wind energy in Europe*. Alemanha: Ph.D. thesis, University Carl von Ossietzky, 2000.

Giebel, G. (2002). *The state-of-the-art in short-term prediction of wind power – a literature overview*. Anemos deliverable report d1.1. Risø National Laboratory, 2002.

Giebel, G. (2003). *The State-of-The-Art in Short-Term Prediction of Wind Power, Version 1.1*. Denmark, August 2003.

Giebel, G., et. al.. (2003). State-of-the-Art on Methods and Software Tools for Short-Term Prediction of Wind Energy Production. *Proc. of 5<sup>th</sup> European Wave Energy Conference*. Cork, Ireland, September 2003.

Giebel, G., et. al. (2007). Best practice in short-term forecasting.a users guide. *Proceedings of the European Wind Energy Conference & Exhibition (EWEC 2007)*. Milan, 2007.

Gill, D., et. al. (2003). *Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System Version 3*. PSU/NCAR, 2003.

GLOBAL WIND 2006 REPORT, *Global Wind Energy Council*, Brussels, Belgium, Tech. Rep., 2006. Acedido a 25 de Maio 2010 em [http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/gwec-2006\\_final\\_01.pdf](http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/gwec-2006_final_01.pdf)

GLOBAL WIND 2005 REPORT, *Global Wind Energy Council*, Brussels, Belgium, Tech. Rep., 2005. Acedido a 26 de Maio 2010 em [http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/Global\\_WindPower\\_05\\_Report.pdf](http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/Global_WindPower_05_Report.pdf)

Grell, G. A.; Dudhia, J. and Stauffer, D. R. (1994). *A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5)*, NCAR technical Note, NCAR/Tn-398+STR. 117 p, 1994.

Holttinen, H. & Hirvonen, R. (2005). Power system requirements for wind power. Capítulo 8. *Wind Power in Power Systems*, John Wiley&Sons, pp. 144–167, 2005.

HOUGHTON, J., et. al. (2001). *International Panel on Climate Change, Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,: Cambridge University Press. Acedido a 12 de Maio 2010 em [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg1/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm)

Hugo Morais, Marílio Cardoso, Luís Castanheira, Zita Vale e Isabel Praça (2005), "A Decision-Support Simulation Tool for Virtual Power Producers", "International Conference on Future Systems (FPS 2005), Amesterdão, Holanda, 16 a 18 de Novembro, 2005.

Hugo Morais, Marílio Cardoso, Luís Castanheira, Zita Vale e Isabel Praça (2007), "VPPs information needs for effective operation in competitive electricity markets", IEEE 5th International Conference on Industrial (INDIN 2007), Vienna, Austria, 23 a 27 de Julho, 2007.

IBM SPSS. SPSS, Generate maximum return on data in minimum time with Clementine, Acedido a 12 de Setembro de 2010 em <http://www.spss.com/spssbi/clementine/>.

WORLD ENERGY OUTLOOK 2004. (2004), *International Energy Agency Publications*. Acedido a 10 de Fevereiro 2010 em <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/weo2004.pdf>

Kariniotakis, G., et. al. (2004). *The state of Art in Short-term Prediction of Wind Power – From an Offshore Perspective. Proc. Of 2004 SeaTechWeek*. Brest, France, October 2004.

Kariniotakis, G. (2006). Short-term forecasting of wind power - state-of-the-art, requirements & challenges. *EES-UETP Course*. Madrid, 2006.

Korpaas, M.; Holen, A. & Hildrum, R. (2003). *Operation and sizing of energy storage for wind power plants in a market system. International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 25(8), pp. 599–606, 2003.

Landberg, L. (1994). *Short-term prediction of local wind conditions. Tech. rep.: Riso National Laboratory*, 1994.

Lange, M. (2003). *Analysis of the uncertainty of Wind power productions* Tese (Doktors der Naturwissenschaften) – Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften der Carl von Ossietzky. Universität Oldenburg: Oldenburg, Alemanha, 2003.

Lange, M. (2004). *On the uncertainty of wind power predictions. Proceedings of the EWEA Special Topic Conference: "The Science of Making Torque from Wind"*, 2004.

Lange M. (2005). *On the Uncertainty of Wind Power Predictions - Analysis of the Forecast Accuracy and Statistical Distribution of Errors. Journal of Solar Energy Engineering*. Vol. 127, pp. 177-184, 2005.

Martins, Fernando Ramos, et. al. (Abril 2005). Base de dados climático-ambientais aplicados ao setor energético - Projeto SONDA. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia, Brasil, 16-21, INPE, p. 3563-3570, Abril de 2005.

McCarthy, E. (1998). *Wind speed forecasting in the central California wind resource area. EPRIDOE-NREL Wind Energy Forecasting Meeting, Burlingame*. California (USA), March 1998.

Millais, C. (2005a). Relatório Wind Force 12: segurança global a partir do vento. *Revista ECO 21*. Rio de Janeiro, n. 104, Julho de 2005a.

Millais, C; Teske, S. (2005) Wind Force 12: A blueprint to achieve 12% of the world's electricity from power by 2020. Acedido a 5 de Julho de 2005 em [www.gwec.net](http://www.gwec.net).

Milborrow, D. (2001). Penalties for intermittent energy sources. *PIU Energy Review*.

Mohrlen, C. (2004). *Uncertainty in Wind Energy Forecasting. Ph.D. thesis*. National University of Ireland, 2004.



PAES-SILVA, A. P.; CHAVES, I. de B.; SAMPAIO, E. V. S. B. (2003). Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do açude namorado no cariri oriental paraibano. *Revista Agropecuária Técnica*. Areia, v.24, n.1, p, 2003.

Pérez-Llera, C., et. al. (2002). Local Short-Term of Wind Speed: A Neural Network Analysis. *iEMSS'02*. Lugano, Switzerland, pp.124-129, July 2002.

Pinson, P. (2006). *Estimation of the Uncertainty in Wind Power Forecasting*. Paris: Ph.D. thesis, Ecole des Mines de Paris, 2006.

Retallack, R.C. (1979). *METEOROLOGIA – Compêndio para a formação profissional de pessoal meteorológico da classe IV (Volume II)*. Lisboa: Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1979.

Rodrigues, A., et. al. (1998). "Extracção de Conhecimento em Sistemas de Informação Imprecisos", 1ª Conferência do Colégio de Informática da Ordem dos Engenheiros, Dezembro de 1998

Rodrigues, A. (2000). "Arquitectura Heterogénea para Extracção de Conhecimento a partir de Dados", Phd Thesis, Universidade do Minho, Dezembro 2000.

Rodrigues A. (2005). *Energia Eólica em Portugal – Situação, objectivo e desafios*. Seminário "As Energias do Presente e do Futuro". Lisboa, Novembro de 2005.

Rodrigues, A., et. al. (2007). Eprev - wind power forecasting tool. *European Wind Energy Conference EWEC 2007*. Milan, 2007.

Sérgio Ramos, Zita Vale, José Santana & Fátima Rodrigues (2006) "An Approach to the Consumer-Supplier Relationship Supported by Data Mining Techniques for MV Customers", *WSEAS Transactions on Power Systems*, Issue 7, Volume 1, July, pp. 1350-1357, 2006.

Sérgio Ramos & Zita Vale (2008a) "Data Mining techniques application in Power Distribution Utilities", (2008) IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, Chicago, Illinois, USA, 21-24. April, 2008.

Sérgio Ramos & Zita Vale (2008b) "*Data Mining Techniques to Support the Classification of MV Electricity Customers*", 2008 IEEE PES General Meeting, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 20-24 July, 2008.

Sideratos, G. & Hatziargyriou, N. D. (2007). An advanced statistical method for wind power forecasting. *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, pp. 258–265, 2007.

Silva, F. Marques da (1996). Caracterização do Recurso Eólico. *Curso de Formação – Acção do Programa Alternar, Energia Eólica*, Cap.2. Lisboa: Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação – INETI, 1996.

Simões, T. (2004). Base de dados do potencial energético do vento em Portugal – Metodologia e Desenvolvimento, Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Ciências e Engenharia da Terra. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2004.

THE GLOBAL RENEWABLE ENERGY POLICIES AND MEASURES DATABASE. (June 2006). *Website*. Acedido a 10 de Janeiro 2010 em <http://renewables.iea.org>

Trancoso, A. R., et. al. (2006). Previsibilidade da Energia Eólica. XXIX Jornadas Científicas da Associação Meteorológica Espanhola, 4-26 Abril. Pamplona, 2006.

Troen, I. and Petersen, E. L. (1989). *European Wind Atlas*, Risø. National Laboratory, p. 656, 1989.

Tsikalakakis, A. G., Katsigiannis, Y. A.; Georgilakis, P. S. & Hatziargyriou, N. D. (2006). Determining and exploiting the distribution function of wind power forecasting error for the economic operation of autonomous power systems. *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2006.

USE. Acedido a 7 de Março de 2010 em <http://w3.inescn.pt/publico/bip/56/paginas/noticia4.html>

VAREJÃO-SILVA, M. A., et. al. (1984). Atlas climatológico do Estado da Paraíba. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, Núcleo de Meteorologia Aplicada, 1984.

Watkins, David. (2000). Neural Network MasterClass. Acedido a 14 de Março de 2010 em <http://www.spss.com/software/modeling/modeler-pro/>.

Yuan-Kang, W. & Jing-Shan, H. (2007). A literature review of wind forecasting technology in the world. *Proceedings of the IEEE Power Tech 2007*. Lausanne, Switzerland, 2007.

Zack, John. (December 2003). Overview of Wind Energy Generation Forecasting. *TrueWind Solution, LLC, New York State Energy Research and Development Authority and New York State Independent System Operator*. Albany, E.U.A, 2003.

Zervos, A. (2003). *Developing wind energy to meet the kyoto targets in the European union*. *Wind Energy*, vol. 6, pp. 309 – 319, 2003.



ANEXO A — DESCRIÇÃO DA  
FERRAMENTA *CLEMENTINE*

## **A.1 DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA *CLEMENTINE***

Neste capítulo faz-se uma descrição da ferramenta *Clementine*. Descreve-se o interface deste software, assim como, todos os componentes. Faz-se uma exposição dos tipos de ícones existentes nas *palletes* do *Clementine*. Dá-se uma breve explicação sobre o modo como este último faz a leitura dos dados e interpreta a informação. Explicam-se os passos a seguir para a criação de uma *stream* na referida ferramenta. Finaliza-se descrevendo o funcionamento das redes neuronais, da indução de regras e das redes de *Kohonen*.

## **A.2 INTRODUÇÃO**

Todo o trabalho prático desta dissertação foi efectuada recorrendo à utilização do *Clementine* na sua versão 12.0. Esta ferramenta foi a escolhida para a realização deste trabalho devido ao facto, de, entre outros, estar disponível no departamento de GECAD do Instituto Politécnico do Porto e de ser uma ferramenta de referência na área da prospecção de dados, sendo utilizada em vários estudos, com resultados bastante satisfatórios. Outro dos factores relevantes, reside no facto de o *Clementine* ser visto como uma ferramenta líder nos trabalhos de prospecção de dados devolve o máximo possível de dados com o mínimo de tempo investido.

O *Clementine* é por excelência uma ferramenta para *Data Mining*, conhecida mundialmente pelas suas facilidades de utilização, pelo seu potencial de acesso aos dados e pelo seu completo catálogo de procedimentos analíticos que inclui.

Permite o desenho de fluxos analíticos em tempo real e integra-se completamente com as outras ferramentas analíticas SPSS. Permite igualmente uma fácil navegação nos dados, utilizando gráficos para localizar relações importantes (*Clementine* – (1994-1998)).

É uma ferramenta que suporta todas as fases de processo de descoberta de conhecimento; disponibiliza árvores de decisão, redes neuronais, geração de regras de associação e importantes características de visualização. Porém, é necessária uma familiarização com a ferramenta, para tirar total proveito das suas funcionalidades. Abrange todas as fases de Descoberta de Conhecimento em Base de Dados (DCBD).

### A.3 TÉCNICAS DE MODELAÇÃO

Apresentar-se-á neste capítulo as técnicas de modelações mais frequentemente utilizadas e disponíveis nesta ferramenta.

### A.4 REDES NEURONAIS

As redes neuronais artificiais (RNA) consistem em modelos muito simples, têm um funcionamento análogo ao do sistema nervoso humano (*Clementine* – (1994-1998)). A unidade básica está constituída por um conjunto de neurónios ou nodos encontrando-se organizados em, *layers* ou camadas (Figura 4.1).

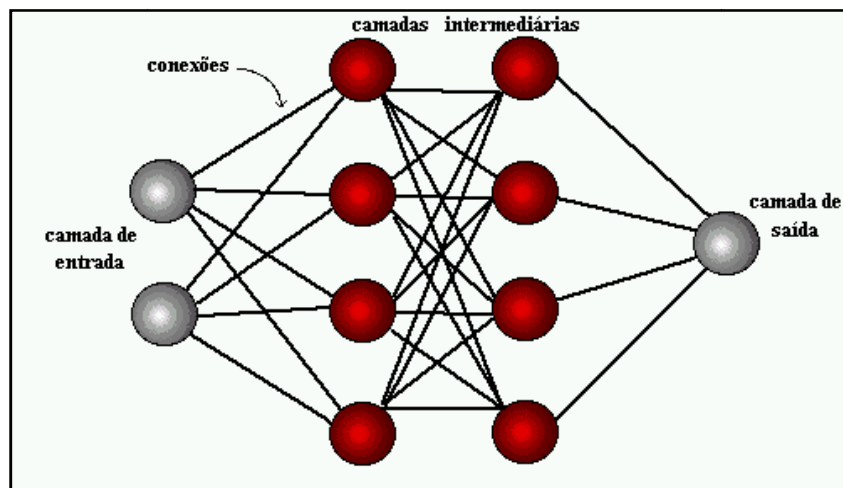


Figura A.1 - Rede Neuronal com as unidades organizadas por camadas

Conforme podemos constatar na Figura A.1, cada nó recebe uma série de valores que são os dados de entrada ou *input* fornecidos à primeira camada e o valor de cada neurónio é propagado para todos os outros neurónios. Os valores dos pesos (*weight*) são alterados durante a transmissão. O resultado é devolvido pelo último neurónio (*output*). É de salientar que os valores de saída de alguns nodos, são em alguns casos valores de entrada de outros, dependendo da interligação existente entre eles. Contudo, a forma como a interligação é constituída é importante para o tipo de resultados obtidos.

Inicialmente, todos os pesos são aleatórios e as respostas obtidas são provavelmente incorrectas. A rede aprende treinando: resultados conhecidos são constantemente apresentados à rede e comparados com o resultado desta; a informação da comparação é propagada na rede para trás (*backpropagation*), isto se a rede for deste tipo, ajustando

gradualmente os pesos. Uma vez treinada, a rede pode ser aplicada a casos em que o resultado é desconhecido.

A ferramenta tem a operação "*Train Net*" que permite criar e treinar uma rede neuronal. Definindo os campos de *input* e de *output* dos dados de treino. A rede neuronal "aprende" a classificar ou prever os valores dos campos de *output* através dos valores dos campos de *input*. Note-se que as regras de decisão para a classificação são internas à rede neuronal, sendo difícil de acompanhar o raciocínio usado no processo de tomada de decisão.

## **A.5 INDUÇÃO DE REGRAS**

É de salientar que um dos problemas das redes neuronais é a falta de transparência das decisões tomadas pela rede. Visto que o funcionamento interno deste algoritmo se resume a números, torna-se difícil encontrar um raciocínio lógico no processo de tomada de decisão (*Clementine* – (1994-1998)).

## **A.6 ÁRVORES DE DECISÃO**

As árvores de decisão consistem numa técnica complementar. Trabalhando com a totalidade dos dados ou apenas com um subconjunto, a indução cria uma árvore de decisão que representa regras de como classificar os dados nas várias saídas. A estrutura de árvore e geração de regras são técnicas abertas e explícitas que podem ser navegadas.

A ferramenta dispõe de duas operações - "*Build Rule*" e C5.0 - que produzem regras sob a forma de árvores de decisão, representando como classificar os dados em diferentes resultados. A estrutura das árvores representa explicitamente o raciocínio da tomada de decisão.

## **A.7 REDES DE KOHONEN**

As redes de *Kohonen* são um tipo de rede neuronal que permitem efectuar *clustering*, isto é, dividir a população em segmentos. A unidade básica é o neurónio e estes estão organizados em duas camadas: *layer* de entrada e *layer* de saída que é frequentemente denominado de mapa de saída. Todos os neurónios de entrada estão ligados a todos os neurónios de saída e essas ligações possuem um peso associado (*Clementine* – (1994-1998)). O mapa de saída é uma Tabela de neurónios bidimensional sem qualquer ligação entre as células (Figura A.2).



Fonte: (Kohonen, 1989)

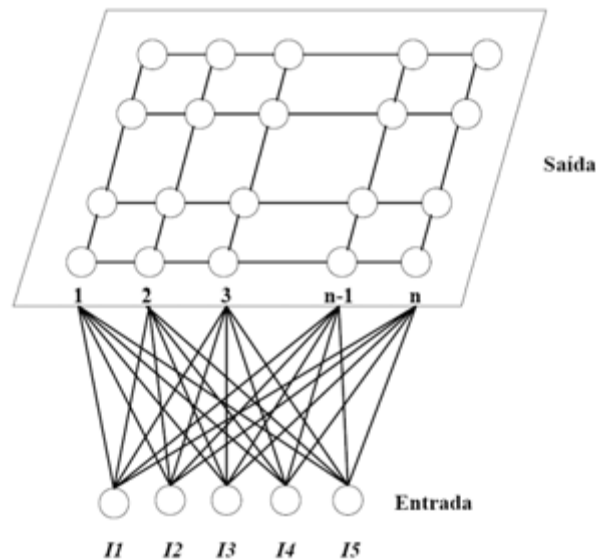


Figura A.2 - Redes de Kohonen.

Neste tipo de rede, os dados de entrada são fornecidos à camada de entrada e os valores são propagados para o mapa de saída. De seguida, cada neurónio de saída fornece uma resposta. O neurónio de saída que fornecer a melhor resposta é o “vencedor” e constitui a resposta à entrada fornecida.

Inicialmente, todos os pesos são aleatórios. À medida que a rede é treinada, o peso do vencedor é ajustado de forma a responder cada vez melhor, assim como os pesos dos seus vizinhos. Este processo repete-se até as alterações feitas nos pesos serem muito pequenas.

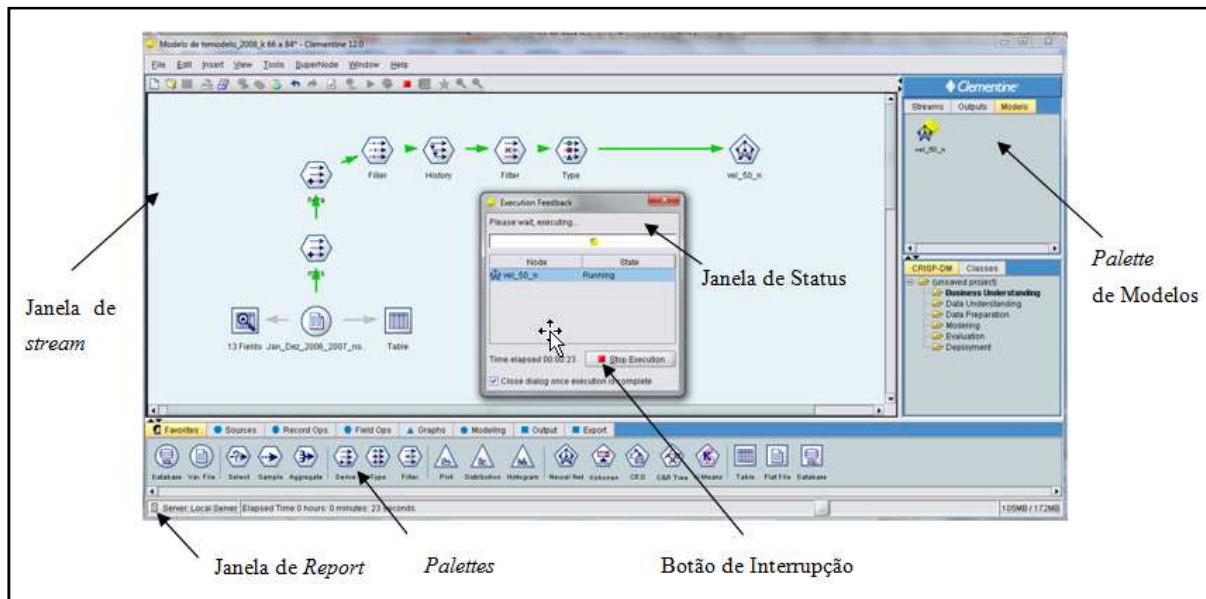
Quando a rede estiver treinada, os registos com características semelhantes aparecerão juntos no mapa de saída, ao contrário dos registos com características distintas, que se encontrarão distantes.

A ferramenta dispõe do algoritmo "*K-Means*" que cria um modelo de agrupamento, isto é, descobre semelhanças nos dados originais e agrupa-os de forma a maximizar a similaridade dentro do grupo e a maximizar a diferença entre grupos.

## A.8 INTERFACE DO CLEMENTINE

As funcionalidades do *Clementine* estão integradas numa interface de programação gráfica conforme podemos ver na Figura seguinte:

Fonte: (*Clementine* - versão 12)



**Figura A.3 - Interface do *Clementine***

Como podemos verificar, na janela principal do *Clementine* (Figura 6), encontram-se os seguintes componentes:

- *Stream*: é a área principal de trabalho do *Clementine*. Podemos, nesta ultima, colocar e manipular ícones que representam nós de processamento - programação gráfica. O conteúdo é designado de diagrama; estes podem ser carregados e gravados de e para uma unidade de armazenamento;
- *Palletes*: contêm famílias de ícones que representam diferentes operações possíveis no *Clementine*. Na programação gráfica, os ícones são seleccionados das *palletes*, colocados na *stream*, conectados uns aos outros e editados;
- *Pallete de Modelos*: guarda o resultado da modelação;
- *Janela de Report*: dá-nos um *feedback* do progresso das várias operações. Durante a leitura dos registos, dá-nos o ponto de situação e durante a aprendizagem dos modelos mostra-nos o tempo despendido nesse processo;
- *Janela de Status*: dá-nos informação sobre o modo em que o *Clementine* está a funcionar - “*executing diagram*”, “*editing*”, “*plotting*”;
- *Botão de Stop execution*: este botão está etiquetado com a palavra *Stop execution*; quando pressionado, para a *stream* válida no corrente diagrama.

## A.9 COMO UTILIZAR O CLEMENTINE

Na janela da *stream*, o utilizador desenha um diagrama com uma determinada configuração dos dados, ligando as várias operações numa *stream*. Cada tipo de operação é representado por ícones, que por sua vez se encontram agrupados em *palettes*. As *palettes* encontram-se no fundo da janela e estão etiquetadas por categorias de acordo com as funções desempenhadas pelos respectivos ícones.

Os ícones seleccionados pelo utilizador são colocados na área de trabalho da *stream*. Cada ícone assim colocado é denominado nó da *stream* ou diagrama resultante. Os nós somos ligados com setas pelo utilizador mostrando, assim, o seguimento dos dados através da *stream*.

Um diagrama de *stream* começa sempre com um nó de origem, isto é, uma operação que permite aceder aos dados; é seguido por nós de manipulação de dados e finaliza com nós terminais.

Fonte: (Clementine - versão 12)

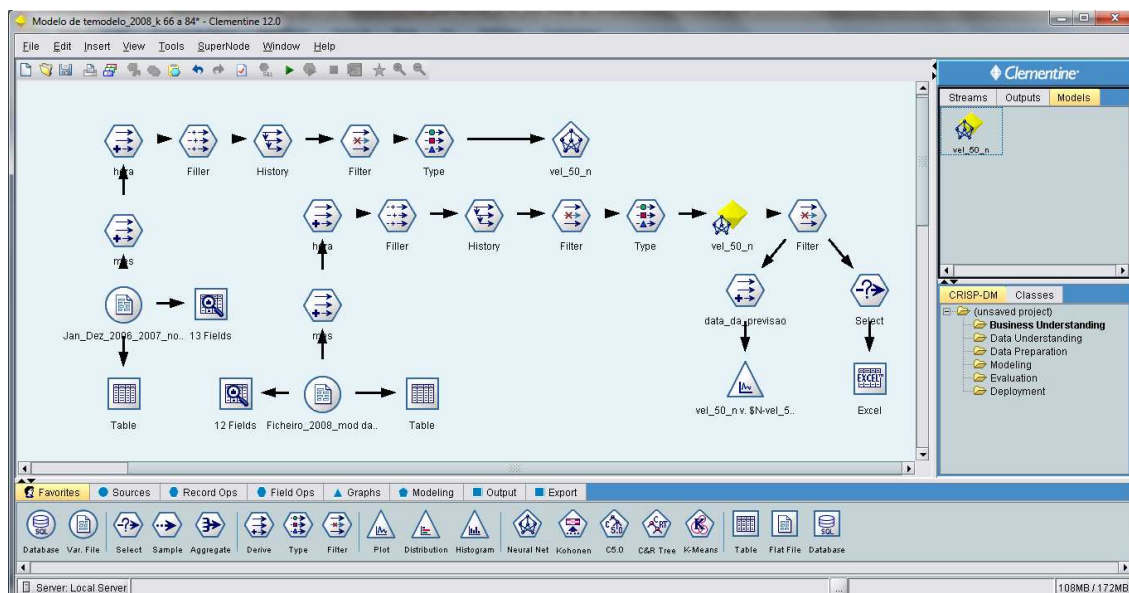


Figura A.4 - Exemplo de uma *Stream*.

Conforme podemos constatar na Figura A.4, é possível observar a existência de 6 tipos distintos de *palettes*:

- A *palette* dos ícones de origem que permitem fornecer o *input* das *streams*;

- A *palette* dos ícones de operações sobre os registos;
- A *palette* dos ícones de operações sobre os atributos;
- A *palette* dos ícones de visualização gráfica;
- A *palette* dos ícones de modelação;
- A *palette* dos ícones de destino que permitem o armazenamento, visualização e análise do *output* das *streams*.

O processo de modelação vai criar modelos representados por ícones em forma de diamante no lado direito da *palette*; também colocados no diagrama.

Para editar o nó, utiliza-se uma caixa de diálogo, para especificar os detalhes da operação que vai apresentar, e o diagrama resultante é executado; os dados correm no sentido das setas da origem para o destino.

## A.10 DESCRIÇÃO DOS ÍCONES

Nesta secção é dada uma breve descrição dos tipos de ícones existentes nas *palletes* do *Clementine* e descritas anteriormente:

- Ícones de entrada (*Sources*)

Os *Source Nodes* importam, para o *Clementine*, registos provenientes de ficheiros ASCII ou bases de dados. São sempre o primeiro nó de uma *stream* e não podem receber nenhuma ligação de entrada. Esta família de ícones tem uma forma circular.

- *Fixed File*: lê dados de ficheiros com campos de tamanho fixo;
- *Variable File*: lê dados de ficheiros com campos de tamanho variável, utilizando a informação de caracteres delimitadores para identificar cada campo;
- ODBC: lê dados de uma base de dados relacional utilizando uma vista ODBC;
- *Cache File*: lê dados de ficheiros do tipo *Clementine Cache Format (CCF)*.

- Ícones de Manipulação (*Records Ops e Fields Ops*)

As operações nos registos são realizadas pelos *Manipulation Nodes* (ex: *select*, *merge* e *sample*) ou nos atributos (ex: *filter*, *derive*, *type* e *history*). Este tipo de ícones suporta tanto as ligações de entrada como as de saída.

Muitos destes ícones recorrem a expressões da linguagem CLEM<sup>12</sup> para criar novos valores. Quando a *stream* é executada, todas as expressões CLEM são compiladas antes de qualquer nó ser executado, havendo uma imediata verificação da sintaxe. Esta família de ícones tem uma forma hexagonal.

