

# **INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO**

Instituto Politécnico do Porto

**“AFERIÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL DE PARQUES EÓLICOS”**  
(Referência: D0708-047)

**Henrique de Almeida Oliveira**  
(Nº 1890147)

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Electrotécnica  
Especialidade em Sistemas Eléctricos de Energia

Orientadora: Doutora Zita Maria Almeida do Vale  
Co-orientador: Mestre Luís Filipe Caeiro Castanheira

Outubro de 2010

# Mestrado em Engenharia Electrotécnica Sistema Eléctricos de Energia

## Dissertação

**Henrique de Almeida Oliveira**  
(Nº 1890147)

**AFERIÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL DE PARQUES EÓLICOS**  
(Referência: D0708-047)

Orientadora: Doutora Zita Maria Almeida do Vale  
Co-orientador: Mestre Luís Filipe Caeiro Castanheira

## Agradecimentos

Apesar de uma tese ser, pela sua finalidade académica, um trabalho individual, não era possível a sua concretização se não existisse a colaboração e o contributo, sob diversas formas, de várias pessoas e/ou entidades, em relação às quais se torna justa uma pública referência. Por essa razão, pretende-se expressar os sinceros agradecimentos:

À Professora Doutora Zita Maria Almeida do Vale, minha orientadora neste trabalho, pelo profissionalismo e disponibilidade manifestados ao longo destes anos de trabalho, bem como pelas críticas, correcções e sugestões relevantes efectuadas e ainda pela amizade demonstrada.

Ao Professor Luís Filipe Caeiro Castanheira, meu co-orientador neste trabalho, pela competência científica e orientação transmitida, pelos desafios colocados no desenvolvimento do trabalho, pelas críticas construtivas potenciadoras da qualidade do trabalho.

Aos meus colegas de curso José Vieira e Ana Matos, pelos incentivos transmitidos, pelo companheirismo mitigador das dificuldades, pelas ideias e sugestões efectuadas para a melhoria do trabalho, pela disponibilidade e atenção desinteressada em ouvir qualquer desabafo.

À minha esposa pelo seu incentivo à minha evolução académica, pela compreensão e apoio nos momentos de dificuldade e pela resignação em relação ao tempo retirado à relação familiar.

Ao meu filho pela indispensável compreensão e carinho manifestados, por ter suportado a menor disponibilidade de tempo e atenção e ainda pela solidariedade manifestada através do reconhecimento do contributo que representa para o núcleo familiar, a aquisição de competências.

À minha entidade patronal pelos meios disponibilizados e pela experiência profissional proporcionada, a qual permitiu evoluir em termos de conhecimentos.

Aos meus colegas de trabalho pelas sugestões e críticas efectuadas para o desenvolvimento do trabalho, pela colaboração na adequação de algumas ferramentas e pela disponibilidade para discussão da metodologia do trabalho.

## Resumo

A verificação das Características Garantidas associadas aos equipamentos, em especial dos aerogeradores, incluídos no fornecimento de Parques Eólicos, reveste-se de particular importância devido, principalmente, ao grande volume de investimento em jogo, ao longo período necessário ao retorno do mesmo, à incerteza quanto à manutenção futura das actuais condições de remuneração da energia eléctrica produzida e ainda à falta de dados históricos sobre o período de vida útil esperado para os aerogeradores.

Em face do exposto, é usual serem exigidas aos fornecedores, garantias do bom desempenho dos equipamentos, associadas a eventuais penalidades, quer para o período de garantia, quer para o restante período de vida útil, de modo a minimizar o risco associado ao investimento.

No fornecimento de Parques Eólicos existem usualmente três tipos de garantias, nomeadamente, garantia de Curva de Potência dos aerogeradores, garantia de Disponibilidade dos equipamentos ou garantia de Produção de Energia. Estas poderão existir isoladamente ou em combinação, dependendo das condições contratuais acordadas entre o Adjudicatário e o Fornecedor.

O grau de complexidade e/ou trabalho na implementação das mesmas é variável, não sendo possível afirmar qual delas é a mais conveniente para o Adjudicatário, nem qual a mais exacta em termos de resultados. Estas dúvidas surgem em consequência das dificuldades inerentes à recolha dos próprios dados e também da relativamente ampla margem de rearranjo dos resultados permitido pelas normas existentes, possibilitando a introdução de certo tipo de manipulações nos dados (rejeições e correlações), as quais podem afectar de forma considerável as incertezas dos resultados finais dos ensaios.

Este trabalho, consistiu no desenvolvimento, execução, ensaio e implementação de uma ferramenta informática capaz de detectar de uma forma simples e expedita eventuais desvios à capacidade de produção esperada para os aerogeradores, em função do recurso verificado num dado período. Pretende ser uma ferramenta manuseável por qualquer operador de supervisão, com utilização para efeitos de reparações e correcção de defeitos, não constituindo contudo uma alternativa a outros processos abrangidos por normas, no caso de aplicação de penalidades.

Para o seu funcionamento, são utilizados os dados mensais recolhidos pela torre meteorológica permanente instalada no parque e os dados de funcionamento dos aerogeradores, recolhidos pelo sistema SCADA. Estes são recolhidos remotamente sob a forma de tabelas e colocados numa directoria própria, na qual serão posteriormente lidos pela ferramenta.

## Abstract

The verification of the warranted performance relating to equipment, especially in the wind turbines, included in the supply of wind farms, have a particular importance, mainly due to the large amount of investment involved, the long period required to return the same, the uncertainty regarding the future maintenance of the present conditions of remuneration of the electricity produced and a lack of historical data on the lifetime expected for wind turbines.

With this background, it is usual to be required to the supplier's guarantees for a good performance of the equipment, in connection with some penalties, both for the warranty period and for the remaining life time period, in order to minimize the risk associated with the investment.

In the supply of wind farms there are usually three types of guarantees, including guaranteed power curve of wind turbines, ensuring availability of equipment or security Energy Production. These may exist singly or in combination, depending on the contractual terms agreed between the Contractor and the Supplier.

The degree of complexity and/or work in their implementation is variable. We can't say which one is more convenient for the contractor, or what is the most accurate in terms of results, due to difficulties in collecting the data, to ensure their reliability and also the relative permissivity of existing standards which to perform some kind of manipulation of the data (rejection and correlations), which can significantly affect the final results of the tests.

This work was aimed to developing a software tool capable of detecting in a simple and expeditious way, possible deviations between the expected production capacity of the wind turbines in comparison with the wind resource occurred. It is intended to have a manageable tool for any supervision operator, used for repairs and defects correction. However, does not constitute an alternative to other processes according the standards, in case of intention to apply penalties.

For its operation, are used the monthly data collected in the permanent meteorological mast installed inside the wind farm and the operating data of wind turbines collected by the SCADA system. These are collected remotely in tables format and placed in a specific directory, which will later be read by the tool.

## Índice

Assunto	Página
<b>1 – Introdução .....</b>	<b>15</b>
1.1 – Breve descrição da situação da área de negócio .....	15
1.2 – Importância da avaliação da eficiência .....	16
1.3 – Aspectos de índole ambiental .....	17
<b>2 – Enquadramento do problema .....</b>	<b>18</b>
2.1 – Modelos e formas de aferição utilizadas .....	18
2.2 – Nova metodologia de aferição .....	21
2.3 – Grau de precisão do método .....	23
2.4 – Norma IEC 61400-12 .....	23
2.4.1 – Capítulo introdutório .....	24
2.4.2 – Aspectos gerais .....	24
2.4.3 – Condições de ensaio .....	25
2.4.4 – Equipamento de teste .....	26
2.4.5 – Procedimento de medição .....	26
2.4.6 – Tipo e conteúdo do relatório .....	27
2.4.7 – Calibração do local do ensaio .....	28
<b>3 – Construção da ferramenta ADOPE .....</b>	<b>29</b>
3.1 – Software utilizado para obtenção da matriz padrão .....	29
3.2 – Obtenção das diversas matrizes de desempenho .....	30
3.2.1 – “Layout” da instalação em formato digital .....	30
3.2.2 – Mapas digitalizados .....	32
3.2.3 – Dados dos aerogeradores .....	33
3.3 – “Montagem” do programa para obtenção das matrizes de desempenho .....	36
3.4 – Matriz de desempenho .....	39
3.5 – Dados de vento .....	41
3.6 – Perdas de energia .....	42
3.7 – Plataforma informática de suporte .....	45
<b>4 – Modo de utilização da ferramenta .....</b>	<b>46</b>
4.1 – Carregamento dos dados .....	46
4.2 – Tratamento prévio dos dados .....	47
4.3 – Construção dos diversos algoritmos da ferramenta .....	48
4.3.1 – Colocação temporária de dados .....	51
4.3.2 – Agrupamento dos dados .....	52
4.3.3 – Contagem do número de “bins” .....	53
4.3.4 – Produção dos aerogeradores / parque .....	54
4.3.5 – Informação de referência .....	54

4.3.6 – Matrizes de referência.....	55
4.3.7 – Matrizes de cálculo da energia.....	56
4.3.8 – Comparação de energias .....	58
4.4 – Operação da ferramenta .....	59
4.4.1 – Selecção do ano e do mês para análise .....	60
4.4.2 – Actualização dos dados e execução dos cálculos .....	61
4.4.3 – Impressão dos resultados.....	62
4.4.4 – Análise dos resultados.....	66
<b>5 - Custos de implementação e utilização da ferramenta.....</b>	<b>68</b>
5.1 - Implementação.....	68
5.2 - Utilização.....	69
<b>6 - Resultados .....</b>	<b>70</b>
6.1 - Situação genérica .....	70
6.2 - Situação concreta de exploração e de mitigação de perdas .....	71
<b>7 – Conclusões .....</b>	<b>73</b>
<b>8 – Referências bibliográficas .....</b>	<b>76</b>

## Anexos

- Anexo A - Catálogo dos aerogeradores constituintes do Parque Eólico de Madrinha
  
- Anexo B - Descrição de alguns capítulos da norma IEC 61400 – Parte 12, com os quais estão relacionadas diversas partes do trabalho desenvolvido
  
- Anexo C - Catálogo do “Data logger” instalado na torre meteorológica permanente do parque eólico de Madrinha
  
- Anexo D - Fotografias do parque eólico de Madrinha

## Lista de figuras

Descrição	Página
Figura 1.1 – Incremento da potência unitária dos aerogeradores ao longo do tempo .....	16
Figura 2.1 – Medição de Curva de Potência (montagem do equipamento) .....	19
Figura 2.2 – Medição da Garantia Global do Parque (montagem do equip.) ...	20
Figura 3.1 – Identificação da versão do “WASP” utilizado .....	30
Figura 3.2 – “Layout” do parque eólico com a respectiva TMP .....	31
Figura 3.3 – Coordenadas e cotas dos elementos do parque eólico.....	32
Figura 3.4 – Mapa digitalizado com representação da orografia e respectivas cotas.....	33
Figura 3.5 – Curva de potência dos aerogeradores (gráfico) .....	34
Figura 3.6 – Criação de um novo projecto no Wasp .....	36
Figura 3.7 – Inserção no “WASP” do mapa do sítio do parque.....	36
Figura 3.8 – Inserção dos valores de referenciação dos aerogeradores.....	37
Figura 3.9 – Inserção dos dados da curva de potência dos aerogeradores.....	37
Figura 3.10 – Inserção da referenciação da torre meteorológica .....	38
Figura 3.11 – Inserção da tabela com o designado “mapa de recurso” .....	38
Figura 3.12 – Matriz de desempenho.....	39
Figura 3.13 – Formato dos dados recolhidos na torre meteorológica .....	41
Figura 3.14 - Esquema unifilar do PE, contendo os contadores de energia.....	42
Figura 4.1 – Arquitectura de montagem da aplicação .....	49
Figura 4.2 – Arquitectura de operação do sistema ADOPE .....	50
Figura 4.3 – Folha de armazenamento temporário dos dados .....	51
Figura 4.4 – Folha de agrupamento dos valores de velocidades de vento .....	52
Figura 4.5 – Folha de parametrização e opções .....	54
Figura 4.6 – Matrizes de referência.....	55
Figura 4.7 – Diagrama da operação das matrizes.....	56
Figura 4.8 – Matrizes de cálculo de energia.....	57
Figura 4.9 – Somatório das energias .....	58
Figura 4.10 – Janela de operação.....	60
Figura 4.11 – Execução dos cálculos.....	61
Figura 4.12 – Gráfico de comparação entre aerogeradores.....	62
Figura 4.13 – Impressão do relatório de produção.....	62
Figura 4.14 – Pré visualização do relatório de produção .....	63
Figura 4.15 – Impressão do relatório de desempenho relativo .....	64
Figura 4.16 – Pré visualização do relatório de desempenho relativo .....	64
Figura 4.17 – Impressão do relatório de comparação do factor de carga .....	65
Figura 4.18 – Pré visualização do relatório de desempenho relativo .....	66
Figura 4.19 – Diferenças relativas do desempenho expectável .....	67

## Lista de tabelas

Descrição	Página
Tabela 3.1 – Características dos aerogeradores.....	34
Tabela 3.2 – Curva de potência dos aerogeradores (tabela) .....	35
Tabela 3.3 – Matriz de desempenho (extracto parcial) .....	40
Tabela 3.4 – Perdas consideradas.....	44
Tabela 4.1 – Tabela de inserção da produção dos aerogeradores .....	46
Tabela 4.2 – Tabela com o nº de ocorrências para cada par velocidade/direcção .....	53
Tabela 5.1 – Relação custos/benefícios entre métodos.....	69
Tabela 6.1 – Tabela da margem de erro .....	71

## Abreviaturas e acrónimos

- DGEG** - Direcção Geral de Energia e Geologia
- CCDR** - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional
- ERSE** - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
- O&M** - Operação e Manutenção
- MT** - Média tensão
- AT** - Alta tensão
- PE** - Parque Eólico
- TM** - Torre Meteorológica
- TMP** - Torre Meteorológica Permanente
- WEC** - Wind Energy Converter
- SCADA** - “Supervisory, Control and Data Acquisition”
- WWFW** - “Whole Wind Farm Warranty”
- RP** - Recepção Provisória
- RD** - Recepção Definitiva
- WT** - Wind Turbine
- IGEOE** - Instituto Geográfico do Exercito
- ADOPE** - Aferição do Desempenho Operacional de Parques Eólicos
- IEC** - International Electrotechnical Commission
- ISO** - International Organization for Standardization
- PNALE CO<sub>2</sub>** - Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão de CO<sub>2</sub>
- APREN** - Associação Portuguesa de Energias Renováveis

## Glossário

**Energias Renováveis (ER)** – Fontes primárias de energia que, uma vez utilizadas, são susceptíveis de serem novamente repostas pela natureza, mantendo espontaneamente o equilíbrio ambiental. Consideram-se como energias renováveis a proveniente do sol, do vento, da utilização da biomassa (resíduos florestais e animais), das ondas e marés, da água da chuva (hídrica) e das elevadas temperaturas que existem no interior da terra (geotérmica).

**Energias Endógenas** – Energias existentes numa determinada zona ou país.

**Aerogerador** – Grupo electromecânico destinado a converter a energia eólica (energia contida no vento e de natureza cinética) em energia eléctrica, constituído por turbina eólica, gerador, “nacelle”, torre, fundação e restante equipamento auxiliar.

**Cubo** – Centro do rotor do aerogerador, ao qual se encontram fixas as respectivas pás.

**Parque Eólico** – Conjunto de equipamentos instalados num determinado local, destinados à produção de energia eléctrica a partir do vento, constituído (na totalidade ou em parte) por um ou mais aerogeradores, rede interna de energia, monoblocos de MT, subestação, transformador de interligação, órgãos de corte, protecção e medição, serviços auxiliares, sistemas de SCADA, torre meteorológica, edifício de apoio, acessos, etc.

**Torre meteorológica** – Mastro metálico ou de betão, equipado com sensores das condições atmosféricas e “datalogger”, destinados à recolha e armazenamento de dados climatéricos. As grandezas mais importantes são a velocidade e direcção do vento recolhidas à altura do centro do cubo dos aerogeradores. Além destas, também são normalmente recolhidas a

temperatura ambiente, a pressão atmosférica e a humidade relativa. Pode ser temporária ou permanente.

**Comissionamento** – Período subsequente à montagem dos equipamentos durante o qual se procede a ensaios, afinações e parametrizações para permitir a sua entrada em serviço.

**Serviço experimental** – Período subsequente ao comissionamento, durante o qual é testado o equipamento, de forma a ficar comprovada a sua operacionalidade e funcionamento de forma fiável e estável.

**Desenvolvimento Sustentável** – Utilização dos recursos naturais para satisfação das necessidades da geração actual, de forma a não colocar em causa as necessidades das gerações futuras, nem a sua própria sobrevivência.

**“Layout”** – Designação dada à implantação no terreno dos diversos equipamentos (distribuição geográfica). Usualmente o desenho é acompanhado das coordenadas geográficas dos diversos elementos, sendo os aerogeradores os mais importantes.

**Curva de Potência** – Característica fundamental de um aerogerador, representada pela relação entre a velocidade de vento que atinge as pás do rotor de um aerogerador e a potência eléctrica que é possível recolher aos seus terminais, a qual pode ser apresentada em forma de tabela ou gráfico.

**“Datalogger”** – Dispositivo electrónico parametrizável, que permite registar várias grandezas ao longo do tempo, de forma simultânea e periódica. O tipo de grandeza a registar depende do tipo de sensor acoplado e os valores armazenados já são médias calculadas recolhidas durante cada período de leitura, previamente definido na parametrização. Estes equipamentos têm uma capacidade de memória limitada, pelo que torna-se necessário efectuar a recolha dos dados periodicamente, podendo essa recolha ser efectuada no

local através de computador portátil ou por troca de cartão de memória. Poderá também ser utilizada uma ligação remota para transferir os dados, desde que o “datalogger” seja equipado com modem e cartão GSM.

**“Factor de Carga”** – Designa-se factor de carga de um aerogerador durante um determinado período, ao quociente entre a energia produzida durante esse período e a energia que esse mesmo aerogerador produziria se funcionasse permanentemente à potência nominal. É equivalente ao quociente entre o valor da potência média durante um determinado intervalo de tempo sobre o valor da sua potência nominal.

**“Datum 73”** – Sistema de coordenadas geográficas que utiliza como origem o ponto mais central da rede geodésica continental, situado no vértice da Melriça.

**“Site Calibration”** – Processo para estimar a velocidade do vento no local exacto onde se encontra o centro do rotor do aerogerador, utilizando os dados recolhidos num mastro meteorológico de referência.

**“Macro”** – Conjunto de comandos e instruções para programas de computador, que em função de determinados dados de entrada e obedecendo a determinadas regras, fornece um resultado de saída. É uma acção que pode ser reproduzido na mesma sequência em qualquer momento.

## 1 – Introdução

### 1.1 – Breve descrição da situação da área de negócio

A aferição do desempenho operacional de parques eólicos, torna-se hoje em dia uma necessidade cada vez mais premente, de forma a obter a máxima eficiência do equipamento instalado, garantir o retorno dos investimentos efectuados dentro dos prazos previamente definidos e proporcionar também as melhores taxas de rentabilidade para os promotores do negócio, em face da tendência para a redução das tarifas e das margens de comercialização.

Essa aferição, permite ainda detectar antecipadamente as situações de degradação dos diversos componentes dos aerogeradores, nomeadamente caixas de engrenagens, geradores e sistemas de controlo, os quais são órgãos de valor económico muito elevado e com prazos de entrega também bastante dilatados, duas situações que têm um peso considerável em termos de custos e disponibilidade.

A área de negócio, da geração de energia eléctrica utilizando como fonte primária a energia eólica, tem uma implantação recente em Portugal e está ainda numa face de forte expansão, pelo que todos os esforços de promotores e fornecedores estão orientados para a construção e instalação dos parques eólicos, deixando os assuntos de manutenção preventiva e correctiva para segundo plano. No entanto, prevê-se que quando a fase da construção abrandar, todas as atenções passarão a estar focadas nos aspectos de operação e manutenção, na tentativa de minimizar os seus custos, aumentar os intervalos de manutenção planeada e ao mesmo tempo reduzir os tempos de paragem. Ainda neste aspecto, será importante programar as paragens para efeitos de manutenção planeada, para períodos de velocidade de vento baixas, pelo que, no futuro as ferramentas e sistemas de previsão irão ganhar uma importância acrescida.

## 1.2 – Importância da avaliação da eficiência

Além da importância que representam os aspectos económicos relacionados com a rentabilização dos investimentos efectuados pelos promotores, também os aspectos ambientais assumem particular relevância. No sentido de diminuir a quantidade de aerogeradores instalados e desse modo diminuir também o impacte visual e ambiental dos parques eólicos, a potência nominal de cada máquina tem tido um incremento rápido e considerável, atingindo já hoje em dia, vários MW cada uma. Neste contexto, a importância relativa de cada aerogerador no conjunto do parque eólico, ganha uma importância acrescida devido ao facto da indisponibilidade ou ineficiência de cada um, representar cada vez mais energia não produzida.