- *Select*: selecciona um subconjunto de registos baseando-se numa condição específica;
  - *Sample*: selecciona um subconjunto contíguo ou aleatório de registos;
  - *Merge*: pode receber múltiplas entradas. Combina registos de diferentes entradas para criar uma única saída, utilizando um ou mais atributos em comum;
  - *Balance*: modifica as proporções dos registos de modo a equilibrar as quantidades existentes de cada registo;
  - *Sort*: ordena os registos baseado nos valores das variáveis que lhes são passados como chave;
  - *Aggregate*: agrega os registos que lhe são passados como entrada, para gerar registos de saída sumariados;
  - *Distinct*: remove registos duplicados de acordo com um determinado critério;
  - *Append*: pode receber múltiplas entradas. Faz o *append* de dois ou mais conjuntos de dados;
  - *Filter*: filtra e renomeia campos;
  - *Derive*: adiciona um novo campo ao conjunto de dados. Existem seis tipos de *derive node* que podem ser criados;
  - *Type*: associa tipos de dados a cada atributo do conjunto de dados. Também permite a verificação de tipos;
  - *Filler*: substitui o valor de um determinado atributo por um novo valor;
  - *History*: adiciona novos atributos baseando-se nos valores de atributos anteriores;
  - *Set To Flag*: cria um campo do tipo *flag* baseado no conjunto de valores possíveis para esse campo. As *flags* resultantes podem ser agrupadas.
- Ícones gráficos (*Graphs*)

---

<sup>12</sup> Linguagem de programação própria do *Clementine*

Estes ícones -*Graph Nodes* -utilizam gráficos para mostrar as propriedades das relações existentes entre os vários atributos. Podem apenas receber uma única ligação de entrada.

Esta família de ícones tem uma forma triangular.

- *Distribution*: possibilita a visualização e a distribuição dos valores de variáveis simbólicas;
  - *Histogram*: possibilita a visualização e a distribuição dos valores de variáveis numéricas, através de um histograma;
  - *Plot*: possibilita a visualização e a relação entre duas variáveis numéricas, através de um gráfico bidimensional;
  - *Web*: possibilita a visualização e a ligação existente entre os valores de várias variáveis simbólicas;
  - *Multiplot*: faz o *display* de múltiplas variáveis no eixo das ordenadas ao longo do eixo das abcissas.
- Ícones de Modelização

Os ícones -*Modelling Nodes* - utilizam aprendizagem máquina (redes neuronais e regras de indução) e técnicas estatísticas (regressão linear) para prever valores para as variáveis de saída ou grupos de registos semelhantes.

Cada ícone apenas pode receber uma única ligação de entrada.

Esta família de ícones tem uma forma pentagonal.

- *Built Rule*: utiliza árvores de decisão para gerar regras capazes de preverem os valores de uma variável de *output*;
- *Train Net*: cria e treina uma rede neuronal que prevê o valor de uma ou mais variáveis de saída. Por defeito, a rede criada contém *layers* com mais do que um *perceptron* (multi-layer perceptron – MLP), que são treinados através de uma aprendizagem por backpropagation.
- *Train Kohonen*: cria e treina uma rede de *Kohonen* a fim de dividir os registos em *clusters*;
- *Built C5.0*: gera uma árvore de decisão ou um conjunto de regras capazes de prever o valor da variável de saída;
- *Regression*: recorre à regressão linear para produzir a “melhor” equação, capaz de modelar uma variável de *output* numérica, tendo em conta várias variáveis de entrada numéricas;

- GRI: permite criar um conjunto de regras independentes que descrevem o conjunto de dados. O GRI generaliza as regras de associação e a sua funcionalidade é por vezes referenciada como sendo o “descobridor” de regras de associação. Suporta tanto as variáveis numéricas como as simbólicas, dados de entrada e apenas variáveis simbólicas como saída. Este modelo produz regras que não estão refinadas;
- *Apriori*: cria um conjunto de regras de associação independentes que descrevem o conjunto de dados. O algoritmo de modelização do *apriori* faz a descoberta de regras de indução. O *apriori* apenas suporta variáveis simbólicas e produz regras que não estão refinadas;
- *Train Kmeans*: produz um modelo que faz *clustering* utilizando um determinado número de *clusters*.

- Ícones de Saída (*Output*)

Os *Output Nodes* lêem os dados e guardam uma Tabela ou um *report* num ficheiro ou numa base de dados. Apenas podem ter uma única ligação de entrada.

Esta família de ícones tem uma forma quadrada.

- *Table*: faz o *display* ou grava os dados de uma forma tabular;
- *Matrix*: faz o cruzamento de duas variáveis simbólicas; opcionalmente, mostra valores associados para uma determinada variável numérica. Pode também relacionar um conjunto completo de *flags* ou de variáveis numéricas;
- *Output File*: guarda os dados num ficheiro com tamanhos de campos variáveis ou em ficheiros *Clementine Cache Format (CCF)*;
- *Report*: produz um *report* de acordo com o formato indicado;
- *Statistic*: elabora uma análise estatística das variáveis numéricas;
- *Analysis*: analisa a performance dos modelos gerados;
- *Set Globals*: calcula os valores a serem desenvolvidos pelas funções do *Clementine*;
- *Set Quality*: produz um *report* no qual estão determinadas todas as variáveis recebidas que contêm valores inválidos (nulos ou em branco);
- *ODBC Output*: guarda os dados numa Tabela da base de dados relacional usando o ODBC;

- *Excel*: invoca o *Microsoft Excel*.

## **A.11 COMO O *CLEMENTINE* INTERPRETA OS DADOS**

O *Clementine* vai manipular os dados como uma sequência de registos contendo numa sequência fixa de campos, isto é, como uma Tabela única.

No *Clementine*, várias Tabelas podem ser unidas, mas o resultado final é uma Tabela única em que a maioria das operações pode ser aplicadas.

Numa *stream*, os dados seguem registo a registo de um nó de origem para um nó terminal.

Cada nó na *stream* vê o formato dos registos como:

- O número de campos no registo;
- O nome de cada campo no registo;
- O tipo de cada campo no registo;
- A direcção de cada campo no registo;
- A definição de campos “*null*” (valores em falta) para cada campo.

A direcção dos campos pode ser do tipo “*IN*” (só de entrada), “*OUT*”(só de saída), “*BOTH*” (entrada e saída) ou “*NONE*”.

## **A.12 LEITURA DOS DADOS**

O *Clementine* tem a possibilidade de ler os dados directamente de ficheiros ASCII, ou pelo intermédio de um sistema de base de dados via uma ligação ODBC – *Open Database Connectivity* – podendo igualmente exportar dados nestes dois modos.

## **A.13 CRIAÇÃO DA *STREAM***

O utilizador selecciona os ícones das *palettes* e coloca-os na área de trabalho; estes passam, então, a chamarem-se nós e são ligados através de setas que indicam o sentido do fluxo da informação na *stream*.

Normalmente, a *stream* inicia com um nó de origem, seguindo-se os nós de manipulação dos dados e, finalmente, os nós terminais. O destino dos dados pode ser do tipo *reports*, gráficos, técnicas de modelação ou Tabelas.

No exemplo da *stream* da Figura A.3, verifica-se a existência de um nó de origem (ícone circular), vários nós de manipulação (ícones hexagonais) e um nó terminal (ícone triangular para visualização gráfica, ícones quadrados para outras formas de visualização e armazenamento e ícones pentagonais para a modelação). No processo de modelação os



modelos produzidos são representados por um ícone com a forma de um diamante, como apresentado, na *palette* de modelos. Ícones que também podem ser utilizados na *stream*. Pode-se realizar a edição do nó, utilizando uma caixa de diálogo, permitindo especificar detalhes sobre as operações a serem executadas. Após a execução da *stream*, a informação vai fluir conforme o sentido das setas, isto é, desde a origem até ao destino.

#### A.14 SUPER-NÓS

O *Clementine* torna-se uma ferramenta fácil de utilizar devido a sua clara definição das funções de cada nó. No entanto, pode acontecer que uma *stream* se torne muito complexa se uma grande sequência de nós for necessária (*Clementine* –(1994-1998)).

Para resolver este problema, é por vezes, necessário, dividir a *stream* em várias partes. A primeira vai criar um ficheiro que será o *input* da segunda e assim sucessivamente. Constata-se que esta solução é eficaz, porém, implica uma constante limpeza e carregamento de *streams*.

Em alternativa a este procedimento podem ser utilizados super-nós. Estes últimos são representados por uma estrela e não se encontram em nenhuma das *palettes*. Têm como principal função permitir o agrupamento de fragmentos de *stream* (constituídos por vários nós) num só nó. Este agrupamento de nós é conhecido por encapsulamento.

A vantagem da utilização de super-nós é permitir manter a *stream* clara e manuseável, possibilitando, assim, uma fácil compreensão tendo em conta que os super-nós têm um baixo nível de detalhe e podem ser exportados para bibliotecas e reutilizados noutras *streams*.

Os diferentes tipos de super-nós podem ser os seguintes:

- Super-nós de entrada: contêm um nó de entrada;
- Super-nós terminais: contêm pelo menos um nó de entrada;
- Super-nós de manipulação: apenas contêm nós de manipulação.

No entanto, existem, algumas limitações na utilização deste tipo de nó e no processo de encapsulamento:

- Deve existir um caminho entre os dois nós escolhidos para o encapsulamento;
- Um super-nó não pode conter um nó de entrada e um nó de saída em simultâneo;

- Um super-nó não pode incluir nós do tipo *merge* ou *append*;
- Um super-nó não pode conter outro super-nó;
- Nenhum dos nós a ser encapsulado pode ter múltiplas conexões de saída, como por exemplo, uma bifurcação na *stream*.

Esta última restrição não se aplica aos nós terminais, estes últimos, são incluídos no super-nó.

## **A.15 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A ferramenta *Clementine* tem um interface de programação visual que facilita a compreensão e também a elaboração de *streams* nas quais são definidas as sequências de operações a realizar sobre os dados – processo de extracção de conhecimentos. Esta ferramenta inclui um conjunto de algoritmos de modelação e aprendizagem que permitem uma melhor compreensão de todo o processo de extracção de conhecimento a partir da origem de diversas fontes de dados.

**ANEXO B – FICHEIRO COM AQUISIÇÃO DE  
DADOS RELATIVOS AO MÊS DE JANEIRO DE 2006**

**Tabela B1 – Folha de cálculo Excel, referência SCR0601WD, caracteriza a aquisição de dados relativo ao mês de Janeiro de 2006 (parque eólico São João do Cariri) com uma cadência de 10 minutos**

site	ano	dia	data	mins	vel_25	Dir_25	Temp_25	vel_50	Dir_50	Temp_50
25	2006	1	01-01-2006 00:00	0	6.78	156.3	23.42	7.88	154.5	23.13
25	2006	1	01-01-2006 00:10	10	6.6	156.3	23.33	7.9	154	23.05
25	2006	1	01-01-2006 00:20	20	8.38	157	23.33	9.39	155.4	23.01
25	2006	1	01-01-2006 00:30	30	6.2	157.6	23.3	7.12	156.9	22.99
25	2006	1	01-01-2006 00:40	40	6.6	162.4	23.18	7.7	162.6	22.87
25	2006	1	01-01-2006 00:50	50	6.62	169.2	23.01	7.7	166	22.73
25	2006	1	01-01-2006 01:00	60	5.26	165.8	22.83	6.33	164.3	22.54
25	2006	1	01-01-2006 01:10	70	5.81	162.1	22.74	6.67	163.3	22.45
25	2006	1	01-01-2006 01:20	80	6.06	164.3	22.65	7.15	162.2	22.38
25	2006	1	01-01-2006 01:30	90	6.56	164.5	22.57	7.69	164.2	22.29
25	2006	1	01-01-2006 01:40	100	6.46	162.5	22.5	7.44	161.7	22.22
25	2006	1	01-01-2006 01:50	110	6.18	163	22.45	7	160.3	22.16
25	2006	1	01-01-2006 02:00	120	6.06	164.3	22.42	6.95	163.8	22.12
25	2006	1	01-01-2006 02:10	130	5.22	167.2	22.37	5.93	164.6	22.08
25	2006	1	01-01-2006 02:20	140	5.55	166.3	22.3	6.61	163.4	22.01

# ANEXO C – NORMALIZAÇÃO DOS DADOS

**Tabela C1 – Parte da folha de cálculo Excel do ano 2006 com os atributos velocidade do vento (Vel\_50\_n), Direcção do vento (Dir\_50\_n) e Temperatura do ar (Temp\_50\_n) normalizados**

1	site	ano	dia	data	mins	vel_25	Dir_25	Temp_25	vel_50	Dir_50	Temp_50	vel_50_n	Dir_50_n	Temp_50_n
2	25	2006	1	01-01-2006 00:00	0	6.78	156.3	23.42	7.88	154.5	23.13	0.547977289	0.443066789	0.41752797
3	25	2006	1	01-01-2006 00:10	10	6.6	156.3	23.33	7.9	154	23.05	0.549112846	0.441955029	0.414118274
4	25	2006	1	01-01-2006 00:20	20	8.38	157	23.33	9.39	155.4	23.01	0.633711852	0.445067956	0.412413426
5	25	2006	1	01-01-2006 00:30	30	6.2	157.6	23.3	7.12	156.9	22.99	0.504826118	0.448403235	0.411561002
6	25	2006	1	01-01-2006 00:40	40	6.6	162.4	23.18	7.7	162.6	22.87	0.537757275	0.461077295	0.406446457
7	25	2006	1	01-01-2006 00:50	50	6.62	169.2	23.01	7.7	166	22.73	0.537757275	0.468637261	0.400479489
8	25	2006	1	01-01-2006 01:00	60	5.26	165.8	22.83	6.33	164.3	22.54	0.459971611	0.464857278	0.39238146
9	25	2006	1	01-01-2006 01:10	70	5.81	162.1	22.74	6.67	163.3	22.45	0.479276082	0.462633759	0.388545551
10	25	2006	1	01-01-2006 01:20	80	6.06	164.3	22.65	7.15	162.2	22.38	0.506529454	0.460187887	0.385562067
11	25	2006	1	01-01-2006 01:30	90	6.56	164.5	22.57	7.69	164.2	22.29	0.537189496	0.464634926	0.381726159
12	25	2006	1	01-01-2006 01:40	100	6.46	162.5	22.5	7.44	161.7	22.22	0.522995032	0.459076128	0.378742674
13	25	2006	1	01-01-2006 01:50	110	6.18	163	22.45	7	160.3	22.16	0.498012775	0.455963201	0.376185402
14	25	2006	1	01-01-2006 02:00	120	6.06	164.3	22.42	6.95	163.8	22.12	0.495173882	0.463745518	0.374480554
15	25	2006	1	01-01-2006 02:10	130	5.22	167.2	22.37	5.93	164.6	22.08	0.437260468	0.465524334	0.372775706
16	25	2006	1	01-01-2006 02:20	140	5.55	166.3	22.3	6.61	163.4	22.01	0.475869411	0.462856111	0.369792222
17	25	2006	1	01-01-2006 02:30	150	4.97	171.9	22.15	6.1	169.7	21.88	0.446912704	0.476864282	0.364251465
18	25	2006	1	01-01-2006 02:40	160	3.94	173.4	21.98	4.87	172.2	21.73	0.37707594	0.48242308	0.357858284
19	25	2006	1	01-01-2006 02:50	170	3.76	176.2	21.97	4.65	176.9	21.71	0.364584812	0.492873621	0.35700586
20	25	2006	1	01-01-2006 03:00	180	3.46	174	21.98	4.18	171.9	21.67	0.337899219	0.481756024	0.355301012
21	25	2006	1	01-01-2006 03:10	190	2.93	169.7	21.87	3.97	170.7	21.6	0.325975869	0.479087801	0.352317528
22	25	2006	1	01-01-2006 03:20	200	2.91	169.7	21.78	3.75	167.7	21.54	0.313484741	0.472417243	0.349760256
23	25	2006	1	01-01-2006 03:30	210	2.96	172.4	21.71	3.76	171.4	21.47	0.31405252	0.480644265	0.346776771

**Tabela C2 – Parte da folha de cálculo Excel do ano 2007 com os atributos velocidade do vento (Vel\_50\_n), Direcção do vento (Dir\_50\_n) e Temperatura do ar (Temp\_50\_n) normalizados.**

52561	site	ano	dia	data	mins	vel_25	Dir_25	Temp_25	vel_50	Dir_50	Temp_50	vel_50_n	Dir_50_n	Temp_50_n
52562	25	2007	1	01-01-2007 00:00	0	7.35	140.4	25.15	8.35	139.7	24.8	0.574662881	0.410158704	0.488705381
52563	25	2007	1	01-01-2007 00:10	10	7.75	148.3	25.06	8.94	147	24.7	0.608161817	0.426390394	0.484443261
52564	25	2007	1	01-01-2007 00:20	20	6.754	150.5	25.02	7.64	148.9	24.67	0.534350603	0.430615081	0.483164624
52565	25	2007	1	01-01-2007 00:30	30	7.07	154.1	24.89	8.18	151	24.52	0.565010646	0.435284471	0.476771444
52566	25	2007	1	01-01-2007 00:40	40	6.936	149.7	24.78	7.8	148	24.43	0.54343506	0.428613914	0.472935535
52567	25	2007	1	01-01-2007 00:50	50	7.66	151.4	24.64	8.39	149.5	24.29	0.576933996	0.431949193	0.466968567
52568	25	2007	1	01-01-2007 01:00	60	6.079	151.7	24.58	7.35	147.6	24.24	0.517885025	0.427724506	0.464837507
52569	25	2007	1	01-01-2007 01:10	70	6.808	153.9	24.49	7.79	151.5	24.14	0.542867282	0.436396231	0.460575386
52570	25	2007	1	01-01-2007 01:20	80	7.79	149.4	24.41	8.91	147.8	24.04	0.606458481	0.42816921	0.456313266
52571	25	2007	1	01-01-2007 01:30	90	7.45	152.8	24.31	8.31	150.1	23.97	0.572391767	0.433283304	0.453329782
52572	25	2007	1	01-01-2007 01:40	100	7.6	146	24.26	8.66	143.9	23.92	0.592264017	0.419497485	0.451198721
52573	25	2007	1	01-01-2007 01:50	110	6.253	148.6	24.25	6.75	145.5	23.93	0.483818311	0.423055115	0.451624933
52574	25	2007	1	01-01-2007 02:00	120	7.46	151.6	24.21	8.29	148.6	23.88	0.57125621	0.429948025	0.449493873
52575	25	2007	1	01-01-2007 02:10	130	7.62	146	24.11	8.69	143.6	23.76	0.593967353	0.418830429	0.444379329
52576	25	2007	1	01-01-2007 02:20	140	5.906	147.5	24.15	6.827	144.2	23.81	0.488190206	0.42016454	0.446510389
52577	25	2007	1	01-01-2007 02:30	150	6.251	157.1	24.03	7.11	153.9	23.69	0.504258339	0.441732677	0.441395844
52578	25	2007	1	01-01-2007 02:40	160	6.065	148.8	23.8	6.779	147.2	23.49	0.485464869	0.426835098	0.432871604
52579	25	2007	1	01-01-2007 02:50	170	6.551	150.2	23.91	7.26	148.7	23.6	0.512775018	0.430170377	0.437559936
52580	25	2007	1	01-01-2007 03:00	180	6.371	148.8	23.95	7.32	146.1	23.63	0.516181689	0.424389227	0.438838572
52581	25	2007	1	01-01-2007 03:10	190	6.529	146.3	23.95	7.37	145.7	23.62	0.519020582	0.423499819	0.43841236
52582	25	2007	1	01-01-2007 03:20	200	6.045	147.2	23.94	6.767	146.5	23.6	0.484783534	0.425278635	0.437559936
52583	25	2007	1	01-01-2007 03:30	210	4.461	153.7	23.94	5.022	150.7	23.63	0.385706175	0.434617416	0.438838572

**Tabela C3 – Parte da folha de cálculo Excel do ano 2008 com os atributos velocidade do vento (Vel\_50\_n), Direcção do vento (Dir\_50\_n) e Temperatura do ar (Temp\_50\_n) normalizados.**

1	site	ano	dia	data	mins	vel_25	Dir_25	Temp_25	vel_50	Dir_50	Temp_50	vel_50_n	Dir_50_n	Temp_50_n
2	25	2008	1	01-01-2008	0	7.44	154	23.83	8.53	152	23.52	0.626091	0.438034	0.43415024
3	25	2008	1	01-01-2008	10	7.99	154.2	23.66	8.69	153.3	23.36	0.635939	0.440925	0.427330847
4	25	2008	1	01-01-2008	20	7.27	154	23.54	8.36	153.6	23.24	0.615627	0.441593	0.422216303
5	25	2008	1	01-01-2008	30	7.29	156.3	23.43	8.13	154.9	23.13	0.60147	0.444484	0.41752797
6	25	2008	1	01-01-2008	40	6.877	161.8	23.36	7.55	160.3	23.07	0.565769	0.456495	0.414970698
7	25	2008	1	01-01-2008	50	7.44	159.9	23.24	8.68	157.9	22.94	0.635324	0.451157	0.409429941
8	25	2008	1	01-01-2008	60	7.17	164	23.14	8.15	162.5	22.84	0.602701	0.461388	0.405167821
9	25	2008	1	01-01-2008	70	7.28	163.2	23.05	8.59	161.4	22.75	0.629784	0.458941	0.401331913
10	25	2008	1	01-01-2008	80	6.013	165.2	22.99	6.873	161.5	22.68	0.524098	0.459164	0.398348428
11	25	2008	1	01-01-2008	90	6.548	159.5	22.83	7.4	156	22.54	0.556536	0.446931	0.39238146
12	25	2008	1	01-01-2008	100	6.5	166.6	22.65	7.2	163.5	22.37	0.544226	0.463612	0.385135855
13	25	2008	1	01-01-2008	110	4.89	161.9	22.6	5.611	158.8	22.3	0.446418	0.453158	0.382152371
14	25	2008	1	01-01-2008	120	5.667	156.5	22.41	6.404	154.4	22.09	0.49523	0.443372	0.373201918
15	25	2008	1	01-01-2008	130	5.97	159.9	22.27	6.734	158.5	21.97	0.515542	0.452491	0.368087373
16	25	2008	1	01-01-2008	140	6.436	163.2	22.17	7.56	162.2	21.86	0.566385	0.460721	0.363399041
17	25	2008	1	01-01-2008	150	5.63	167.3	22.05	6.474	164.4	21.75	0.499538	0.465614	0.358710709
18	25	2008	1	01-01-2008	160	5.745	169	21.94	6.663	166.6	21.64	0.511172	0.470507	0.354022376
19	25	2008	1	01-01-2008	170	5.96	166.2	21.86	6.776	164.8	21.57	0.518127	0.466504	0.351038892
20	25	2008	1	01-01-2008	180	5.655	165.6	21.77	6.383	165	21.48	0.493937	0.466948	0.347202983
21	25	2008	1	01-01-2008	190	4.871	167.8	21.65	5.691	166.9	21.38	0.451343	0.471174	0.342940863
22	25	2008	1	01-01-2008	200	4.951	169.4	21.56	5.625	168.7	21.26	0.44728	0.475178	0.337826319
23	25	2008	1	01-01-2008	210	4.299	169.6	21.47	5.037	166.3	21.19	0.411087	0.46984	0.334842834





**ANEXO D – RESUMO DOS CASOS DE  
TESTE - MODELOS PARA PREVISÃO DA  
VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24  
HORAS (144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS)**

**Tabela D.1 - Caso de estudo – modelos de previsão de 24 horas - 144 intervalos de 10 minutos**

Data da previsão	Teste1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste8
	MAPE Quick Span 9	MAPE Quick Span 9 C/ Direc. Do vento	MAPE Quick Span 18	MAPE Quick Span 18 C/ Direc. Vento	MAPE Quick Span 36	MAPE Quick Span 36 C/ Direc. Vento	MAPE Quick Span 72	MAPE Quick Span 72 C/ Direc. Vento
08-01-2008	17.03%	16.74%	17.09%	16.48%	17.16%	15.14%	16.94%	16.13%
15-01-2008	11.40%	11.41%	11.30%	11.41%	10.75%	13.02%	11.09%	11.98%
29-01-2008	17.28%	17.66%	18.40%	18.26%	18.07%	17.59%	17.48%	16.81%
08-02-2008	21.46%	21.10%	20.36%	20.20%	20.40%	17.59%	20.36%	20.33%
15-02-2008	18.87%	18.47%	19.46%	19.00%	17.78%	16.96%	16.53%	15.41%
22-02-2008	33.74%	33.81%	33.58%	33.46%	33.59%	31.27%	32.72%	32.64%
08-03-2008	22.85%	22.64%	22.27%	22.24%	22.39%	22.12%	22.36%	22.97%
08-04-2008	39.04%	38.86%	38.85%	38.53%	37.90%	38.40%	36.82%	33.88%
22-04-2008	23.54%	25.10%	24.89%	24.25%	24.05%	23.10%	24.80%	22.81%
29-04-2008	24.58%	25.11%	25.71%	25.54%	24.96%	25.44%	24.48%	24.78%
15-05-2008	27.89%	27.65%	27.20%	26.70%	26.55%	26.50%	26.15%	27.25%
29-05-2008	20.54%	20.73%	19.56%	19.62%	19.65%	20.01%	19.62%	19.43%
08-06-2008	13.78%	13.95%	14.23%	14.33%	14.24%	14.60%	14.03%	13.92%
15-06-2008	38.06%	36.87%	38.36%	36.44%	36.09%	34.68%	35.62%	35.77%
22-06-2008	27.43%	26.97%	27.95%	27.36%	28.29%	28.46%	27.98%	26.67%
29-06-2008	20.09%	21.00%	19.60%	21.03%	20.88%	20.58%	22.18%	23.60%
08-07-2008	17.62%	17.51%	16.06%	16.22%	16.74%	16.53%	17.15%	17.49%
22-07-2008	58.82%	30.65%	30.53%	29.84%	28.98%	29.17%	29.74%	29.26%
29-07-2008	13.78%	14.02%	13.64%	14.23%	14.01%	15.62%	14.09%	14.98%
08-08-2008	34.77%	34.67%	34.90%	34.30%	34.38%	36.15%	34.62%	36.51%
22-08-2008	17.00%	17.18%	16.49%	16.96%	15.89%	15.30%	16.27%	16.22%
29-08-2008	26.97%	26.68%	26.77%	26.70%	25.14%	25.92%	24.84%	24.56%
08-09-2008	12.57%	12.61%	12.70%	12.70%	12.56%	12.84%	12.34%	13.18%
15-09-2008	22.21%	22.38%	23.27%	22.94%	22.33%	23.22%	22.99%	23.43%
22-09-2008	13.13%	13.51%	13.19%	13.45%	13.31%	13.09%	13.57%	15.30%
29-09-2008	22.81%	23.18%	22.46%	22.50%	22.14%	24.98%	21.19%	22.46%
08-10-2008	17.39%	17.29%	16.45%	16.54%	16.69%	16.00%	16.25%	16.34%
15-10-2008	16.28%	16.11%	15.18%	15.61%	15.11%	16.15%	15.57%	15.64%
22-10-2008	18.44%	17.86%	18.59%	18.37%	17.66%	19.44%	17.23%	17.28%
29-10-2008	20.99%	20.96%	21.11%	20.91%	23.12%	19.55%	23.66%	22.73%
08-11-2008	26.49%	26.97%	26.28%	26.34%	26.41%	21.22%	26.86%	26.42%
15-11-2008	16.33%	15.84%	16.25%	15.97%	16.37%	17.39%	16.44%	15.98%
22-11-2008	21.33%	21.59%	22.15%	22.57%	19.73%	23.26%	18.92%	20.67%
29-11-2008	20.00%	20.05%	19.83%	19.76%	19.73%	18.98%	20.62%	19.63%
08-12-2008	32.00%	31.79%	32.41%	32.49%	30.53%	30.96%	28.03%	27.52%
15-12-2008	18.48%	18.48%	18.07%	18.05%	19.64%	17.90%	20.70%	21.30%
22-12-2008	14.61%	15.15%	14.49%	14.77%	14.48%	14.70%	16.01%	15.75%
29-12-2008	20.86%	21.00%	19.88%	20.18%	20.65%	20.00%	19.83%	20.78%
<b>Média:</b>	<b>22.64%</b>	<b>21.94%</b>	<b>21.83%</b>	<b>21.74%</b>	<b>21.54%</b>	<b>21.42%</b>	<b>21.48%</b>	<b>21.52%</b>

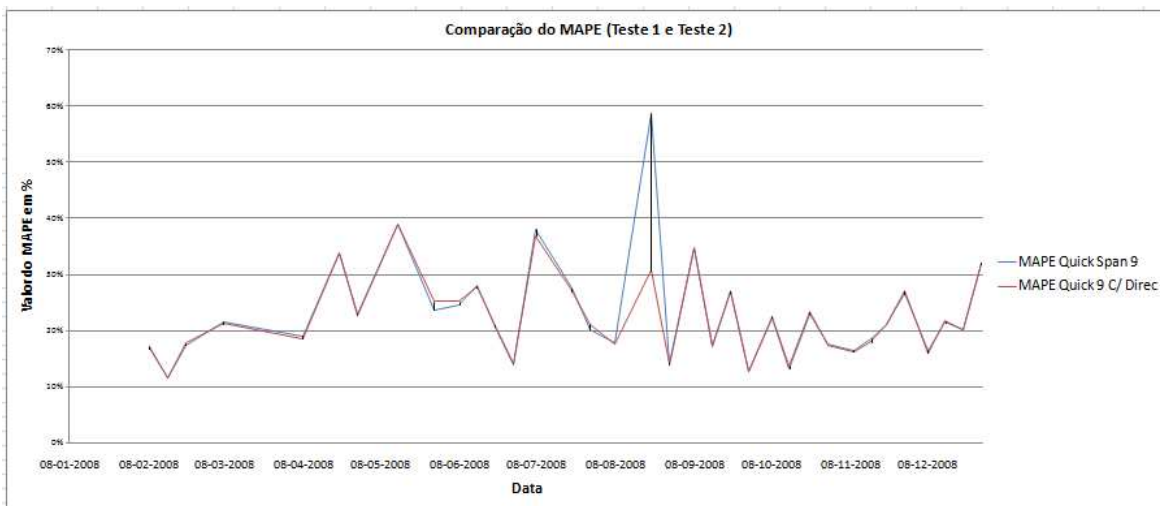


Figura D.2 - Comparação Valor MAPE (Teste 1 e Teste 2) – Span 9

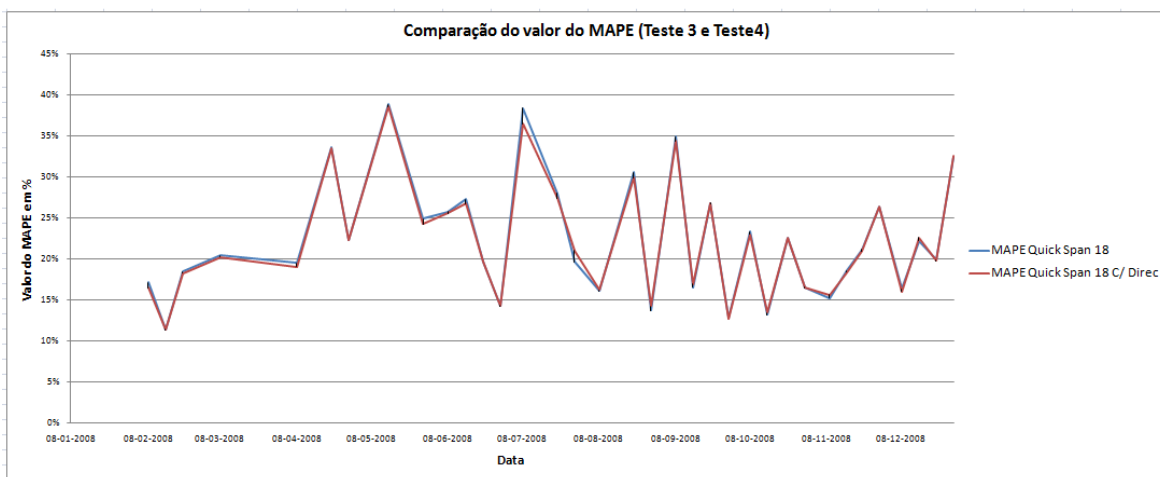


Figura D.3 - Comparação Valor MAPE (Teste 3 e Teste 4) – Span 18

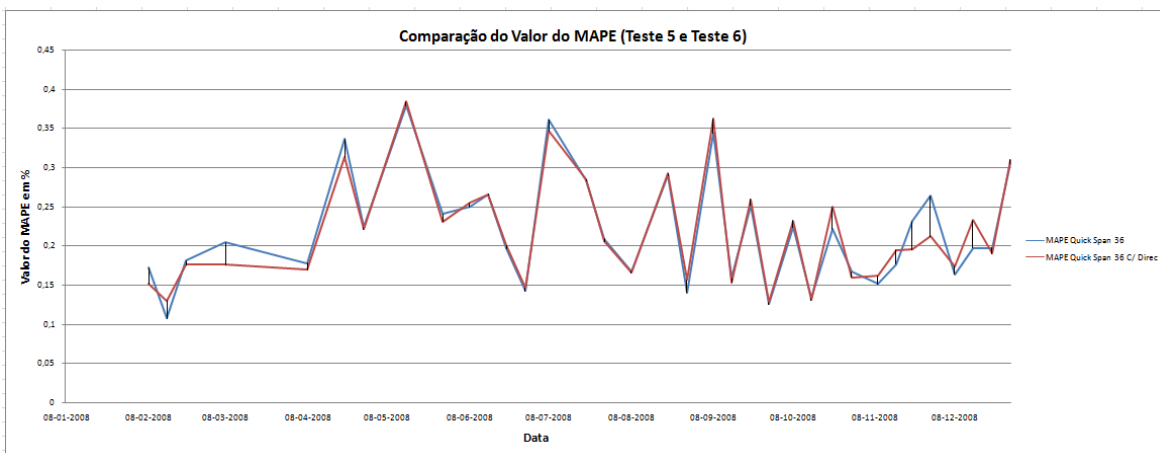


Figura D.4 - Comparação Valor MAPE (Teste 5 e Teste 6) – Span 36

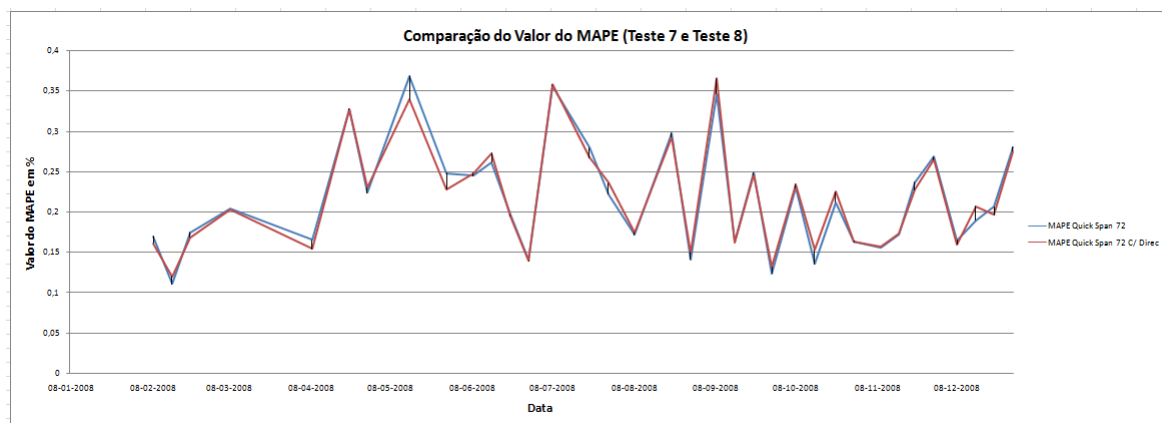


Figura D.5 - Comparação Valor MAPE (Teste 7 e Teste 8) – *Span 72*

**ANEXO E – MODELOS PARA PREVISÃO DA  
VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24  
HORAS - 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS SEM  
DIRECÇÃO DO VENTO E SEM TEMPERATURA DO  
AR – *SPAN 9* (TESTE 1)**

Tabela E.1 - Previsão (15-11-2008) – Span 9 s/ dir. vento e s/ Temp. ar (Teste1)

dia	data	mins	vel 50 n	\$N-vel 50 n	vel 50	\$N-vel 50		MAPE
319	14-Nov-2008	0	0.62732169	0.574508332	8.55	7.69198099	13.25288	16.33571
319	14-Nov-2008	10	0.67964146	0.575248693	9.4	7.704009084		
319	14-Nov-2008	20	0.62485958	0.586716974	8.51	7.890325643		
319	14-Nov-2008	30	0.62609064	0.567854302	8.53	7.583877948		
319	14-Nov-2008	40	0.57623298	0.546934676	7.72	7.244012483		
319	14-Nov-2008	50	0.55038086	0.553473587	7.3	7.350245259		
319	14-Nov-2008	60	0.50686312	0.543630099	6.593	7.190325488		
319	14-Nov-2008	70	0.62116642	0.543575665	8.45	7.189441141		
319	14-Nov-2008	80	0.62609064	0.501356639	8.53	6.503540297		
319	14-Nov-2008	90	0.47879511	0.507540692	6.137	6.604007968		
319	14-Nov-2008	100	0.45522044	0.494590591	5.754	6.393617381		
319	14-Nov-2008	110	0.44087866	0.483334749	5.521	6.210752165		
319	14-Nov-2008	120	0.45522044	0.485397211	5.754	6.244259447		
319	14-Nov-2008	130	0.51160268	0.472323842	6.67	6.031866214		
319	14-Nov-2008	140	0.50316996	0.486383884	6.533	6.260289179		
319	14-Nov-2008	150	0.46691544	0.466425579	5.944	5.936041567		
319	14-Nov-2008	160	0.38849735	0.474159594	4.67	6.061690309		
319	14-Nov-2008	170	0.34220974	0.48275967	3.918	6.201409289		
319	14-Nov-2008	180	0.32460568	0.468194224	3.632	5.964775407		
319	14-Nov-2008	190	0.34744172	0.46646299	4.003	5.936649344		
319	14-Nov-2008	200	0.40025391	0.459233384	4.861	5.81919537		
319	14-Nov-2008	210	0.39274448	0.452891837	4.739	5.716169004		
319	14-Nov-2008	220	0.51892745	0.445647092	6.789	5.598469072		
319	14-Nov-2008	230	0.55038086	0.440808897	7.3	5.519866538		
319	14-Nov-2008	240	0.52403632	0.442596802	6.872	5.548913297		
319	14-Nov-2008	250	0.54853428	0.440196875	7.27	5.509923476		
319	14-Nov-2008	260	0.50600139	0.435857677	6.579	5.439427783		
319	14-Nov-2008	270	0.51351081	0.424575635	6.701	5.256136918		
319	14-Nov-2008	280	0.49744556	0.427651529	6.44	5.306108651		
319	14-Nov-2008	290	0.52865277	0.440951788	6.947	5.52218799		
319	14-Nov-2008	300	0.49941525	0.450403002	6.472	5.675734768		
319	14-Nov-2008	310	0.50120028	0.450549805	6.501	5.678119775		
319	14-Nov-2008	320	0.51424944	0.463097723	6.713	5.881976384		
319	14-Nov-2008	330	0.47448642	0.454147308	6.067	5.73656571		
319	14-Nov-2008	340	0.43041471	0.437633266	5.351	5.468274441		
319	14-Nov-2008	350	0.44721859	0.436762195	5.624	5.454122804		
319	14-Nov-2008	360	0.48975148	0.44087312	6.315	5.52090992		
319	14-Nov-2008	370	0.53807032	0.464984202	7.1	5.912624585		
319	14-Nov-2008	380	0.44284835	0.475394669	5.553	6.081755643		
319	14-Nov-2008	390	0.41878126	0.454830795	5.162	5.747669801		
319	14-Nov-2008	400	0.42739863	0.460683839	5.302	5.842759817		
319	14-Nov-2008	410	0.40487036	0.44566669	4.936	5.598790872		
319	14-Nov-2008	420	0.37674079	0.434544554	4.479	5.418094459		
319	14-Nov-2008	430	0.35722859	0.438364425	4.162	5.480153034		
319	14-Nov-2008	440	0.3447334	0.43755875	3.959	5.467063834		
319	14-Nov-2008	450	0.38301916	0.431083476	4.581	5.36186493		
319	14-Nov-2008	460	0.40960991	0.43162555	5.013	5.370671595		
319	14-Nov-2008	470	0.37704855	0.422847914	4.484	5.228067925		
319	14-Nov-2008	480	0.40382396	0.414894715	4.919	5.098858269		
319	14-Nov-2008	490	0.40419328	0.411448826	4.925	5.04287549		
319	14-Nov-2008	500	0.39988459	0.401428184	4.855	4.880077636		
319	14-Nov-2008	510	0.4163807	0.395934581	5.123	4.790827191		
319	14-Nov-2008	520	0.36910826	0.382505809	4.355	4.572660004		
319	14-Nov-2008	530	0.41761176	0.373532574	5.143	4.426878587		
319	14-Nov-2008	540	0.47559437	0.391690971	6.085	4.721884441		
319	14-Nov-2008	550	0.42844503	0.393906277	5.319	4.757874855		
319	14-Nov-2008	560	0.4589136	0.392222357	5.814	4.730517467		
319	14-Nov-2008	570	0.52643687	0.410168606	6.911	5.022076713		
319	14-Nov-2008	580	0.58915904	0.424647298	7.93	5.257301163		
319	14-Nov-2008	590	0.55899823	0.439584767	7.44	5.499979015		
319	14-Nov-2008	600	0.56700008	0.468063679	7.57	5.962654542		
319	14-Nov-2008	610	0.53437716	0.472217221	7.04	6.030134022		
319	14-Nov-2008	620	0.58115719	0.501002317	7.8	6.497783901		
319	14-Nov-2008	630	0.54361006	0.509788626	7.19	6.640528459		
319	14-Nov-2008	640	0.57869508	0.515768551	7.76	6.737679817		
319	14-Nov-2008	650	0.61624221	0.530254101	8.37	6.973015694		
319	14-Nov-2008	660	0.6297838	0.502397431	8.59	6.520449264		
319	14-Nov-2008	670	0.60331615	0.511699585	8.16	6.671574378		
319	14-Nov-2008	680	0.66794645	0.508321354	9.21	6.616690791		
319	14-Nov-2008	690	0.58485035	0.519052477	7.86	6.791031299		
319	14-Nov-2008	700	0.65871355	0.527149521	9.06	6.922577905		

319	14-Nov-2008	710	0.47651766	0.52996257	6.1	6.968279399			
319	14-Nov-2008	720	0.55222744	0.541205407	7.33	7.150933336			
319	14-Nov-2008	730	0.57992614	0.539084238	7.78	7.116472296			
319	14-Nov-2008	740	0.62732169	0.52132679	8.55	6.827980357			
319	14-Nov-2008	750	0.57315534	0.521944435	7.67	6.838014785			
319	14-Nov-2008	760	0.52902208	0.514703564	6.953	6.72037778			
319	14-Nov-2008	770	0.53499269	0.525971749	7.05	6.90344353			
319	14-Nov-2008	780	0.57931061	0.518943806	7.77	6.789265804			
319	14-Nov-2008	790	0.51972763	0.504344534	6.802	6.552082393			
319	14-Nov-2008	800	0.58915904	0.5105535	7.93	6.652954802			
319	14-Nov-2008	810	0.56576902	0.483624397	7.55	6.215457855			
319	14-Nov-2008	820	0.54361006	0.462140237	7.19	5.866420829			
319	14-Nov-2008	830	0.61870432	0.469288844	8.41	5.982558879			
319	14-Nov-2008	840	0.53930138	0.466425813	7.12	5.936045368			
319	14-Nov-2008	850	0.58546588	0.461311937	7.87	5.852964062			
319	14-Nov-2008	860	0.54730322	0.480318099	7.25	6.161742914			
319	14-Nov-2008	870	0.5087097	0.454351517	6.623	5.739883329			
319	14-Nov-2008	880	0.57746403	0.485477296	7.74	6.24556052			
319	14-Nov-2008	890	0.52397476	0.469539663	6.871	5.986633746			
319	14-Nov-2008	900	0.5953143	0.47821037	8.03	6.127500227			
319	14-Nov-2008	910	0.61439563	0.488428295	8.34	6.293503185			
319	14-Nov-2008	920	0.52428253	0.487232692	6.876	6.274079128			
319	14-Nov-2008	930	0.61254905	0.493344655	8.31	6.373375604			
319	14-Nov-2008	940	0.70734016	0.493965616	9.85	6.383463887			
319	14-Nov-2008	950	0.62916827	0.48909383	8.58	6.304315632			
319	14-Nov-2008	960	0.61747326	0.503351782	8.39	6.535953886			
319	14-Nov-2008	970	0.67471724	0.531602379	9.32	6.994920153			
319	14-Nov-2008	980	0.66856198	0.529582304	9.22	6.962101503			
319	14-Nov-2008	990	0.64517196	0.52602744	8.84	6.9043483			
319	14-Nov-2008	1000	0.62916827	0.492572731	8.58	6.360834734			
319	14-Nov-2008	1010	0.61501116	0.495377013	8.35	6.406393804			
319	14-Nov-2008	1020	0.61008694	0.547987767	8.27	7.261121258			
319	14-Nov-2008	1030	0.52391321	0.532861014	6.87	7.015368246			
319	14-Nov-2008	1040	0.60885589	0.523153275	8.25	6.857653897			
319	14-Nov-2008	1050	0.58546588	0.53239603	7.87	7.007813995			
319	14-Nov-2008	1060	0.53314611	0.510758657	7.02	6.656287837			
319	14-Nov-2008	1070	0.52231284	0.519427784	6.844	6.797128635			
319	14-Nov-2008	1080	0.60762484	0.516787715	8.23	6.754237416			
319	14-Nov-2008	1090	0.57069324	0.489020035	7.63	6.303116739			
319	14-Nov-2008	1100	0.65809802	0.531126287	9.05	6.987185435			
319	14-Nov-2008	1110	0.69502962	0.519827897	9.65	6.803628977			
319	14-Nov-2008	1120	0.69195199	0.521928713	9.6	6.837759355			
319	14-Nov-2008	1130	0.69379857	0.553380097	9.63	7.348726409			
319	14-Nov-2008	1140	0.70426252	0.551861073	9.8	7.324047958			
319	14-Nov-2008	1150	0.64763407	0.543665478	8.88	7.190900278			
319	14-Nov-2008	1160	0.64024775	0.573315719	8.76	7.672605507			
319	14-Nov-2008	1170	0.68887436	0.577466945	9.55	7.74004735			
319	14-Nov-2008	1180	0.69502962	0.596080449	9.65	8.042447002			
319	14-Nov-2008	1190	0.67533277	0.593820478	9.33	8.005730949			
319	14-Nov-2008	1200	0.80520889	0.604964895	11.44	8.186785921			
319	14-Nov-2008	1210	0.703647	0.602759505	9.79	8.150956615			
319	14-Nov-2008	1220	0.70303147	0.599849362	9.78	8.103677693			
319	14-Nov-2008	1230	0.68456567	0.61235058	9.48	8.306775604			
319	14-Nov-2008	1240	0.62609064	0.613771851	8.53	8.329865938			
319	14-Nov-2008	1250	0.71349542	0.621681534	9.95	8.458368623			
319	14-Nov-2008	1260	0.65871355	0.618821967	9.06	8.411911376			
319	14-Nov-2008	1270	0.79536047	0.614191052	11.28	8.336676373			
319	14-Nov-2008	1280	0.76889282	0.623416897	10.85	8.486561769			
319	14-Nov-2008	1290	0.69195199	0.620079171	9.6	8.432336224			
319	14-Nov-2008	1300	0.74858044	0.625446344	10.52	8.519532669			
319	14-Nov-2008	1310	0.7430407	0.626869922	10.43	8.542660466			
319	14-Nov-2008	1320	0.70180042	0.625276019	9.76	8.516765524			
319	14-Nov-2008	1330	0.6667154	0.621501116	9.19	8.455437503			
319	14-Nov-2008	1340	0.75535124	0.6191543	10.63	8.417310542			
319	14-Nov-2008	1350	0.77381704	0.623316344	10.93	8.48492816			
319	14-Nov-2008	1360	0.67902593	0.623432975	9.39	8.486822971			
319	14-Nov-2008	1370	0.63963222	0.628703244	8.75	8.572445084			
319	14-Nov-2008	1380	0.66056013	0.626789544	9.09	8.541354635			
319	14-Nov-2008	1390	0.68825883	0.621883788	9.54	8.461654485			
319	14-Nov-2008	1400	0.6968762	0.619595324	9.68	8.424475529			
319	14-Nov-2008	1410	0.66609987	0.60917001	9.18	8.255103279			
319	14-Nov-2008	1420	0.65502039	0.599276768	9	8.094375186			
319	14-Nov-2008	1430	0.56022928	0.604595219	7.46	8.180780069			

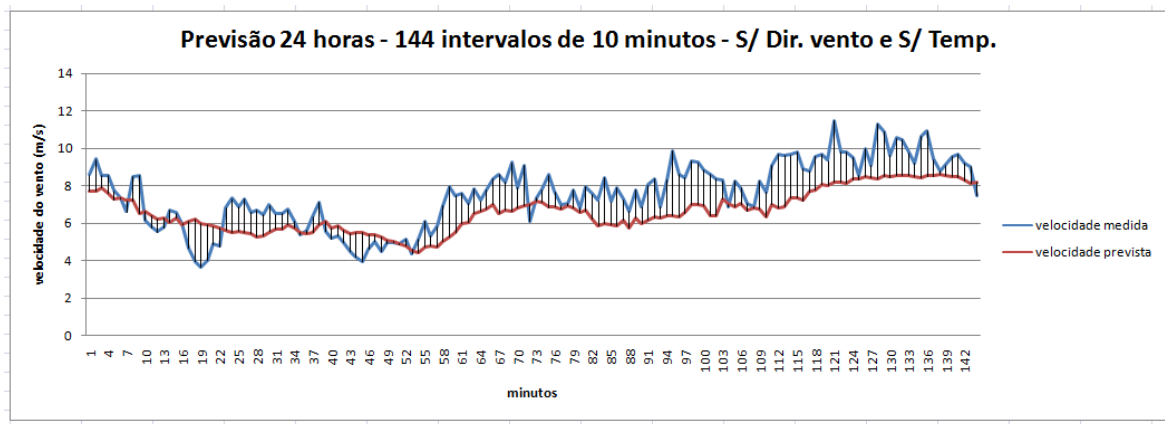


Figura E.1 - Previsão do vento do dia 15/11/2008 (MAPE: 16,33%) – Span 9 (Teste 1)

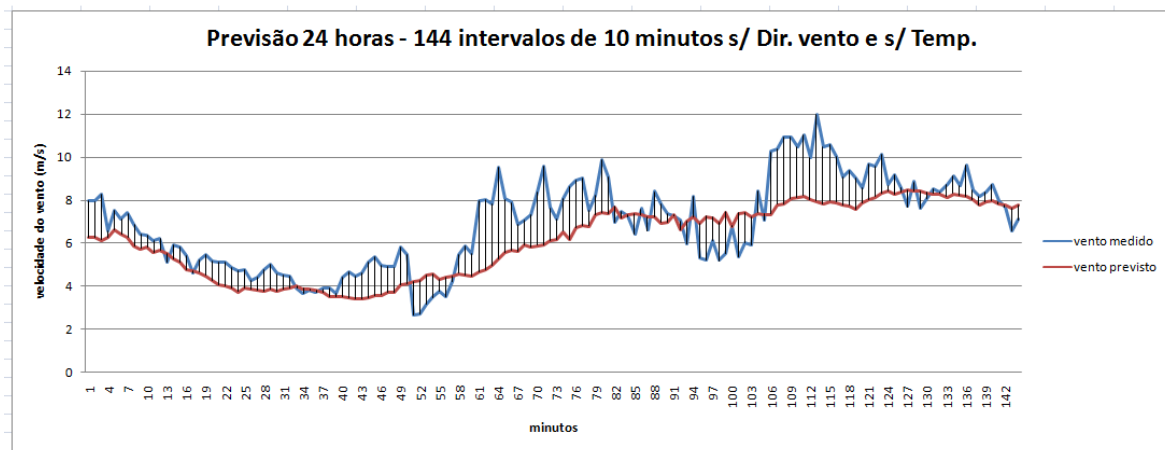


Figura E.2 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 17,39%) – Span 9 (Teste 1)

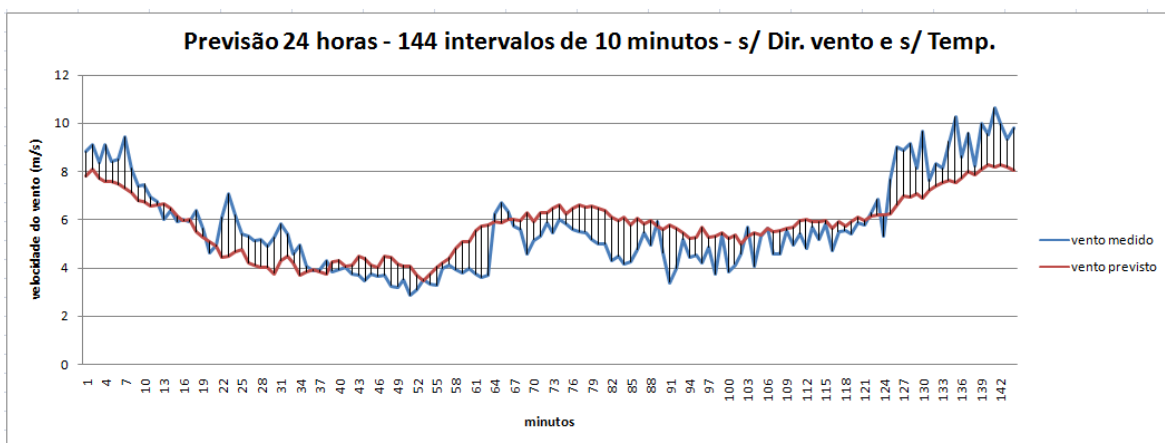


Figura E.3 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 17,03%) – Span 9 (Teste 1)



**ANEXO F – MODELOS PARA PREVISÃO DA  
VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24  
HORAS - 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS COM  
DIRECÇÃO DO VENTO – *SPAN 9* (TESTE 2)**