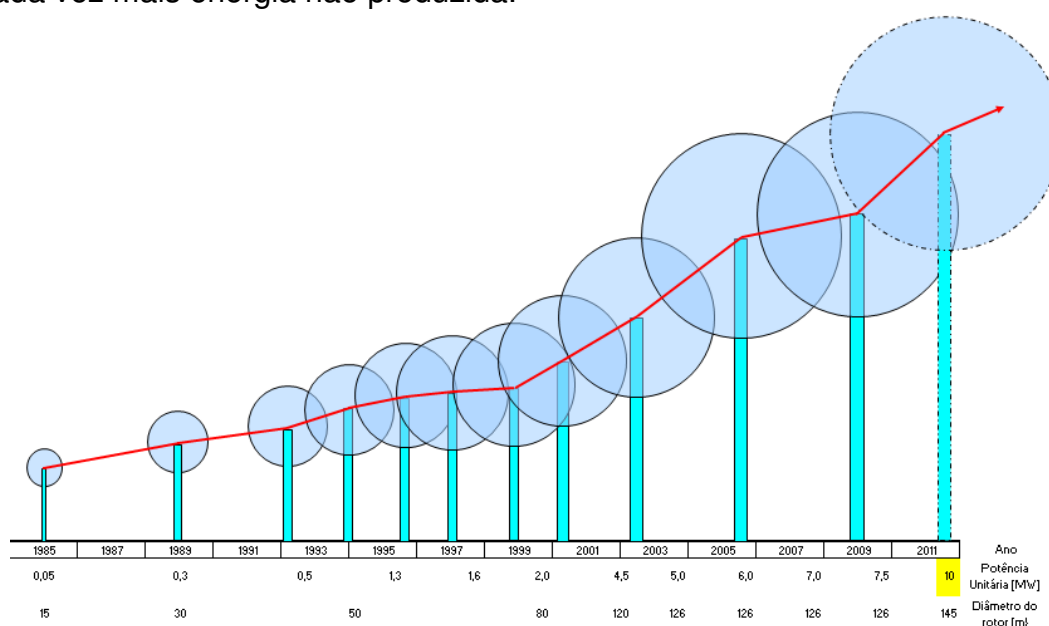


Figura 1.1 – Incremento da potência unitária dos aerogeradores ao longo do tempo

(Fonte: Wind Power Monthly)

Em face do exposto, todos os procedimentos e ferramentas associadas à avaliação do desempenho operacional dos parques eólicos, assumem uma importância relativa cada vez maior na análise de exploração que todas as empresas têm de fazer nas suas centrais de modo a obter a máxima eficiência. Este aspecto teve um grande peso na escolha do tema para o presente trabalho de dissertação de mestrado.

### 1.3 – Aspectos de índole ambiental

Como não poderia deixar de ser, os aspectos de índole ambiental assumem uma importância redobrada nas actividades de construção e exploração dos parques eólicos, motivada por vários aspectos, quer de natureza legal, quer natureza energética.

Em primeiro lugar, destaca-se o facto de o aproveitamento de uma energia renovável, como é o caso da eólica, permitir reduzir a emissão para a atmosfera de gases com efeito de estufa, nomeadamente CO<sub>2</sub>. A título comparativo, indica-se que a produção média anual, de energia eléctrica de um parque eólico, com 10 MW de potência instalada, evita a queima de cerca de seis mil toneladas de fuel e a emissão para a atmosfera de aproximadamente vinte mil toneladas de CO<sub>2</sub>, se para produzir essa mesma quantidade de energia, fosse utilizada uma central térmica clássica [APREN]. Atendendo à actual composição das fontes de energia primária utilizadas em Portugal para a produção de electricidade, verifica-se que por cada kWh produzido através da utilização de uma fonte renovável, evita-se a emissão de cerca de 480g de CO<sub>2</sub> para a atmosfera [PNALE].

Os sítios de melhor recurso eólico em Portugal situam-se geralmente acima dos mil metros de altitude. No entanto, um grande número destes locais são classificados como parques naturais, rede natura 2000, reserva ecológica nacional, reserva agrícola nacional, áreas protegidas, etc., inviabilizando qualquer tipo de construção no seu perímetro e condicionando fortemente as intervenções nas envolventes.

Também em termos de fauna e flora, existe nessas zonas uma grande riqueza e variedade, as quais urge preservar, o que, obviamente, condiciona frequentemente a instalação dos parques eólicos, chegando mesmo em alguns casos, a motivar a sua inviabilização. A fase das obras de construção é ainda alvo de acompanhamento constante por parte de Arqueólogos, de modo a serem preservados todo e qualquer elemento tido como valioso, eventualmente existente no local.

Por último, salienta-se a constante preocupação e escrupuloso seguimento de todas as normas e obrigações legais relativas ao ambiente durante a exploração dos parques. Como os aerogeradores são equipamentos mecânicos, torna-se inevitável a necessidade de utilização de variados tipos de lubrificantes para garantir o seu bom funcionamento técnico. Em consequência, torna-se necessário grande rigor no manuseamento desses produtos, evitando derrames e garantindo que após a sua utilização, os mesmos terão o devido encaminhamento regulamentar. Terão ainda de ser cumpridos todos os normativos legais em termos de registo, armazenamento, encaminhamento e informações a prestar às autoridades competentes.

## **2 – Enquadramento do problema**

### **2.1 – Modelos e formas de aferição utilizadas**

É usual serem exigidas aos Fornecedores de aerogeradores e/ou parques eólicos, garantias do bom desempenho dos equipamentos, associadas a eventuais penalidades, quer para o Período de Garantia, quer para o restante período de vida útil, de modo a minimizar o risco associado ao investimento. Actualmente, os métodos mais utilizados na aferição das garantias associadas aos fornecimentos de aerogeradores e parques eólicos consistem na medição da Curva de Potência dos aerogeradores, medição global da energia produzida pelo parque (WWFW) e garantia de Disponibilidade dos equipamentos. Estas poderão existir isoladamente ou em combinação, dependendo do acordado comercialmente entre o Adjudicatário e o Fornecedor.

Nas figuras 2.1 e 2.2 são apresentados de forma esquemática dois exemplos de processos de medição, Curva de Potência e Garantia Global do Parque, respectivamente.

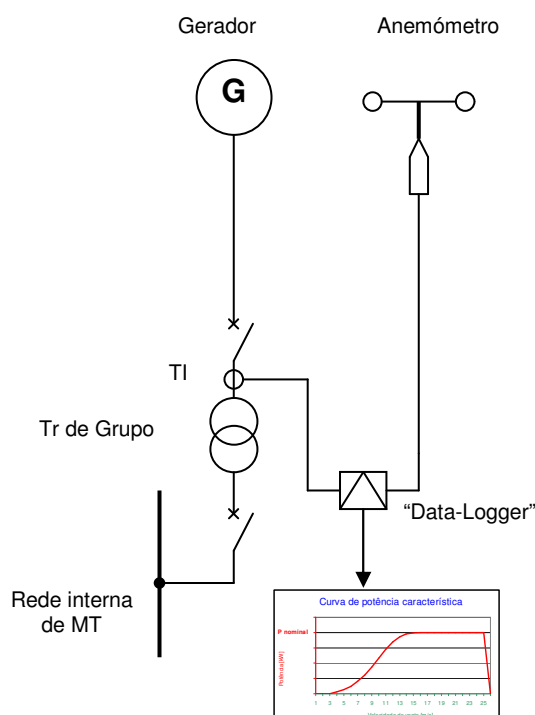


Figura 2.1 – Medição de Curva de Potência (montagem do equipamento)

A medição da curva de potência para efeitos de cálculo da produção de energia expectável e posterior comparação com a energia efectivamente produzida, permitindo aferir o grau de desempenho das máquinas, deve ser conduzida por um consultor independente e certificado para o efeito. Devem também ser seguidos os procedimentos e condições expressos na norma IEC 61400-12, da qual se reproduzirão extractos mais adiante, no sentido de explicitar quais os aspectos que se pretendem agilizar com o presente trabalho.

Para a execução deste procedimento de medição, torna-se necessário efectuar previamente o designado “site calibration”, o qual implica a montagem de um mastro de medida no local exacto onde futuramente irá ser implantado o aerogerador a testar e a recolha de um determinado número de amostras de dados de vento. Estes dados servem para efectuar a correlação entre o local de recolha dos dados de vento durante a medição e o local onde efectivamente funciona o aerogerador. A não execução desta etapa inviabiliza no futuro a medição da curva de potência de acordo com as prescrições regulamentares. Esta recolha de dados requer habitualmente um período superior a três meses.

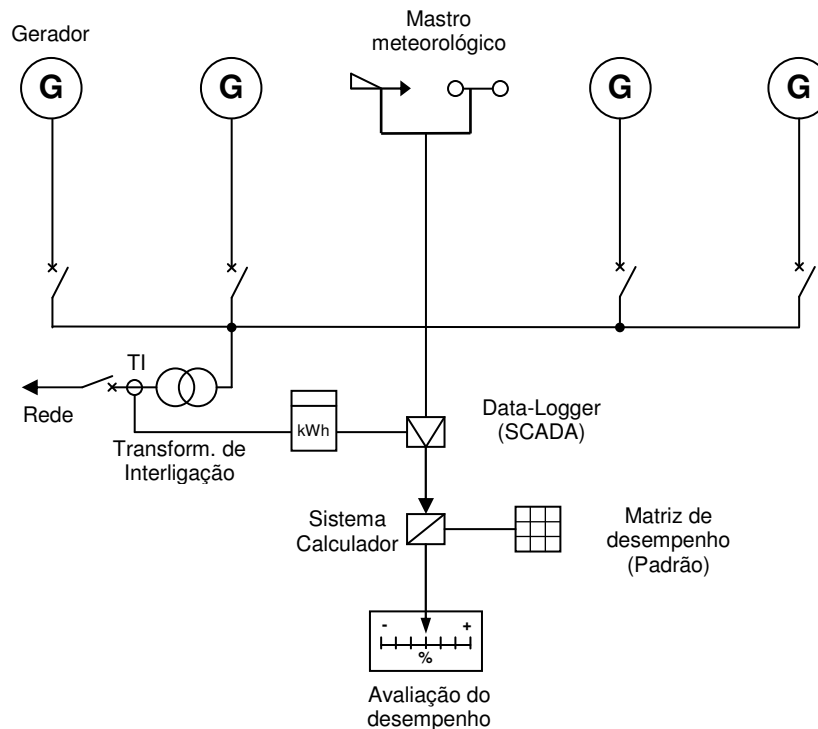


Figura 2.2 – Medição da Garantia Global do Parque (montagem do equip.)

No caso da medição global da energia, o respectivo processo de avaliação do desempenho de parque eólico, também deve ser conduzido por um consultor independente e certificado no âmbito da análise de recursos energéticos de origem eólica. Para este tipo de medição não existe uma norma específica, mas têm sido seguidos os preceitos estabelecidos na norma IEC 61400 - 12, sempre que o ensaio a realizar se enquadre em âmbitos já definidos na mesma.

Enquanto o processo da medição da curva de potência, é aplicado à verificação do desempenho de um aerogerador isoladamente, podendo ou não, os seus resultados serem estendidos às restantes máquinas constituintes de um parque eólico, conforme esteja definido no contrato de aquisição estabelecido com o fornecedor do equipamento, o processo da medição global da energia, além da verificação do desempenho das máquinas, avalia também a qualidade do serviço de operação e manutenção prestado, avalia a rapidez da resposta do prestador de serviços às situações de emergência e avalia

ainda a disponibilidade de peças de reserva junto ao sítio, a qual permite reduzir os tempos de indisponibilidade e reparação em caso de avaria, diminuindo consequentemente a energia não produzida.

O grau de complexidade e/ou trabalho na implementação de cada um dos dois processos anteriormente referidos é variável, não sendo possível afirmar qual deles é o mais conveniente para o Adjudicatário, nem qual o mais exacto em termos de resultados, devido às condicionantes inerentes à recolha dos próprios dados, de modo a garantir a sua fiabilidade e também à relativa flexibilidade das normas existentes, as quais permitem efectuar algum tipo de rearranjo dos dados (através de rejeições de períodos de medição e de correlações de valores entre diferentes pontos considerados), o qual pode afectar de forma considerável os resultados finais dos ensaios.

Os métodos atrás enunciados, não são adequados à monitorização em permanência do desempenho operacional dos parques eólicos, uma vez que envolvem equipamentos de valor considerável, os quais se encontram sujeitos a condições de funcionamento bastante adversas e envolvem bastantes recursos humanos em permanência, contribuindo ainda mais para onerar o processo. Como é um serviço prestado por terceiros, leva a que na maioria dos casos os resultados só sejam conhecidos algum tempo após ter decorrido o período de medição, aquando da entrega dos relatórios formais, não dando oportunidade ao gestor dos activos de tomar medidas de correcção de eventuais anomalias em tempo oportuno (logo que seja detectado o defeito), permitindo assim reduzir ao mínimo as perdas de produção.

## **2.2 – Nova metodologia de aferição**

O âmbito deste trabalho consistiu, numa primeira fase, na análise dos métodos e normas actualmente existentes para a verificação do desempenho

operacional e de produção de aerogeradores e numa segunda fase, na idealização, concepção e implementação de uma ferramenta informática e de um procedimento que permita de uma forma expedita, simples, prática e contínua, aferir a eventual degradação da eficiência de aerogeradores inseridos num parque eólico. Esta ferramenta adoptou a designação de “Aferição do Desempenho Operacional de Parques Eólicos”, à qual corresponde o acrónimo de ADOPE. Este processo não pretende servir de padrão na verificação de características garantidas, mas sim servir de ferramenta auxiliar do gestor dos activos, de modo a que este possa avaliar as condições de funcionamento dos equipamentos, nomeadamente em relação aos aerogeradores, particularmente na fase subsequente ao fim do Período de Garantia.

Em termos genéricos, consiste na utilização dos dados recolhidos pelo sistema de SCADA, quer os relativos aos aerogeradores, quer os relativos à(s) torre(s) meteorológica(s). Torna-se necessário ter também em conta a orografia do terreno onde está implantado o parque eólico, construir uma matriz de desempenho, a qual servirá para fazer a comparação entre a produção efectivamente verificada e a produção teórica esperada.

Resumidamente, o modelo baseia-se na distribuição das características do vento segundo modelação numérica do escoamento, na área do parque para relacionar a velocidade do vento no local da torre meteorológica com cada um dos locais dos aerogeradores. As intensidades do vento são corrigidas, ou normalizadas, em função da densidade do ar em cada instante, de acordo com a norma IEC 61400 – 12 ou 12.1. As características das turbinas são descritas com base na curva de potência garantida pelo fornecedor e utilizada já previamente na fase do concurso para cálculo da produção estimada.

Outro aspecto positivo desta ferramenta consiste na possibilidade da sua interligação a sistemas de supervisão e gestão de activos de produção, tendo em vista a elaboração de relatórios, estatísticas, cálculo de disponibilidade, factores de carga, etc.

## 2.3 – Grau de precisão do método

Este método destina-se a ser usado internamente numa empresa, como ferramenta para avaliação do funcionamento e desempenho dos seus activos de produção. Não pretende ser uma alternativa ou competir com outros métodos, principalmente o de medição da Curva de Potência, o qual se encontra abrangido pela Norma IEC 61400-12.

Quando existe necessidade de efectuar medições, as quais determinarão, ou não, a aplicação de penalidades económicas associadas às garantias prestadas no âmbito dos fornecimentos dos aerogeradores, o processo deverá ser conduzido por um Consultor Independente e terão de ser adoptados métodos regulamentados por Normas estabelecidas de modo a que os resultados sejam aceites por todas as partes intervenientes e produzam efeitos.

## 2.4 – Norma IEC 61400-12

A norma IEC 61400 define todos os aspectos relacionados com aerogeradores, desde a concepção, aspectos construtivos, aspectos de segurança, aspectos de ruído, cargas e esforços, certificação, performance, etc. O caso particular da parte 12, destina-se a definir os procedimentos a observar na verificação da curva de potência das máquinas.

Neste ponto faz-se uma análise de algumas das prescrições da norma IEC 61400-12, em particular daquelas que se consideram inviabilizadoras de uma aplicação sistemática e continuada da medição da curva de potência por parte do gestor dos activos de produção, durante o período de vida útil de um parque eólico. Essa inviabilidade não resulta de qualquer falha do processo e método definidos, mas sim da quantidade de meios envolvidos, do tempo necessário para se obterem resultados válidos e também do dispêndio monetário necessário ao processo.

Em relação a cada um dos capítulos analisados, será feita uma referência aos aspectos práticos que se pretendeu agilizar e tornar menos rígidos com o

desenvolvimento do presente trabalho, de modo a tornar a avaliação do desempenho operacional de parques eólicos mais acessível ao responsável pela gestão dos activos de produção, sem contudo colocar em causa validade dos ensaio e permitindo, em casos de fortes indícios de defeitos ou avarias, recorrer a outros processos de análise mais pormenorizados.

### **2.4.1 – Capítulo introdutório**

Neste capítulo é definido o objectivo e âmbito de aplicação da norma. Os aspectos relacionados com a verificação dos requisitos de desempenho, são os directamente relacionados com o presente trabalho.

Em anexo é apresentada uma transcrição deste capítulo de forma a expor todo o seu conteúdo.

Em relação a este capítulo, a filosofia da ferramenta desenvolvida assenta nos mesmos princípios, com excepção dos destinatários, que no presente caso se destina a utilização interna pelo operador da central eólica e/ou pelo gestor dos activos de produção.

### **2.4.2 – Aspectos gerais**

No capítulo 1 da norma são definidos os princípios e condições gerais de aplicação da mesma, particularmente em relação aos equipamentos necessários ao ensaio.

Em anexo é apresentada uma transcrição deste capítulo de forma a expor todo o seu conteúdo.

Em relação a este capítulo, a filosofia da ferramenta desenvolvida não requer as mesmas características para o equipamento de medição, uma vez que o

objectivo consiste na utilização e rentabilização das torres meteorológicas permanentes já instaladas de raiz nos parques eólicos. Utiliza também os dados disponibilizados pelo sistema SCADA e armazenados automaticamente na base de dados.

### **2.4.3 – Condições de ensaio**

No capítulo 2 da norma são definidos as condições específicas de realização do ensaio. Como serve também de validação de características das máquinas para efeitos de certificações, impõe uma série de condições que poderão ser impossíveis de cumprir nos parques eólicos já construídos e em funcionamento. O método agora proposto destina-se a ser aplicado nas instalações, tal como se encontram.

Em anexo é apresentada uma transcrição deste capítulo de forma a expor todo o seu conteúdo.

Em relação a este capítulo, o sistema ADOPE, não pode, nem é essa a intenção, adoptar o mesmo grau de acuidade que se encontra expresso na norma, nomeadamente no caso dos aspectos que se expõem de seguida. Não se torna necessário discutir o local do ensaio, nem a disposição da(a) torre(s) meteorológica(s), uma vez que o objectivo é precisamente utilizar e tirar partido das torres permanentes já instaladas no parque eólico, as quais já foram previamente objecto de análise em relação à sua disposição no terreno, de modo a não serem afectadas pelo funcionamento dos aerogeradores. Esta circunstância permite também utilizar todos os sectores de medição e tornam desnecessário a utilização de factores de correcção.

#### **2.4.4 – Equipamento de teste**

No capítulo 3 da norma são definidos as condições específicas requeridas para o equipamento de teste utilizado na realização do ensaio. Neste aspecto, pretende-se rentabilizar o equipamento já instalado no parque eólico, em particular as torres meteorológicas, sem recorrer a montagens adicionais, as quais são sempre dispendiosas.

Em anexo é apresentada uma transcrição deste capítulo de forma a expor todo o seu conteúdo.

A grande diferença do sistema ADOPE consiste em não implicar, para cada verificação, a instalação de equipamento de elevada precisão, o qual tem um custo considerável. Conforme já acima referido, ao utilizar os dados de vento recolhidos pelas torres meteorológicas permanentes e os valores dos contadores de energia dos próprios aerogeradores, estamos a retirar partido do equipamento já instalado, sem colocar em causa a validade das medições, uma vez que os sensores disponíveis já foram seleccionados de modo a proporcionarem um grau de confiança suficiente para este tipo de análises, embora com uma classe de precisão inferior à da norma alvo da presente análise.

#### **2.4.5 – Procedimento de medição**

No capítulo 4 da norma são definidos as condições específicas requeridas para o procedimento de medição, nomeadamente em relação à frequência de amostragem, selecção e registo dos dados, etc.

Em anexo é apresentada uma transcrição deste capítulo de forma a expor todo o seu conteúdo.

Também no caso deste capítulo, não se propõe o seguimento rigoroso do processo definido, mas sim a utilização dos dados na forma que já estiverem a ser recolhidos, tendo em conta que a instalação da torre meteorológica permanente e dos respectivos equipamentos e sensores associados, já seguiu, tanto quanto possível, as recomendações da norma. Em particular a base de dados do próprio sistema de SCADA, a qual já faz um armazenamento de valores com uma periodicidade de 10 minutos.

#### **2.4.6 – Tipo e conteúdo do relatório**

No capítulo 6 da norma são definidos as informações e a forma da sua apresentação, inseridas no relatório final da medição. O relatório disponibilizado pelo sistema ADOPE é sucinto e destinado somente ao uso interno pelo gestor dos próprios activos de produção, não assumindo um carácter formal para disponibilização pública ou comercial.

Em anexo é apresentada uma transcrição deste capítulo de forma a expor todo o seu conteúdo.