Tabela F.1 - Previsão do vento (15-11-2008) com direcção do vento – Span 9 (Teste 2)

día	data	mins	vel 50 n	\$N-vel 50 n	vel 50	\$N-vel 50		MAPE
319	14-Nov-2008	0	0.62732169	0.586475156	8.55	7.886397	12.83129	15.84189
319	14-Nov-2008	10	0.67964146	0.586385177	9.4	7.884935		
319	14-Nov-2008	20	0.62485958	0.598323643	8.51	8.07889		
319	14-Nov-2008	30	0.62609064	0.579749177	8.53	7.777125		
319	14-Nov-2008	40	0.57623298	0.556078313	7.72	7.392562		
319	14-Nov-2008	50	0.55038086	0.565488488	7.3	7.545442		
319	14-Nov-2008	60	0.50686312	0.554484008	6.593	7.366661		
319	14-Nov-2008	70	0.62116642	0.552554501	8.45	7.335314		
319	14-Nov-2008	80	0.62609064	0.506386227	8.53	6.585252		
319	14-Nov-2008	90	0.47879511	0.515226278	6.137	6.72887		
319	14-Nov-2008	100	0.45522044	0.498842978	5.754	6.462703		
319	14-Nov-2008	110	0.44087866	0.484360323	5.521	6.227414		
319	14-Nov-2008	120	0.45522044	0.489403425	5.754	6.309345		
319	14-Nov-2008	130	0.51160268	0.475451928	6.67	6.082686		
319	14-Nov-2008	140	0.50316996	0.487240362	6.533	6.274204		
319	14-Nov-2008	150	0.46691544	0.467400515	5.944	5.951881		
319	14-Nov-2008	160	0.38849735	0.476242601	4.67	6.095531		
319	14-Nov-2008	170	0.34220974	0.484170966	3.918	6.224338		
319	14-Nov-2008	180	0.32460568	0.47034331	3.632	5.99969		
319	14-Nov-2008	190	0.34744172	0.466812323	4.003	5.942325		
319	14-Nov-2008	200	0.40025391	0.459458739	4.861	5.822857		
319	14-Nov-2008	210	0.39274448	0.454720399	4.739	5.745876		
319	14-Nov-2008	220	0.51892745	0.446156477	6.789	5.606745		
319	14-Nov-2008	230	0.55038086	0.441862419	7.3	5.536982		
319	14-Nov-2008	240	0.52403632	0.44336207	6.872	5.561346		
319	14-Nov-2008	250	0.54853428	0.440072494	7.27	5.507903		
319	14-Nov-2008	260	0.50600139	0.434931674	6.579	5.424384		
319	14-Nov-2008	270	0.51351081	0.420037887	6.701	5.182416		
319	14-Nov-2008	280	0.49744556	0.426947795	6.44	5.294676		
319	14-Nov-2008	290	0.52865277	0.442639675	6.947	5.54961		
319	14-Nov-2008	300	0.49941525	0.450325526	6.472	5.674476		
319	14-Nov-2008	310	0.50120028	0.451258618	6.501	5.689635		
319	14-Nov-2008	320	0.51424944	0.466795675	6.713	5.942054		
319	14-Nov-2008	330	0.47448642	0.454338084	6.067	5.739665		
319	14-Nov-2008	340	0.43041471	0.435782006	5.351	5.438198		
319	14-Nov-2008	350	0.44721859	0.435692634	5.624	5.436746		
319	14-Nov-2008	360	0.48975148	0.441990868	6.315	5.539069		
319	14-Nov-2008	370	0.53807032	0.46546776	7.1	5.920481		
319	14-Nov-2008	380	0.44284835	0.477231743	5.553	6.111601		
319	14-Nov-2008	390	0.41878126	0.457040551	5.162	5.78357		
319	14-Nov-2008	400	0.42739863	0.461237305	5.302	5.851752		
319	14-Nov-2008	410	0.40487036	0.44583852	4.936	5.601579		
319	14-Nov-2008	420	0.37674079	0.435702292	4.479	5.436903		
319	14-Nov-2008	430	0.35722859	0.438707447	4.162	5.485726		
319	14-Nov-2008	440	0.3447334	0.438798681	3.959	5.487208		
319	14-Nov-2008	450	0.38301916	0.431604083	4.581	5.370323		
319	14-Nov-2008	460	0.40960991	0.429251259	5.013	5.332098		
319	14-Nov-2008	470	0.37704855	0.421926722	4.484	5.213102		
319	14-Nov-2008	480	0.40382396	0.41385618	4.919	5.081986		
319	14-Nov-2008	490	0.40419328	0.409981559	4.925	5.019038		
319	14-Nov-2008	500	0.39988459	0.400801591	4.855	4.869898		
319	14-Nov-2008	510	0.4163807	0.394437675	5.123	4.766508		
319	14-Nov-2008	520	0.36910826	0.382355347	4.355	4.570216		
319	14-Nov-2008	530	0.41761176	0.373715102	5.143	4.429844		
319	14-Nov-2008	540	0.47559437	0.389374181	6.085	4.684245		
319	14-Nov-2008	550	0.42844503	0.391879704	5.319	4.724951		
319	14-Nov-2008	560	0.4589136	0.390900759	5.814	4.709046		
319	14-Nov-2008	570	0.52643687	0.407098558	6.911	4.9722		
319	14-Nov-2008	580	0.58915904	0.424339165	7.93	5.252295		
319	14-Nov-2008	590	0.55899823	0.43888025	7.44	5.488533		
319	14-Nov-2008	600	0.56700008	0.469534963	7.57	5.986557		
319	14-Nov-2008	610	0.53437716	0.473355524	7.04	6.048627		
319	14-Nov-2008	620	0.58115719	0.501647218	7.8	6.508261		
319	14-Nov-2008	630	0.54361006	0.513527167	7.19	6.701266		
319	14-Nov-2008	640	0.57869508	0.520750234	7.76	6.818613		
319	14-Nov-2008	650	0.61624221	0.536527735	8.37	7.074939		
319	14-Nov-2008	660	0.6297838	0.506664783	8.59	6.589778		
319	14-Nov-2008	670	0.60331615	0.516517274	8.16	6.749844		
319	14-Nov-2008	680	0.66794645	0.516368778	9.21	6.747431		
319	14-Nov-2008	690	0.58485035	0.523031684	7.86	6.855678		
319	14-Nov-2008	700	0.65871355	0.533378465	9.06	7.023775		

319	14-Nov-2008	710	0.47651766	0.543317562	6.1	7.185248
319	14-Nov-2008	720	0.55222744	0.549613236	7.33	7.287529
319	14-Nov-2008	730	0.57992614	0.548337193	7.78	7.266798
319	14-Nov-2008	740	0.62732169	0.529239181	8.55	6.956527
319	14-Nov-2008	750	0.57315534	0.529423385	7.67	6.95952
319	14-Nov-2008	760	0.52902208	0.520358113	6.953	6.812243
319	14-Nov-2008	770	0.53499269	0.535042245	7.05	7.050805
319	14-Nov-2008	780	0.57931061	0.527746689	7.77	6.93228
319	14-Nov-2008	790	0.51972763	0.508645631	6.802	6.621959
319	14-Nov-2008	800	0.58915904	0.513990615	7.93	6.708795
319	14-Nov-2008	810	0.56576902	0.466833714	7.55	6.267597
319	14-Nov-2008	820	0.54361006	0.467635229	7.19	5.956694
319	14-Nov-2008	830	0.61870432	0.470487212	8.41	6.002028
319	14-Nov-2008	840	0.53930138	0.469913828	7.12	5.992713
319	14-Nov-2008	850	0.58546588	0.467420524	7.87	5.952206
319	14-Nov-2008	860	0.54730322	0.487684087	7.25	6.281413
319	14-Nov-2008	870	0.5087097	0.456664168	6.623	5.777455
319	14-Nov-2008	880	0.57746403	0.484399347	7.74	6.228048
319	14-Nov-2008	890	0.52397476	0.47505746	6.071	6.076277
319	14-Nov-2008	900	0.5953143	0.484815302	8.03	6.234806
319	14-Nov-2008	910	0.61439563	0.406562101	0.34	6.263106
319	14-Nov-2008	920	0.52428253	0.488417492	6.876	6.293328
319	14-Nov-2008	930	0.61254905	0.499758507	0.31	6.477570
319	14-Nov-2008	940	0.70734016	0.49862502	9.85	6.459162
319	14-Nov-2008	950	0.62916027	0.407621906	0.50	6.200402
319	14-Nov-2008	960	0.61747326	0.510835374	8.39	6.657534
319	14-Nov-2008	970	0.67471724	0.541951068	9.32	7.163048
319	14-Nov-2008	980	0.66856198	0.539723434	9.22	7.126857
319	14-Nov-2008	990	0.64517196	0.531282457	8.84	6.989723
319	14-Nov-2008	1000	0.62916827	0.493366188	8.58	6.373725
319	14-Nov-2008	1010	0.61501116	0.502133923	8.35	6.516168
319	14-Nov-2008	1020	0.61008694	0.54947124	8.27	7.374185
319	14-Nov-2008	1030	0.52391321	0.538073566	6.87	7.100053
319	14-Nov-2008	1040	0.60885589	0.529604904	8.25	6.962469
319	14-Nov-2008	1050	0.58546588	0.541086843	7.87	7.149007
319	14-Nov-2008	1060	0.53314611	0.520107236	7.02	6.808167
319	14-Nov-2008	1070	0.62231284	0.520860618	6.844	6.820244
319	14-Nov-2008	1080	0.60762484	0.518922258	8.23	6.788916
319	14-Nov-2008	1090	0.57069324	0.493431716	7.63	6.37479
319	14-Nov-2008	1100	0.65809802	0.540098137	9.05	7.132944
319	14-Nov-2008	1110	0.69502962	0.526717086	9.65	6.916552
319	14-Nov-2008	1120	0.69195199	0.520441016	9.6	6.81359
319	14-Nov-2008	1130	0.69379857	0.563202976	9.63	7.508311
319	14-Nov-2008	1140	0.70426252	0.565366745	9.8	7.543789
319	14-Nov-2008	1150	0.64763407	0.543907653	8.88	7.194786
319	14-Nov-2008	1160	0.64024775	0.561963101	8.76	7.813093
319	14-Nov-2008	1170	0.68887136	0.589235939	9.55	7.931219
319	14-Nov-2008	1180	0.69502962	0.604146052	9.65	8.173483
319	14-Nov-2008	1190	0.67533277	0.599830953	9.33	8.103379
319	14-Nov-2008	1200	0.80520889	0.612035787	11.44	8.301661
319	14-Nov-2008	1210	0.703647	0.610295652	9.79	8.273391
319	14-Nov-2008	1220	0.70303147	0.606822717	9.78	8.216969
319	14-Nov-2008	1230	0.68456567	0.61729577	9.48	8.387116
319	14-Nov-2008	1240	0.62809064	0.620313597	8.53	8.436145
319	14-Nov-2008	1250	0.71349542	0.625708186	9.95	8.523787
319	14-Nov-2008	1260	0.65871355	0.623439769	9.06	8.486933
319	14-Nov-2008	1270	0.79536047	0.620392936	11.28	8.437434
319	14-Nov-2008	1280	0.76889282	0.626501362	10.85	8.536673
319	14-Nov-2008	1290	0.69195199	0.623556866	9.6	8.488836
319	14-Nov-2008	1300	0.74858044	0.627793259	10.52	8.557661
319	14-Nov-2008	1310	0.7430407	0.629151409	10.43	8.579726
319	14-Nov-2008	1320	0.70180042	0.628023556	9.76	8.561403
319	14-Nov-2008	1330	0.6667154	0.625075127	9.19	8.513502
319	14-Nov-2008	1340	0.75535124	0.62396932	10.63	8.496537
319	14-Nov-2008	1350	0.77381704	0.626904267	10.93	8.543218
319	14-Nov-2008	1360	0.67902593	0.626907441	9.39	0.54327
319	14-Nov-2008	1370	0.63963222	0.63031226	8.75	8.598586
319	14-Nov-2008	1380	0.66056043	0.628958007	9.09	0.576504
319	14-Nov-2008	1390	0.68825883	0.625333346	9.54	8.517697
319	14-Nov-2008	1400	0.6960762	0.623908363	9.60	0.494546
319	14-Nov-2008	1410	0.66609987	0.616233889	9.18	8.369865
319	14-Nov-2008	1420	0.65502039	0.607671676	9	0.230761
319	14-Nov-2008	1430	0.56022928	0.612985771	7.46	8.317095

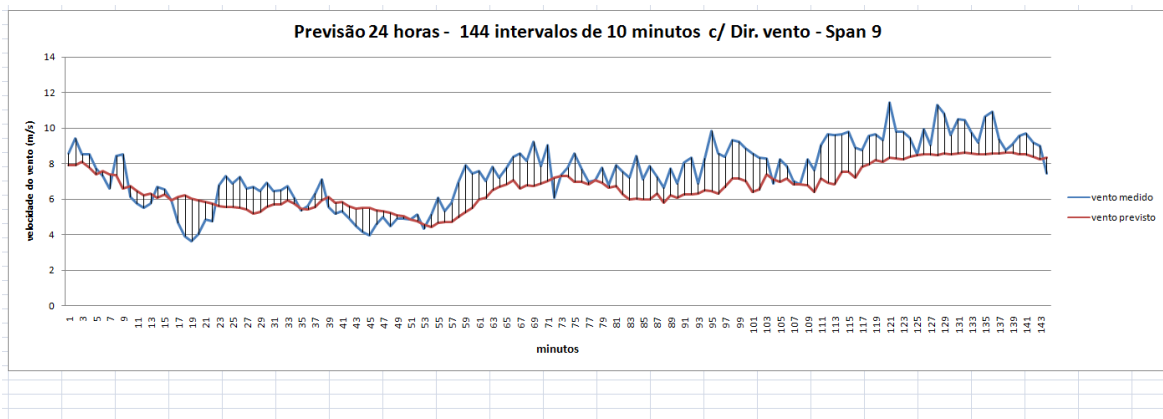


Figura F.1 - Previsão do vento do dia 15/11/2008 (MAPE: 15,84%) – Span 9 (Teste 2)

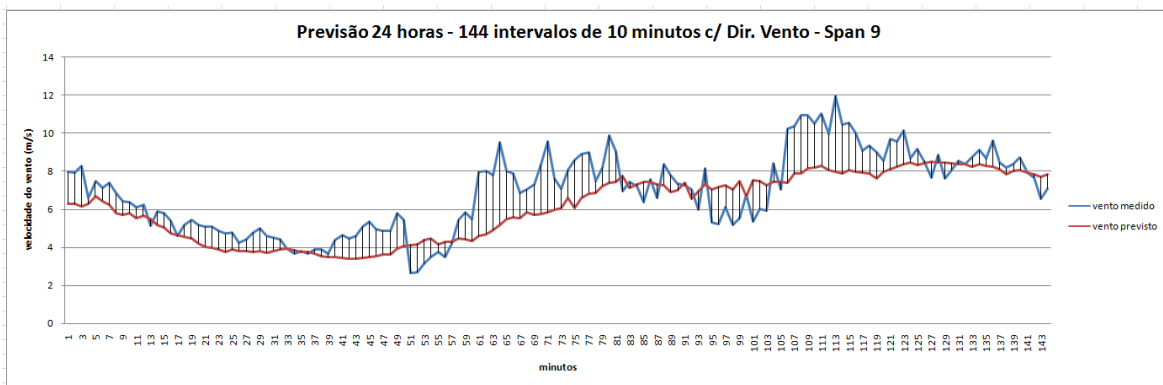


Figura F.2 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 17,29%) – Span 9 (Teste 2)

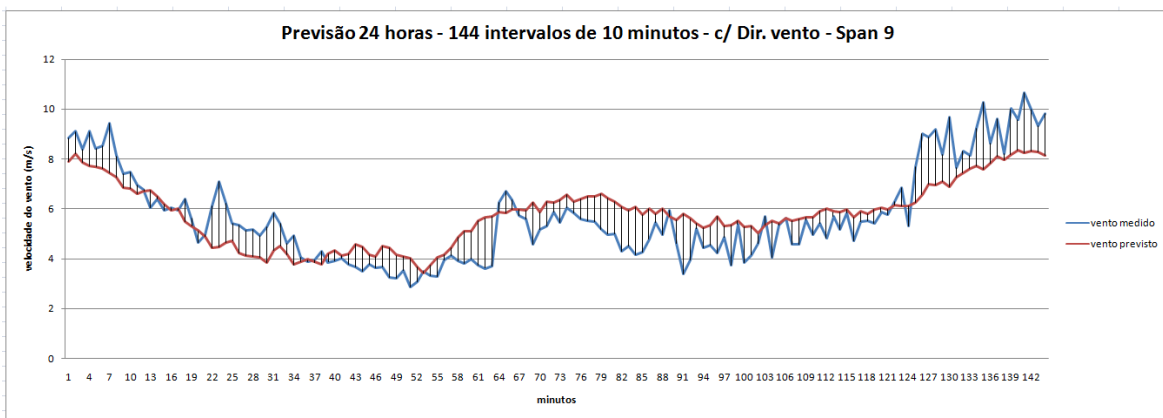


Figura F.3 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 16,74%) – Span 9 (Teste 2)

**ANEXO G** – MODELOS PARA PREVISÃO  
DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE  
24 HORAS - 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS  
SEM DIRECÇÃO DO VENTO – *SPAN 18* (TESTE 3)

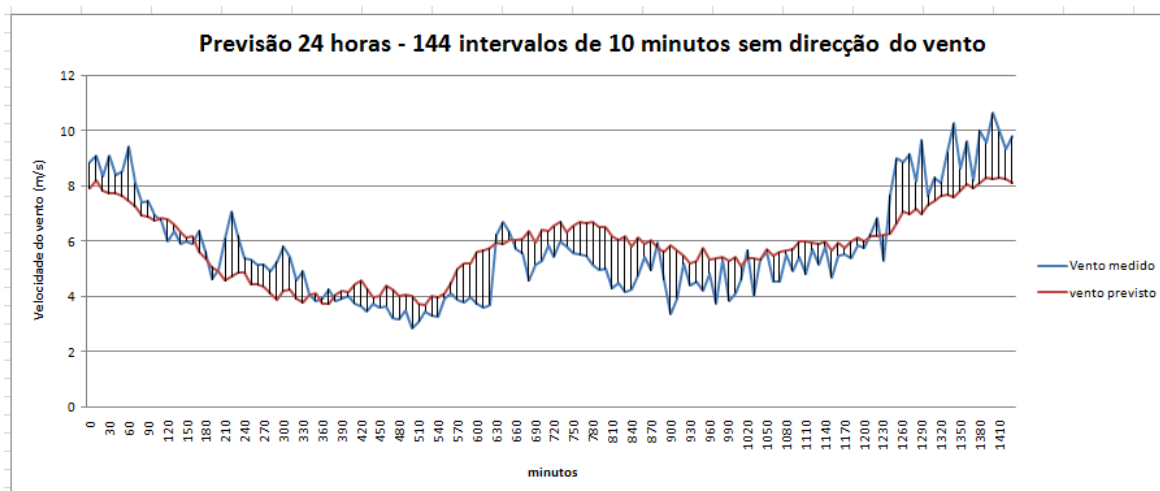


Figura G.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 17,09%) – Span 18 (Teste 3)

**ANEXO H – MODELOS PARA PREVISÃO  
DA VELOCIDADE COM HORIZONTE DE 24 HORAS  
- 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS SEM  
DIRECÇÃO DO VENTO – *SPAN 36* (TESTE 5)**

Tabela H.1 - Previsão do vento (15-11-2008) – Span 36 sem Direcção do vento (Teste 5)

dia	data	mins	vel 50 n	\$N-vel 50 n	vel 50	\$N-vel 50		MAPE
319	14-Nov-2008	0	0.62732169	0.580290692	8.55	7.785922647	13.29764	16.37651
319	14-Nov-2008	10	0.67964146	0.578812911	9.4	7.761914248		
319	14-Nov-2008	20	0.62485958	0.588696774	8.51	7.922489966		
319	14-Nov-2008	30	0.62609064	0.558697193	8.53	7.435109271		
319	14-Nov-2008	40	0.57623298	0.54440956	7.72	7.202988817		
319	14-Nov-2008	50	0.55038086	0.552070606	7.3	7.327452082		
319	14-Nov-2008	60	0.50686312	0.532560404	6.593	7.010484463		
319	14-Nov-2008	70	0.62116642	0.524866733	8.45	6.885491162		
319	14-Nov-2008	80	0.62609064	0.504029774	8.53	6.546968708		
319	14-Nov-2008	90	0.47879511	0.502882948	6.137	6.528337098		
319	14-Nov-2008	100	0.45522044	0.487969506	5.754	6.286049586		
319	14-Nov-2008	110	0.44087866	0.489627447	5.521	6.312984914		
319	14-Nov-2008	120	0.45522044	0.485562883	5.754	6.246950991		
319	14-Nov-2008	130	0.51160268	0.467506119	6.67	5.953596283		
319	14-Nov-2008	140	0.50316996	0.476078068	6.533	6.092858312		
319	14-Nov-2008	150	0.46691544	0.460766587	5.944	5.844104162		
319	14-Nov-2008	160	0.38849735	0.46369471	4.67	5.891675188		
319	14-Nov-2008	170	0.34220974	0.462554314	3.918	5.873148019		
319	14-Nov-2008	180	0.32460568	0.452232709	3.632	5.705460652		
319	14-Nov-2008	190	0.34744172	0.440255339	4.003	5.510873293		
319	14-Nov-2008	200	0.40025391	0.426528269	4.861	5.287859893		
319	14-Nov-2008	210	0.39274448	0.439269917	4.739	5.494863895		
319	14-Nov-2008	220	0.51892745	0.449125285	6.789	5.654976664		
319	14-Nov-2008	230	0.55038086	0.417352745	7.3	5.138792028		
319	14-Nov-2008	240	0.52403632	0.398219302	6.872	4.827945336		
319	14-Nov-2008	250	0.54853428	0.406161468	7.27	4.956975752		
319	14-Nov-2008	260	0.50600139	0.397395428	6.579	4.814560474		
319	14-Nov-2008	270	0.51351081	0.389759666	6.701	4.690507969		
319	14-Nov-2008	280	0.49744556	0.403328728	6.44	4.91095434		
319	14-Nov-2008	290	0.52865277	0.421193909	6.947	5.201196546		
319	14-Nov-2008	300	0.49941525	0.416899743	6.472	5.131432449		
319	14-Nov-2008	310	0.50120028	0.420166577	6.501	5.184506259		
319	14-Nov-2008	320	0.51424944	0.438580182	6.713	5.483658278		
319	14-Nov-2008	330	0.47448642	0.422313582	6.067	5.219387035		
319	14-Nov-2008	340	0.43041471	0.414698163	5.351	5.095665026		
319	14-Nov-2008	350	0.44721859	0.423938791	5.624	5.245790577		
319	14-Nov-2008	360	0.48975148	0.42004832	6.315	5.182585022		
319	14-Nov-2008	370	0.53807032	0.43253935	7.1	5.385517419		
319	14-Nov-2008	380	0.44284835	0.46153098	5.553	5.856522682		
319	14-Nov-2008	390	0.41878126	0.445144965	5.162	5.590311392		
319	14-Nov-2008	400	0.42739863	0.445505659	5.302	5.596171309		
319	14-Nov-2008	410	0.40487036	0.444450556	4.936	5.579029846		
319	14-Nov-2008	420	0.37674079	0.446636038	4.479	5.614535734		
319	14-Nov-2008	430	0.35722859	0.448356513	4.162	5.642487001		
319	14-Nov-2008	440	0.3447334	0.438627826	3.959	5.484432314		
319	14-Nov-2008	450	0.38301916	0.437116439	4.581	5.459877942		
319	14-Nov-2008	460	0.40960991	0.431359915	5.013	5.366356026		
319	14-Nov-2008	470	0.37704855	0.432689563	4.484	5.387957806		
319	14-Nov-2008	480	0.40382396	0.426512823	4.919	5.287608958		
319	14-Nov-2008	490	0.40419328	0.423013581	4.925	5.230759389		
319	14-Nov-2008	500	0.39988459	0.414065348	4.855	5.085384159		
319	14-Nov-2008	510	0.4163807	0.393565086	5.123	4.752331772		
319	14-Nov-2008	520	0.36910826	0.38648773	4.355	4.637351287		
319	14-Nov-2008	530	0.41761176	0.383757434	5.143	4.592994205		
319	14-Nov-2008	540	0.47559437	0.398430475	6.085	4.831376113		
319	14-Nov-2008	550	0.42844503	0.412087172	5.319	5.053246224		
319	14-Nov-2008	560	0.4589136	0.420053397	5.814	5.182667493		
319	14-Nov-2008	570	0.52643687	0.434070588	6.911	5.410394285		
319	14-Nov-2008	580	0.58915904	0.45412585	7.93	5.736217093		
319	14-Nov-2008	590	0.55899823	0.465983077	7.44	5.928852572		
319	14-Nov-2008	600	0.56700008	0.478028556	7.57	6.124546431		
319	14-Nov-2008	610	0.53437716	0.483588977	7.04	6.214882416		
319	14-Nov-2008	620	0.58115719	0.49530828	7.8	6.405277147		
319	14-Nov-2008	630	0.54361006	0.497099194	7.19	6.434372786		
319	14-Nov-2008	640	0.57869508	0.504871428	7.76	6.560642441		
319	14-Nov-2008	650	0.61624221	0.509049366	8.37	6.628518263		
319	14-Nov-2008	660	0.6297838	0.494288435	8.59	6.388708485		
319	14-Nov-2008	670	0.60331615	0.506482142	8.16	6.586810507		
319	14-Nov-2008	680	0.66794645	0.501944601	9.21	6.513092467		
319	14-Nov-2008	690	0.58485035	0.520280686	7.86	6.810985092		
319	14-Nov-2008	700	0.65871355	0.526123796	9.06	6.905913717		