Salienta-se que o gráfico mostrado na figura 2 da transcrição efectuada em anexo, constitui o tipo de representação da curva de potência medida que é preconizado pela norma para ser incluído no respectivo relatório, no qual, para cada valor de velocidade de vento, são representados os valores médios, máximos, mínimos e o desvio padrão. Para o âmbito do presente trabalho, não se considerou uma mais valia seguir essa forma.

Também no caso da curva de potência, não foi considerado importante que a aplicação desenvolvida contemplasse a apresentação de resultados desta forma com indicação dos erros para cada valor, uma vez que o resultado final pretendido é uma comparação entre a energia disponível no recurso eólico e a energia efectivamente produzida pelos aerogeradores. O mesmo se passa com

as duas tabelas mostradas como exemplos da forma de apresentação de valores no relatório, as quais, também não serão incluídas na presente aplicação devido à sua reduzida utilidade prática.

De uma forma global e tal como já anteriormente referido, não se torna necessário que o sistema ADOPE siga a forma de relatório descrita, uma vez que o resultado destina-se ao uso interno na própria empresa, sendo a análise efectuada pelos operadores de supervisão do parque e com uma periodicidade mensal.

#### **2.4.7 – Calibração do local do ensaio**

O anexo B da norma IEC 61400 define a forma como deve ser de executado o designado “site calibration”. A referência a esta parte da norma serve para expor o tipo de trabalho que se trata, quando o mesmo é referido no presente documento. Em anexo a este relatório apresenta-se a sua descrição.

Esta parte do designado “site calibration” não se aplica ao funcionamento da presente aplicação, uma vez que esta medição só pode ser efectuada antes da instalação dos aerogeradores, sendo o objectivo da aplicação ADOPE utilizar os equipamentos e meios de supervisão e recolha de dados já existentes no parque eólico e disponíveis durante a sua exploração. Tanto quanto possível, essas prescrições e recomendações já foram seguidas na fase de instalação do parque e tidas em conta na escolha do sítio para a instalação da torre meteorológica permanente que serve para a recolha dos dados de vento durante a fase de exploração do parque.

### **3 – Construção da ferramenta ADOPE**

A grande diferença do sistema ADOPE consiste na comparação da produção expectável em função do recurso eólico disponível num determinado período com a energia efectivamente injectada na rede, em vez de medir a potência numa só máquina. Desta forma, faz-se a verificação do desempenho de todo o parque, o qual, além de reflectir o comportamento das máquinas, avalia também a qualidade dos serviços de operação e manutenção prestados pelo respectivo fornecedor, no âmbito da rapidez de resposta a situações de emergência, do planeamento das actividades de manutenção periódica e da disponibilização de peças de reserva junto do local da instalação.

Conforme já acima referido, a utilização dos dados de vento recolhidos pelas torres meteorológicas permanentes e dos valores dos contadores de energia dos próprios aerogeradores, permite-nos retirar partido do equipamento já instalado, sem colocar em causa a validade das medições, uma vez que os sensores disponíveis já foram seleccionados de modo a proporcionarem um grau de confiança suficiente para este tipo de análises, embora com uma classe de precisão inferior à da norma alvo da presente análise.

#### **3.1 – Software utilizado para obtenção da matriz padrão**

Para a construção da presente aplicação informática, foi necessário recorrer previamente à utilização de um software de cálculo de energia eléctrica produzida com base em recurso eólico, designado como “WAsP – the Wind Atlas Analysis and Application Program”. Este programa é uma aplicação computacional que permite para efectuar estimativas de produção em aerogeradores e parques eólicos em função do recurso eólico disponível no local. As estimativas são obtidas a partir dos dados medidos em estações meteorológicas situadas na mesma zona ou região. O programa inclui um modelo de escoamento para terreno complexo, um modelo para diferentes rugosidades e um modelo para prevenção de obstáculos. Além da versão base,

é ainda utilizado um módulo adicional designado como “Map Editor”, o qual se destina a caracterizar o tipo de terreno onde se instalam os aerogeradores em termos de rugosidade, coordenadas, altitude, declive, etc. O WAsP é desenvolvido e distribuído pela Divisão de Energia Eólica da Risø DTU, Dinamarca. É um programa amplamente difundido mundialmente e é objecto de utilização por parte de um grande número de especialistas em recursos eólicos. [WAsP]

É um software disponibilizado sem restrições pela “Risø DTU – National Laboratory for Sustainable Energy”, em cujo endereço electrónico ([www.risoe.dtu.dk](http://www.risoe.dtu.dk)), pode ser obtido para instalação.



Figura 3.1 – Identificação da versão do “WAsP” utilizado

## 3.2 – Obtenção das diversas matrizes de desempenho

Para se obterem as diversas matrizes de desempenho associadas a cada um dos aerogeradores, necessárias para a comparação com os valores de energia efectivamente produzida e que funcionarão como um padrão, foi necessário proceder e seguir os passos descritos nos pontos seguintes.

### 3.2.1 – “Layout” da instalação em formato digital

O caso específico aplicado no âmbito do presente trabalho, compreende um parque eólico situado na zona Sul de Portugal continental, no município de Monchique, constituído por cinco aerogeradores de 2 MW de potência unitária

cada um e uma Torre Meteorológica Permanente (TMP) com anemómetro, cata-vento, sensor de pressão atmosférica e sensor de temperatura colocados à altura do centro do rotor dos aerogeradores. Fazem ainda parte da instalação, um edifício de comando e controlo, um Posto de Corte a 15 kV, uma rede interna de cabos de MT subterrânea, respectivos acessos, etc. A ligação à rede eléctrica é efectuada à subestação de Monchique através de duas linhas aéreas a 15 kV [PC-PEM].

O local de instalação do parque situa-se numa zona de montanha, com uma orografia de complexidade média e uma linha de cumeada com uma orientação Este-Oeste. O recurso eólico disponível nesta zona é bastante elevado e apresenta uma predominância de Norte, o que se revela bastante favorável para o seu aproveitamento, tendo em conta a orientação da linha de cumeada. A implantação dos aerogeradores desenvolve-se praticamente em fila ao longo da cumeada acima referida, sendo a variação de cota entre os 620 e os 720 m. Na figura 3.2 apresenta-se o “layout” da instalação sobre cartografia militar, processo utilizado correntemente na produção deste tipo de elementos necessários, quer para estudos, quer para processos de licenciamento junto das autoridades.

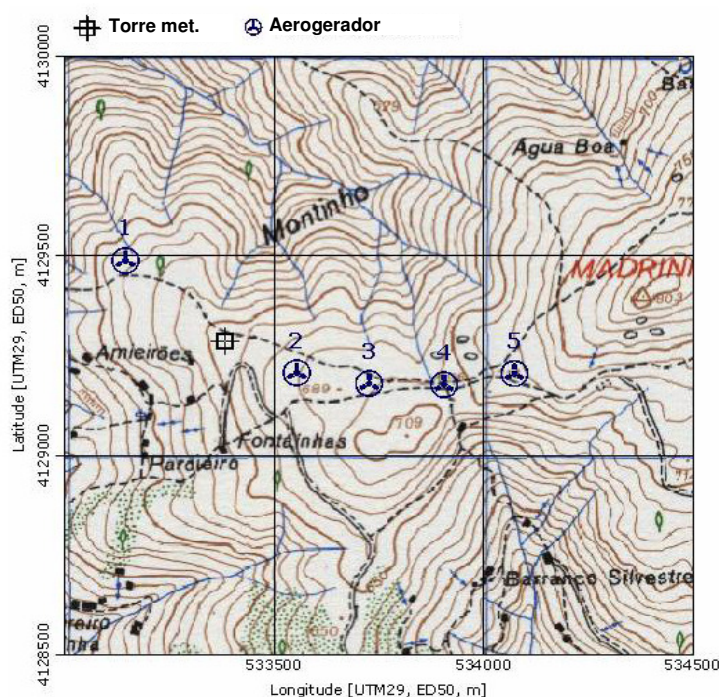


Figura 3.2 – “Layout” do parque eólico com a respectiva TMP

(Fonte: Processo concurso PE Madrinha)

É importante que o “layout” seja disponibilizado obedecendo a uma determinada escala (usualmente 1:25 000) e que seja acompanhado das coordenadas geográficas e respectivas cotas de implantação. Na figura 3.3 apresenta-se a tabela inserida no programa com as respectivas coordenadas e cotas dos aerogeradores e da torre meteorológica.

Site ID	Site x [m]	Site y [m]	El [m]	Rx	DR	Ht	U	Grs	Net	Wk
TMP (ref. site)	533388,0	4129288,0	657,0	21,8	1,4	65,0	9,26	-	-	-
AG5	534074,0	4129205,0	717,0	20,2	-0,2	65,0	8,60	7,416	7,287	1,73
AG1	533145,0	4129488,0	619,0	24,3	3,9	65,0	8,96	7,701	7,661	0,51
AG2	533554,0	4129207,0	682,0	20,8	0,4	65,0	9,13	7,974	7,810	2,06
AG3	533727,0	4129180,0	692,0	20,0	-0,4	65,0	8,77	7,594	7,318	3,65
AG4	533906,0	4129177,0	697,0	19,1	-1,3	65,0	8,24	6,884	6,527	5,19

Figura 3.3 – Coordenadas e cotas dos elementos do parque eólico

### 3.2.2 – Mapas digitalizados

Para a construção do “layout” mencionado no ponto anterior, é necessário obter a topografia do terreno com as respectivas curvas de nível. Para este efeito utilizam-se mapas digitalizados, os quais podem ser obtidos no Instituto Geográfico do Exército (IGEOE), ou construídos a partir da digitalização das curvas de nível existentes em mapas já impressos. Os mesmos terão de obedecer a uma escala, serem orientados de acordo com os pontos cardeais e ajustados com as coordenadas geográficas. Um dos sistemas vulgarmente utilizado em Portugal é o designado “Datum 73” ou UTM29, ED50. A disposição dos aerogeradores no terreno terá de estar de acordo com o efectivamente instalado no parque e serem rigorosamente respeitadas as respectivas coordenadas geográficas.

Na figura 3.4 apresenta-se o mapa utilizado no presente caso.

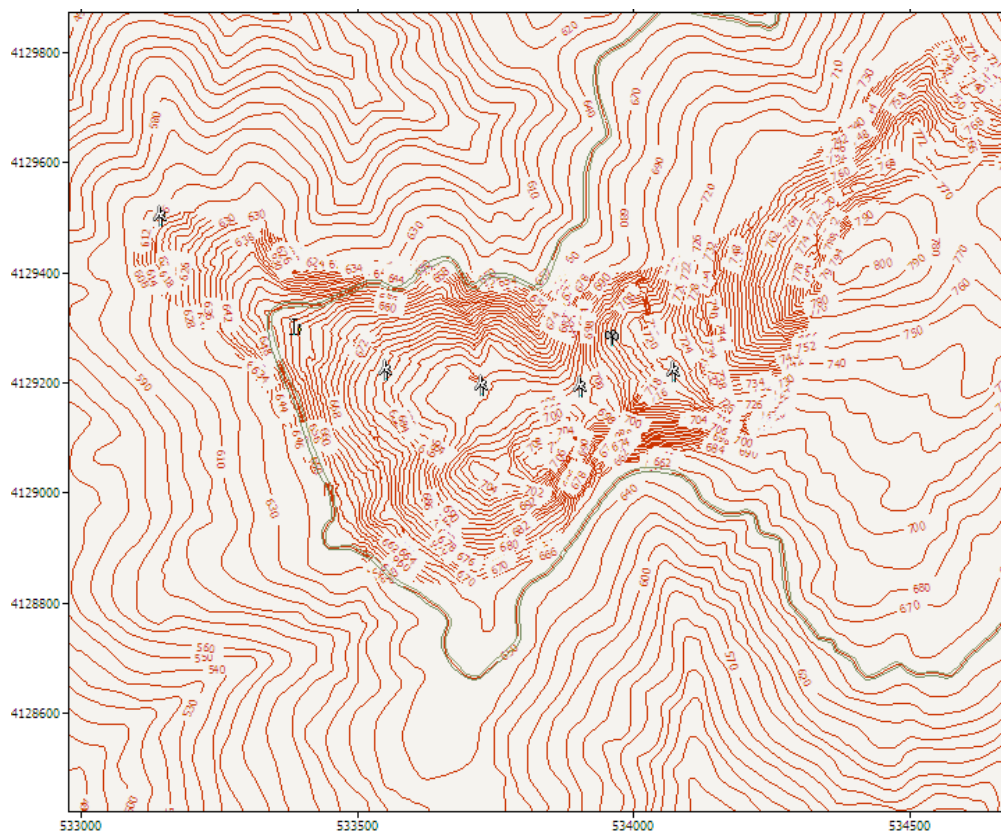


Figura 3.4 – Mapa digitalizado com representação da orografia e respectivas cotas

### 3.2.3 – Dados dos aerogeradores

Para que se possa calcular a produção relativa a cada máquina é necessário conhecer e introduzir no programa as respectivas características, nomeadamente a potência nominal, o diâmetro do rotor, a altura do solo ao centro do cubo, a curva de potência, etc. Na tabela 3.1 apresenta-se um quadro com as características dos aerogeradores instalados. Estes são constituídos por rotores de três pás, não utilizam caixa de engrenagens destinada ao incremento da velocidade de rotação e toda a potência produzida pelo gerador circula através de rectificador e conversor de frequência. Possuem ainda um sistema de “pitch” destinado a controlar o ângulo de incidência das pás.

Tabela 3.1 – Características dos aerogeradores  
(Fonte: Enercon)

Característica	Valor / Descrição
Marca	Enercon
Modelo	E70-E4
Potência nominal	2.000 kW
Diâmetro do rotor	71 m
Área de varrimento	3.951 m <sup>2</sup>
Altura ao centro rotor	65 m
Velocidade rotação	10 a 20 rpm
Acoplamento	Directo
Gama de funcionamento	3 a 25 m/s
Tensão de saída	400 VCA
Gerador	Síncrono, hexafásico

Na figura 3.5 e na tabela 3.2 apresenta-se a curva de potência dos aerogeradores, quer em forma de gráfico, quer em forma de tabela. Esta curva define a relação entre a velocidade de vento que atinge as pás do rotor da turbina e a potência eléctrica disponível aos terminais do aerogerador, do lado da baixa tensão. É uma curva definida sempre em função de uma determinada densidade do ar, a qual depende da altitude do sítio considerado.

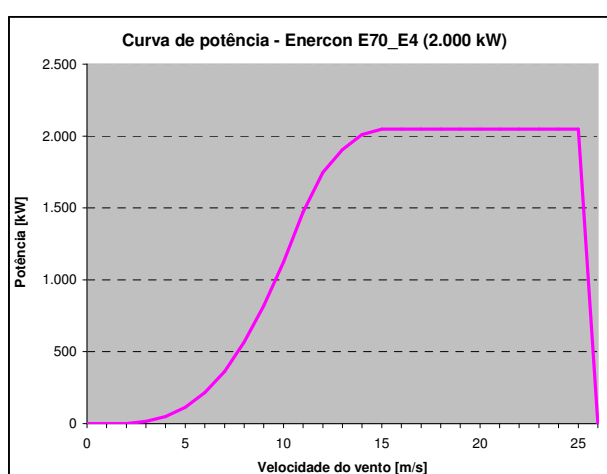


Figura 3.5 – Curva de potência dos aerogeradores (gráfico)  
(Fonte: Enercon)

A apresentação da curva de potência em forma de tabela destina-se a fornecer comodidade de consulta da correspondência entre os valores de velocidade de vento e os correspondentes valores de potência eléctrica medidos aos terminais do aerogerador, antes do transformador de grupo.

Tabela 3.2 – Curva de potência dos aerogeradores (tabela)  
(Fonte: Enercon)

Vel. a 65 m [m/s]	Potência [kW]
0	0,00
1	0,00
2	1,80
3	15,10
4	49,60
5	113,90
6	216,90
7	363,80
8	569,60
9	819,60
10	1124,70
11	1472,70
12	1749,80
13	1907,70
14	2012,20
15	2050,00
16	2050,00
17	2050,00
18	2050,00
19	2050,00
20	2050,00
21	2050,00
22	2050,00
23	2050,00
24	2050,00
25	2050,00
26	0,00

A curva de potência apresentada tem em conta o local concreto de instalação dos aerogeradores, tendo sido calculada para uma massa volúmica de ar de  $1,13 \text{ kg/m}^3$ , correspondente às características do sítio em análise. Esta adequação deve ser sempre tida em conta e rigorosa, pois reflecte a influência da altitude do local.

### 3.3 – “Montagem” do programa para obtenção das matrizes de desempenho

O início do processo de construção do sistema de obtenção das matrizes de produção no “WAsP”, começa pela criação de um novo projecto, conforme se mostra seguidamente.

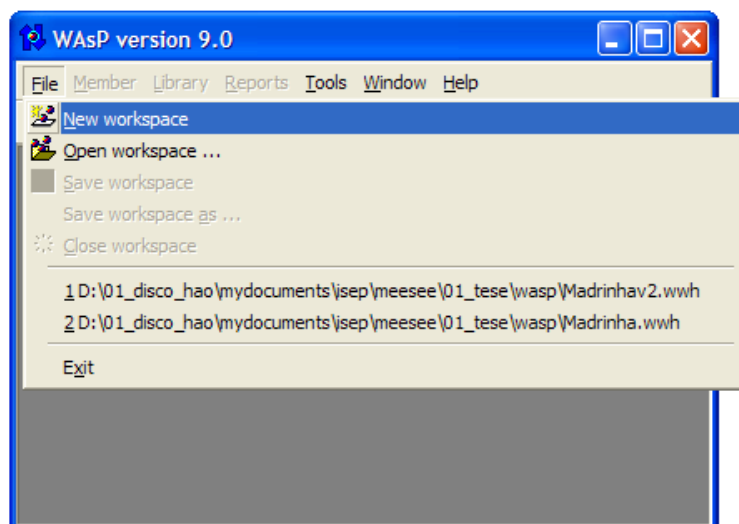


Figura 3.6 – Criação de um novo projecto no Wasp

O passo seguinte compreende a inserção do mapa digitalizado com a orografia do sítio em causa, conforme já referido no ponto 3.2.2. O mapa contém as curvas de nível e a respectiva altimetria, procedendo-se conforme mostrado na figura 3.7.

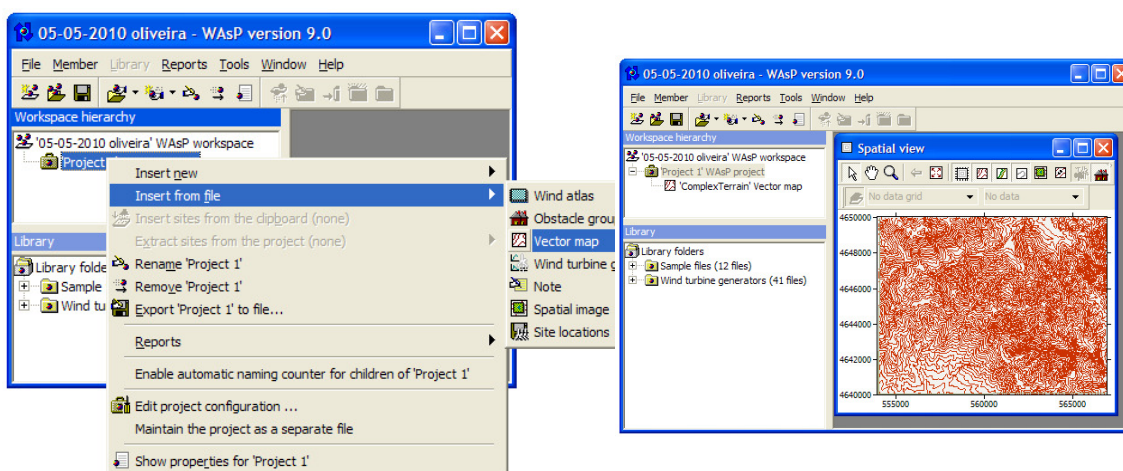


Figura 3.7 – Inserção no “WAsP” do mapa do sítio do parque

Em seguida temos de introduzir os dados relativos a cada um dos aerogeradores em termos de localização, conforme se exemplifica na figura 3.8. Terão de ser indicadas as respectivas coordenadas e a altura acima do solo a que o cubo se encontra.

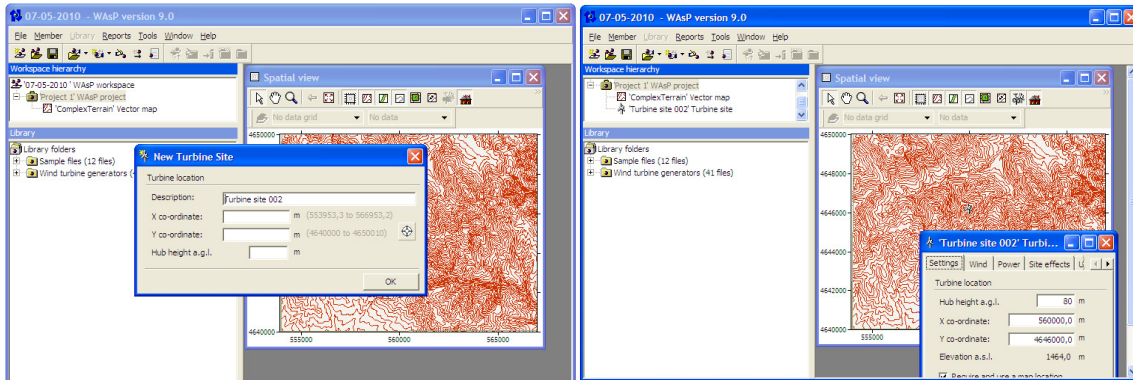


Figura 3.8 – Inserção dos valores de referência dos aerogeradores

Após a inserção dos valores referidos anteriormente, é necessário atribuir a correspondente curva de potência a cada um dos aerogeradores. Poderá eventualmente ser construída ou em alternativa, utilizada uma fornecida pelo fabricante do aerogerador. É esta última opção a mais usual e foi também a utilizada no presente caso. O processo desenrola-se conforme exemplo seguinte.

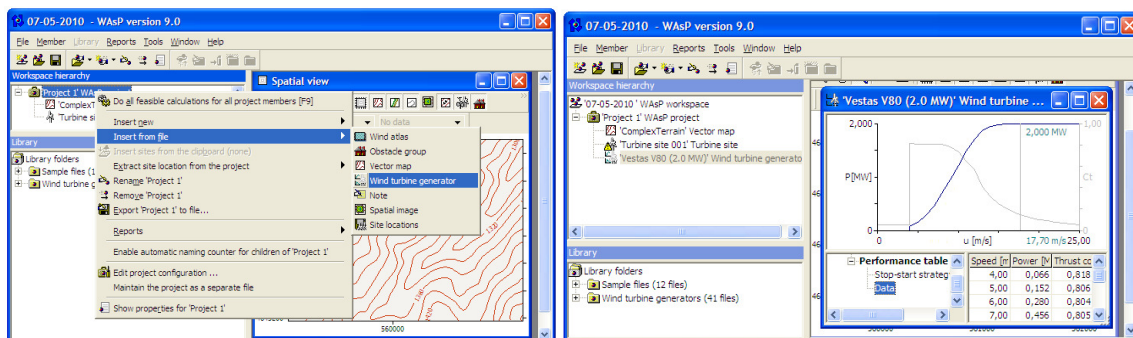


Figura 3.9 – Inserção dos dados da curva de potência dos aerogeradores

Aferição de Desempenho Operacional de Parques Eólicos

Como o parque tem uma torre meteorológica permanente instalada no seu seio, a qual serve para a recolha e registo dos dados de ventos, temos também de a incluir no programa através da indicação das suas coordenadas e da cota dos sensores. Abaixo, exemplifica-se o modo de proceder.

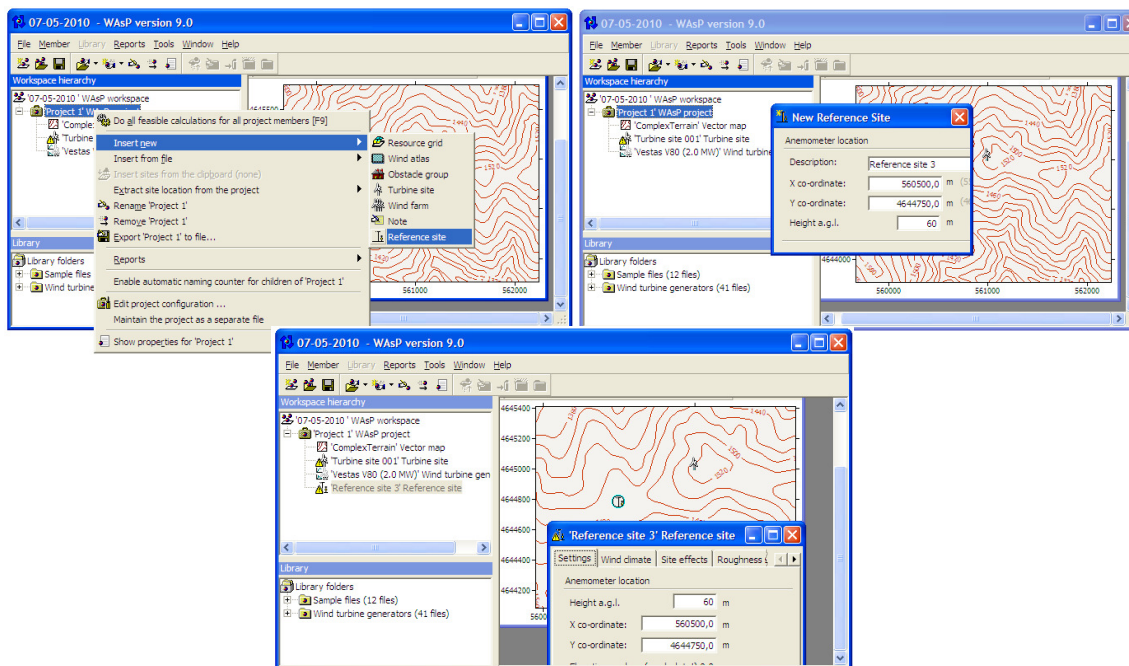


Figura 3.10 – Inserção da referência da torre meteorológica

Finalmente, é inserido o designado “mapa de recurso”, o qual representa as características do local em termos de velocidade de vento, direcção predominante, frequência, turbulência, rugosidade do terreno, etc., fornecendo também a potência mecânica disponível por metro quadrado. A informação para a construção deste mapa é obtida através dos dados recolhidos previamente no sítio. O processo segue o modo exemplificado na figura 3.11.

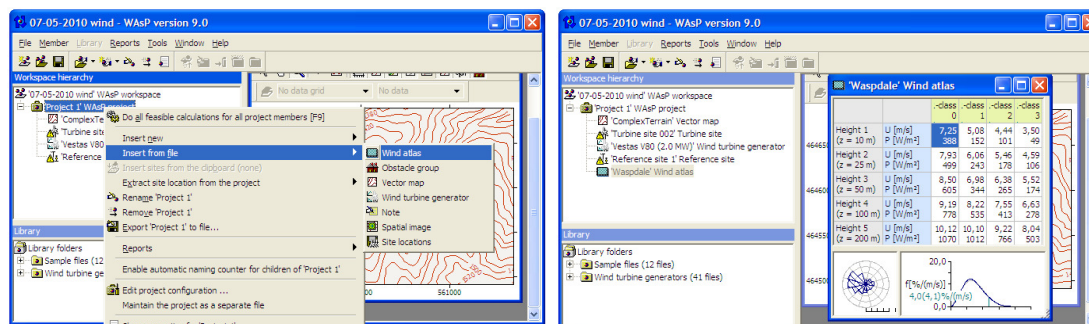


Figura 3.11 – Inserção da tabela com o designado “mapa de recurso”

### 3.4 – Matriz de desempenho

Após a montagem dos vários elementos, descrita no ponto anterior, torna-se possível obter a designada matriz de desempenho, a qual apresenta a forma mostrada na figura 3.12 e pode facilmente ser exportada para programas correntes de computador que utilizam “folhas de cálculo”, sendo o “Excel” um exemplo.

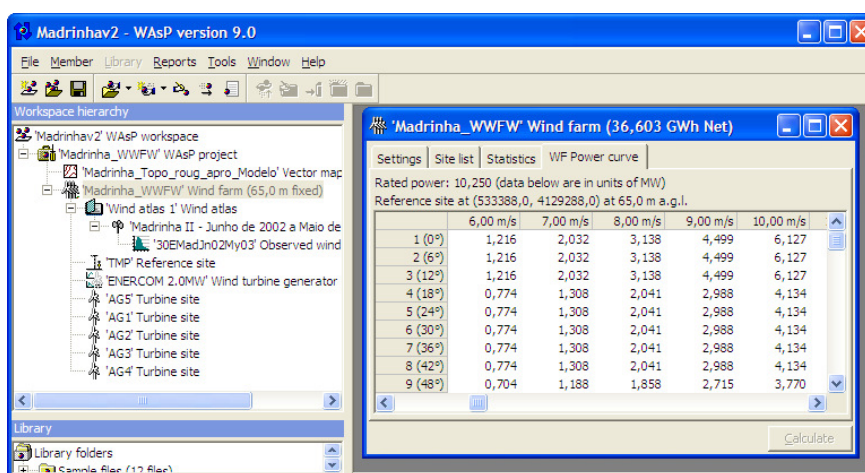


Figura 3.12 – Matriz de desempenho

Esta matriz funciona como um “padrão”, em relação ao qual irão ser comparados os valores de produção obtidos pelos aerogeradores. Reflete a informação contida nos dados de vento recolhidos na fase de estudo do sítio, tem em conta o Layout do parque, as características dos aerogeradores, as direcções predominantes do vento no local, a altitude média do local e a temperatura e densidade médias do ar no local. Na tabela 3.3 apresenta-se um extracto da matriz de desempenho associada ao parque em estudo.

A matriz original é composta por 36 linhas e 60 colunas, correspondendo as linhas à velocidade de vento máxima a que o aerogerador poderá eventualmente trabalhar e as colunas à divisão dos 360 graus por sectores de 6 graus cada.

Os números apresentados representam valores de potência, cuja unidade é o MW.

Tabela 3.3 – Matriz de desempenho (extracto parcial)

	1,00 m/s	2,00 m/s	3,00 m/s	4,00 m/s	21,00 m/s	22,00 m/s	23,00 m/s	24,00 m/s	25,00 m/s
1 (0°)	0	0,013	0,092	0,288	10,25	10,25	10,25	8,2	2,05
2 (6°)	0	0,013	0,092	0,288	10,25	10,25	10,25	8,2	2,05
3 (12°)	0	0,013	0,092	0,288	10,25	10,25	10,25	8,2	2,05
4 (18°)	0	0,007	0,055	0,178	10,25	10,25	10,25	10,25	10,25
5 (24°)	0	0,007	0,055	0,178	10,25	10,25	10,25	10,25	10,25
6 (30°)	0	0,007	0,055	0,178	10,25	10,25	10,25	10,25	10,25
7 (36°)	0	0,007	0,055	0,178	10,25	10,25	10,25	10,25	10,25
8 (42°)	0	0,007	0,055	0,178	10,25	10,25	10,25	10,25	10,25
9 (48°)	0	0,007	0,049	0,157	10,25	10,25	10,25	10,25	10,25
10 (54°)	0	0,006	0,048	0,157	10,25	10,25	10,25	10,25	10,25
11 (60°)	0	0,006	0,047	0,154	10,247	10,25	10,25	10,25	10,25
12 (66°)	0	0,006	0,046	0,15	10,233	10,25	10,25	10,25	10,25
13 (72°)	0	0,006	0,043	0,138	10,218	10,25	10,25	10,25	10,25
14 (78°)	0	0,01	0,066	0,207	10,25	10,25	10,25	6,15	0
15 (84°)	0	0,009	0,055	0,172	10,25	10,25	10,25	6,15	0
16 (90°)	0	0,009	0,051	0,166	10,25	10,25	10,25	6,15	2,05
17 (96°)	0	0,009	0,057	0,18	10,25	10,25	10,25	4,1	2,05
18 (102°)	0	0,009	0,063	0,205	10,25	10,25	10,25	4,1	2,05
19 (108°)	0,001	0,021	0,114	0,333	6,15	4,1	2,05	2,05	0
20 (114°)	0,001	0,023	0,127	0,369	6,15	4,1	2,05	2,05	2,05
21 (120°)	0,001	0,026	0,136	0,392	6,15	4,1	2,05	2,05	2,05
22 (126°)	0,001	0,027	0,144	0,413	6,15	4,1	2,05	2,05	2,05
23 (132°)	0,001	0,028	0,147	0,422	6,15	4,1	2,05	2,05	0
24 (138°)	0,001	0,028	0,149	0,43	6,15	4,1	4,1	2,05	2,05
25 (144°)	0,001	0,028	0,149	0,43	6,15	4,1	4,1	2,05	2,05
26 (150°)	0,001	0,028	0,149	0,43	6,15	4,1	4,1	2,05	2,05
54 (318°)	0,001	0,031	0,162	0,477	6,15	4,1	4,1	2,05	2,05
55 (324°)	0,001	0,031	0,162	0,477	6,15	4,1	4,1	2,05	2,05
56 (330°)	0,001	0,031	0,162	0,477	6,15	4,1	4,1	2,05	2,05
57 (336°)	0,001	0,031	0,162	0,477	6,15	4,1	4,1	2,05	2,05
58 (342°)	0,001	0,031	0,162	0,477	6,15	4,1	4,1	2,05	2,05
59 (348°)	0	0,013	0,092	0,288	10,25	10,25	10,25	8,2	2,05
60 (354°)	0	0,013	0,092	0,288	10,25	10,25	10,25	8,2	2,05

As linhas representam as direcções de proveniência do vento e designam-se por sectores. É utilizada uma divisão da rosa-dos-ventos em sessenta sectores, abrangendo cada um, uma amplitude de seis graus.

As colunas representam a potência teórica passível de ser produzida pelo parque em função da velocidade de vento verificada. Apresenta valores até aos 36 m/s, uma vez que é este o limite máximo da gama de funcionamento dos aerogeradores, em termos de velocidade de vento, quando têm activo o sistema de controlo de tempestade. O valor máximo apresentado é de 10,25 MW e corresponde à soma da potência nominal máxima de todos os aerogeradores constituintes do parque. Como já atrás referido, são cinco o

número de máquinas e a potência nominal de cada uma pode atingir os 2,05 MW, conforme indicado na curva de potência representada na tabela 3.2.

É esta a matriz que irá permitir determinar se a produção obtida no parque num determinado período, é superior ou inferior em relação à produção expectável em função da velocidade de vento que se verificou durante esse mesmo período.

### 3.5 – Dados de vento

Os dados de vento têm de ser obtidos sob a forma de tabelas com o formato de texto. A sua recolha é efectuada previamente à instalação do parque através da instalação de uma ou mais torres meteorológicas. Os dados recolhidos nesta fase destinam-se precisamente à construção da designada “Matriz de Desempenho”, que irá servir de padrão à medição.

Est	dir	Vmed	raj	vmin	desv.	padr?	AAAAMDDhhmm
22	62	2,9	5	0,6	0,9		01-02-2007 00:00
22	56	1,6	4	0,4	0,9		01-02-2007 00:10
22	350	1,6	1,9	0	0,4		01-02-2007 00:20
22	67	1,6	3,2	0,5	0,6		01-02-2007 00:30
22	102	1,9	4,1	0,3	0,9		01-02-2007 00:40
22	241	1,1	1,8	0,5	0,3		01-02-2007 00:50
22	294	1,3	3,3	0	0,5		01-02-2007 01:00
22	86	1,5	3,4	0,3	0,7		01-02-2007 01:10
22	66	1,2	3,5	0,3	0,7		01-02-2007 01:20
22	113	2,8	5	1	1,1		01-02-2007 01:30
22	114	1,5	4,5	0,5	0,7		01-02-2007 01:40
22	101	1,5	1,9	0,3	0,4		01-02-2007 01:50
22	99	1,5	2,8	0,8	0,4		01-02-2007 02:00
22	100	1,2	2	0,7	0,3		01-02-2007 02:10
22	76	0,8	2,2	0,3	0,3		01-02-2007 02:20
22	61	0,8	1,9	0	0,3		01-02-2007 02:30
22	124	1	2,3	0,3	0,4		01-02-2007 02:40
22	100	1,1	2	0,4	0,3		01-02-2007 02:50
22	114	0,7	1,5	0	0,3		01-02-2007 03:00
22	60	0,7	1,4	0	0,3		01-02-2007 03:10
22	71	0,5	0,9	0	0,2		01-02-2007 03:20

Figura 3.13 – Formato dos dados recolhidos na torre meteorológica

Durante a aferição do desempenho operacional do parque, os dados acima referidos, têm de continuar a ser recolhidos de forma periódica, de preferência numa base mensal, sendo neste caso utilizada a torre meteorológica permanente do próprio parque. Dependendo da concepção do sistema de SCADA utilizado pelo fabricante dos aerogeradores para a recolha dos dados, poderá eventualmente ser necessário efectuar algum tratamento intermédio aos mesmos, de modo a poderem ser utilizados no software de verificação do desempenho dos aerogeradores.

### 3.6 – Perdas de energia

Ao fazer-se a avaliação de desempenho de um parque eólico utilizando o presente método, é necessário ter em consideração as perdas de energia. Como se está a fazer uma comparação entre uma potência e/ou energia teoricamente disponível no rotor dos aerogeradores e a energia efectivamente medida no respectivo contador de energia eléctrica instalado à saída do parque, torna-se necessário possuir uma estimativa das diversas perdas, de modo a que a comparação não seja afectada por erros grosseiros. Na figura 3.14 está representado o ponto da instalação eléctrica do parque eólico, onde é usualmente instalado o contador de energia eléctrica.

Como neste caso particular foi imposto pela concessionária da Rede Nacional de Distribuição a utilização de duas linhas independentes para efectuar a ligação do parque à rede, razão pela qual, foi necessário instalar dois equipamentos de medição e contagem de energia.

Esta solução não é muito comum, mas neste caso concreto ficou a dever-se a condicionantes relacionadas com a potência de curto-circuito máxima verificada no ponto de interligação do parque com a rede.

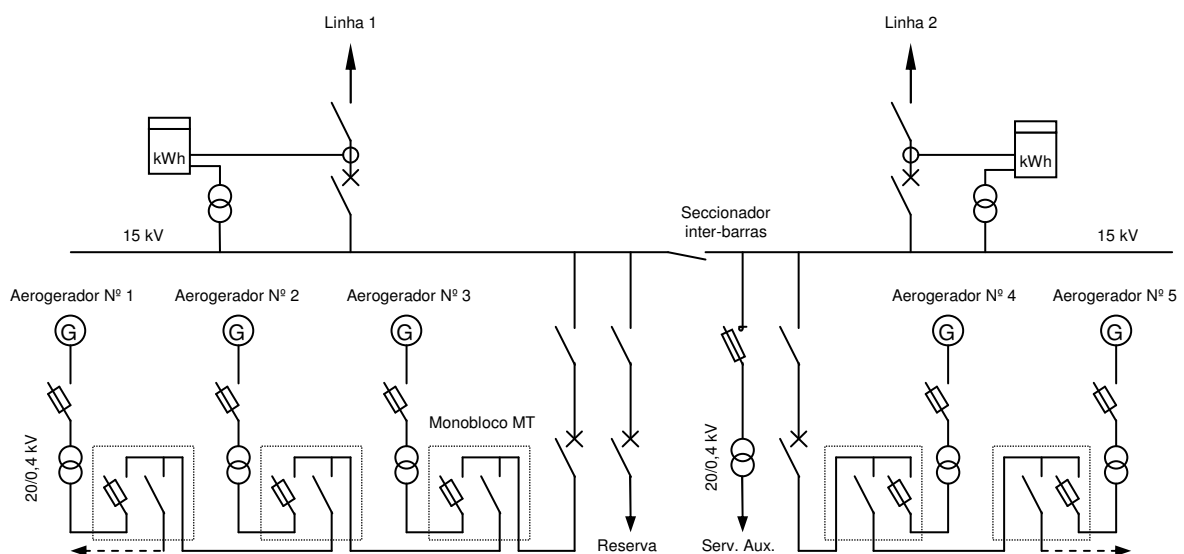


Figura 3.14 - Esquema unifilar do PE, contendo os contadores de energia

Das várias perdas de energia que ocorrem num parque eólico, temos de considerar as seguintes:

- Devidas ao efeito de esteira dos aerogeradores;

Ocorrem quando a direcção do vento é coincidente com o alinhamento entre duas máquinas. Nessas situações a máquina que fica na retaguarda é prejudicada pela perda de energia e pela turbulência provocada no fluxo de ar pela máquina que se encontra à frente.

- Devidas ao não cumprimento da curva de potência;

Como os aerogeradores são constituídos por componentes produzidos industrialmente em série, não há a garantia que cada um cumpra rigorosamente as especificações constantes na certificação do modelo de máquina.

- Devidas à indisponibilidade dos aerogeradores;

A indisponibilidade dos aerogeradores resulta das paragens necessárias para efectuar as acções de manutenção planeada e das paragens motivadas pelas avarias, as quais originam acções de manutenção fortuita.

- Devidas à indisponibilidade da rede eléctrica;

Sempre que a rede receptora da energia eléctrica não se encontra disponível, o que acontece em casos de disparos, defeitos, incidentes e perturbações provocados por condições atmosféricas adversas, etc., a energia eólica disponível no rotor do aerogerador não pode ser transformada em energia eléctrica e entregue à rede, existindo assim uma “não produção”.

- Devidas às perdas eléctricas na rede interna do parque;  
Desde os geradores até ao ponto de contagem, a energia eléctrica tem de circular pelos transformadores de grupo e pelos cabos de MT, sofrendo as perdas inerentes a qualquer sistema eléctrico de energia.
- Devidas a condições atmosféricas fora dos parâmetros de funcionamento;  
Como os aerogeradores são projectados e certificados para funcionarem dentro de determinada gama de temperatura e de velocidade de vento, se esses valores forem ultrapassados os sistemas internos de protecção actuarão e provocarão a paragem da máquina até que as grandezas referidas voltem à gama de operação.
- Devidas a outros factores.  
Outros factores indutores de perdas poderão ser limitações de potência, paragens para ensaios, visitas, inspecções, etc.