319	14-Nov-2008	710	0.47651766	0.525961912	6.1	6.903233708
319	14-Nov-2008	720	0.552222744	0.541299005	7.33	7.152453965
319	14-Nov-2008	730	0.57992614	0.541807365	7.78	7.160712906
319	14-Nov-2008	740	0.62732169	0.523727272	8.55	6.866979191
319	14-Nov-2008	750	0.57315534	0.528909958	7.67	6.951178409
319	14-Nov-2008	760	0.52902208	0.519877794	6.953	6.804439603
319	14-Nov-2008	770	0.53499269	0.533615435	7.05	7.027624754
319	14-Nov-2008	780	0.57931061	0.530548243	7.77	6.977794392
319	14-Nov-2008	790	0.51972763	0.512898939	6.802	6.691059387
319	14-Nov-2008	800	0.58915904	0.521568376	7.93	6.83190523
319	14-Nov-2008	810	0.56575902	0.495212736	7.55	6.403724916
319	14-Nov-2008	820	0.54361006	0.468450088	7.19	5.968932238
319	14-Nov-2008	830	0.61870432	0.476709637	8.41	6.103118948
319	14-Nov-2008	840	0.53930138	0.473930113	7.12	6.057952096
319	14-Nov-2008	850	0.58545588	0.462944893	7.87	5.879433475
319	14-Nov-2008	860	0.54730322	0.481757362	7.25	6.185125867
319	14-Nov-2008	870	0.5087097	0.459948645	6.623	5.830815671
319	14-Nov-2008	880	0.57745403	0.485683908	7.74	6.248917195
319	14-Nov-2008	890	0.52397476	0.479607928	6.871	5.1502053
319	14-Nov-2008	900	0.5953143	0.485879181	8.03	6.252039644
319	14-Nov-2008	910	0.61439563	0.493032632	8.34	6.368306395
319	14-Nov-2008	920	0.52428253	0.494997366	6.876	6.400225962
319	14-Nov-2008	930	0.61254905	0.497062543	8.31	6.433777343
319	14-Nov-2008	940	0.70734016	0.497868118	9.85	6.446854917
319	14-Nov-2008	950	0.62915827	0.495679112	8.58	6.411301766
319	14-Nov-2008	960	0.61747326	0.504724652	8.39	6.548510125
319	14-Nov-2008	970	0.67171724	0.518792731	9.32	6.781937587
319	14-Nov-2008	980	0.66855198	0.523900692	9.22	6.86979661
319	14-Nov-2008	990	0.64517196	0.524708797	8.84	6.873177548
319	14-Nov-2008	1000	0.62915827	0.494044288	8.58	6.384742017
319	14-Nov-2008	1010	0.61501116	0.500471885	8.35	6.48916636
319	14-Nov-2008	1020	0.61003694	0.538397084	8.27	7.105308622
319	14-Nov-2008	1030	0.52391321	0.531290799	6.87	6.989858151
319	14-Nov-2008	1040	0.60885589	0.520212383	8.25	6.809875432
319	14-Nov-2008	1050	0.58545588	0.529934159	7.87	6.967817831
319	14-Nov-2008	1060	0.53314511	0.515744758	7.02	6.737293438
319	14-Nov-2008	1070	0.52231284	0.521959465	6.844	6.886997708
319	14-Nov-2008	1080	0.60762484	0.524085014	8.23	6.872791153
319	14-Nov-2008	1090	0.57069324	0.501615218	7.63	6.507741228
319	14-Nov-2008	1100	0.65803802	0.533738558	9.05	7.019877305
319	14-Nov-2008	1110	0.69502962	0.525946516	9.65	6.903033587
319	14-Nov-2008	1120	0.69195199	0.531038496	9.6	7.031497917
319	14-Nov-2008	1130	0.69379857	0.55265055	9.63	7.336873998
319	14-Nov-2008	1140	0.70476252	0.552657069	9.8	7.336898683
319	14-Nov-2008	1150	0.64763407	0.537453957	8.80	7.009906340
319	14-Nov-2008	1160	0.64024775	0.572537431	8.76	7.659951232
319	14-Nov-2008	1170	0.68887436	0.592547112	9.65	7.985013625
319	14-Nov-2008	1180	0.69502962	0.594043715	9.65	8.009357701
319	14-Nov-2008	1190	0.67533277	0.588579398	9.33	7.920583053
319	14-Nov-2008	1200	0.60520009	0.513497932	11.44	8.32541577
319	14-Nov-2008	1210	0.703647	0.502222406	9.79	8.142230768
319	14-Nov-2008	1220	0.70303147	0.500610965	9.78	8.116050885
319	14-Nov-2008	1230	0.68455567	0.515943303	9.48	8.365143889
319	14-Nov-2008	1240	0.62609064	0.515240574	8.53	8.353777177
319	14-Nov-2008	1250	0.71349542	0.524792404	9.95	8.499150042
319	14-Nov-2008	1260	0.65871355	0.522843491	9.06	8.477246058
319	14-Nov-2008	1270	0.79535047	0.514915257	11.28	8.348442001
319	14-Nov-2008	1280	0.76889282	0.525791662	10.85	8.515395031
319	14-Nov-2008	1290	0.69195199	0.523974132	9.6	8.495614745
319	14-Nov-2008	1300	0.74859044	0.6234922	10.52	8.407795161
319	14-Nov-2008	1310	0.7430407	0.62745316	10.43	8.552135902
319	14-Nov-2008	1320	0.70180042	0.527740538	9.76	8.547056971
319	14-Nov-2008	1330	0.6667154	0.524598955	9.19	8.50576578
319	14-Nov-2008	1340	0.75535124	0.523570421	10.63	8.489055951
319	14-Nov-2008	1350	0.77301704	0.525615544	10.93	8.522291534
319	14-Nov-2008	1360	0.67902593	0.526797753	9.39	8.531740237
319	14-Nov-2008	1370	0.63963222	0.528626271	8.75	8.571194559
319	14-Nov-2008	1380	0.66055013	0.527000615	9.09	8.544733741
319	14-Nov-2008	1390	0.68825883	0.524865537	9.54	8.510096729
319	14-Nov-2008	1400	0.6968762	0.523841344	9.68	8.49345743
319	14-Nov-2008	1410	0.66609987	0.61424553	9.18	8.337551437
319	14-Nov-2008	1420	0.65602039	0.504613764	9	8.181081365
319	14-Nov-2008	1430	0.56022928	0.512237606	7.46	8.304940214

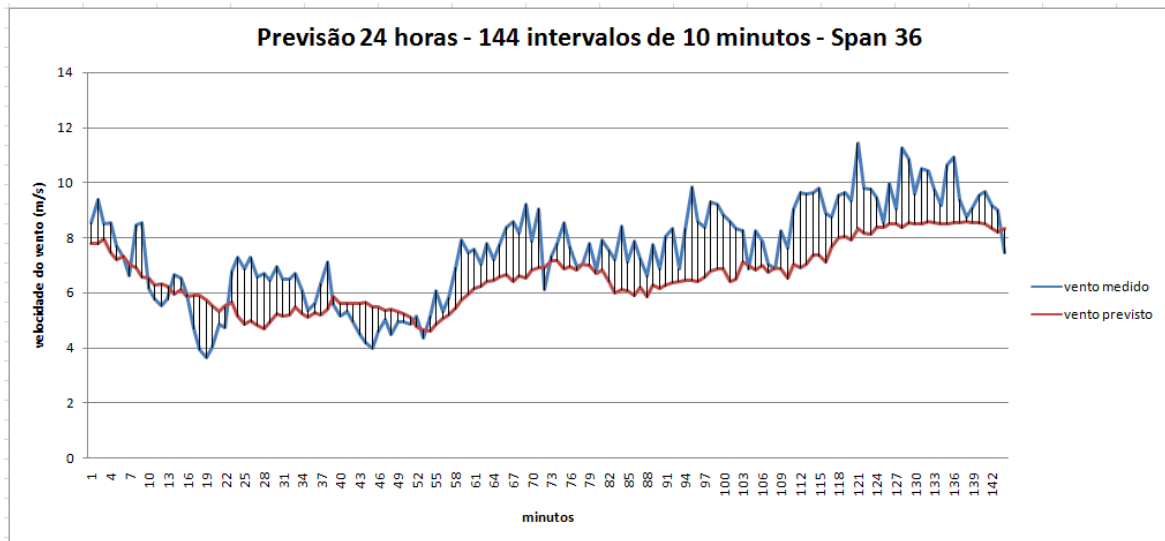


Figura H.1 - Previsão do vento do dia 15/11/2008 (MAPE: 16,37%) – Span 36 (Teste 5)

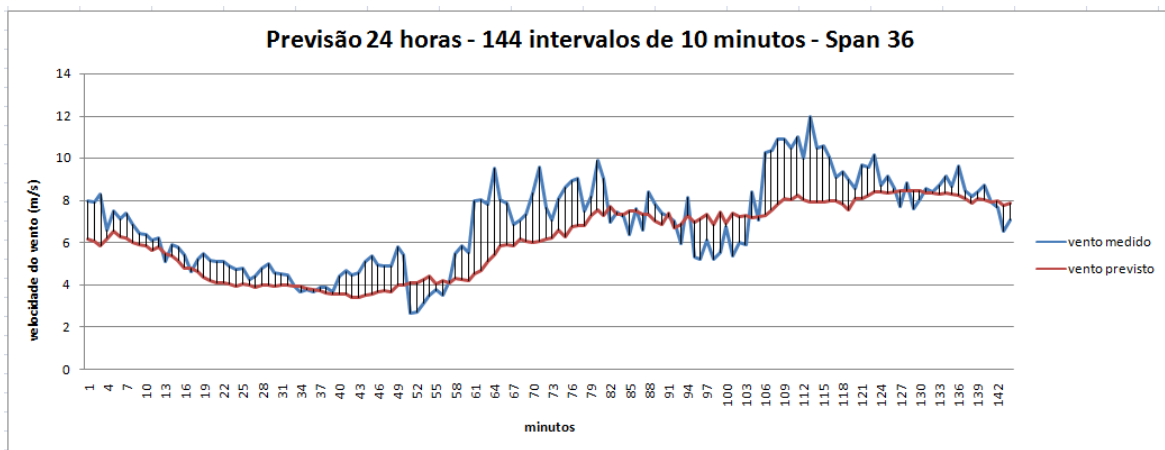


Figura H.2 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 16,69%) – Span 36 (Teste 5)

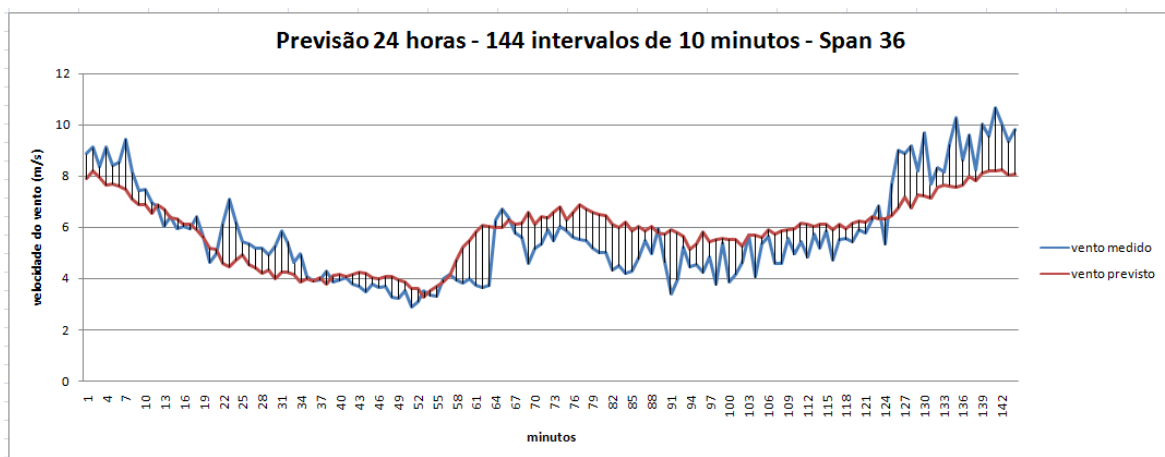


Figura H.3 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 17,16%) – Span36 (Teste 5)

**ANEXO I – MODELOS PARA PREVISÃO DA  
VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24  
HORAS - 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS COM  
DIRECÇÃO DO VENTO – *SPAN 36* (TESTE 6)**

Tabela I.1 - Previsão do vento (15-11-2008) – com Direcção vento - Span 36 (Teste 6)

dia	data	mins	vel 50 n	\$N\$-vel 50 n	vel 50	\$N\$-vel 50		MAPE
319	14-Nov-2008	0	0.62732169	0.54349745	8.55	7.18817	14.13088	17.39249
319	14-Nov-2008	10	0.67964146	0.5443996	9.4	7.202827		
319	14-Nov-2008	20	0.62485958	0.54479081	8.51	7.209183		
319	14-Nov-2008	30	0.62609064	0.54319449	8.53	7.183249		
319	14-Nov-2008	40	0.57623298	0.54238859	7.72	7.170156		
319	14-Nov-2008	50	0.55038086	0.54332918	7.3	7.185437		
319	14-Nov-2008	60	0.50686312	0.541166	6.593	7.150293		
319	14-Nov-2008	70	0.62116642	0.53885355	8.45	7.112724		
319	14-Nov-2008	80	0.62609064	0.53728417	8.53	7.087228		
319	14-Nov-2008	90	0.47879511	0.53636141	6.137	7.072237		
319	14-Nov-2008	100	0.45522044	0.52303558	5.754	6.855742		
319	14-Nov-2008	110	0.44087866	0.52472987	5.521	6.883268		
319	14-Nov-2008	120	0.45522044	0.52339604	5.754	6.861598		
319	14-Nov-2008	130	0.51160268	0.51005454	6.67	6.644849		
319	14-Nov-2008	140	0.50316996	0.51515342	6.533	6.727686		
319	14-Nov-2008	150	0.46691544	0.49945239	5.944	6.472603		
319	14-Nov-2008	160	0.38849735	0.50052289	4.67	6.489995		
319	14-Nov-2008	170	0.34220974	0.49626821	3.918	6.420872		
319	14-Nov-2008	180	0.32460568	0.48419811	3.632	6.224779		
319	14-Nov-2008	190	0.34744172	0.47197511	4.003	6.026201		
319	14-Nov-2008	200	0.40025391	0.46701569	4.861	5.945629		
319	14-Nov-2008	210	0.39274448	0.46852552	4.739	5.970158		
319	14-Nov-2008	220	0.51892745	0.45748279	6.789	5.790755		
319	14-Nov-2008	230	0.55038086	0.44030283	7.3	5.511645		
319	14-Nov-2008	240	0.52403632	0.43819255	6.872	5.477361		
319	14-Nov-2008	250	0.54853428	0.42825039	7.27	5.315838		
319	14-Nov-2008	260	0.50600139	0.42593923	6.579	5.27829		
319	14-Nov-2008	270	0.51351081	0.41753749	6.701	5.141793		
319	14-Nov-2008	280	0.49744556	0.41537523	6.44	5.106665		
319	14-Nov-2008	290	0.52865277	0.42690177	6.947	5.293928		
319	14-Nov-2008	300	0.49941525	0.42477957	6.472	5.25945		
319	14-Nov-2008	310	0.50120028	0.43033251	6.501	5.349665		
319	14-Nov-2008	320	0.51424944	0.4410386	6.713	5.523598		
319	14-Nov-2008	330	0.47448642	0.42762113	6.067	5.305615		
319	14-Nov-2008	340	0.43041471	0.41428333	5.351	5.088925		
319	14-Nov-2008	350	0.44721859	0.41801369	5.624	5.14953		
319	14-Nov-2008	360	0.48975148	0.42127904	6.315	5.20258		
319	14-Nov-2008	370	0.53807032	0.42788028	7.1	5.309825		
319	14-Nov-2008	380	0.44284835	0.43790818	5.553	5.472741		
319	14-Nov-2008	390	0.41878126	0.42537845	5.162	5.26918		
319	14-Nov-2008	400	0.42739863	0.43305874	5.302	5.393956		
319	14-Nov-2008	410	0.40487036	0.42169132	4.936	5.209278		
319	14-Nov-2008	420	0.37674079	0.41497304	4.479	5.100131		
319	14-Nov-2008	430	0.35722859	0.41845024	4.162	5.156622		
319	14-Nov-2008	440	0.3447334	0.41391261	3.959	5.082903		
319	14-Nov-2008	450	0.38301916	0.40933297	4.581	5.008501		
319	14-Nov-2008	460	0.40960991	0.40858086	5.013	4.996282		
319	14-Nov-2008	470	0.37704855	0.40609587	4.484	4.95591		
319	14-Nov-2008	480	0.40382396	0.40195602	4.919	4.888653		
319	14-Nov-2008	490	0.40419328	0.40080717	4.925	4.869988		
319	14-Nov-2008	500	0.39988459	0.39575215	4.855	4.787863		
319	14-Nov-2008	510	0.4163807	0.38540826	5.123	4.619814		
319	14-Nov-2008	520	0.36910826	0.38081316	4.355	4.545161		
319	14-Nov-2008	530	0.41761176	0.38286967	5.143	4.578571		
319	14-Nov-2008	540	0.47559437	0.38640129	6.085	4.635947		
319	14-Nov-2008	550	0.42844503	0.38926305	5.319	4.68244		
319	14-Nov-2008	560	0.4589136	0.3926731	5.814	4.73784		
319	14-Nov-2008	570	0.52643687	0.39670743	6.911	4.803383		
319	14-Nov-2008	580	0.58915904	0.40617058	7.93	4.957124		
319	14-Nov-2008	590	0.55899823	0.42143923	7.44	5.205182		
319	14-Nov-2008	600	0.56700008	0.44780656	7.57	5.633552		
319	14-Nov-2008	610	0.53437716	0.45689053	7.04	5.781133		
319	14-Nov-2008	620	0.58115719	0.47864395	7.8	6.134544		
319	14-Nov-2008	630	0.54361006	0.48740916	7.19	6.276946		
319	14-Nov-2008	640	0.57869508	0.49671408	7.76	6.428116		
319	14-Nov-2008	650	0.61624221	0.50263165	8.37	6.524254		
319	14-Nov-2008	660	0.6297838	0.47514695	8.59	6.077731		
319	14-Nov-2008	670	0.60331615	0.49519747	8.16	6.403477		
319	14-Nov-2008	680	0.66794645	0.48735417	9.21	6.276053		
319	14-Nov-2008	690	0.58485035	0.50656544	7.86	6.588164		
319	14-Nov-2008	700	0.65871355	0.52022471	9.06	6.810076		

319	14-Nov-2008	710	0.47651766	0.52393027	6.1	6.870277
319	14-Nov-2008	720	0.55222744	0.54986567	7.33	7.29163
319	14-Nov-2008	730	0.57992614	0.54801183	7.78	7.261512
319	14-Nov-2008	740	0.62732169	0.52469326	8.55	6.882673
319	14-Nov-2008	750	0.57315534	0.52834241	7.67	6.941958
319	14-Nov-2008	760	0.52902208	0.50785959	6.953	6.609189
319	14-Nov-2008	770	0.53499269	0.52861047	7.05	6.946313
319	14-Nov-2008	780	0.57931061	0.51948871	7.77	6.798118
319	14-Nov-2008	790	0.51972763	0.49786849	6.802	6.446871
319	14-Nov-2008	800	0.58915904	0.51012493	7.93	6.645992
319	14-Nov-2008	810	0.56576902	0.48092719	7.55	6.171638
319	14-Nov-2008	820	0.54361006	0.47262703	7.19	6.036792
319	14-Nov-2008	830	0.61870432	0.47670743	8.41	6.103083
319	14-Nov-2008	840	0.53930138	0.47338975	7.12	6.049183
319	14-Nov-2008	850	0.58546588	0.46947758	7.87	5.985625
319	14-Nov-2008	860	0.54730322	0.48251648	7.25	6.197468
319	14-Nov-2008	870	0.5087097	0.44891345	6.623	5.651535
319	14-Nov-2008	880	0.57746403	0.47933916	7.74	6.145839
319	14-Nov-2008	890	0.52397476	0.46359679	6.871	5.890084
319	14-Nov-2008	900	0.5953143	0.46874193	8.03	5.973674
319	14-Nov-2008	910	0.61439563	0.47154059	8.34	6.019141
319	14-Nov-2008	920	0.52428253	0.46885628	6.876	5.975531
319	14-Nov-2008	930	0.61254905	0.47718423	8.31	6.110829
319	14-Nov-2008	940	0.70734016	0.46872678	9.85	6.973427
319	14-Nov-2008	950	0.62916827	0.46764766	8.58	5.955896
319	14-Nov-2008	960	0.61747326	0.48011259	8.39	6.158404
319	14-Nov-2008	970	0.67471724	0.50221467	9.32	6.51748
319	14-Nov-2008	980	0.66856198	0.52282425	9.22	6.852308
319	14-Nov-2008	990	0.64517196	0.50819884	8.84	6.6147
319	14-Nov-2008	1000	0.62916827	0.46411109	8.58	5.89844
319	14-Nov-2008	1010	0.61501116	0.48038992	8.35	6.16291
319	14-Nov-2008	1020	0.61008694	0.54428395	8.27	7.200948
319	14-Nov-2008	1030	0.52391321	0.52716405	6.87	6.922814
319	14-Nov-2008	1040	0.60885589	0.51672054	8.25	6.753146
319	14-Nov-2008	1050	0.58546588	0.52560129	7.87	6.897425
319	14-Nov-2008	1060	0.53314611	0.52125279	7.02	6.826778
319	14-Nov-2008	1070	0.52231284	0.52590903	6.844	6.902425
319	14-Nov-2008	1080	0.60762484	0.50906683	8.23	6.628802
319	14-Nov-2008	1090	0.57069324	0.48677292	7.63	6.26661
319	14-Nov-2008	1100	0.65809802	0.53633639	9.05	7.07183
319	14-Nov-2008	1110	0.69502962	0.52081043	9.65	6.819591
319	14-Nov-2008	1120	0.69195199	0.51239449	9.6	6.682864
319	14-Nov-2008	1130	0.69379857	0.55966855	9.63	7.45089
319	14-Nov-2008	1140	0.70426252	0.56751697	9.8	7.578398
319	14-Nov-2008	1150	0.64763407	0.53740696	8.88	7.089223
319	14-Nov-2008	1160	0.64024775	0.59056791	8.76	7.952889
319	14-Nov-2008	1170	0.68887436	0.6012311	9.55	8.126126
319	14-Nov-2008	1180	0.69502962	0.60962439	9.65	8.262485
319	14-Nov-2008	1190	0.67533277	0.59204455	9.33	7.976879
319	14-Nov-2008	1200	0.80520889	0.62260759	11.44	8.473413
319	14-Nov-2008	1210	0.703647	0.61126789	9.79	8.289186
319	14-Nov-2008	1220	0.70303147	0.60805336	9.78	8.236962
319	14-Nov-2008	1230	0.68456567	0.6233139	9.48	8.484889
319	14-Nov-2008	1240	0.62609064	0.61980225	8.53	8.427837
319	14-Nov-2008	1250	0.71349542	0.63780066	9.95	8.720244
319	14-Nov-2008	1260	0.65871355	0.63230208	9.06	8.630913
319	14-Nov-2008	1270	0.79536047	0.6089909	11.28	8.252193
319	14-Nov-2008	1280	0.76889282	0.63902821	10.85	8.740187
319	14-Nov-2008	1290	0.69195199	0.62749245	9.6	8.552774
319	14-Nov-2008	1300	0.74858044	0.62879657	10.52	8.573961
319	14-Nov-2008	1310	0.7430407	0.63706712	10.43	8.708327
319	14-Nov-2008	1320	0.70180042	0.6263307	9.76	8.5339
319	14-Nov-2008	1330	0.6667154	0.62178447	9.19	8.460041
319	14-Nov-2008	1340	0.75535124	0.62151608	10.63	8.455681
319	14-Nov-2008	1350	0.77381704	0.60604993	10.93	8.204414
319	14-Nov-2008	1360	0.67902593	0.61485863	9.39	8.347522
319	14-Nov-2008	1370	0.63963222	0.62877667	8.75	8.573638
319	14-Nov-2008	1380	0.66056013	0.60156369	9.09	8.131529
319	14-Nov-2008	1390	0.68825883	0.59134767	9.54	7.965557
319	14-Nov-2008	1400	0.6968762	0.58929952	9.68	7.932282
319	14-Nov-2008	1410	0.66609987	0.56323085	9.18	7.508764
319	14-Nov-2008	1420	0.65502039	0.55783483	9	7.421099
319	14-Nov-2008	1430	0.56022928	0.5641051	7.46	7.522967

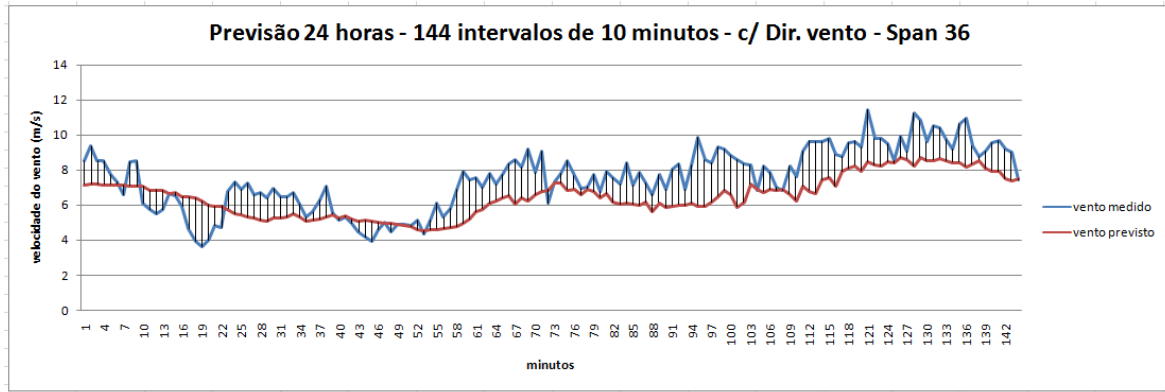


Figura I.1 - Previsão do vento do dia 15/11/2008 (MAPE: 17,39%) – Span 36 (Teste 6)

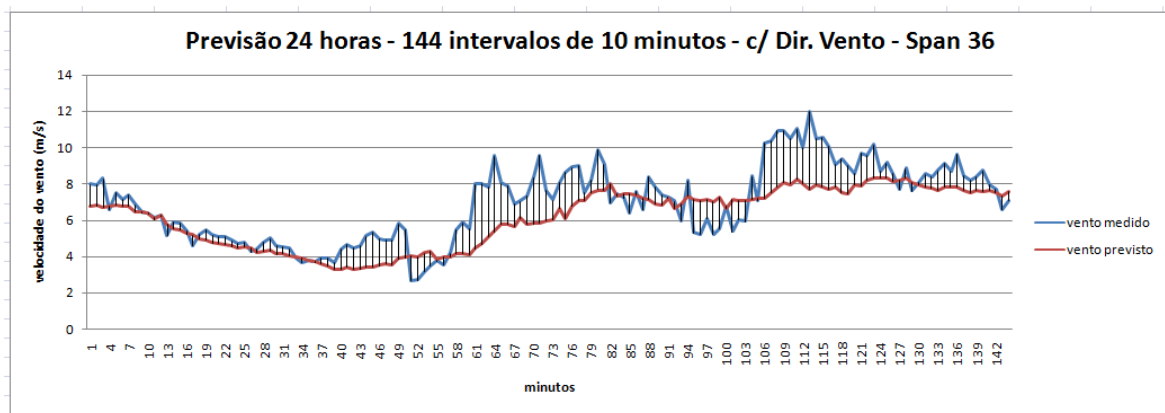


Figura I.2 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 16,00%) – Span 36 (Teste 6)

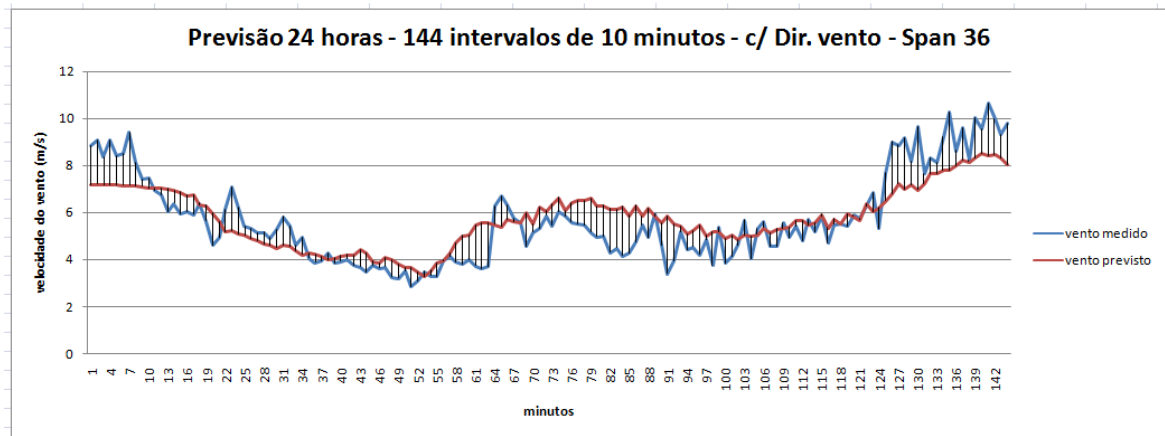


Figura I.3 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 15,14%) – Span 36 (Teste 6)

**ANEXO J – MODELOS PARA PREVISÃO  
DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE  
DE 24 HORAS - 144 INTERVALOS DE 10  
MINUTOS SEM DIRECÇÃO DO VENTO – *SPAN*  
72 (TESTE 7)**