No caso do parque alvo do presente estudo, foram considerados para os diferentes factores, os valores de perdas contidos na tabela 3.4. Esses valores resultam de uma combinação entre os determinados durante os estudos de simulação de produção efectuados previamente à instalação do parque, com os recolhidos experimentalmente já durante a sua exploração.

Tabela 3.4 – Perdas consideradas

<b>Factores indutores de perdas</b>	<b>Valor [%]</b>
Efeito de esteira entre aerogeradores	6
Não cumprimento da curva de potência	5

Disponibilidade dos aerogeradores	3
Disponibilidade da rede eléctrica	0,1
Perdas eléctricas na rede interna	2
Condições atmosféricas fora da gama de funcionamento	0,2
Outros	0,2
Soma:	16,5

Além do anteriormente exposto, torna-se de grande importância conhecer também todos os acontecimentos e actividades ocorridas no âmbito da operação e manutenção do parque em causa durante o período da medição. Para que seja possível uma análise dos resultados da avaliação de desempenho com algum grau de confiança, é necessário obter também um relatório pormenorizado de todas avarias, eventos e acções de manutenção ocorridas durante esse período. Este cruzamento de dados é de crucial importância para a eliminação de alguns períodos da medição, de modo a que o resultado final forneça uma informação credível.

### 3.7 – Plataforma informática de suporte

Além do software descrito nos pontos anteriores, foi também utilizado o Microsoft Excel como plataforma de base de funcionamento do programa de avaliação do desempenho operacional de parques eólicos (ADOPE), alvo do presente trabalho.

A sua escolha deveu-se à sua disponibilidade e disseminação quase universal em qualquer computador, ao seu carácter de fácil utilização mesmo para um operador com conhecimentos básicos de informática e ainda à grande versatilidade e capacidade que apresenta em termos de cálculos.

Outras características decisivas para a escolha dizem respeito ao interface intuitivo, à grande capacidade e facilidade de construção de gráficos, bem como à sua compatibilidade em termos de exportação de dados e resultados com outras ferramentas informáticas de utilização comum.

## 4 – Modo de utilização da ferramenta

### 4.1 – Carregamento dos dados

Uma vez que o sistema de SCADA instalado neste parque é composto por dois subsistemas, dos quais, um recolhe e armazena os dados relativos aos aerogeradores número 1, 2 e 3, ficando a cargo do outro subsistema a recolha e o armazenamento dos dados dos aerogeradores número 4 e 5, torna-se necessário juntar numa única tabela todos os dados, de modo a poderem ser comparados com a Matriz de Desempenho, a qual é única para todo o parque. Esta operação é efectuada através da obtenção dos dados dos contadores de energia próprios de cada aerogerador e colocando-os numa das folhas do ficheiro de Excel designada “producao\_wecs”, conforme exemplificado na tabela 4.1 relativa ao ano de 2007:

Tabela 4.1 – Tabela de inserção da produção dos aerogeradores

		2007 - Produção (kWh)							
wec	Janeiro	Fevereiro	Março	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
1	217.419	331.283	441.819	385.336	199.590	295.722	353.917	459.289	
2	305.776	392.252	556.873	500.464	250.341	372.299	353.841	574.225	
3	299.624	425.590	595.645	487.187	252.106	371.592	400.144	528.538	
4	270.606	383.104	573.740	541.948	258.277	368.098	398.099	565.975	
5	359.340	428.774	674.842	563.229	274.720	409.053	442.227	632.005	

Os dados recolhidos pela torre meteorológica terão de ser inseridos numa directoria pré definida, cujo nome terá de ser mantido para que a aplicação funcione correctamente. No entanto, é sempre possível definir na aplicação um

novo endereço de acesso aos dados, permitindo assim o seu funcionamento em qualquer computador onde seja instalada e com os dados armazenados em qualquer directoria.

## 4.2 – Tratamento prévio dos dados

Para que este método de avaliação de desempenho atinja o maior grau de precisão possível, torna-se necessário proceder previamente a um tratamento dos dados recolhidos, de modo a purga-los dos períodos em que as condições atmosféricas se situam fora da gama de funcionamento, ou tenham ocorrido outras situações susceptíveis de falsear o resultado final, tais como, avaria no equipamento de medição, falhas temporárias de alimentação eléctrica ao “datalogger”, descalibração de sensores, etc. Este tratamento não significa qualquer adulteração dos dados, mas, unicamente a eliminação dos períodos susceptíveis de conduzir a análise de desempenho do parque, a resultados sem fiabilidade.

Como condições atmosféricas fora da gama de funcionamento das máquinas, foram consideradas as indicadas pelo respectivo fabricante, nomeadamente as seguintes:

- Velocidade do vento superior a 25 m/s (36 m/s quando o sistema de controlo de tempestade está activo);
- Rajadas superiores a 30 m/s, durante mais de 3 s;
- Formação de gelo nas pás dos aerogeradores;
- Queda de neve que impeça o normal funcionamento do anemómetro e do cata-vento;

Além das condições anteriormente mencionadas, existem outras que também podem ter influência no resultado, tais como:

- Perturbações na rede eléctrica;
- Acções de manutenção planeada;
- Reparações em resultado de avarias;
- Baixa disponibilidade de dados recolhidos motivada por avaria no sistema de SCADA.

### **4.3 – Construção dos diversos algoritmos da ferramenta**

Como já anteriormente referido, a ferramenta utiliza o Microsoft Excel e é composta por várias folhas, cada uma destinada a um fim específico, conforme se descreverá nos pontos subsequentes.

Para dar uma ideia geral da arquitectura do sistema e dos diversos passos, quer na sua construção, quer no processamento dos dados e na apresentação dos resultados finais, apresenta-se na figura 4.1 um fluxograma geral do processo prévio de obtenção das matrizes de referência, para o qual foi utilizado o programa “WAsP”, tal como descrito no ponto 3.3.

Procura-se mostrar também em forma de diagrama como foi efectuada a montagem e interligação dos diversos elementos e passos a seguir, para que o sistema funcione e tenha eficácia. A figura 4.2 identifica ainda o procedimento a seguir em caso de suspeita de avaria em algum dos aerogeradores.

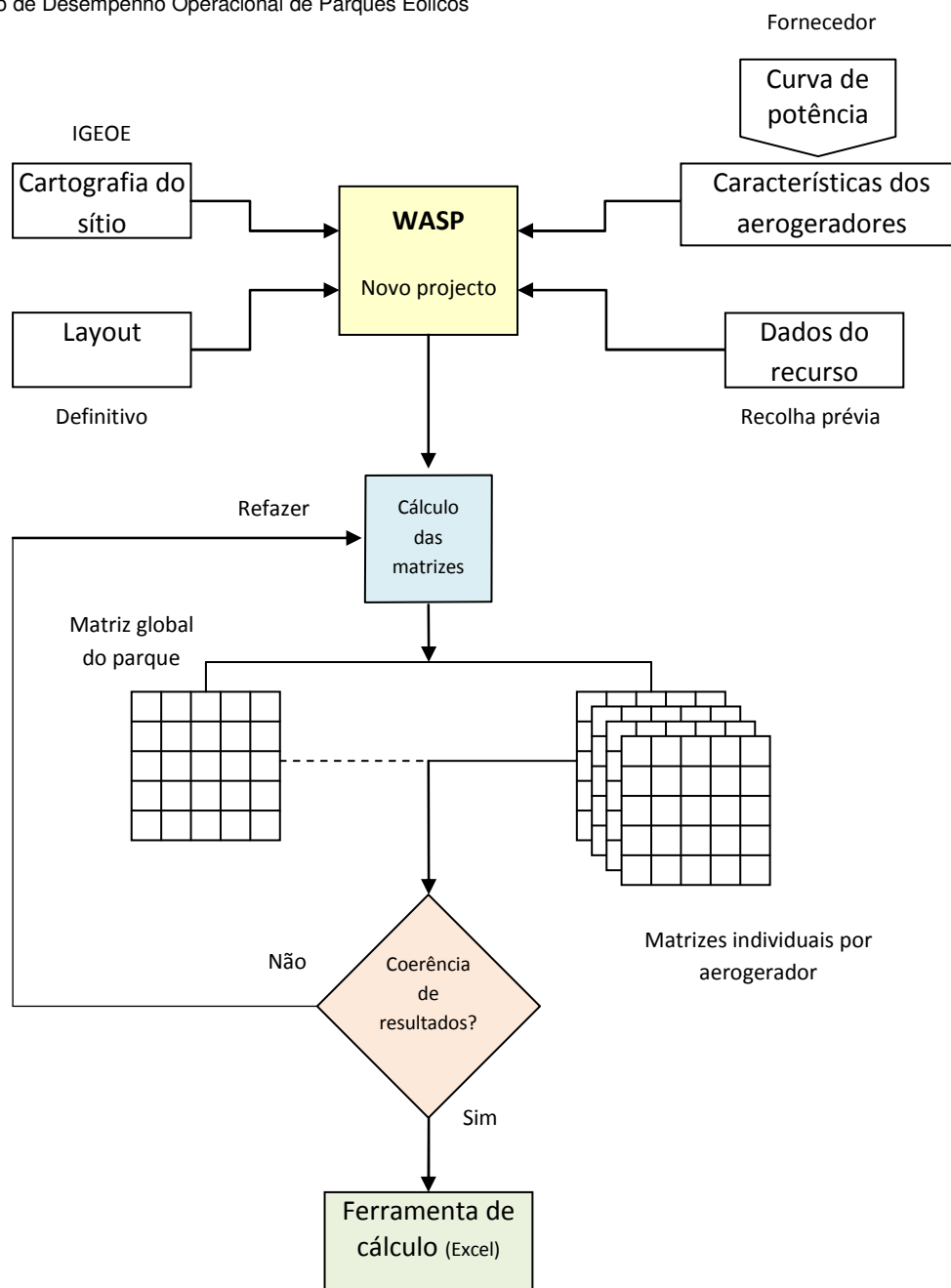


Figura 4.1 – Arquitectura de montagem da aplicação

O diagrama que se segue, relativo à operação da ferramenta, tem como objectivo mostrar de uma forma didáctica, os diversos passos a seguir pelo operador do sistema, para proceder à avaliação periódica do desempenho operacional de parque eólicos e ao mesmo tempo dar indicações sobre as decisões a tomar conforme os resultados que forem obtidos. Entende-se que

um mês constitui o período de tempo mais conveniente para a periodicidade referida, uma vez que se trata da mesma medida utilizada para a elaboração anual dos orçamentos, para a facturação energia eléctrica vendida à rede, para cálculo de disponibilidades e ainda para o pagamento dos serviços de operação e manutenção dos equipamentos.

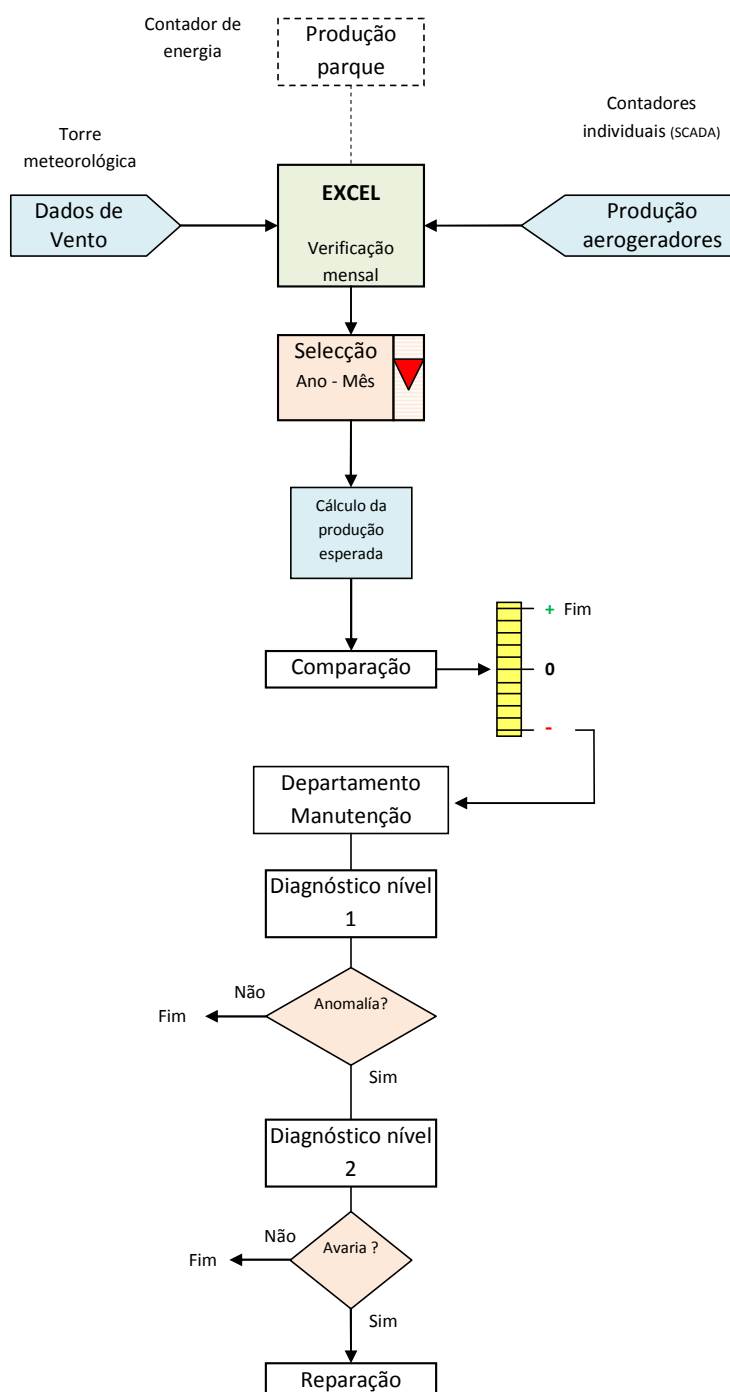


Figura 4.2 – Arquitectura de operação do sistema ADOPE

### 4.3.1 – Colocação temporária de dados

Esta folha designada como “dados1”, tem como função servir para armazenar temporariamente os dados de determinado mês sempre que o programa é colocado em funcionamento, conforme a escolha feita pelo operador, para permitir a realização dos cálculos de comparação que se pretende efectuar. Tem o aspecto que se pode observar na figura 4.3.

	A	B	C	D	E	F	G
1	MJ022 - Madrinha						
2	Mar-07						
3	4464 registos						
4	Est	dir	Vmed	raj	Vmin	desv. pa	AAAAMDDhhmr
5	22	305	6,29	9.39	3.6	1.2	03-01-2007 00:00
6	22	307	5,2	7.79	3.1	0.9	03-01-2007 00:10
7	22	313	5,3	7.39	3.3	0.9	03-01-2007 00:20
8	22	313	4,9	7.29	3.2	0.9	03-01-2007 00:30
9	22	314	5,6	7.79	3.4	1.1	03-01-2007 00:40
10	22	318	5,4	8.29	3.1	1	03-01-2007 00:50
11	22	317	5	6.99	2.9	0.8	03-01-2007 01:00
12	22	319	5,2	7.39	3.3	0.8	03-01-2007 01:10
13	22	325	5,6	6.89	3.4	0.6	03-01-2007 01:20
14	22	335	6,59	7.79	4.8	0.6	03-01-2007 01:30
15	22	342	6,89	7.69	5.7	0.5	03-01-2007 01:40
16	22	348	6,69	7.49	5.5	0.4	03-01-2007 01:50
17	22	351	5,8	6.99	4.8	0.4	03-01-2007 02:00
18	22	353	6,29	7.39	5.2	0.5	03-01-2007 02:10
19	22	354	6,29	7.29	5.2	0.4	03-01-2007 02:20
20	22	355	6,29	7.19	5.2	0.4	03-01-2007 02:30
21	22	359	5,9	7.79	4.9	0.4	03-01-2007 02:40
22	22	1	6	6.89	4.8	0.4	03-01-2007 02:50
23	22	3	5,6	6.39	4.4	0.4	03-01-2007 03:00
24	22	7	5,6	6.49	4.4	0.3	03-01-2007 03:10
25	22	5	5,9	6.59	5.1	0.3	03-01-2007 03:20
26	22	8	5,7	6.79	5	0.4	03-01-2007 03:30
27	22	12	5,3	5.8	3.4	0.3	03-01-2007 03:40
28	22	15	5,1	6.1	3.8	0.4	03-01-2007 03:50
29	22	19	4,3	5.1	3.4	0.4	03-01-2007 04:00
30	22	12	4,3	5.4	3.3	0.4	03-01-2007 04:10
31	22	18	3,8	4.9	2.7	0.5	03-01-2007 04:20
32	22	20	3,7	4.9	2.6	0.5	03-01-2007 04:30
33	22	7	3,4	4.5	2.2	0.4	03-01-2007 04:40
34	22	2	3,4	4.6	2	0.4	03-01-2007 04:50
35	22	358	3,8	5.3	2.8	0.5	03-01-2007 05:00
36	22	16	4,4	5.8	3.5	0.4	03-01-2007 05:10

Figura 4.3 – Folha de armazenamento temporário dos dados

Como o operador da ferramenta não tem necessidade de visualizar esta folha durante a sua operação, a mesma, foi ocultada na versão final do programa.

### 4.3.2 – Agrupamento dos dados

A folha designada como “dados2” funciona como uma imagem da anterior, permite efectuar os primeiros cálculos do processo, no sentido de organizar o conjunto de valores das velocidades de vento, agrupando-os por categorias discretas, dispostas com intervalos de 1 m/s.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	MJ022 - M								V
2	Mar-07								(m
3	4464 regis								/s)
4	Est	dir	Vmed	raj	Vmin	desv. padr?	AAAAMDDhhmm		
5	22	305	6,29	9,39	3,6	1,2	03-01-2007 00:00		6
6	22	307	5,2	7,79	3,1	0,9	03-01-2007 00:10		5
7	22	313	5,3	7,39	3,3	0,9	03-01-2007 00:20		5
8	22	313	4,9	7,29	3,2	0,9	03-01-2007 00:30		5
9	22	314	5,6	7,79	3,4	1,1	03-01-2007 00:40		6
10	22	318	5,4	8,29	3,1	1	03-01-2007 00:50		5
11	22	317	5	6,99	2,9	0,8	03-01-2007 01:00		5
12	22	319	5,2	7,39	3,3	0,8	03-01-2007 01:10		5
13	22	325	5,6	6,89	3,4	0,6	03-01-2007 01:20		6
14	22	335	6,59	7,79	4,8	0,6	03-01-2007 01:30		7
15	22	342	6,89	7,69	5,7	0,5	03-01-2007 01:40		7
16	22	348	6,69	7,49	5,5	0,4	03-01-2007 01:50		7
17	22	351	5,8	6,99	4,8	0,4	03-01-2007 02:00		6
18	22	353	6,29	7,39	5,2	0,5	03-01-2007 02:10		6
19	22	354	6,29	7,29	5,2	0,4	03-01-2007 02:20		6
20	22	355	6,29	7,19	5,2	0,4	03-01-2007 02:30		6
21	22	359	5,9	7,79	4,9	0,4	03-01-2007 02:40		6
22	22	1	6	6,89	4,8	0,4	03-01-2007 02:50		6
23	22	3	5,6	6,39	4,4	0,4	03-01-2007 03:00		6
24	22	7	5,6	6,49	4,4	0,3	03-01-2007 03:10		6
25	22	5	5,9	6,59	5,1	0,3	03-01-2007 03:20		6
26	22	8	5,7	6,79	5	0,4	03-01-2007 03:30		6
27	22	12	5,3	5,8	3,4	0,3	03-01-2007 03:40		5
28	22	15	5,1	6,1	3,8	0,4	03-01-2007 03:50		5
29	22	19	4,3	5,1	3,4	0,4	03-01-2007 04:00		4
30	22	12	4,3	5,4	3,3	0,4	03-01-2007 04:10		4
31	22	18	3,8	4,9	2,7	0,5	03-01-2007 04:20		4
32	22	20	3,7	4,9	2,6	0,5	03-01-2007 04:30		4
33	22	7	3,4	4,5	2,2	0,4	03-01-2007 04:40		3
34	22	2	3,4	4,6	2	0,4	03-01-2007 04:50		3
35	22	358	3,8	5,3	2,8	0,5	03-01-2007 05:00		4
36	22	16	4,4	5,8	3,5	0,4	03-01-2007 05:10		4

Figura 4.4 – Folha de agrupamento dos valores de velocidades de vento

A obtenção dos valores contidos na coluna assinalada a amarelo é efectuada por arredondamento para a unidade mais próxima e sem casas decimais. Desta forma, organizam-se as velocidades do vento em valores inteiros com intervalos de 1 m/s.

### 4.3.3 – Contagem do número de “bins”

A folha designada como “matriz”, serve para efectuar a contagem do número de amostras, cujo valor da velocidade de vento medida, se encaixa em cada um dos patamares das discretização. Como já anteriormente referido, é feito um agrupamento com intervalos de 1 m/s e são consideradas velocidades entre 0 e 36 m/s. Em termos de direcções, é efectuada uma divisão em sessenta sectores, representando cada um, seis graus. Na tabela número 4.2 mostra-se um extracto parcial do aspecto desta folha.

Tabela 4.2 – Tabela com o nº de ocorrências para cada par velocidade/direcção

Nº de bins	V (m/s)	Sectores																					
		0		6		12		18		24		30		36		42		48		54		60	
		0 a 6	6 a 12	12 a 18	18 a 24	24 a 30	30 a 36	36 a 42	42 a 48	48 a 54	54 a 60	60 a 66											
99	1	2	3	3	3	2	3	3	1	0	2	1											
265	2	11	7	8	5	5	8	13	6	4	0	1											
322	3	15	13	13	20	13	8	6	9	2	1	2											
425	4	20	37	23	44	27	16	2	5	5	12	8											
340	5	17	27	30	35	16	14	2	3	8	2	7											
395	6	35	27	30	28	23	12	3	1	4	5	2											
385	7	14	23	18	26	8	8	2	1	5	8	2											
318	8	27	20	24	18	9	3	13	6	1	3	0											
322	9	43	31	38	17	13	7	6	4	0	2	4											
311	10	41	24	34	28	14	13	12	8	4	17	6											
238	11	33	19	9	16	25	7	18	11	2	0	1											
183	12	28	10	10	7	16	6	10	6	4	0	0											
208	13	34	14	23	3	0	6	5	2	7	2	5											
182	14	42	16	17	3	0	1	2	0	3	0	4											
163	15	26	11	11	0	0	0	0	4	6	4	3											
101	16	6	7	9	0	0	0	0	0	0	5	0											
57	17	0	4	0	0	0	0	0	0	3	8	3											
40	18	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	6											
45	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	8											
23	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	10											
18	21	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1											
14	22	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2											
4	23	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
2	24	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											

Os algoritmos de cálculo aplicados nesta folha são funções de contagem do número de vezes que ocorreu determinado par velocidade/direcção. Para todas as células da folha, vai variando o número da linha e ou da coluna, conforme o caso, até ser percorridos todos os valores entre os 0 e os 36 m/s, bem como os sectores entre os 0 e os 360°.

#### 4.3.4 – Produção dos aerogeradores / parque

Na folha designada como “producao\_wecs”, são inseridos os valores de produção de cada um dos aerogeradores, discriminados por ano e por mês. Os valores são em kWh e têm proveniência do sistema de SCADA do parque.

Um exemplo desta folha foi já mostrado na tabela 4.1.

#### 4.3.5 – Informação de referência

Outra das folhas constituintes da ferramenta é designada por “lista”, conforme mostrado na figura 4.5.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
ano	mês		Março de 2007		Directoria dos dados							
2007	Janeiro	01	31		D:\dados pessoais\hao\isep\meesee\07-08\01_tese\mega_joule\MJ022							
2008	Fevereiro	02	28									
2009	Março	03	31		Caminho e nome do ficheiro							
	Abril	04	30		D:\dados pessoais\hao\isep\meesee\07-08\01_tese\mega_joule\MJ022							
	Maio	05	31									
	Junho	06	30		Nome do ficheiro							
	Julho	07	31		20070301.txt							
	Agosto	08	31									
	Setembro	09	30									
	Outubro	10	31									
	Novembro	11	30									
	Dezembro	12	31									
2007	03	01	20070301	.txt	Dias	31						
Factor de carga		1,488,000										
mês	ano											
	3	1										
1	Janeiro	2007										
2	Fevereiro	2008										
3	Março	2009										
4	Abril											
5	Maio											
6	Junho											
7	Julho											
8	Agosto											
9	Setembro											
10	Outubro											
11	Novembro											
12	Dezembro											

Figura 4.5 – Folha de parametrização e opções

Nesta folha é inserida a informação relativa ao número de dias de cada mês do ano, nome dos ficheiros que irão alvo de análise e comparação de cada vez que o programa efectua os cálculos, caminhos para as diversas directorias

onde se localizam os dados, etc. São dados utilizados automaticamente pelo sistema na interligação das várias folhas de cálculo.

Torna também possível a instalação do programa em qualquer computador, permitindo a indicação da nova localização dos dados de uma forma extremamente simples e prática, sem necessidade de efectuar quaisquer alterações nas restantes folhas. Desta forma, o programa funcionará de forma conveniente, onde quer que se encontre instalado.

### 4.3.6 – Matrizes de referência

As folhas designadas como “wt01r”, “wt02r”, “wt03r”, “wt03r” e “wt05r”, são as matrizes de referência ou de desempenho e são obtidas de acordo com o processo descrito no ponto 3.4, as quais servem de padrão para efectuar a comparação com a produção real verificada em cada um dos aerogeradores do parque e dessa forma obter o resultado do desempenho das máquinas, mostrando se os desvios são positivos ou negativos. Contêm valores de potência, são individuais para cada aerogerador e uma vez obtidas, não podem ser alvo de modificação.

Na figura 4.6 é mostrado um extracto da sua forma, a qual consiste em valores para cada par de velocidade/direcção de vento.

	0°	2 (6°)	3 (12°)	4 (18°)	5 (24°)	6 (30°)	7 (36°)	8 (42°)	9 (48°)	10 (54°)	11 (60°)	12 (66°)	13 (72°)	14 (78°)
0,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,00 m/s	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
3,00 m/s	0,014	0,014	0,014	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,015
4,00 m/s	0,046	0,046	0,046	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,045
5,00 m/s	0,106	0,106	0,106	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,114
6,00 m/s	0,202	0,202	0,202	0,191	0,191	0,191	0,191	0,191	0,191	0,191	0,191	0,191	0,191	0,217
7,00 m/s	0,339	0,339	0,339	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,321	0,321	0,321	0,321	0,321	0,364
8,00 m/s	0,529	0,529	0,529	0,499	0,499	0,499	0,499	0,499	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,57
9,00 m/s	0,765	0,765	0,765	0,724	0,724	0,724	0,724	0,724	0,725	0,725	0,725	0,725	0,725	0,82
10,00 m/s	1,051	1,051	1,051	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	1,126
11,00 m/s	1,38	1,38	1,38	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,312	1,312	1,312	1,312	1,312	1,474
12,00 m/s	1,669	1,669	1,669	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,75
13,00 m/s	1,858	1,858	1,858	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,822	1,822	1,822	1,822	1,822	1,908
14,00 m/s	1,977	1,977	1,977	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,951	1,951	1,951	1,951	1,951	2,012
15,00 m/s	2,036	2,036	2,036	2,026	2,026	2,026	2,026	2,026	2,026	2,026	2,026	2,026	2,026	2,05
16,00 m/s	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
17,00 m/s	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
18,00 m/s	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
19,00 m/s	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
20,00 m/s	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
21,00 m/s	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
22,00 m/s	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
23,00 m/s	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
24,00 m/s	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
25,00 m/s	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	0
26,00 m/s	0	0	0	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	0
27,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4.6 – Matrizes de referência

### 4.3.7 – Matrizes de cálculo da energia

As folhas designadas como “wt01e”, “wt02e”, “wt03e”, “wt03e” e “wt05e”, são as matrizes de cálculo da energia expectável em cada um dos aerogeradores. Cada valor apresentado é relativo a um par velocidade/direcção de vento, resultando da multiplicação da matriz com o número de ocorrências (“bins”) pelas matrizes de referência, conforme ilustrado na figura 4.7.

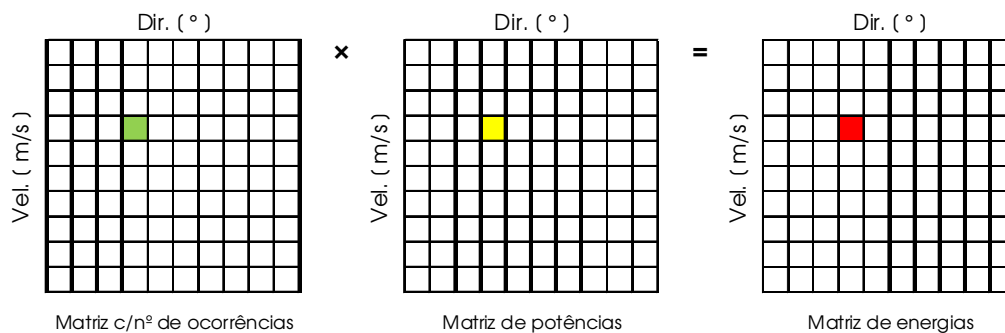


Figura 4.7 – Diagrama da operação das matrizes

Ambas as matrizes a multiplicar têm o mesmo número de linhas e de colunas e os valores a operar encontram-se na mesma posição relativa, isto é, na célula com a mesma referência.

A matriz como o resultado, representa valores de energia e tem também o mesmo número de linhas e de colunas que as matrizes operadas.

O exemplo mostrado na figura nº 4.8 é relativo ao aerogerador número um e resulta da multiplicação dos valores da folha “matriz” pelos da folha “wt01r”.

O algoritmo utilizado é o de uma simples multiplicação entre células e funciona do mesmo modo para toda a folha de cálculo, percorrendo como é óbvio todas as linhas e todas as colunas.

Aferição de Desempenho Operacional de Parques Eólicos

	1 (0°)	2 (6°)	3 (12°)	4 (18°)	5 (24°)	6 (30°)	7 (36°)	8 (42°)	9 (48°)	10 (54°)	11 (60°)
0,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,00 m/s	0,03	0,026	0,026	0,04	0,026	0,016	0,012	0,018	0,004	0,002	0,004
3,00 m/s	0,28	0,518	0,322	0,572	0,351	0,208	0,026	0,065	0,065	0,156	0,104
4,00 m/s	0,782	1,242	1,38	1,54	0,704	0,616	0,088	0,132	0,352	0,088	0,308
5,00 m/s	3,71	2,862	3,18	2,8	2,3	1,2	0,3	0,1	0,4	0,5	0,2
6,00 m/s	2,828	4,646	3,636	4,966	1,528	1,528	0,382	0,191	0,955	1,528	0,382
7,00 m/s	9,153	6,78	8,136	5,76	2,88	0,96	4,16	1,92	0,321	0,963	0
8,00 m/s	22,747	16,399	20,102	8,483	6,487	3,493	2,994	1,996	0	1	2
9,00 m/s	31,365	18,36	26,01	20,272	10,136	9,412	8,688	5,792	2,9	12,325	4,35
10,00 m/s	34,683	19,969	9,459	15,92	24,875	6,965	17,91	10,945	1,994	0	0,997
11,00 m/s	38,64	13,8	13,8	9,17	20,96	7,86	13,1	7,86	5,248	0	0
12,00 m/s	56,746	23,366	38,387	4,824	0	9,648	8,04	3,216	11,27	3,22	8,05
13,00 m/s	78,036	29,728	31,586	5,46	0	1,82	3,64	0	5,466	0	7,288
14,00 m/s	51,402	21,747	21,747	0	0	0	0	7,8	11,706	7,804	5,853
15,00 m/s	12,216	14,252	18,324	0	0	0	0	0	0	10,13	0
16,00 m/s	0	8,2	0	0	0	0	0	0	6,15	16,4	6,15
17,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	4,1	16,4	12,3
18,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30,75	16,4
19,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,2	20,5
20,00 m/s	4,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,05
21,00 m/s	14,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,1
22,00 m/s	8,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23,00 m/s	4,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4.8 – Matrizes de cálculo de energia

Como seria expectável, observa-se que as maiores quantidades de energia são obtidas numa faixa de velocidades de vento entre os 6 e os 15 m/s. Isto sucede por que é dentro desta gama que a velocidade do vento permanece o maior número de horas ao longo do tempo, ou sejam, são as velocidades com maior probabilidade de ocorrerem. Em relação às direcções de proveniência do vento, verifica-se que as mais frequentes e conseqüentemente também as mais produtivas, ocorrem, ou de norte, ou de sul.

Em relação a cada uma das matrizes de cálculo de energia anteriormente referida, é efectuado o somatório dos valores das células de todas as linhas e colunas, obtendo-se desse modo o valor total da produção expectável por cada um dos aerogeradores, durante o período em análise. O algoritmo utilizado tem a expressão de somatórios de linhas e colunas, representando valores totais de energia para cada gama de velocidade de vento.

O aspecto da folha de cálculo pode ser observado na figura 4.9.

	A	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ
1		52 (306°)	53 (312°)	54 (318°)	55 (324°)	56 (330°)	57 (336°)	58 (342°)	59 (348°)	60 (354°)	Energia p/
2	0,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2,00 m/s	0,016	0,012	0,018	0,014	0,004	0,006	0,004	0,01	0,02	0,644
5	3,00 m/s	0,064	0,032	0,075	0,18	0,12	0,105	0,075	0,084	0,14	6,034
6	4,00 m/s	0,104	0,416	0,49	0,147	0,343	0,392	0,539	0,46	0,644	15,883
7	5,00 m/s	0,236	0,354	0,224	1,12	0,672	0,896	1,568	2,332	1,484	42,198
8	6,00 m/s	0,224	0	0,639	1,491	1,917	1,704	3,408	4,242	5,252	79,46
9	7,00 m/s	1,128	0,376	1,785	4,284	1,428	4,284	9,996	5,424	4,746	109,746
10	8,00 m/s	4,102	2,344	4,464	2,79	2,232	7,254	15,624	14,812	15,87	172,321
11	9,00 m/s	2,526	1,684	1,608	4,02	5,628	5,628	13,668	12,24	25,245	236,393
12	10,00 m/s	1,154	0	1,103	7,721	7,721	16,545	16,545	13,663	32,581	248,144
13	11,00 m/s	0	0	2,892	14,46	13,014	13,014	34,704	6,9	19,32	252,122
14	12,00 m/s	0	0	0	13,816	24,178	37,994	31,086	25,035	35,049	348,695
15	13,00 m/s	0	0	0	9,465	22,716	47,325	41,646	29,728	22,296	339,844
16	14,00 m/s	0	0	0	2,002	20,02	24,024	62,062	41,517	29,655	322,947
17	15,00 m/s	0	0	0	0	6,138	20,46	47,058	40,72	24,432	205,982
18	16,00 m/s	0	0	0	0	0	4,1	22,55	24,6	12,3	116,85
19	17,00 m/s	0	0	0	0	0	4,1	18,45	0	6,15	82
20	18,00 m/s	0	0	0	0	0	2,05	14,35	4,1	16,4	92,25
21	19,00 m/s	0	0	0	0	0	0	2,05	6,15	6,15	47,15
22	20,00 m/s	0	0	0	0	0	2,05	10,25	2,05	16,4	36,9
23	21,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	2,05	8,2	28,7
24	22,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,2
25	23,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,1
26	24,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	25,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	26,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	27,00 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30										Soma:	2,796,583

Figura 4.9 – Somatório das energias

#### 4.3.8 – Comparação de energias

A efectiva aferição do desempenho operacional do parque é feito através da comparação do valor da soma obtida em cada uma das matrizes que contém o valor calculado de energia esperado com a produção real verificada no aerogerador correspondente, durante o mês em análise. Esse resultado irá fornecer a indicação se a produção foi superior ou inferior à expectável em função do recurso eólico disponível no sítio e qual o grau de desvio. Em caso de desvio negativo, será então possível efectuar posteriormente os devidos diagnósticos e acções correctivas.

No caso dos resultados obtidos indicarem algum valor negativo, o operador da ferramenta tomará a iniciativa de informar o departamento de análise de exploração, para que este proceda a uma verificação, quer dos dados relativos

à máquina em questão, quer das acções de manutenção ou reparação desenvolvidas pelo respectivo departamento, no sentido de perceber se existe alguma razão objectiva que justifique a menor produção verificada. Se não for encontrado qualquer motivo, serão então promovidos ensaios, conduzidos pelo departamento de manutenção de modo a diagnosticar e solucionar a causa, ou causas, da redução de produção.

As razões plausíveis para motivar a quebra de eficiência, podem ser devidas a alterações nas parametrizações do software de controlo, efectuadas pelo fabricante e/ou prestador de serviços, avaria no sistema de refrigeração, avaria no sistema de orientação do aerogerador, etc.

#### **4.4 – Operação da ferramenta**

O modo de utilização da ferramenta processa-se de uma forma muito simples, sem exigir qualquer competência especial ao respectivo operador. Tem uma sequência conforme descrito nos pontos subsequentes.

Na folha denominada “janela” encontramos as caixas de diálogo de selecção do ano e do mês, bem como os botões destinados à execução do programa, nomeadamente cálculos, pré-visualização de resultados em forma de gráfico e impressão desses mesmos resultados. O aspecto e forma dos mesmos podem ser observados na figura 4.10.

Nesta folha são também visualizados sob a forma de gráfico os resultados dos cálculos efectuados em cada actuação.

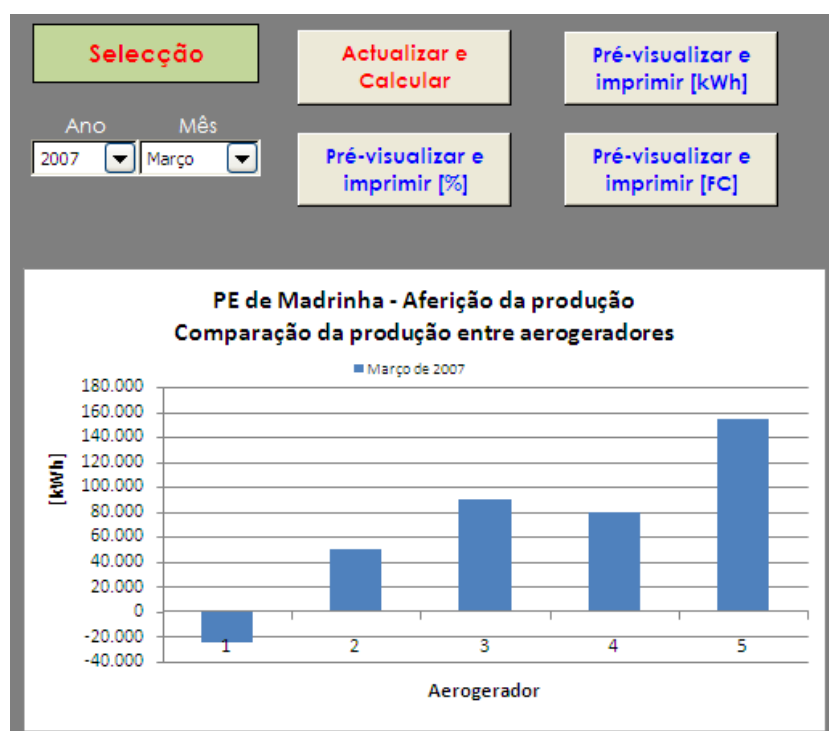


Figura 4.10 – Janela de operação

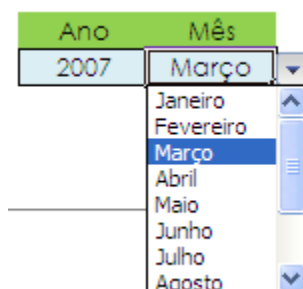
#### 4.4.1 – Selecção do ano e do mês para análise

A selecção destes parâmetros é feita na folha “janela”, nas respectivas caixas de diálogo da forma que se exemplifica seguidamente.

a) Seleccionar o ano



b) Seleccionar o mês



#### 4.4.2 – Actualização dos dados e execução dos cálculos

A actualização prévia dos dados seleccionados e a execução dos cálculos é feita por actuação do rato no botão “Actualizar e Calcular”, conforme mostrado na figura 4.11.

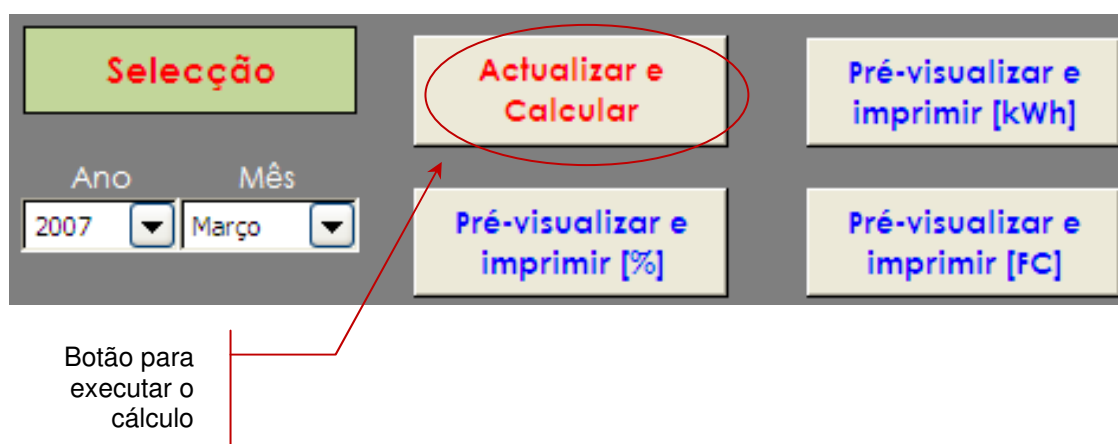


Figura 4.11 – Execução dos cálculos

A actuação anterior faz desencadear o funcionamento de uma “Macro”, a qual tem um algoritmo cuja função consiste em recorrer aos dados armazenados correspondentes ao mês e ao ano seleccionados, efectuar os cálculos entre as matrizes com o número de ocorrência e as de referência e disponibilizar a visualização dos resultados.