**Tabela J.1 - Previsão do vento (15-11-2008) - Span 72 sem Direcção do vento (Teste 7)**

dia	data	mins	vel 50 n	\$N-vel 50 n	vel 50	\$N-vel 50	MAPE
319	14-Nov-2008	0	0.62732169	0.59269478	8.55	7.987443	13.36575
319	14-Nov-2008	10	0.67964146	0.59041224	9.4	7.95036	
319	14-Nov-2008	20	0.62485958	0.59662018	8.51	8.051216	
319	14-Nov-2008	30	0.62609064	0.56324638	8.53	7.509016	
319	14-Nov-2008	40	0.57623298	0.5421153	7.72	7.165716	
319	14-Nov-2008	50	0.55038086	0.56980381	7.3	7.61555	
319	14-Nov-2008	60	0.50686312	0.53060785	6.593	6.978763	
319	14-Nov-2008	70	0.62116642	0.52037507	8.45	6.812518	
319	14-Nov-2008	80	0.62609064	0.50899975	8.53	6.627712	
319	14-Nov-2008	90	0.47879511	0.51569471	6.137	6.73648	
319	14-Nov-2008	100	0.45522044	0.4882447	5.754	6.290521	
319	14-Nov-2008	110	0.44087866	0.49895106	5.521	6.464459	
319	14-Nov-2008	120	0.45522044	0.4984263	5.754	6.455933	
319	14-Nov-2008	130	0.51160268	0.48585233	6.67	6.251653	
319	14-Nov-2008	140	0.50316996	0.48659935	6.533	6.26379	
319	14-Nov-2008	150	0.46691544	0.48136819	5.944	6.178803	
319	14-Nov-2008	160	0.38849735	0.48479151	4.67	6.234419	
319	14-Nov-2008	170	0.34220974	0.47871849	3.918	6.135755	
319	14-Nov-2008	180	0.32460568	0.47297091	3.632	6.042379	
319	14-Nov-2008	190	0.34744172	0.46789598	4.003	5.95993	
319	14-Nov-2008	200	0.40025391	0.45494802	4.861	5.749574	
319	14-Nov-2008	210	0.39274448	0.44353228	4.739	5.564111	
319	14-Nov-2008	220	0.51892745	0.44299439	6.789	5.555373	
319	14-Nov-2008	230	0.55038086	0.42220733	7.3	5.217661	
319	14-Nov-2008	240	0.52403632	0.39685873	6.872	4.805841	
319	14-Nov-2008	250	0.54853428	0.41560736	7.27	5.110436	
319	14-Nov-2008	260	0.50600139	0.399308	6.579	4.845633	
319	14-Nov-2008	270	0.51351081	0.38491126	6.701	4.611174	
319	14-Nov-2008	280	0.49744556	0.38832322	6.44	4.667171	
319	14-Nov-2008	290	0.52865277	0.39341976	6.947	4.749971	
319	14-Nov-2008	300	0.49941525	0.3934428	6.472	4.750345	
319	14-Nov-2008	310	0.50120028	0.39194936	6.501	4.726082	
319	14-Nov-2008	320	0.51424944	0.38681409	6.713	4.642653	
319	14-Nov-2008	330	0.47448642	0.38394863	6.067	4.5961	
319	14-Nov-2008	340	0.43041471	0.37829435	5.351	4.50424	
319	14-Nov-2008	350	0.44721859	0.37522041	5.624	4.4543	
319	14-Nov-2008	360	0.48975148	0.38054574	6.315	4.540816	
319	14-Nov-2008	370	0.53807032	0.39597542	7.1	4.791491	
319	14-Nov-2008	380	0.44284835	0.39956638	5.553	4.84983	
319	14-Nov-2008	390	0.41878126	0.38539787	5.162	4.619645	
319	14-Nov-2008	400	0.42739863	0.395425	5.302	4.782548	
319	14-Nov-2008	410	0.40487036	0.38394564	4.936	4.596052	
319	14-Nov-2008	420	0.37674079	0.3843443	4.479	4.602529	
319	14-Nov-2008	430	0.35722859	0.38807069	4.162	4.663068	
319	14-Nov-2008	440	0.3447334	0.38338934	3.959	4.587014	
319	14-Nov-2008	450	0.38301916	0.38535382	4.581	4.618929	
319	14-Nov-2008	460	0.40960991	0.38634481	5.013	4.635029	
319	14-Nov-2008	470	0.37704855	0.39293648	4.484	4.742119	
319	14-Nov-2008	480	0.40382396	0.39805966	4.919	4.825352	
319	14-Nov-2008	490	0.40419328	0.39778368	4.925	4.820868	
319	14-Nov-2008	500	0.39988459	0.38925868	4.855	4.682369	
319	14-Nov-2008	510	0.4163807	0.391563	5.123	4.719805	
319	14-Nov-2008	520	0.36910826	0.36961396	4.355	4.363216	
319	14-Nov-2008	530	0.41761176	0.35605217	5.143	4.142888	
319	14-Nov-2008	540	0.47559437	0.38942386	6.085	4.685052	
319	14-Nov-2008	550	0.42844503	0.41209841	5.319	5.053429	
319	14-Nov-2008	560	0.4589136	0.40232312	5.814	4.894617	
319	14-Nov-2008	570	0.52643687	0.42913255	6.911	5.33017	
319	14-Nov-2008	580	0.58915904	0.45592557	7.93	5.765456	
319	14-Nov-2008	590	0.55899823	0.46389252	7.44	5.894889	
319	14-Nov-2008	600	0.56700008	0.48576502	7.57	6.250235	
319	14-Nov-2008	610	0.53437716	0.50043676	7.04	6.488596	
319	14-Nov-2008	620	0.58115719	0.51654936	7.8	6.750365	
319	14-Nov-2008	630	0.54361006	0.50970059	7.19	6.639098	
319	14-Nov-2008	640	0.57869508	0.53439784	7.76	7.040336	
319	14-Nov-2008	650	0.61624221	0.52924363	8.37	6.956599	
319	14-Nov-2008	660	0.6297838	0.501695	8.59	6.509037	
319	14-Nov-2008	670	0.60331615	0.52719169	8.16	6.923263	
319	14-Nov-2008	680	0.66794645	0.51959016	9.21	6.799767	
319	14-Nov-2008	690	0.58485035	0.51934403	7.86	6.795768	
319	14-Nov-2008	700	0.65871355	0.53395187	9.06	7.033091	



319	14-Nov-2008	710	0.47651766	0.55555558	6.1	7.38407
319	14-Nov-2008	720	0.55222744	0.55164672	7.33	7.320566
319	14-Nov-2008	730	0.57992614	0.551769	7.78	7.322552
319	14-Nov-2008	740	0.62732169	0.52963253	8.55	6.962917
319	14-Nov-2008	750	0.57315534	0.54643552	7.67	7.235903
319	14-Nov-2008	760	0.52902208	0.51800247	6.953	6.773973
319	14-Nov-2008	770	0.53499269	0.52878822	7.05	6.949201
319	14-Nov-2008	780	0.57931061	0.54255463	7.77	7.172853
319	14-Nov-2008	790	0.51972763	0.51283941	6.802	6.690092
319	14-Nov-2008	800	0.58915904	0.52285322	7.93	6.852779
319	14-Nov-2008	810	0.56576902	0.50238336	7.55	6.520221
319	14-Nov-2008	820	0.54361006	0.4793694	7.19	6.14633
319	14-Nov-2008	830	0.61870432	0.48158876	8.41	6.182386
319	14-Nov-2008	840	0.53930138	0.47837884	7.12	6.130237
319	14-Nov-2008	850	0.58546588	0.47339649	7.87	6.049293
319	14-Nov-2008	860	0.54730322	0.48838083	7.25	6.292732
319	14-Nov-2008	870	0.5087097	0.4705433	6.623	6.002939
319	14-Nov-2008	880	0.57746403	0.49105983	7.74	6.336256
319	14-Nov-2008	890	0.52397476	0.48327326	6.871	6.209753
319	14-Nov-2008	900	0.5953143	0.49270576	8.03	6.362996
319	14-Nov-2008	910	0.61439563	0.50327323	8.34	6.534678
319	14-Nov-2008	920	0.52428253	0.50474277	6.876	6.558552
319	14-Nov-2008	930	0.61254905	0.50407923	8.31	6.547772
319	14-Nov-2008	940	0.70734016	0.50748355	9.85	6.60308
319	14-Nov-2008	950	0.62916827	0.49839578	8.58	6.455438
319	14-Nov-2008	960	0.61747326	0.50278923	8.39	6.526815
319	14-Nov-2008	970	0.67471724	0.52666986	9.32	6.914785
319	14-Nov-2008	980	0.66856198	0.52812516	9.22	6.938428
319	14-Nov-2008	990	0.64517196	0.52249172	8.84	6.846906
319	14-Nov-2008	1000	0.62916827	0.48953102	8.58	6.311418
319	14-Nov-2008	1010	0.61501116	0.49270741	8.35	6.363023
319	14-Nov-2008	1020	0.61008694	0.53737883	8.27	7.088766
319	14-Nov-2008	1030	0.52391321	0.54022299	6.87	7.134973
319	14-Nov-2008	1040	0.60885589	0.50754296	8.25	6.604045
319	14-Nov-2008	1050	0.58546588	0.5234765	7.87	6.862905
319	14-Nov-2008	1060	0.53314611	0.51361747	7.02	6.702733
319	14-Nov-2008	1070	0.52231284	0.51095287	6.844	6.659443
319	14-Nov-2008	1080	0.60762484	0.5200596	8.23	6.807393
319	14-Nov-2008	1090	0.57069324	0.49205534	7.63	6.352429
319	14-Nov-2008	1100	0.65809802	0.51802094	9.05	6.774273
319	14-Nov-2008	1110	0.69502962	0.51614899	9.65	6.74386
319	14-Nov-2008	1120	0.69195199	0.52533149	9.6	6.893042
319	14-Nov-2008	1130	0.69379857	0.55135545	9.63	7.315834
319	14-Nov-2008	1140	0.70426252	0.54869399	9.8	7.272595
319	14-Nov-2008	1150	0.64763407	0.533679	8.88	7.028657
319	14-Nov-2008	1160	0.64024775	0.57878145	8.76	7.761403
319	14-Nov-2008	1170	0.68887436	0.59214114	9.55	7.978448
319	14-Nov-2008	1180	0.69502962	0.59557937	9.65	8.034306
319	14-Nov-2008	1190	0.67533277	0.59721076	9.33	8.06081
319	14-Nov-2008	1200	0.80520889	0.61436971	11.44	8.339579
319	14-Nov-2008	1210	0.703647	0.61099531	9.79	8.284757
319	14-Nov-2008	1220	0.70303147	0.60911451	9.78	8.254202
319	14-Nov-2008	1230	0.68456567	0.61863172	9.48	8.408821
319	14-Nov-2008	1240	0.62609064	0.61850208	8.53	8.406714
319	14-Nov-2008	1250	0.71349542	0.62025889	9.95	8.435256
319	14-Nov-2008	1260	0.65871355	0.62066861	9.06	8.441912
319	14-Nov-2008	1270	0.79536047	0.61568518	11.28	8.36095
319	14-Nov-2008	1280	0.76889282	0.62029436	10.85	8.435832
319	14-Nov-2008	1290	0.69195199	0.62083826	9.6	8.444669
319	14-Nov-2008	1300	0.74858044	0.61966632	10.52	8.425629
319	14-Nov-2008	1310	0.7430407	0.62123493	10.43	8.451113
319	14-Nov-2008	1320	0.70180042	0.62095957	9.76	8.446639
319	14-Nov-2008	1330	0.6667154	0.62031845	9.19	8.436224
319	14-Nov-2008	1340	0.75535124	0.62004549	10.63	8.431789
319	14-Nov-2008	1350	0.77381704	0.61971595	10.93	8.426435
319	14-Nov-2008	1360	0.67902593	0.62028228	9.39	8.435636
319	14-Nov-2008	1370	0.63963222	0.6215519	8.75	8.456263
319	14-Nov-2008	1380	0.66056013	0.62050988	9.09	8.439334
319	14-Nov-2008	1390	0.68825883	0.61993491	9.54	8.429993
319	14-Nov-2008	1400	0.6968762	0.61895224	9.68	8.414028
319	14-Nov-2008	1410	0.66609987	0.61183918	9.18	8.298467
319	14-Nov-2008	1420	0.65502039	0.6080762	9	8.237333
319	14-Nov-2008	1430	0.56022928	0.61055955	7.46	8.277678

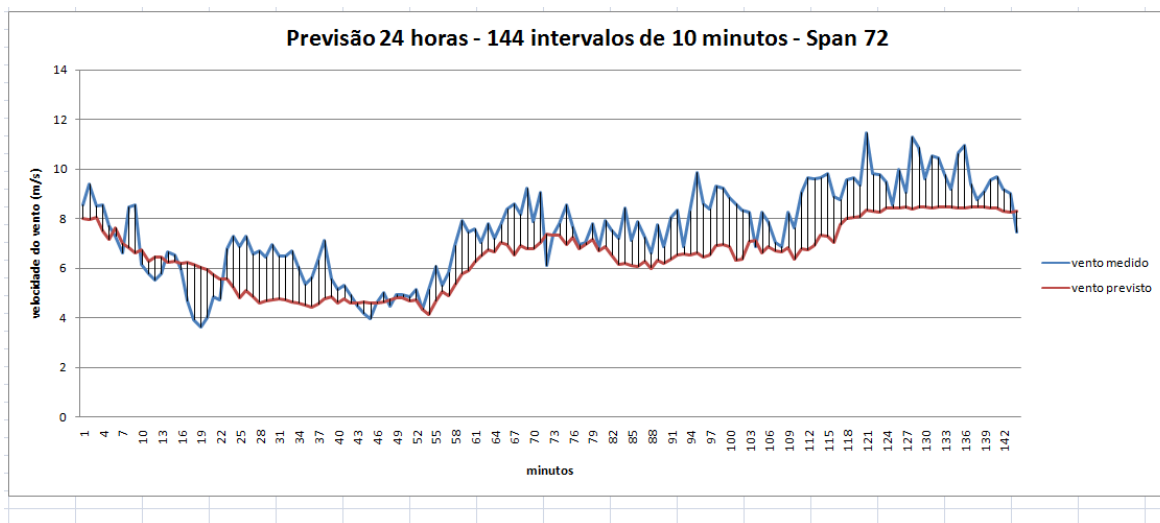


Figura J.1 - Previsão do vento do dia 15/11/2008 (MAPE: 16,44%) – Span 72 (Teste 7)

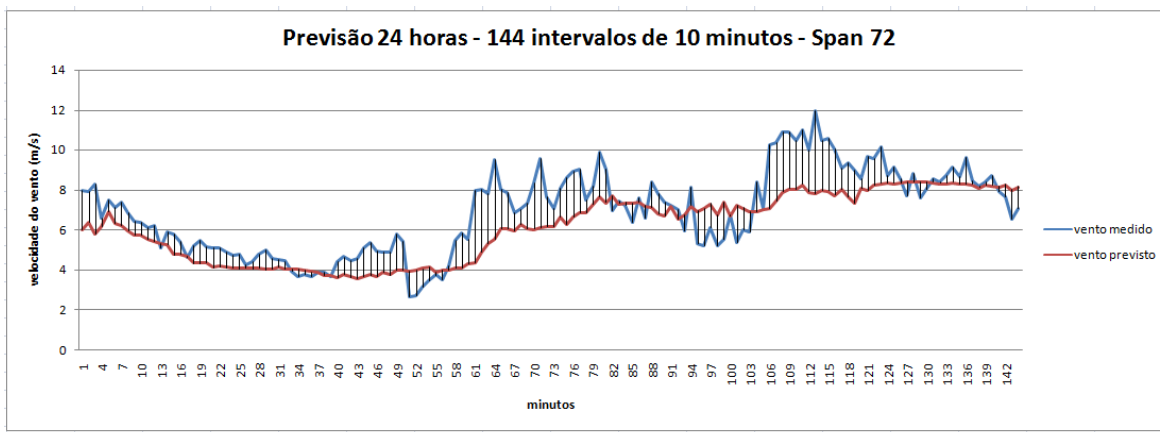


Figura J.2 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 16,25%) – Span 72 (Teste 7)

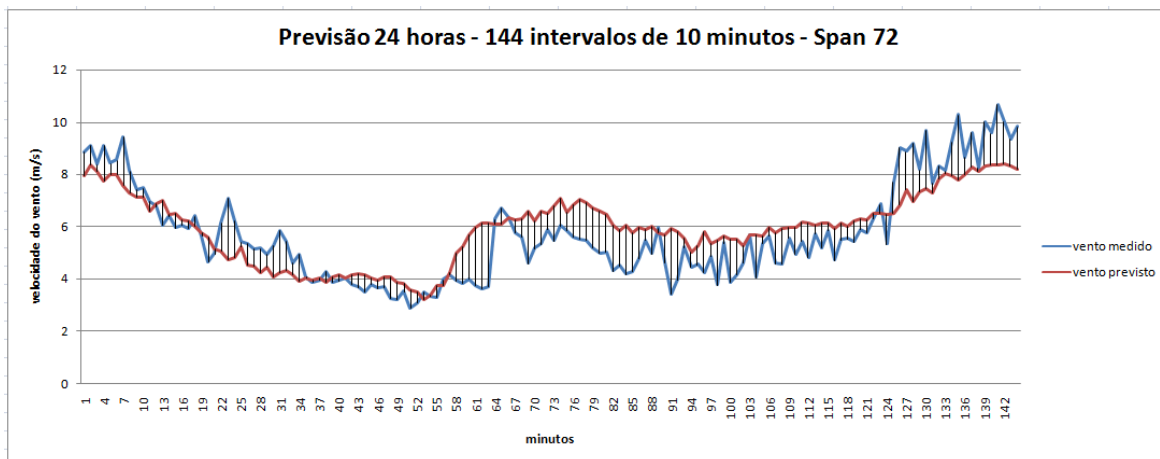


Figura J.3 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 16,94%) – Span72 (Teste 7)

**ANEXO K** – MODELOS PARA PREVISÃO DA  
VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24  
HORAS - 144 INTERVALOS DE 10 MINUTOS COM  
DIRECÇÃO DO VENTO – *SPAN 72* (TESTE 8)

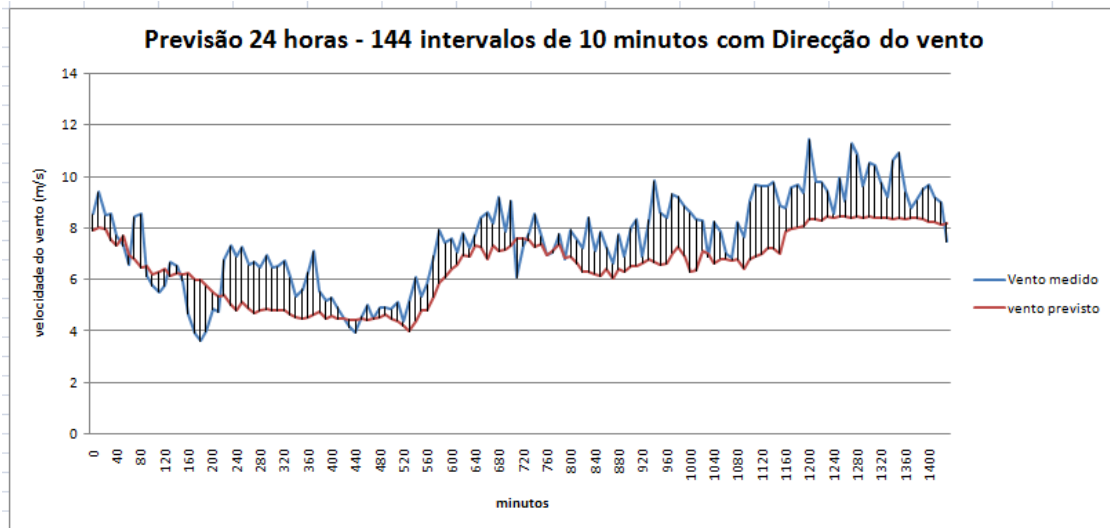


Figura K.1 - Previsão do vento do dia 14/11/2008 (MAPE: 15,98%) – *Span 72* (Teste 8)

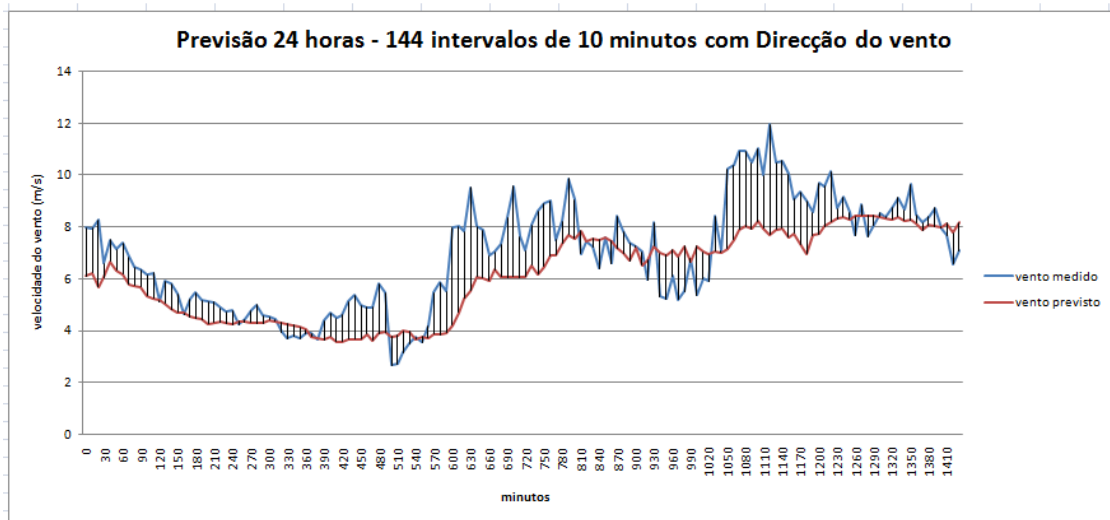


Figura K.2 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 16,34%) – *Span72* (Teste 8)

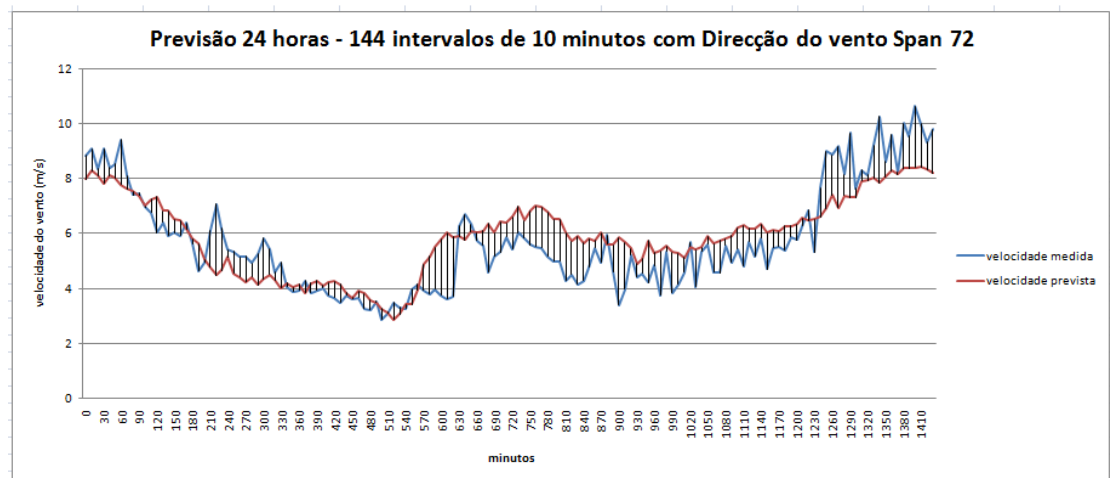


Figura K.3 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 16,13%) – *Span 72* (Teste 8)

**ANEXO L – MODELOS PARA PREVISÃO  
DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE  
DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA  
SEM DIRECÇÃO DO VENTO – *SPAN 6* (TESTE 1)**

**Tabela L.1 - Previsão do vento (08-01-2008) - *Span 6* sem direcção do vento (Teste 1)**

data	mins	vel 50 n	\$N-vel 50 n	vel 50	\$N-vel 50	MAPE	
07-Jan-2008	0	0.68743813	0.60882668	10.33625	8.95171	11.58354	15.345
07-Jan-2008	60	0.64414609	0.59127972	9.573773	8.642664		
07-Jan-2008	120	0.53972199	0.54179294	7.734603	7.771078		
07-Jan-2008	180	0.47373753	0.46627773	6.572452	6.441066		
07-Jan-2008	240	0.45399964	0.41138073	6.224819	5.474193		
07-Jan-2008	300	0.42588033	0.38328685	5.729567	4.97939		
07-Jan-2008	360	0.37657665	0.35928926	4.861206	4.556732		
07-Jan-2008	420	0.34253802	0.3726139	4.261701	4.791412		
07-Jan-2008	480	0.31689108	0.3596889	3.809994	4.563771		
07-Jan-2008	540	0.30175938	0.33641092	3.543487	4.153787		
07-Jan-2008	600	0.34265087	0.42809274	4.263688	5.768533		
07-Jan-2008	660	0.43319484	0.46729709	5.858394	6.45902		
07-Jan-2008	720	0.42886564	0.50671603	5.782146	7.153286		
07-Jan-2008	780	0.44614142	0.52530584	6.086416	7.480699		
07-Jan-2008	840	0.38037239	0.48167697	4.928059	6.712286		
07-Jan-2008	900	0.40017183	0.4664787	5.276776	6.444606		
07-Jan-2008	960	0.38008515	0.44007647	4.923	5.979597		
07-Jan-2008	1020	0.38211639	0.43268071	4.958775	5.849339		
07-Jan-2008	1080	0.4061527	0.44610094	5.382114	6.085703		
07-Jan-2008	1140	0.42843477	0.46551049	5.774557	6.427553		
07-Jan-2008	1200	0.43737016	0.46720527	5.931932	6.457403		
07-Jan-2008	1260	0.55250442	0.50813839	7.959734	7.178337		
07-Jan-2008	1320	0.62547511	0.55290696	9.24493	7.966824		
07-Jan-2008	1380	0.67502501	0.58869686	10.11763	8.597174		

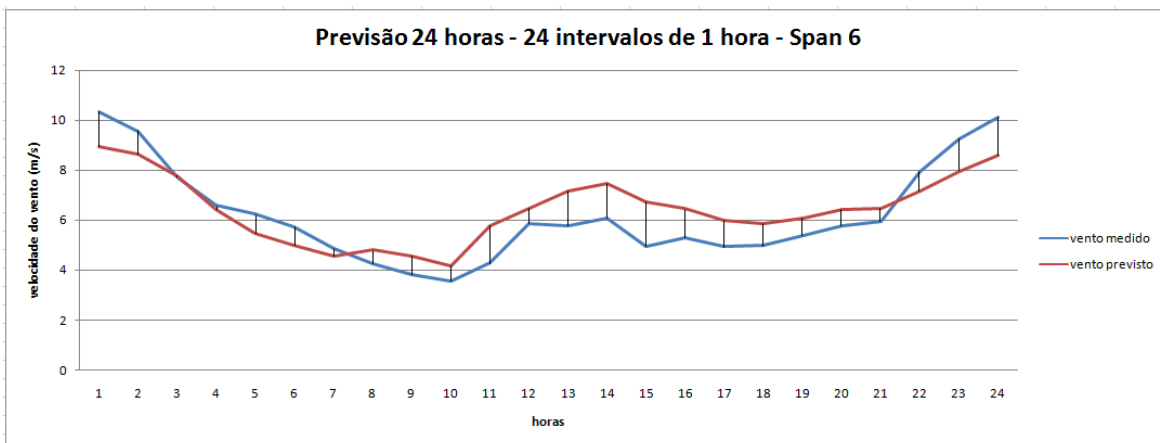


Figura L.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 15,34%) – Span 6 (Teste 1)