Logo após a execução dos cálculos é importante observar o gráfico da comparação de produção entre aerogeradores e verificar a coerência dos dados apresentados, de modo a detectar eventuais falhas na recolha dos dados. Esse gráfico é mostrado na folha “janela”, logo por baixo do botão de execução do cálculo. A sua forma e aspecto apresentam-se conforme a figura número 4.12.

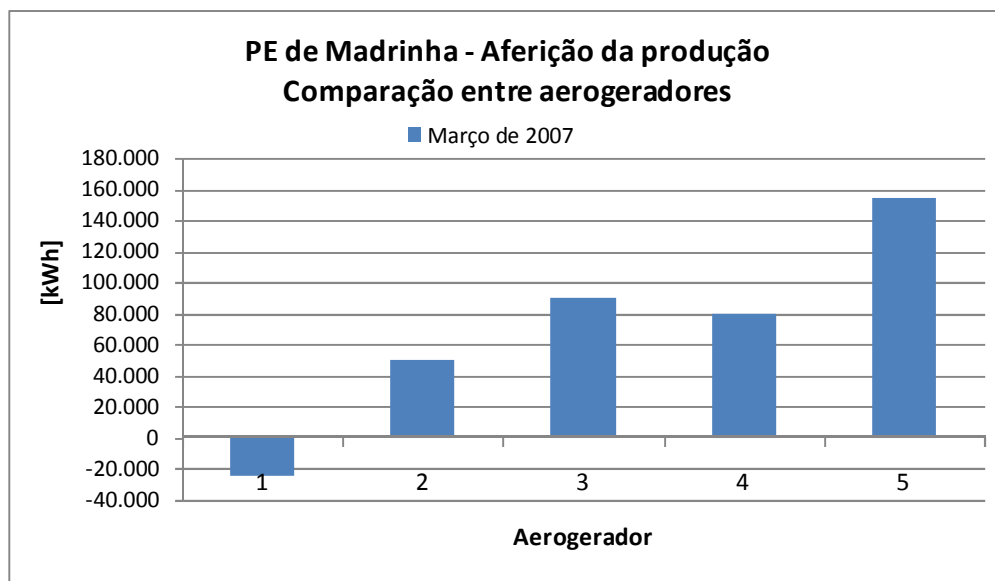
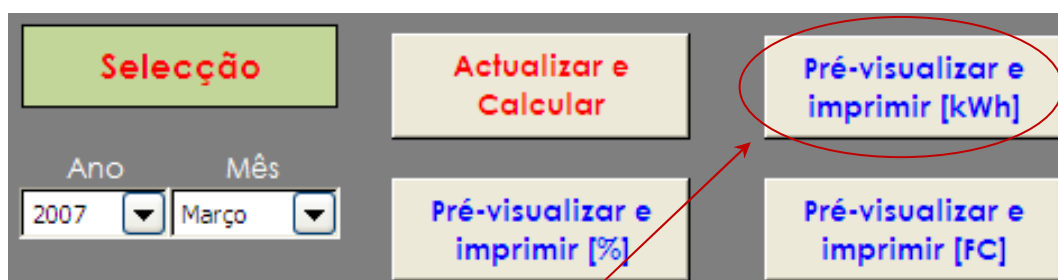


Figura 4.12 – Gráfico de comparação entre aerogeradores

#### 4.4.3 – Impressão dos resultados

- a) Para imprimir o relatório (gráfico) da comparação da produção absoluta entre aerogeradores, utiliza-se o botão designado como “Pré-visualizar e imprimir [kWh]”, conforme exemplificado na figura 4.13.



Botão para imprimir os resultados

Figura 4.13 – Impressão do relatório de produção

Esta acção desencadeia a execução de uma “Macro”, a qual tem um algoritmo adequado à função de pré-visualizar e imprimir.

O resultado obtido encontra-se exemplificado na figura 4.14.

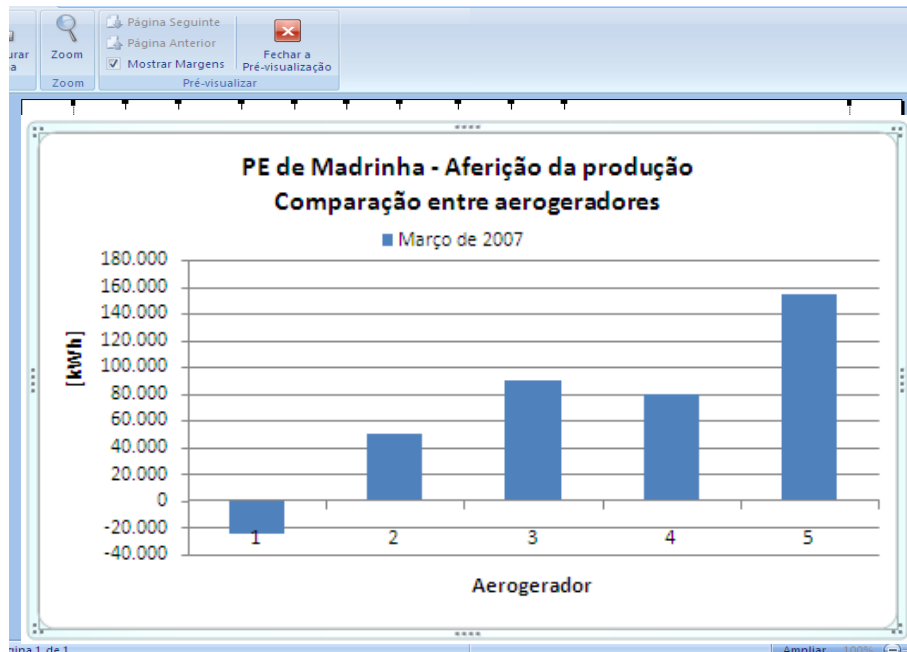


Figura 4.14 – Pré visualização do relatório de produção

#### b) Gráfico de comparação relativa

Este gráfico permite verificar os desvios e a coerência dos resultados obtidos, por comparação relativa entre aerogeradores, dando uma ideia imediata, se a produção efectiva esteve acima ou abaixo do esperado e qual a grandeza dos desvios em percentagem.

Para a visualização e impressão deste relatório (gráfico) da comparação de desempenho entre aerogeradores, em percentagem, existe o botão designado como “Pré-visualizar e imprimir [%]” e temos de proceder conforme descrito e exemplificado na figura 4.15.

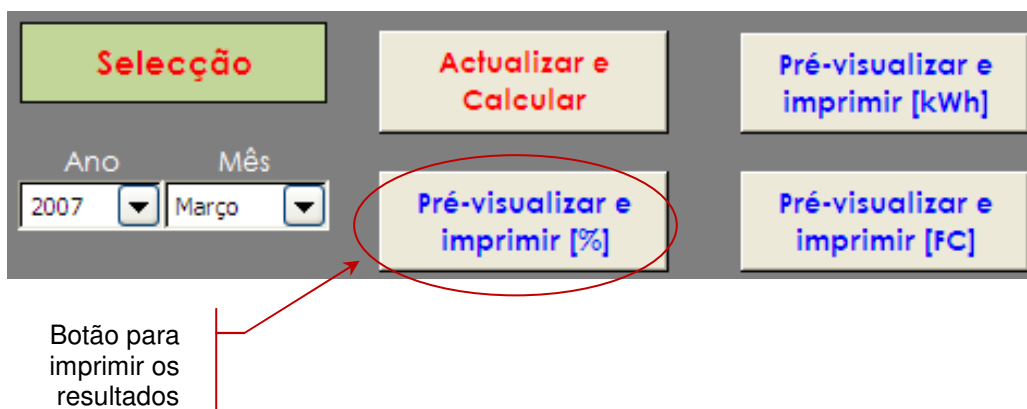


Figura 4.15 – Impressão do relatório de desempenho relativo

Esta acção desencadeia o funcionamento de uma “Macro”, cujo algoritmo actua na pré-visualização e impressão do gráfico.

O resultado obtido encontra-se exemplificado na figura 4.16 e representa o valor do desvio em percentagem entre a produção esperada em cada um dos aerogeradores e a produção efectivamente verificada.

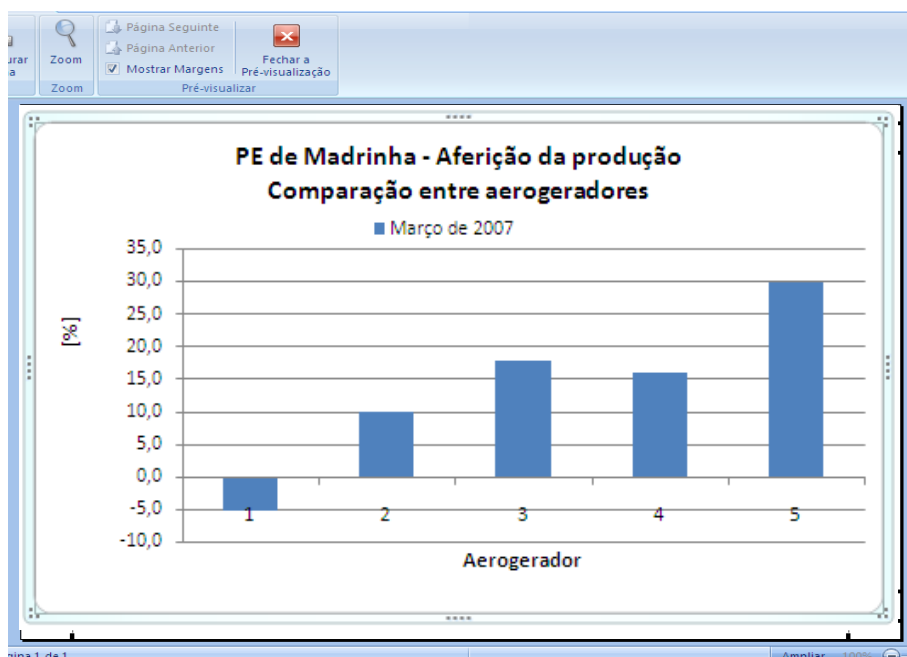


Figura 4.16 – Pré visualização do relatório de desempenho relativo

### c) Gráfico de comparação do factor de carga

Este gráfico permite verificar os desvios e a coerência dos resultados obtidos, por comparação do factor de carga atingido por cada um dos aerogeradores, dando uma ideia imediata do seu desempenho e eficiência, em função do recurso disponível, ao mesmo tempo que permite detectar se algum dos aerogerador se afasta consideravelmente da média dos restantes.

Para a visualização e impressão deste relatório (gráfico) da comparação do factor de carga entre aerogeradores, em percentagem, existe o botão designado como “Pré-visualizar e imprimir [FC]” e devemos actuar conforme indicado e exemplificado na figura 4.17.

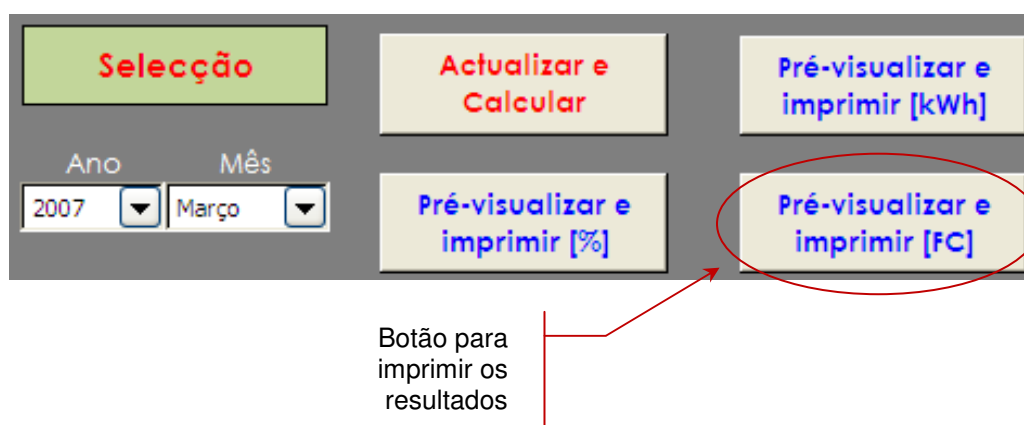


Figura 4.17 – Impressão do relatório de comparação do factor de carga

Esta acção desencadeia a execução de uma “Macro” cujo algoritmo tem a mesma função que a descrita nos pontos anteriores.

O resultado da acção é o mostrado como exemplo na figura 4.18 e permite-nos comparar a diferença entre aerogeradores. O designado “Factor de Carga” traduz a porção do tempo total de funcionamento, que bastaria aos

aerogeradores para, estando a funcionar à plena carga, produzir a mesma quantidade de energia que efectivamente produziram no período considerado.

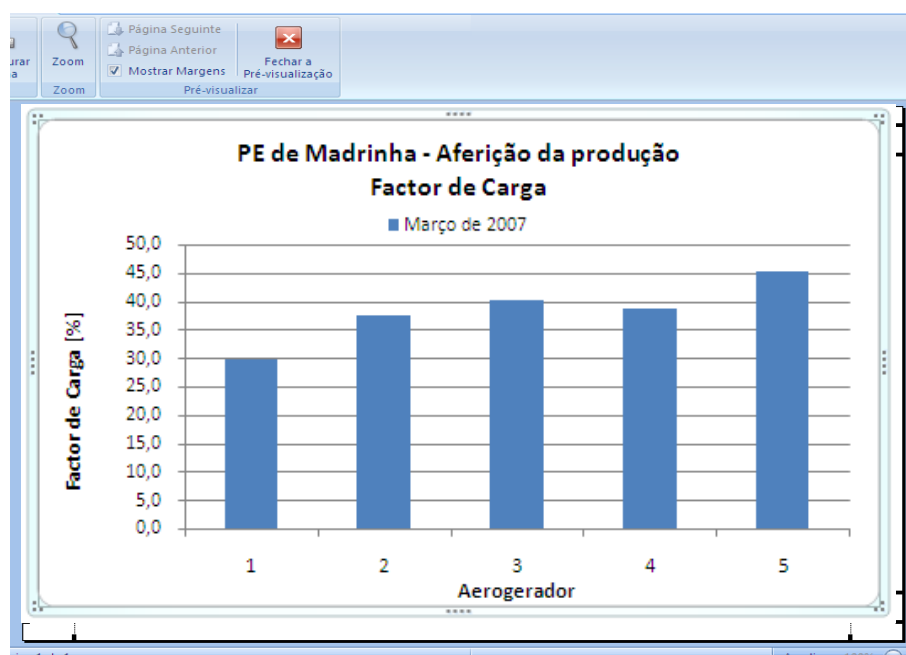


Figura 4.18 – Pré visualização do relatório de desempenho relativo

#### 4.4.4 – Análise dos resultados

Na análise dos resultados obtidos, relativos a um determinado parque, tem que se ter em conta os valores históricos e característicos de exploração, nomeadamente produções, factores de carga, desempenho relativo entre aerogeradores, sazonalidade, etc.

Como já anteriormente exposto, esta ferramenta permite sobretudo detectar eventuais defeitos, avarias, limitações de potência impostas aos aerogeradores pelo prestador dos serviços de manutenção devido a falta de peças de reserva, degradação de algum componente, etc., quer por comparação entre máquinas, quer em termos de valores absolutos.

Num mesmo parque eólico, é normal existirem diferenças consideráveis de produção entre máquinas, sem que tal signifique qualquer avaria. Essas diferenças podem ser resultado das características de cada localização dentro do parque, em particular da altitude, orografia, direcção predominante de proveniência do vento durante esse período, obstáculos, etc.

Na figura 4.19 é apresentado um exemplo teórico de diferenças características de produção esperadas dentro do mesmo parque, sem que tal signifique a existência de qualquer anomalia de funcionamento dos aerogeradores.

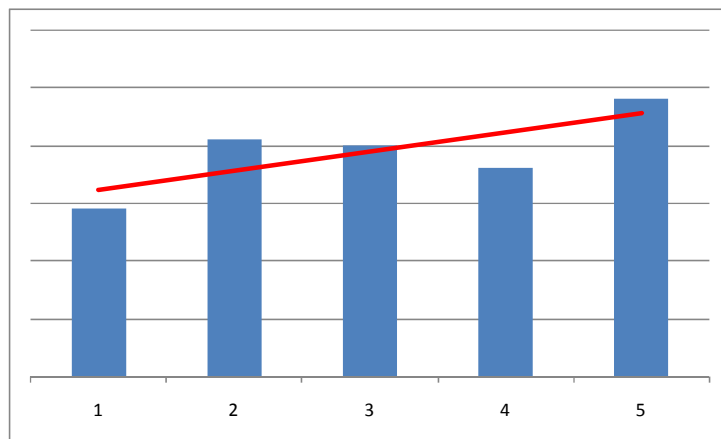


Figura 4.19 – Diferenças relativas do desempenho expectável

O importante nesta verificação consiste em, após serem conhecidos alguns dados históricos, observar qual o é comportamento característico habitual e a partir daí, detectar os desvios a esse “padrão”, os quais poderão significar eventuais avarias ou diminuição da performance dos aerogeradores.

Após esta fase, será a equipa responsável pela operação e manutenção a desenvolver os testes de diagnóstico para identificar a causa, ou as causas, do menor desempenho identificado.

As conclusões poderão indicar a não existência de qualquer situação anómala com o aerogerador em causa, mas tão somente a ocorrência de causas externas que condicionaram o funcionamento das máquinas, tais como perturbações na rede eléctrica em consequência de descargas atmosféricas,

queda de neve, formação de gelo, atraso da equipa de supervisão e manutenção na resposta a situações de emergência, etc. Se for detectada alguma causa relacionada com o próprio aerogerador, então será necessário proceder à sua eliminação, efectuando as acções de correcção e/ou reparação devidas, seguindo sempre as instruções prescritas nos manuais e documentação técnica do equipamento, fornecida pelo respectivo fabricante.

## **5 - Custos de implementação e utilização da ferramenta**

### **5.1 - Implementação**

Os custos de implementação deste processo de aferição do desempenho operacional de parques eólicos, são bastante reduzidos, uma vez que implicam somente a construção de aplicações informáticas e não requerem a instalação no terreno de equipamento de medição adicional, o qual é sempre bastante dispendioso.

O valor do serviço de construção e adaptação da ferramenta ADOPE a um novo parque eólico ronda os cinco mil euros, valor substancialmente inferior ao de um processo de medição de curva de potência, o qual poderá ascender a cerca de oitenta mil euros e só vai servir para um período de tempo muito reduzido. É necessário referir que o processo de medição da curva de potência necessita previamente à montagem dos aerogeradores no sítio, da execução do designado “site calibration”, o qual consiste em encontrar uma correlação da velocidade de vento entre o local exacto onde vais ficar instalado o aerogerador e o local da torre meteorológica que irá recolher os dados de vento durante a medição. O valor desta tarefa ascende a cerca de trinta mil euros, distribuídos entre equipamentos e serviços do consultor independente.

Já no caso da medição da garantia de energia global do parque (WWFW), o valor requerido para esse processo, o qual decorre somente durante o período

de garantia, usualmente dois anos, o valor poderá ascender a cerca de cem mil euros (cerca de 50 mil para o trabalho do consultor e outro tanto para o equipamento temporário necessário). Com o presente método, a monitorização do parque eólico é constante ao longo dos meses, mesmo após o fim do período de garantia.

Tabela 5.1 – Relação custos/benefícios entre métodos

<b>Tipo de verificação</b>	<b>Custo de execução (k€)</b>	<b>Particularidades</b>
Medição da curva de potência	80	Verificação pontual
Medição da energia global	100	Verificação somente durante o período de garantia
ADOPE	5	Verificação permanente e com custos marginais

## 5.2 - Utilização

Os custos com a operação da ferramenta, podem ser classificados de residuais, porque o seu manuseamento irá ser efectuado pelos operadores já encarregues das tarefas de supervisão dos activos de produção e o tempo necessário para efectuar a verificação é muito reduzido. Considera-se que a verificação efectuada numa base mensal é suficiente para fazer um acompanhamento satisfatório do estado de funcionamento dos aerogeradores e do grau de desempenho do parque eólico.

## 6 - Resultados

### 6.1 - Situação genérica

Os resultados obtidos com este trabalho e com esta ferramenta, designada como ADOPE – Aferição do Desempenho Operacional de Parques Eólicos, permitem concluir que a mesma apresenta um grau de fiabilidade e precisão consideráveis.

Através dos testes efectuados, constatou-se que os valores de estimativas de produção se situam muito próximos dos valores reais, dentro de uma margem de erro muito reduzida. A consideração de margens de erro neste tipo de verificações, torna sempre necessário atender a vários factores, alguns dos quais de difícil mensuração. É uma situação bastante diferente da medição de outras grandezas, como por exemplo, distancias, pressões, temperaturas, etc., em relação às quais podemos sempre recorrer a um padrão como termo de comparação.

No caso da produção dos aerogeradores, estamos a comparar a sua produção efectiva durante um determinado período, com uma produção expectável, calculada em função do recurso disponível e da curva de potência característica da máquina. No entanto, essa curva de potência característica é obtida por medição no aerogerador para efeitos da sua certificação, mas em condições de densidade do ar, de turbulência, de rugosidade do solo, etc., dentro de certos limites, os quais raramente coincidem com as características do local onde são construídos os parques eólicos.