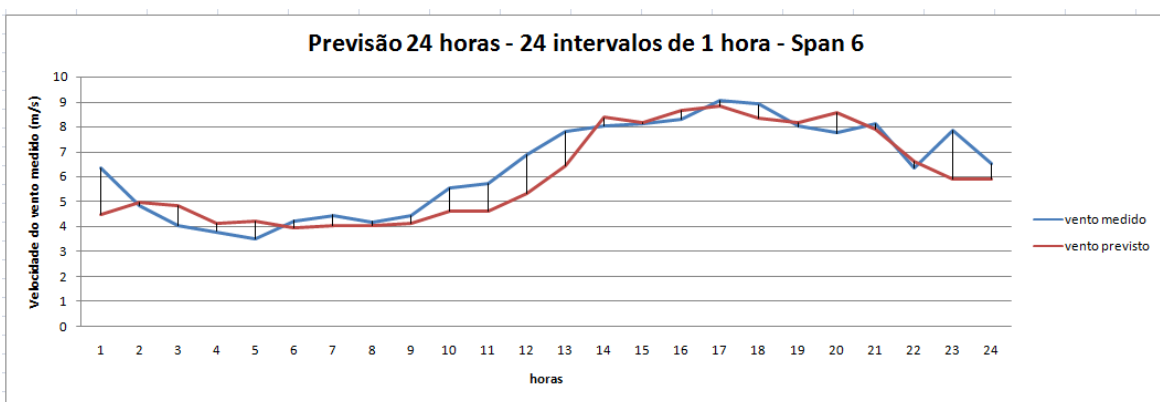


Figura L.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 10,63%) – Span 6 (Teste 1)

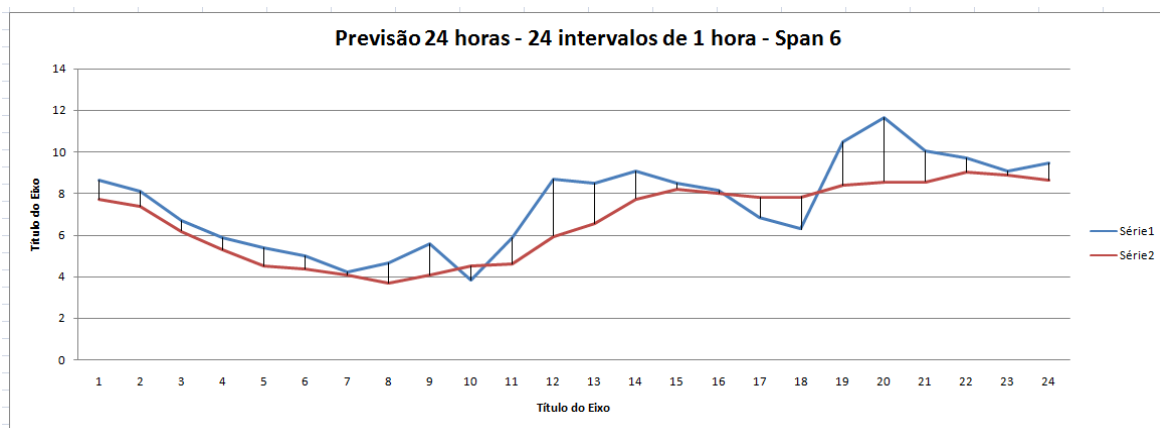


Figura L.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 14,45%) – Span 6 (Teste 1)





ANEXO M — MODELOS PARA  
PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM  
HORIZONTE DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS  
DE 1 HORA COM DIRECÇÃO DO VENTO — *SPAN*  
6 (TESTE 3)

**Tabela M.1 - Previsão do vento (08-01-2008) – com Direcção vento - Span 6 (Teste 3)**

dia	data	mins	vel_50_n	\$N-vel_50_n	vel_50	\$N-vel_50	MAPE
25	07-Jan-2008	0	0.68743813	0.61060941	9.526667	8.278488	11.47599
25	07-Jan-2008	60	0.64414609	0.59488907	8.823333	8.023092	15.23397
25	07-Jan-2008	120	0.53972199	0.54600917	7.126833	7.228976	
25	07-Jan-2008	180	0.47373753	0.46834471	6.054833	5.96722	
25	07-Jan-2008	240	0.45399964	0.40965806	5.734167	5.013782	
25	07-Jan-2008	300	0.42588033	0.38132207	5.277333	4.553429	
25	07-Jan-2008	360	0.37657665	0.36001831	4.476333	4.207323	
25	07-Jan-2008	420	0.34253802	0.37196997	3.923333	4.401492	
25	07-Jan-2008	480	0.31689108	0.3604569	3.506667	4.214448	
25	07-Jan-2008	540	0.30175938	0.33583253	3.260833	3.814394	
25	07-Jan-2008	600	0.34265087	0.42400266	3.925167	5.246828	
25	07-Jan-2008	660	0.43319484	0.46645508	5.396167	5.936521	
25	07-Jan-2008	720	0.42886564	0.50585812	5.325833	6.576673	
25	07-Jan-2008	780	0.44614142	0.52407285	5.6065	6.872594	
25	07-Jan-2008	840	0.38037239	0.48221988	4.538	6.19264	
25	07-Jan-2008	900	0.40017183	0.46719199	4.859667	5.948493	
25	07-Jan-2008	960	0.38008515	0.43971669	4.533333	5.502122	
25	07-Jan-2008	1020	0.38211639	0.43148178	4.566333	5.368336	
25	07-Jan-2008	1080	0.4061527	0.44716163	4.956833	5.623075	
25	07-Jan-2008	1140	0.42843477	0.46868153	5.318833	5.972692	
25	07-Jan-2008	1200	0.43737016	0.46979543	5.464	5.990789	
25	07-Jan-2008	1260	0.55250442	0.51255862	7.3345	6.68553	
25	07-Jan-2008	1320	0.62547511	0.55881589	8.52	7.437038	
25	07-Jan-2008	1380	0.67502501	0.59216037	9.325	7.97876	

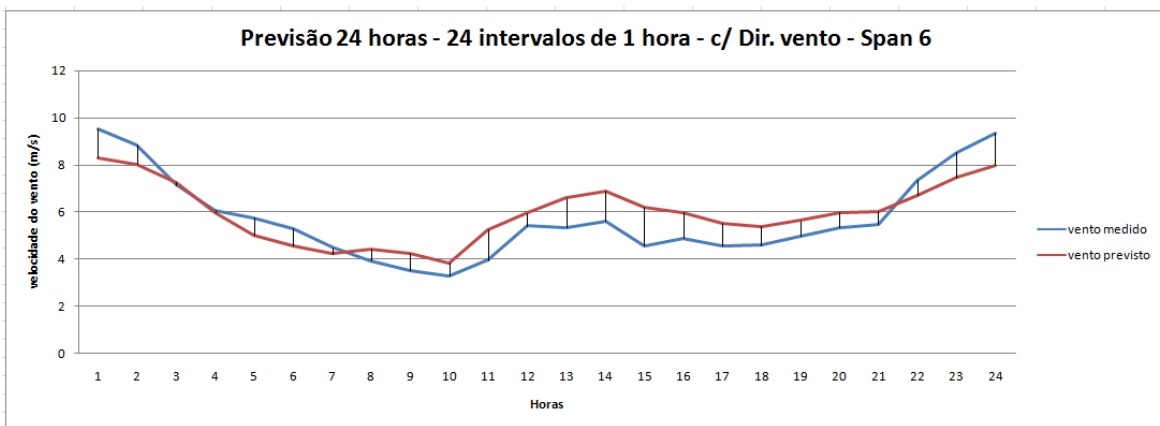


Figura M.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 15,23%) – Span 6 (Teste 3)

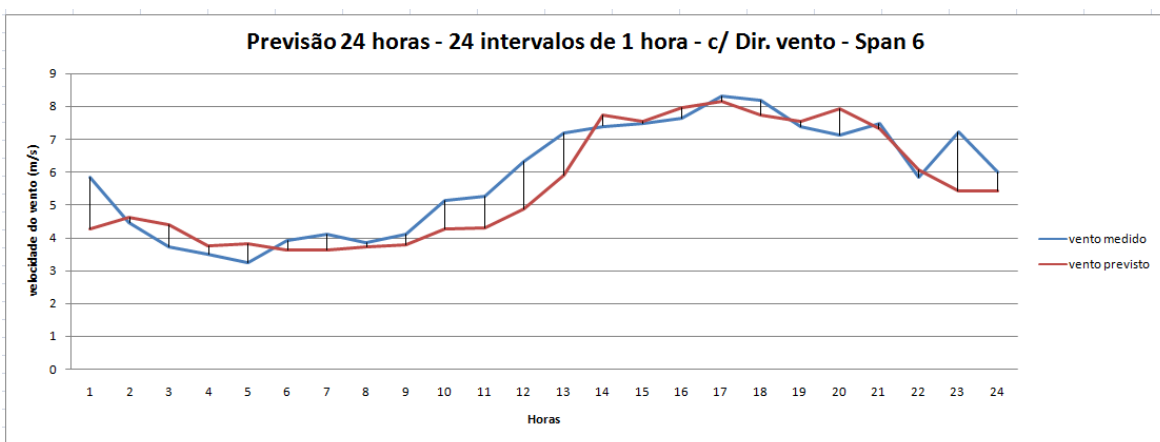


Figura M.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 10,47%) – Span 6 (Teste 3)

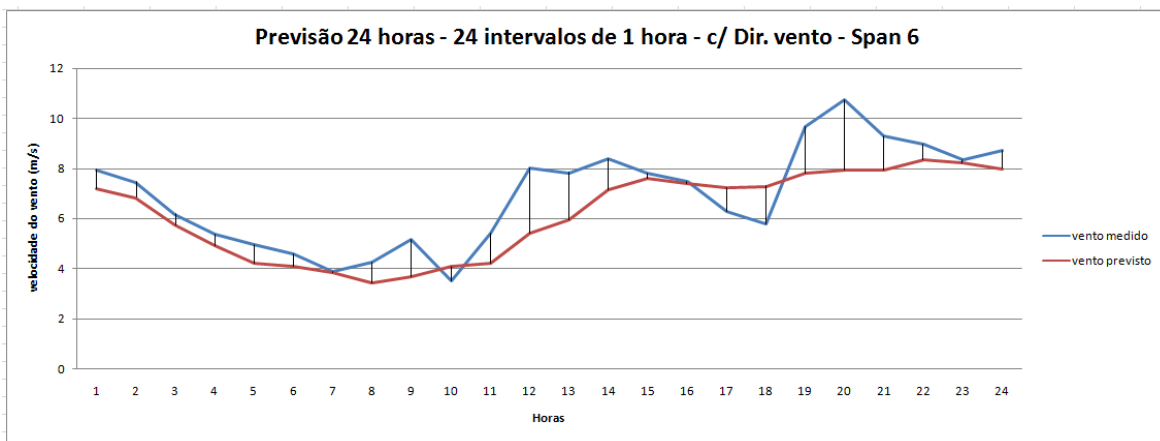


Figura M.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 14,14%) – Span 6 (Teste 3)



ANEXO N — MODELOS PARA  
PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM  
HORIZONTE DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS  
DE 1 HORA SEM DIRECÇÃO DO VENTO — *SPAN*  
*12* (TESTE 5)

**Tabela N.1 - Previsão do vento (08-01-2008) – Span 12 sem Direcção do vento (Teste 5)**

data	mins	vel 50 n	\$N-vel 50 n	vel 50	\$N-vel 50	MAPE
07-Jan-2008	0	0.68743813	0.61632666	10.33625	9.083803	12.17552
07-Jan-2008	60	0.64414609	0.60125232	9.573773	8.818307	16.06987
07-Jan-2008	120	0.53972199	0.55797717	7.734603	8.056123	
07-Jan-2008	180	0.47373753	0.48345775	6.572452	6.74365	
07-Jan-2008	240	0.45399964	0.4039957	6.224819	5.344124	
07-Jan-2008	300	0.42588033	0.36246365	5.729567	4.612641	
07-Jan-2008	360	0.37657665	0.34362917	4.861206	4.280919	
07-Jan-2008	420	0.34253802	0.35302069	4.261701	4.446327	
07-Jan-2008	480	0.31689108	0.34470397	3.809994	4.299849	
07-Jan-2008	540	0.30175938	0.3222987	3.543487	3.905236	
07-Jan-2008	600	0.34265087	0.42178175	4.263688	5.657381	
07-Jan-2008	660	0.43319484	0.49703455	5.858394	6.982771	
07-Jan-2008	720	0.42886564	0.5383046	5.782146	7.70964	
07-Jan-2008	780	0.44614142	0.54132407	6.086416	7.76282	
07-Jan-2008	840	0.38037239	0.48691328	4.928059	6.80451	
07-Jan-2008	900	0.40017183	0.46908502	5.276776	6.49051	
07-Jan-2008	960	0.38008515	0.43847801	4.923	5.951444	
07-Jan-2008	1020	0.38211639	0.43693716	4.958775	5.924306	
07-Jan-2008	1080	0.4061527	0.45735866	5.382114	6.283979	
07-Jan-2008	1140	0.42843477	0.47670792	5.774557	6.624768	
07-Jan-2008	1200	0.43737016	0.47981006	5.931932	6.679405	
07-Jan-2008	1260	0.55250442	0.53383052	7.959734	7.63084	
07-Jan-2008	1320	0.62547511	0.57262478	9.24493	8.314104	
07-Jan-2008	1380	0.67502501	0.59776371	10.11763	8.756863	

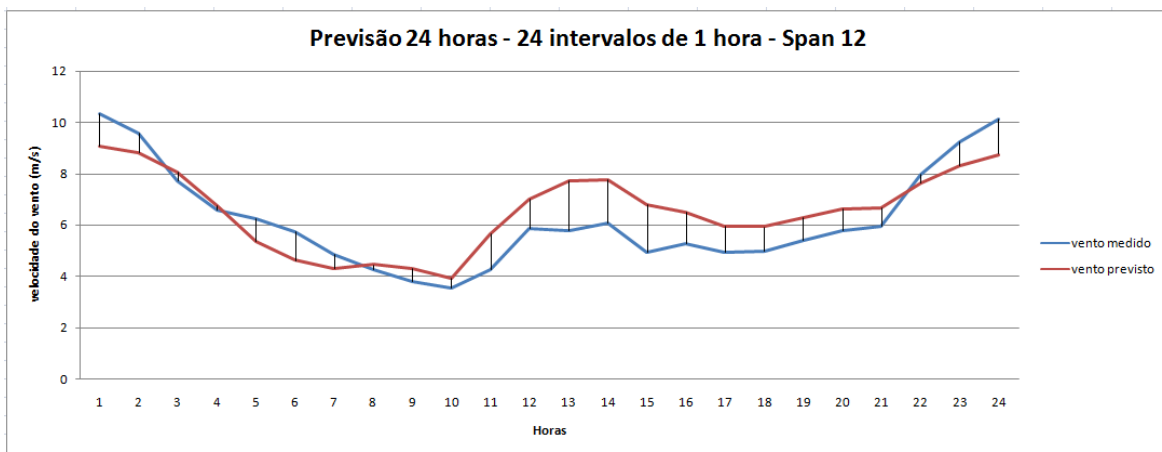


Figura N.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 16,06%) – Span 12 (Teste 5)

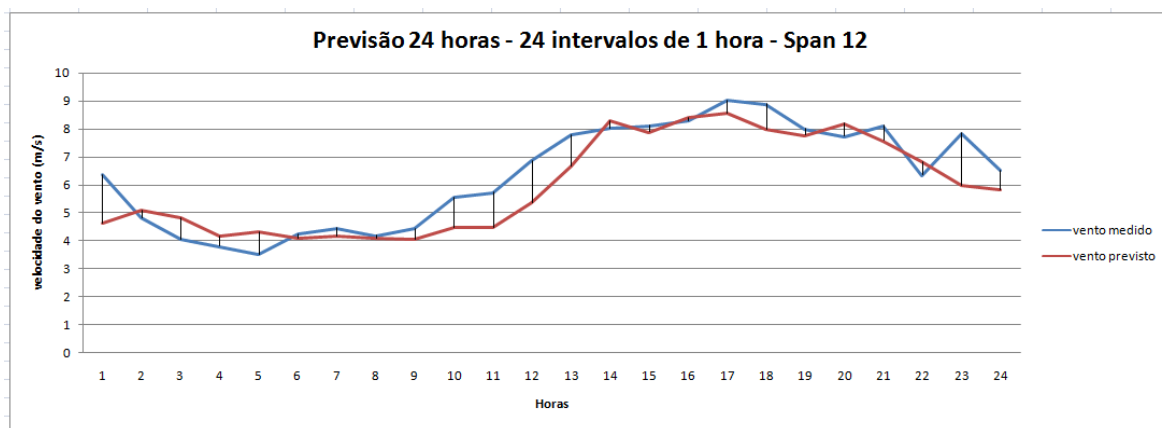


Figura N.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 10,97%) – Span 12 (Teste 5)

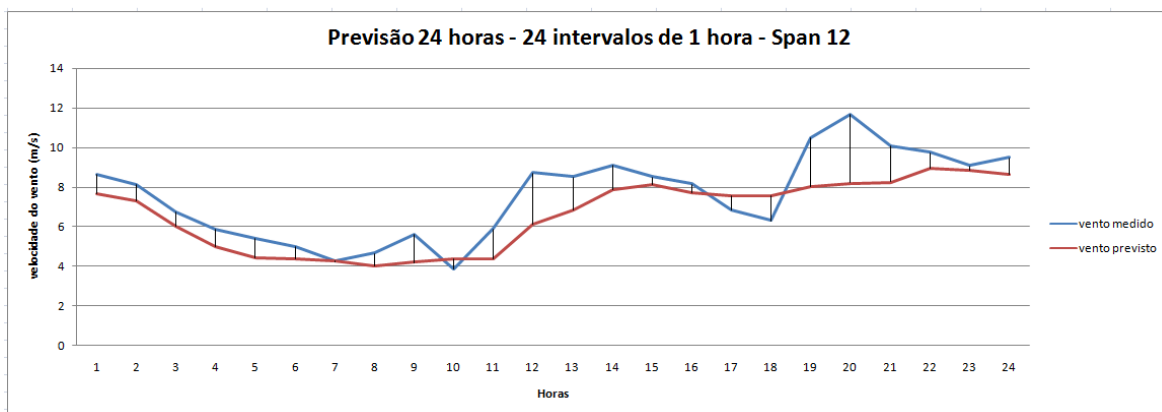


Figura N.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 14,56%) – Span 12 (Teste 5)





ANEXO O — MODELOS PARA  
PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM  
HORIZONTE DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS  
DE 1 HORA COM DIRECÇÃO DO VENTO — *SPAN*  
*12* (TESTE 7)

**Tabela O.1 - Previsão do vento (08-01-2008) – com Direcção do vento *Span* 12 (Teste 7)**

data	mins	vel 50 n	\$N-vel 50 n	vel 50	\$N-vel 50			MAPE
07-Jan-2008	0	0.68743813	0.57480747	10.33625	8.352547	9.803192		12.81963
07-Jan-2008	60	0.64414609	0.57203172	9.573773	8.303659			
07-Jan-2008	120	0.53972199	0.55849027	7.734603	8.06516			
07-Jan-2008	180	0.47373753	0.50611532	6.572452	7.142706			
07-Jan-2008	240	0.45399964	0.4166414	6.224819	5.566847			
07-Jan-2008	300	0.42588033	0.37959661	5.729567	4.914395			
07-Jan-2008	360	0.37657665	0.35695556	4.861206	4.51563			
07-Jan-2008	420	0.34253802	0.356713	4.261701	4.511358			
07-Jan-2008	480	0.31689108	0.33782061	3.809994	4.178615			
07-Jan-2008	540	0.30175938	0.30700598	3.543487	3.635893			
07-Jan-2008	600	0.34265087	0.41272906	4.263688	5.49794			
07-Jan-2008	660	0.43319484	0.46109041	5.858394	6.349705			
07-Jan-2008	720	0.42886564	0.50226361	5.782146	7.074868			
07-Jan-2008	780	0.44614142	0.52077312	6.086416	7.400866			
07-Jan-2008	840	0.38037239	0.48781074	4.928059	6.820317			
07-Jan-2008	900	0.40017183	0.46176278	5.276776	6.361547			
07-Jan-2008	960	0.38008515	0.42279916	4.923	5.6753			
07-Jan-2008	1020	0.38211639	0.40867327	4.958775	5.426508			
07-Jan-2008	1080	0.4061527	0.4317214	5.382114	5.832443			
07-Jan-2008	1140	0.42843477	0.45455052	5.774557	6.234521			
07-Jan-2008	1200	0.43737016	0.45280743	5.931932	6.203821			
07-Jan-2008	1260	0.55250442	0.5268	7.959734	7.507015			
07-Jan-2008	1320	0.62547511	0.57564511	9.24493	8.367299			
07-Jan-2008	1380	0.67502501	0.61090733	10.11763	8.988355			

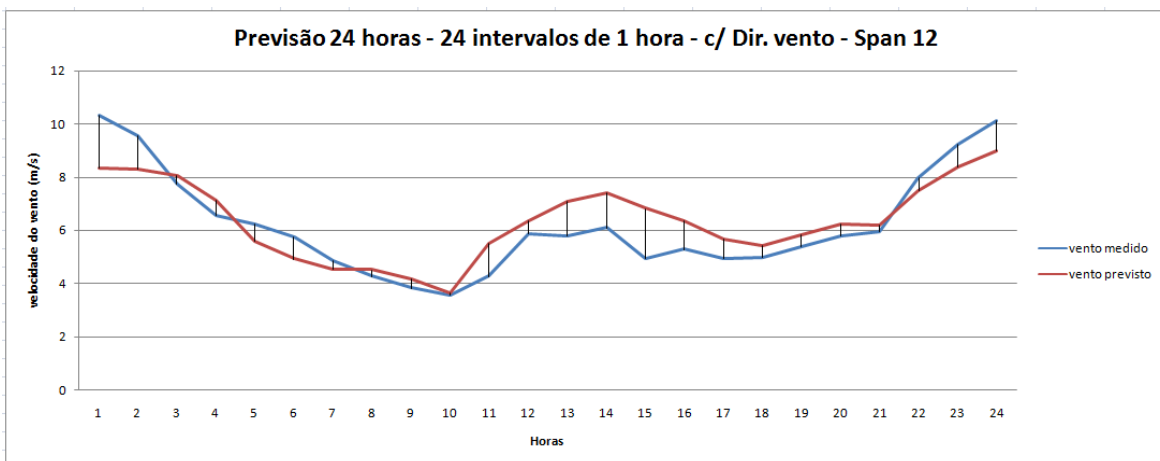


Figura O.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 12,81%) – Span 12 (Teste 7)

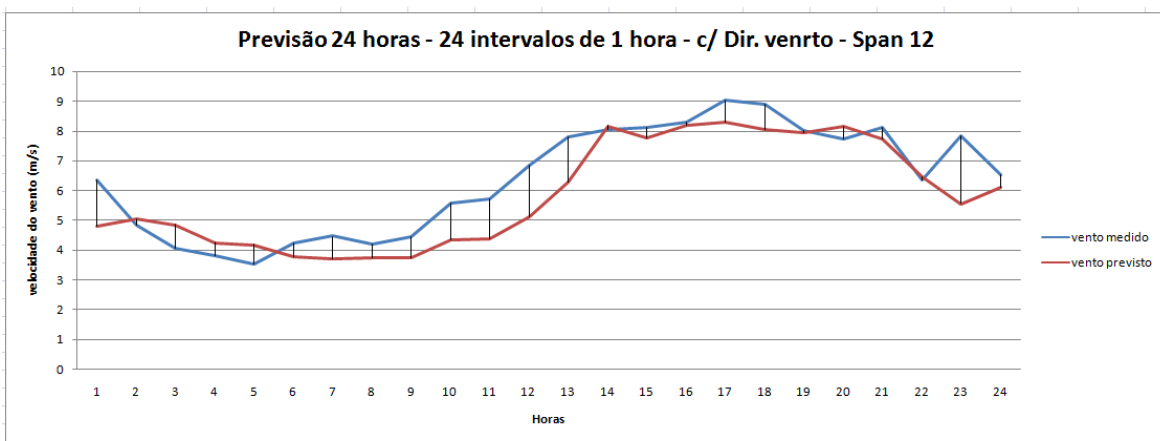


Figura O.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 12,41%) – Span 12 (Teste 7)

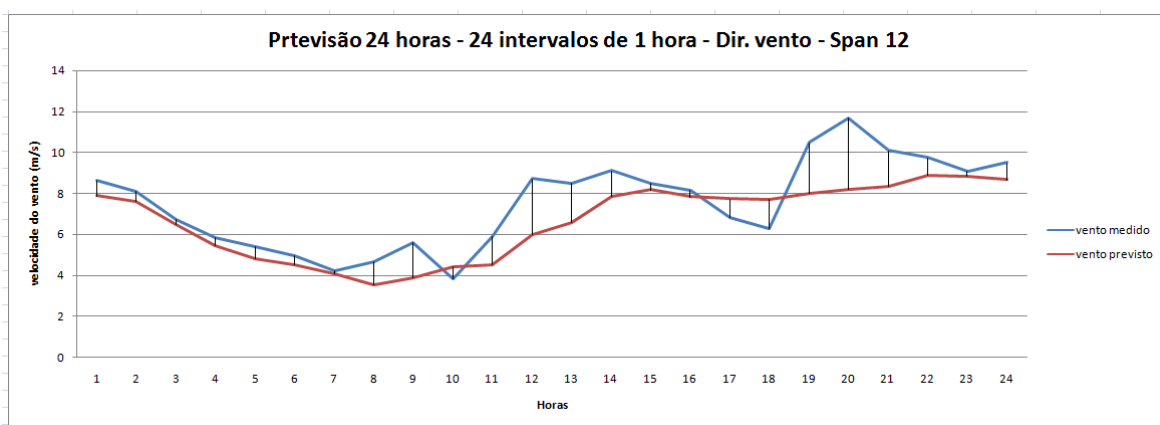


Figura O.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 14,37%) – Span 12 (Teste 7)



**ANEXO P – MODELOS PARA PREVISÃO  
DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE  
DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA  
SEM DIRECÇÃO DO VENTO – *SPAN 18* (TESTE 9)**

**Tabela P.1- Previsão do vento (08-01-2008) – Span 18 sem Direcção do vento**

data	mins	vel 50 n	\$N-vel 50 n	vel 50	\$N-vel 50		MAPE
07-Jan-2008	0	0.68743813	0.62266826	10.33625	9.195495	11.19274	14.79013
07-Jan-2008	60	0.64414609	0.60224745	9.573773	8.835833		
07-Jan-2008	120	0.53972199	0.54025281	7.734603	7.743953		
07-Jan-2008	180	0.47373753	0.47164026	6.572452	6.535514		
07-Jan-2008	240	0.45399964	0.39974911	6.224819	5.269331		
07-Jan-2008	300	0.42588033	0.35904294	5.729567	4.552394		
07-Jan-2008	360	0.37657665	0.34382268	4.861206	4.284327		
07-Jan-2008	420	0.34253802	0.35071578	4.261701	4.405732		
07-Jan-2008	480	0.31689108	0.34573952	3.809994	4.318087		
07-Jan-2008	540	0.30175938	0.33133425	3.543487	4.064375		
07-Jan-2008	600	0.34265087	0.40357912	4.263688	5.336787		
07-Jan-2008	660	0.43319484	0.47940666	5.858394	6.672299		
07-Jan-2008	720	0.42886564	0.51742744	5.782146	7.341941		
07-Jan-2008	780	0.44614142	0.51569684	6.086416	7.311461		
07-Jan-2008	840	0.38037239	0.47468293	4.928059	6.589103		
07-Jan-2008	900	0.40017183	0.46254163	5.276776	6.375264		
07-Jan-2008	960	0.38008515	0.44137906	4.923	6.002539		
07-Jan-2008	1020	0.38211639	0.43852646	4.958775	5.952297		
07-Jan-2008	1080	0.4061527	0.45440007	5.382114	6.231871		
07-Jan-2008	1140	0.42843477	0.47306658	5.774557	6.560635		
07-Jan-2008	1200	0.43737016	0.48002418	5.931932	6.683176		
07-Jan-2008	1260	0.55250442	0.5146037	7.959734	7.292208		
07-Jan-2008	1320	0.62547511	0.56689184	9.24493	8.213132		
07-Jan-2008	1380	0.67502501	0.60555458	10.11763	8.89408		

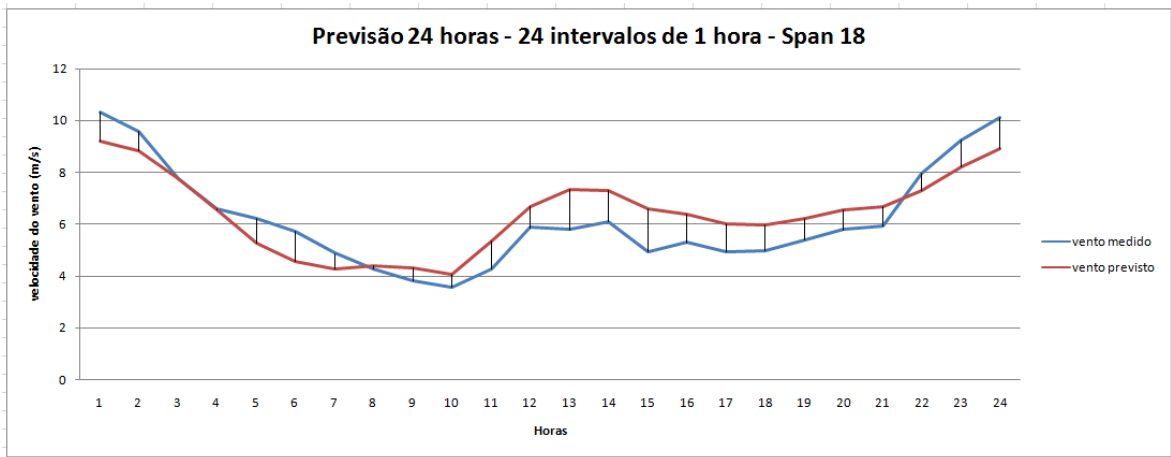


Figura P.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 14,79%) – Span 18 (Teste 9)

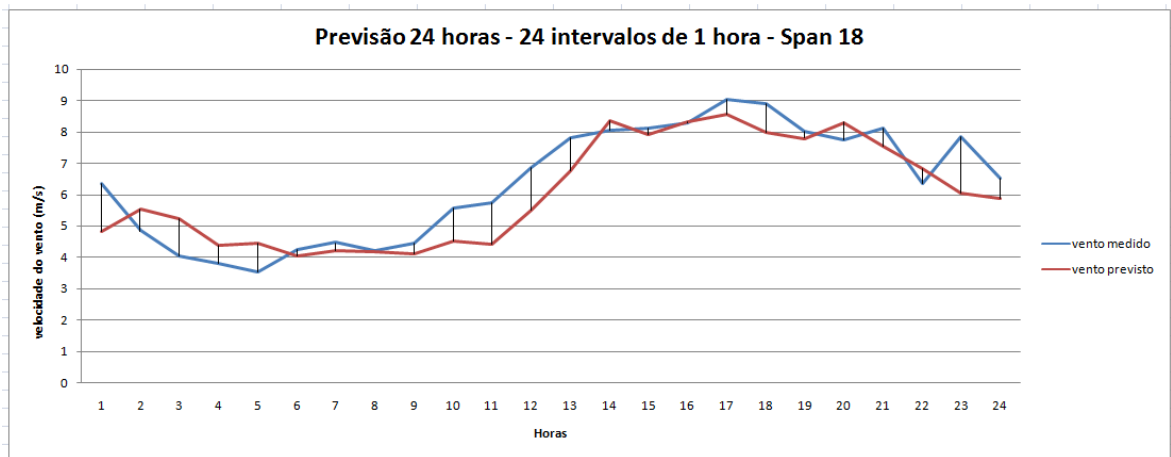


Figura P.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 11,70%) – Span 18 (Teste 9)

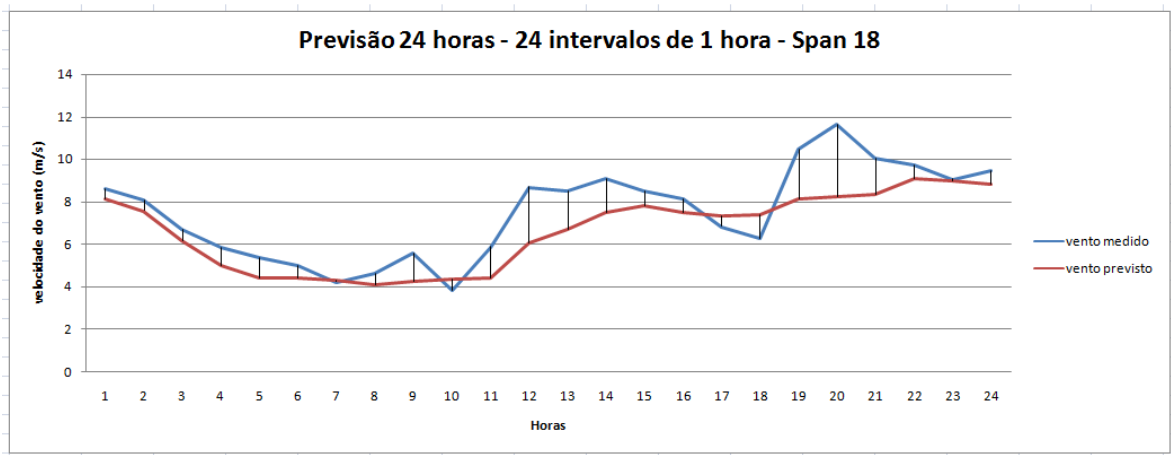


Figura P.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 13,97%) – Span 18 (Teste 9)





ANEXO Q — MODELOS PARA  
PREVISÃO DA VELOCIDADE DO VENTO COM  
HORIZONTE DE 24 HORAS - 24 INTERVALOS  
DE 1 HORA COM DIRECÇÃO DO VENTO — *SPAN*  
*18* (TESTE 11)

**Tabela Q.1 - Previsão do vento (08-01-2008) – com Direcção do vento - Span 18**

data	mins	vel_50_n	\$N-vel_50_n	vel_50	\$N-vel_50		MAPE
07-Jan-2008	0	0.68743813	0.62636358	10.33625	9.260579	11.07949	14.61137
07-Jan-2008	60	0.64414609	0.60428686	9.573773	8.871752		
07-Jan-2008	120	0.53972199	0.53889604	7.734603	7.720056		
07-Jan-2008	180	0.47373753	0.47558935	6.572452	6.605067		
07-Jan-2008	240	0.45399964	0.39686703	6.224819	5.218571		
07-Jan-2008	300	0.42588033	0.35677548	5.729567	4.512458		
07-Jan-2008	360	0.37657665	0.34162455	4.861206	4.245612		
07-Jan-2008	420	0.34253802	0.3472554	4.261701	4.344786		
07-Jan-2008	480	0.31689108	0.33794358	3.809994	4.180781		
07-Jan-2008	540	0.30175938	0.32161955	3.543487	3.893274		
07-Jan-2008	600	0.34265087	0.40730324	4.263688	5.402378		
07-Jan-2008	660	0.43319484	0.48107873	5.858394	6.701749		
07-Jan-2008	720	0.42886564	0.51485391	5.782146	7.296614		
07-Jan-2008	780	0.44614142	0.51331561	6.086416	7.269521		
07-Jan-2008	840	0.38037239	0.47270143	4.928059	6.554204		
07-Jan-2008	900	0.40017183	0.46269087	5.276776	6.377893		
07-Jan-2008	960	0.38008515	0.44320258	4.923	6.034655		
07-Jan-2008	1020	0.38211639	0.43889735	4.958775	5.95883		
07-Jan-2008	1080	0.4061527	0.46129396	5.382114	6.35329		
07-Jan-2008	1140	0.42843477	0.4795909	5.774557	6.675545		
07-Jan-2008	1200	0.43737016	0.48126282	5.931932	6.704991		
07-Jan-2008	1260	0.55250442	0.51733808	7.959734	7.340367		
07-Jan-2008	1320	0.62547511	0.56788671	9.24493	8.230655		
07-Jan-2008	1380	0.67502501	0.6069683	10.11763	8.918979		

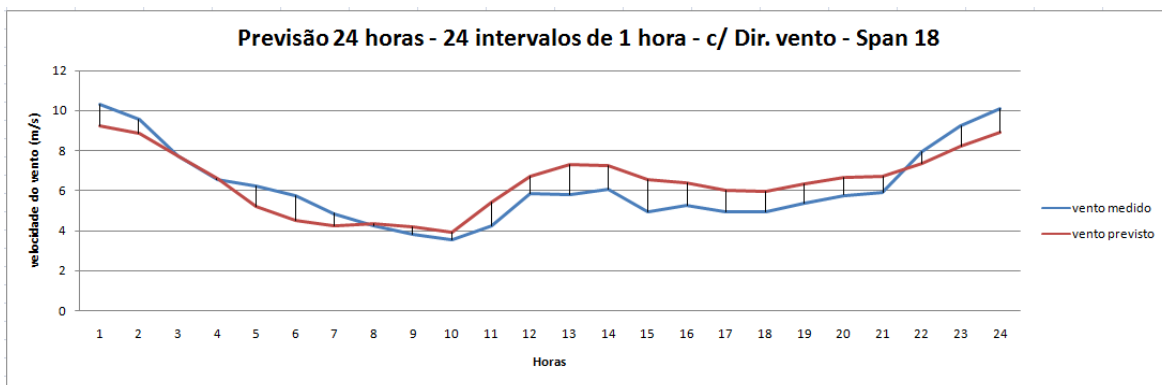


Figura Q.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 14,61%) – Span 18 (Teste 11)

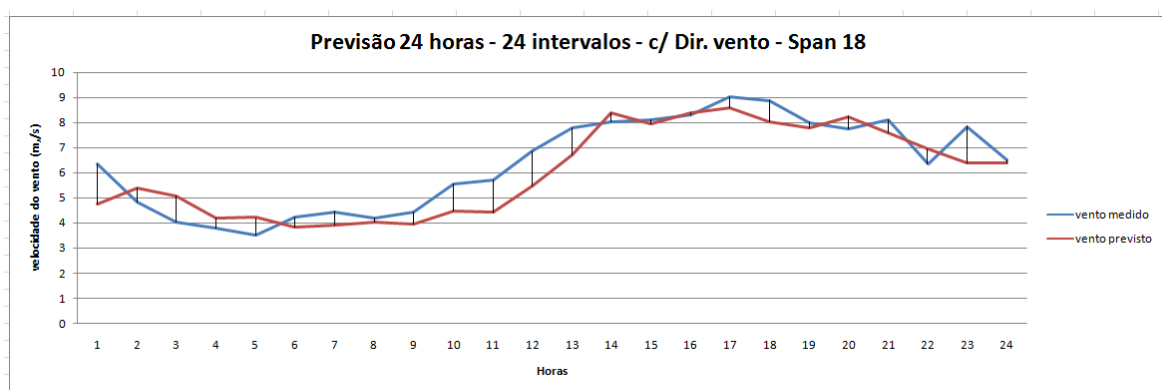


Figura Q.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 11,42%) – Span 18 (Teste 11)

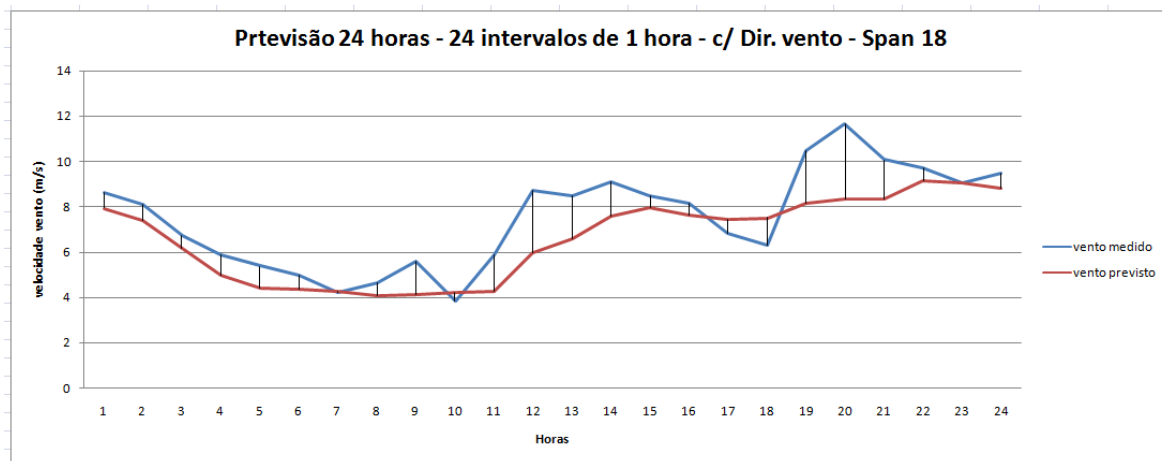


Figura Q.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 14,17%) – Span 18 (Teste 11)



**ANEXO R** – MODELOS PARA PREVISÃO  
DA VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE  
24 HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA SEM  
DIRECÇÃO DO VENTO – *SPAN 24* (TESTE 13)

**Tabela R.1 - Previsão do vento (08-01-2008) – Span 24 sem Direcção do vento (teste 13)**

data	mins	vel 50 n	\$N\$-vel 50 n	vel 50	\$N\$-vel 50	MAPE
07-Jan-2008	0	0.68743813	0.6152238	10.33625	9.064379	10.25645
07-Jan-2008	60	0.64414609	0.59816668	9.573773	8.763961	13.47467
07-Jan-2008	120	0.53972199	0.55322942	7.734603	7.972503	
07-Jan-2008	180	0.47373753	0.50732513	6.572452	7.164014	
07-Jan-2008	240	0.45399964	0.43704494	6.224819	5.926204	
07-Jan-2008	300	0.42588033	0.40474378	5.729567	5.3573	
07-Jan-2008	360	0.37657665	0.3566683	4.861206	4.51057	
07-Jan-2008	420	0.34253802	0.34154966	4.261701	4.244293	
07-Jan-2008	480	0.31689108	0.3143035	3.809994	3.76442	
07-Jan-2008	540	0.30175938	0.3049066	3.543487	3.598918	
07-Jan-2008	600	0.34265087	0.41930207	4.263688	5.613708	
07-Jan-2008	660	0.43319484	0.49470017	5.858394	6.941657	
07-Jan-2008	720	0.42886564	0.53370817	5.782146	7.628685	
07-Jan-2008	780	0.44614142	0.54654327	6.086416	7.854743	
07-Jan-2008	840	0.38037239	0.50112976	4.928059	7.054898	
07-Jan-2008	900	0.40017183	0.46626771	5.276776	6.44089	
07-Jan-2008	960	0.38008515	0.43673561	4.923	5.920756	
07-Jan-2008	1020	0.38211639	0.42573362	4.958775	5.726983	
07-Jan-2008	1080	0.4061527	0.4410292	5.382114	5.996377	
07-Jan-2008	1140	0.42843477	0.46787275	5.774557	6.469159	
07-Jan-2008	1200	0.43737016	0.49427112	5.931932	6.9341	
07-Jan-2008	1260	0.55250442	0.55575564	7.959734	8.016996	
07-Jan-2008	1320	0.62547511	0.59601908	9.24493	8.726136	
07-Jan-2008	1380	0.67502501	0.61707523	10.11763	9.096988	

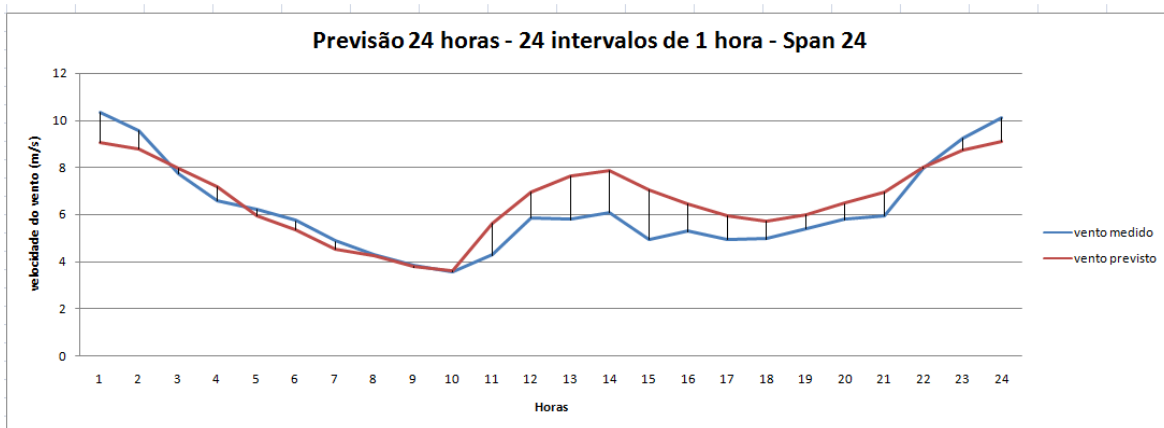


Figura R.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 13,47%) – Span 24 (Teste 13)

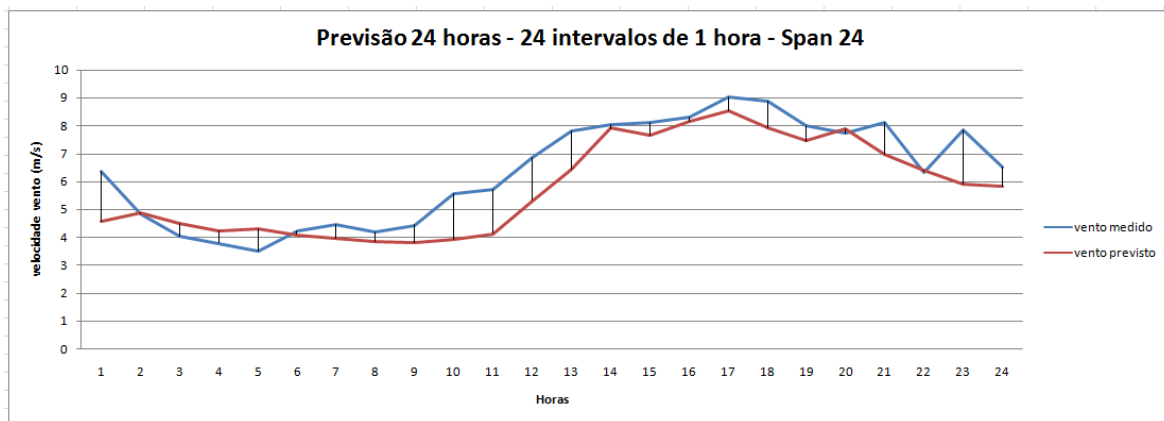


Figura R.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 12,20%) – Span 24 (Teste 13)

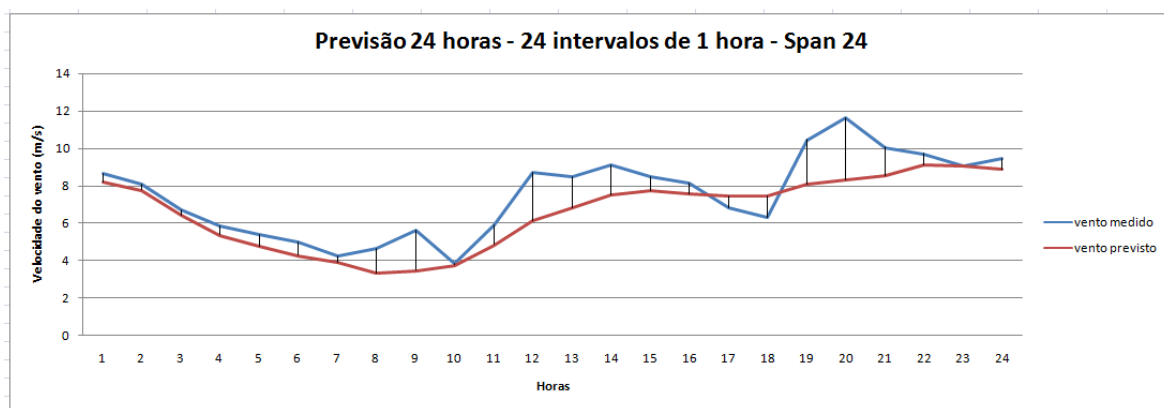


Figura R.3 - Previsão do vento do dia 08/10/2008 (MAPE: 13,77%) – Span 24 (Teste 13)





**ANEXO S** – MODELOS PARA PREVISÃO DA  
VELOCIDADE DO VENTO COM HORIZONTE DE 24  
HORAS - 24 INTERVALOS DE 1 HORA COM  
DIRECÇÃO DO VENTO – *SPAN 24* (TESTE 15)

**Tabela S.1 - Previsão do vento (08-01-2008) – Span 24 com Direcção do vento (teste 15)**

data	mins	vel_50_n	\$N\$-vel_50_n	vel_50	\$N\$-vel_50		MAPE
07-Jan-2008	0	0.68743813	0.622145325	10.33625	9.186285	10.82367	14.33032
07-Jan-2008	60	0.64414609	0.604736985	9.573773	8.87968		
07-Jan-2008	120	0.53972199	0.552872096	7.734603	7.96621		
07-Jan-2008	180	0.47373753	0.500822604	6.572452	7.049488		
07-Jan-2008	240	0.45399964	0.450451934	6.224819	6.162335		
07-Jan-2008	300	0.42588033	0.409076619	5.729567	5.433612		
07-Jan-2008	360	0.37657665	0.342258568	4.861206	4.256779		
07-Jan-2008	420	0.34253802	0.33979173	4.261701	4.213332		
07-Jan-2008	480	0.31689108	0.333849668	3.809994	4.108677		
07-Jan-2008	540	0.30175938	0.327939217	3.543487	4.004579		
07-Jan-2008	600	0.34265087	0.411179072	4.263688	5.470641		
07-Jan-2008	660	0.43319484	0.502179001	5.858394	7.073378		
07-Jan-2008	720	0.42886564	0.532186072	5.782146	7.601877		
07-Jan-2008	780	0.44614142	0.533539889	6.086416	7.625721		
07-Jan-2008	840	0.38037239	0.486297355	4.928059	6.793662		
07-Jan-2008	900	0.40017183	0.464097828	5.276776	6.402673		
07-Jan-2008	960	0.38008515	0.444457336	4.923	6.056755		
07-Jan-2008	1020	0.38211639	0.437962218	4.958775	5.94236		
07-Jan-2008	1080	0.4061527	0.455455647	5.382114	6.250463		
07-Jan-2008	1140	0.42843477	0.478194384	5.774557	6.650949		
07-Jan-2008	1200	0.43737016	0.499906495	5.931932	7.033353		
07-Jan-2008	1260	0.55250442	0.563695894	7.959734	8.156844		
07-Jan-2008	1320	0.62547511	0.600627055	9.24493	8.807294		
07-Jan-2008	1380	0.67502501	0.618995476	10.11763	9.130808		

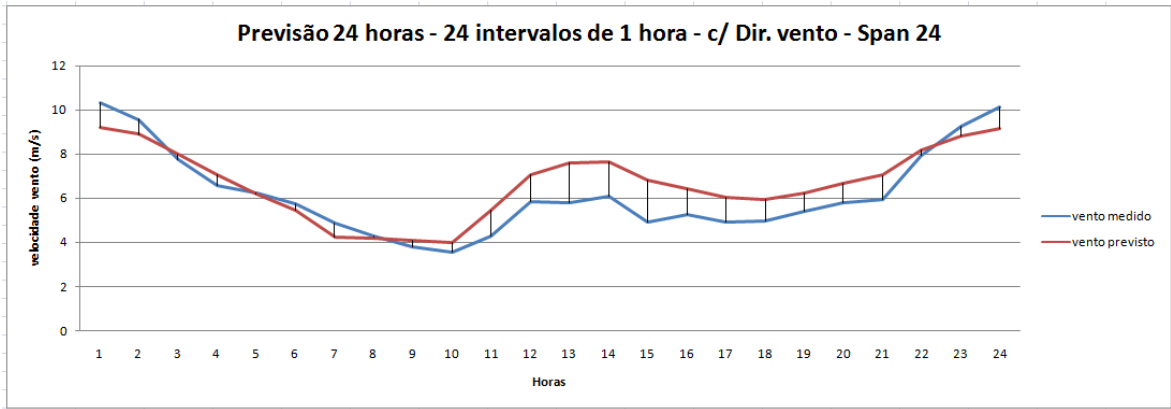


Figura S.1 - Previsão do vento do dia 08/01/2008 (MAPE: 14,33%) – Span 24 (Teste 15)

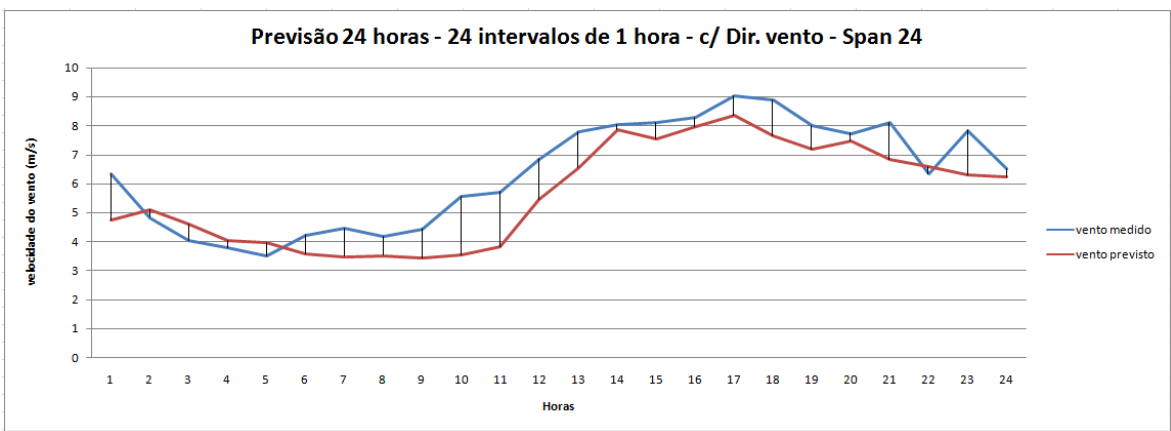


Figura S.2 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 14,01%) – Span 24 (Teste 15)

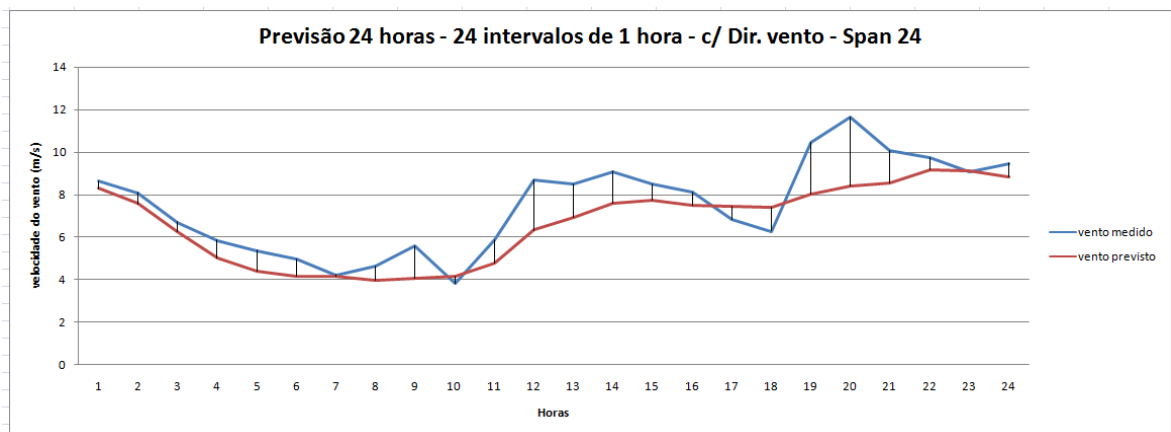


Figura S.3 - Previsão do vento do dia 08/06/2008 (MAPE: 13,52%) – Span 24 (Teste 15)