O processo adoptado para se encontrar um “padrão” o mais fiável possível, consiste em seleccionar períodos de funcionamento durante os quais não ocorreram situações de perturbação externa, as condições meteorológicas tenham estado dentro dos parâmetros de funcionamento das máquinas e a sua disponibilidade tenha sido de 100%. Poderá também ser utilizado o processo de excluir da verificação os períodos que não cumprem com as condições atrás mencionadas.

Após conclusão da presente ferramenta, foram efectuados vários testes e várias comparações, tendo-se obtido uma margem de erro de  $\pm 5\%$  para os anos analisados, conforme a tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Tabela da margem de erro

Ano	Produção (MWh)		Erro (%)
	Efectiva	Calculada	
2007	25.765	27.015	4,85
2008	33.255	31.892	-4,10
2009	28.631	29.060	1,50

A disponibilização desta aplicação ao departamento de análise de exploração, proporcionará um meio de detectar muito rapidamente e de forma expedita eventuais desvios de produção relativamente ao recurso disponível, permitindo em consequência, que o departamento de operação e manutenção tenha uma actuação mais eficaz, reduzindo consideravelmente as perdas de produção.

Essa actuação, conforme os casos, pode ser justificável no imediato ou ser inserida no âmbito de posteriores acções de manutenção planeadas, que requeiram aprovisionamento prévio de materiais ou equipamentos.

## 6.2 - Situação concreta de exploração e de mitigação de perdas

Durante a realização do presente trabalho e no decorrer dos vários testes efectuados em relação a um parque eólico, foi constado que a produção de um dos aerogeradores era bastante inferior, quer comparativamente com os

restantes, quer em relação ao valor que seria expectável em função dos cálculos de produção esperada.

Pela simples observação, através do sistema de SCADA, dos dados de funcionamento dessa máquina numa ocasião em que a velocidade de vento atingia valores superiores ao teoricamente necessário para que a mesma alcançasse a potência nominal, verificou-se que o valor não ultrapassava os 50%.

Contactado o Fornecedor dos serviços de operação e manutenção, tomou-se conhecimento que a máquina em causa tinha anteriormente sofrido uma avaria no sistema de arrefecimento e como a equipa de manutenção de intervenção imediata não possuía as peças de reserva necessárias à reparação, optou por colocar a máquina em funcionamento, mas limitada 50% da sua potência nominal enquanto aguardava pelos componentes em falta.

É obvio que esta opção é sempre menos penalizadora em termos de produção do que deixar o aerogerador parado.

Como posteriormente a reparação foi efectuada por outra equipa, a qual não foi avisada que a parametrização do limite de potência tinha sido alterada e na ocasião da reparação a velocidade de vento era muito baixa não permitindo qualquer ensaio real, a máquina, embora reparada, permaneceu limitada em termos de potência. Por simples actuação remota, foi possível repor de imediato a situação normal de parametrização do sistema de controlo, passando o aerogerador a poder atingir a sua potência nominal.

Se não tivesse acontecido essa verificação do desempenho, só passados pelo menos três meses seria normalizada a situação. Este espaço de tempo é o intervalo mínimo entre acções de manutenção planeada, durante a qual são efectuados vários ensaios ao funcionamento do aerogerador que permitem detectar eventuais anomalias como a descrita.

Estima-se que o valor económico das perdas evitadas atinja cerca de 36 mil euros, uma vez que, em função da limitação encontrada, a perda mensal situar-se-ia em cerca de 12 mil euros.

## 7 – Conclusões

A idealização deste trabalho é fruto de alguma experiência profissional no sector da construção e exploração de parques eólicos e surge na sequência de algumas necessidades sentidas em particular no âmbito da exploração, nomeadamente, ter disponível uma ferramenta que permita aferir qual foi a eficiência de um parque eólico num determinado período. Em termos simples, trata-se de controlar se a energia eléctrica produzida nesse período foi superior, ou inferior, ao que seria expectável em função do recurso eólico que atravessou a área de varrimento das pás dos aerogeradores, tendo em conta a sua curva de potência e também outros factores que eventualmente possam condicionar o funcionamento de todos os equipamentos associados.

Numa primeira fase foi analisado que tipo de solução seria a mais conveniente, que meios se encontravam disponíveis, quais as plataformas informáticas mais viáveis para a sua realização tendo em conta o grau de conhecimento próprio sobre essa matéria. Foi necessário estudar o funcionamento do programa “WAsP” e aprofundar os conhecimentos de trabalho com o Excel. Existiu ainda a preocupação de analisar as normas já existentes relacionadas com o assunto e tentar que o método proposto, embora não seguindo as prescrições dessas normas, pudesse ter uma precisão e uma fiabilidade adequada ao fim em vista. Teria ainda de ser simples, rápido e prático na sua utilização.

Posteriormente foram compilados todos os elementos relacionados com a constituição do parque eólico, nomeadamente, características dos equipamentos e do sítio, dados de vento históricos e de exploração, dados de exploração dos aerogeradores, nomeadamente produção e incidentes, outros factos significativos relacionados com a exploração da instalação, etc.

Com os dados indicados no paragrafo anterior e recorrendo ao “WAsP”, foi criado um novo projecto, o qual permitiu obter as designadas matrizes de desempenho individuais de cada aerogerador, as quais serviram

posteriormente de referência para o cálculo da energia expectável em cada máquina, em face do recurso eólico verificado. Para esses cálculos foi utilizado o Excel, o qual serviu também para comparar os resultados com os valores efectivos de produção e assim obter a informação pretendida, isto é, se o nível de desempenho de cada um dos aerogeradores foi superior, ou inferior, em relação ao expectável tendo em conta o recurso disponível.

Naturalmente que existiu também algum trabalho de validação do método e da forma de cálculo, o que originou várias correcções e melhoramentos ao longo do seu desenvolvimento.

Outra parte do trabalho relacionado com a presente Dissertação, diz respeito à sua escrita, a qual implicou alguma pesquisa sobre qual deve ser o seu conteúdo e qual a sua forma de apresentação. Além de comparações com outros exemplares, foi fornecida uma preciosa colaboração por parte dos orientadores do trabalho, quer na correcção de algumas partes, quer nas sugestões propostas para a organização do seu conteúdo e ainda na estruturação da sua apresentação.

Também se considera como um factor importante para a o desenvolvimento do trabalho, as apresentações prévias que foram efectuadas, as quais permitiram recolher opiniões críticas para a melhoria do trabalho, bem como detectar algumas falhas.

Como consideração final, salienta-se que a grande vantagem desta ferramenta de ADOPE, reside no facto de poder estar disponível aos operadores da Análise de Exploração, funcionar com os próprios dados recolhidos pelo sistema de supervisão do parque eólico, não necessitar de instalação de equipamento adicional, nem requerer a contratação de prestação de serviços externos por parte de consultores da especialidade. O processo tradicionalmente seguido nas situações de análise do desempenho operacional dos parques eólicos, encontra-se descrito no ponto 2.1, acima referido e usualmente decorre durante um período de tempo limitado, não possibilitado ao

gestor dos activos de produção, fazer um acompanhamento permanente do estado de funcionamento dos aerogeradores ao longo da vida útil do parque.

Considera-se assim que os objectivos propostos para serem alcançados com a realização do presente trabalho, foram atingidos de forma global e satisfatória.

### **Trabalho futuro**

Considera-se que as áreas com potencial para um eventual aperfeiçoamento futuro do trabalho são, as da inserção dos dados para análise e do interface gráfico com o utilizador.

Poderá ser melhorada a forma de busca dos dados de vento e de produção dos aerogeradores, tornando-a mais prática para o utilizador da ferramenta.

Também a forma de apresentação dos resultados poderá ser reformulada de modo a tornar mais imediata a percepção dos resultados por parte do utilizador da ferramenta.

Porto, 31 de Outubro de 2010

## 8 – Referências bibliográficas

### 8.1 – Normas

- [IEC 61400] IEC 61400-12 (1998) “Wind Turbine Generator Systems – Part 12: Wind turbine power performance testing”;
- [IEC 60044] IEC 60044-1 (2003) “Instrument transformers – Part 1: Current transformers”;
- [IEC 60186] IEC 60186 (1987) “Voltage transformers (amended 1988 and 1995)”;
- [IEC 60688] IEC 60688 (1992) “Electrical measuring transducers for converting AC electrical quantities to analogue or digital signals”;
- [ISO] ISO 2533 (1975) “International Standards Atmosphere”;

### 8.2 – Decretos – Lei, Portarias e Despachos

- [LEI 1] Decreto-Lei n.º 189/88. D.R. n.º 123, Série I de 1988-05-27; Estabelece normas relativas à actividade de produção de energia eléctrica por pessoas singulares ou por pessoas colectivas de direito público ou privado;
- [LEI 2] Portaria n.º 416/90. D.R. n.º 130, Série I de 1990-06-06; Estabelece as cláusulas a que devem obedecer os contratos de fornecimento de energia celebrados entre o produtor e a entidade exploradora da rede pública;
- [LEI 3] Decreto-Lei n.º 313/95. D.R. n.º 272, Série I-A de 1995-11-24; Altera o Decreto-Lei n.º 189/88 de 27 de Maio (estabelece medidas relativas à actividade de produção de energia eléctrica por pessoas singulares ou colectivas e de direito público ou privado);

- [LEI 4] Decreto-Lei n.º 168/99. D.R. n.º 115, Série I-A de 1999-05-18; Revê o regime aplicável à actividade de produção de energia eléctrica, no âmbito do Sistema Eléctrico Independente, que se baseie na utilização de recursos renováveis ou resíduos industriais, agrícolas ou urbanos;
- [LEI 5] Decreto-Lei n.º 339-C/2001. D.R. n.º 300, Suplemento, Série I-A de 2001-12-29; Altera o Decreto-Lei n.º 168/99 de 18 de Maio, que revê o regime aplicável à actividade de produção de energia eléctrica, no âmbito do sistema eléctrico independente;
- [LEI 6] Decreto-Lei n.º 33-A/2005. D.R. n.º 33, Suplemento, Série I-A de 2005-02-16; Altera o Decreto-Lei n.º 189/88 de 27 de Maio, revendo os factores para cálculo do valor da remuneração pelo fornecimento da energia produzida em centrais renováveis entregue à rede do Sistema Eléctrico Português (SEP) e definindo procedimentos para atribuição de potência disponível na mesma rede e prazos para obtenção da licença de estabelecimento para centrais renováveis;
- [LEI 7] Despacho n.º 5255/2006 (2.ª série). D.R. n.º 48, Série II de 2006-03-08; Aprova o Regulamento da Qualidade de Serviço;
- [LEI 8] Portaria n.º 949-A/2006. D.R. n.º 175, Suplemento, Série I de 2006-09-11; Aprova as Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão;
- [LEI 9] Decreto-Lei n.º 225/2007. D.R. n.º 105, Série I de 2007-05-31; Concretiza um conjunto de medidas ligadas às energias renováveis previstas na estratégia nacional para a energia, estabelecida através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005 de 24 de Outubro;

### 8.3 – Regulamentos e Guias

- [RSIUEE] RSIUEE (1974) (regulamento de segurança de instalações de utilização de energia eléctrica) e RSICEE (regulamento de segurança de instalações colectivas de edifícios e entradas) - Decreto-lei 740/74;
- [RTIEBT] RTIEBT – (2006) Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão (DGEG)
- [RSSPTS] RSSPTS - (1960) Regulamento de Segurança de Subestações, Postos de Transformação e Seccionamento; Decreto n.º 42895 de 1960;
- [GTIPIEE] GTIPIEE (1990) - Guia Técnico das Instalações de Produção Independente de Energia Eléctrica;
- [GMLDD] GMLDD (2007) - Guia de Medição, Leitura e Disponibilização de Dados; Entidade Reguladora dos serviços Energéticos; Despacho n.º 4591-A/2007
- [RQSSE] RQSSE (2006) - Regulamento da Qualidade de Serviço no Sector Eléctrico; [DGGE] Despacho nº 5255/2006 (2.a série)
- [RRCSE] RRCSE (2009) - Regulamento de Relações comerciais do Sector Eléctrico; ERSE Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos;

### 8.4 – Estudos e Planos

- [EIA] EIA – (2007) Estudo de Impacte Ambiental; Parque Eólico de Negrelo e Guilhado;
- [PC-PEM] PC-PEM (2005) Processo de Concurso - Parque Eólico de Madrinha; Fornecimento de Equipamentos e Obras;
- [PNAC] PNAC – (2004) Programa Nacional para Alterações Climáticas; Resoluções do Conselho de Ministros nº 119/2004; de

31 de Julho; nº 104/2006, de 23 de Agosto e nº 1/2008, de 4 de Janeiro

[PNALE] PNALE (2006) Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão de CO<sub>2</sub> 2008-2012; Instituto do Ambiente;

## 8.5 – Endereços de Internet

[DGEG] Direcção Geral de Energia e Geologia; [consult. em 18 de Janeiro de 2009]. Disponível em <http://www.dgge.pt/>;

[ERSE] Entidade Reguladora do Sector do Sector Energético; [consult. em 25 de Março de 2009]. Disponível em <http://www.erse.pt/>;

[DE] Diário Económico; [consult. em 25 de Setembro de 2009]. Disponível em <http://diarioeconomico.com/edicion/diarioeconomico/nacional/empresas/pt/desarrollo/1013300.html>

[DRE] Diário da República Electrónico; [consult. em 2 de Abril de 2010]. Disponível em <http://www.dre.pt/>

[EWEA] European Wind Energy Association; [consult. em 12 de Fevereiro de 2010]. Disponível em <http://www.ewea.org/index.php>

[WAsP] Wind Atlas Analysis and application Program; [consult. em 9 de Novembro de 2009]. Disponível em <http://www.wasp.dk/Download/Index.htm>

[IGEOE] Instituto Geográfico do Exercito; [consult. em 27 de Novembro de 2009]. Disponível em <http://www.igeoe.pt/utilitarios/cartogramas/25mil/WebForm1.aspx>

[UEI] EURELECTRIC - Union of the Electricity Industry; [consult. em 21 de Maio de 2009]. Disponível em <http://www2.eurelectric.org/content/Default.asp?PageID=896>

- [RISO] Risø DTU – National Laboratory for Sustainable Energy; [consult. em 21 de Maio de 2009]. Disponível em <http://www.risoe.dtu.dk/>
- [APREN] APREN . Associação de Energias Renováveis; [consult. em 30 de Julho de 2009]. Disponível em <http://www.apren.pt/gca/?id=49>

## **Anexos**

## **Anexo A**

Catálogo dos aerogeradores constituintes do Parque Eólico de Madrinha.



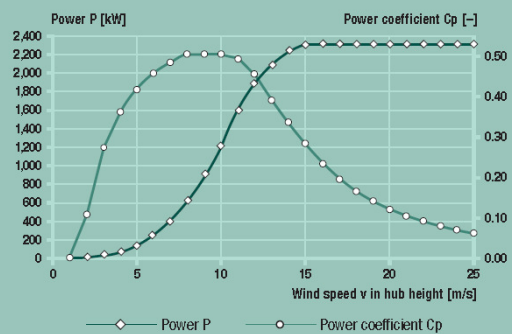
With the E-70 wind turbine ENERCON continues its longstanding reputation for reliability in the 2 MW class. Especially suitable for sites with high wind speeds, the E-70 wind turbine – with 2.3 MW rated power and numerous steel and precast concrete tower versions – is designed to ensure maximum yield in the upper power range.

## TECHNICAL DATA

Rated power:	2,300 kW
Rotor diameter:	71 m
Hub height:	58 – 113 m
Wind class (IEC):	IEC/NVN I
<b>Turbine concept:</b>	Gearless, variable speed, variable pitch control
<b>Rotor</b>	
Type:	Upwind rotor with active pitch control
Direction of rotation:	Clockwise
Number of blades:	3
Swept area:	3,959 m <sup>2</sup>
Blade material:	Fibreglass (epoxy resin); integrated lightning protection
Rotational speed:	Variable, 6 – 21.5 rpm
Pitch control:	ENERCON blade pitch system, one independent pitching system per rotor blade with allocated emergency supply
<b>Drive train with generator</b>	
Hub:	Rigid
Main bearings:	Dual-row tapered/single-row cylindrical roller bearings
Generator:	ENERCON direct-drive synchronous annular generator
<b>Grid feeding:</b>	ENERCON converter
<b>Braking systems:</b>	– 3 independent blade pitch systems with emergency supply – Rotor brake – Rotor lock
<b>Yaw control:</b>	Active via adjustment gears, load-dependent damping
<b>Cut-out wind speed:</b>	28 – 34 m/s (with ENERCON storm control)
<b>Remote monitoring:</b>	ENERCON SCADA

Details – ENERCON Storm Control – (see last page)

## CALCULATED POWER CURVE



Wind [m/s]	Power P [KW]	Power coefficient Cp [-]
1	0.0	0.00
2	2.0	0.10
3	18.0	0.27
4	56.0	0.36
5	127.0	0.42
6	240.0	0.46
7	400.0	0.48
8	626.0	0.50
9	892.0	0.50
10	1,223.0	0.50
11	1,590.0	0.49
12	1,900.0	0.45
13	2,080.0	0.39
14	2,230.0	0.34
15	2,300.0	0.28
16	2,310.0	0.23
17	2,310.0	0.19
18	2,310.0	0.16
19	2,310.0	0.14
20	2,310.0	0.12
21	2,310.0	0.10
22	2,310.0	0.09
23	2,310.0	0.08
24	2,310.0	0.07
25	2,310.0	0.06

$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$

Details – ENERCON power curve – (see last page)

## **Anexo B**

Descrição de diversos capítulos da norma IEC 61400 – Parte 12, com os quais estão relacionadas diversas partes do trabalho desenvolvido.

## **“Introdução**

*O objectivo desta parte 12 da Norma IEC 61400 é o de fornecer uma metodologia uniforme que garanta consistência e precisão na medição e análise do desempenho de sistemas geradores de potência das turbinas eólicas (Aerogeradores). A norma foi elaborada em antecipação, de modo a poder ser aplicada pelo:*

- Fabricante de aerogeradores que se esforça para cumprir com os melhores requisitos definidos para desempenhos de produção e/ou a possível certificação de um determinado sistema;*
- Comprador de aerogeradores na especificação dos seus requisitos de desempenho;*
- Operador dos aerogeradores, o qual pode ser obrigado a verificar que as condições especificadas ou requeridas para o desempenho de produção de energia são atingidas, quer as unidades sejam novas ou recondicionadas;*
- Projectista ou regulador, os quais deverão ser capazes de definir com precisão e razoabilidade as características de desempenho de potência dos aerogeradores em resposta aos regulamentos ou autorizações para instalações novas ou modificadas.*

*Esta norma fornece as orientações para a medição, análise e elaboração de relatórios de testes de desempenho dos sistemas de energia dos geradores de turbinas eólicas. A norma vai beneficiar todas as partes envolvidas na fabricação, instalação planeamento e licenciamento, operação, utilização e regulação dos aerogeradores. A medição tecnicamente precisa e as técnicas de análise recomendadas neste documento deverão ser aplicada por todas as partes para garantir que o desenvolvimento contínuo e operação dos aerogeradores é realizada numa atmosfera de comunicação consistente e precisa em relação às preocupações ambientais. Esta norma apresenta os procedimentos de medição e execução de relatórios, esperando fornecer resultados precisos, que poderão ser replicados por outros.*

*No entanto, os leitores devem ser advertidos de que o procedimento de calibração do sítio é muito novo. Como ainda não há provas substanciais de que o mesmo pode proporcionar resultados precisos para todos os sítios, especialmente sítios em terreno complexo. Parte do procedimento é baseada na aplicação de cálculos com incertezas nas medições. Em situações de terreno complexo, não é adequado afirmar que os resultados são precisos, quando as incertezas possam ser da ordem de 10% a 15% no desvio-padrão. Uma nova norma de medição, que tenha em conta estes problemas, será desenvolvida no futuro.” [IEC61400]*

## Capítulo 1

### “Aerogeradores

#### **Parte 12: Testes de desempenho de aerogeradores**

##### **1 Geral**

##### **1.1 Âmbito**

*Esta parte da norma IEC 61400 especifica o procedimento para a medição das características de desempenho de potência de um único aerogerador e aplica-se ao ensaio de todos os tipos de aerogeradores e de todas as potências ligados à rede eléctrica de energia. É aplicável, quer no ensaio das características absolutas de desempenho do aerogerador, quer no ensaio das diferenças de desempenho entre as características de potência para diversas configurações do aerogerador.*

*As características de desempenho de produção de energia do aerogerador são determinadas através da medição da curva de potência e pela estimação da produção anual de energia (AEP). A medição da curva de potência é determinada por recolha simultânea, no local de ensaio, dos valores da velocidade do vento e da potência de saída, durante um período suficientemente longo para estabelecer uma base de dados sobre um determinado intervalo de velocidades de vento e sob diversas condições de vento. A AEP é calculada por aplicação da curva de potência medida, às distribuições de frequência das velocidades de vento de referência, assumindo uma disponibilidade de 100%.*

*A norma descreve uma metodologia de medição que requer a curva de potência medida e os valores calculados de produção de energia complementados por uma avaliação de fontes de incerteza e dos seus efeitos combinados.*

## **1.2 Referências normativas**

*Os seguintes documentos normativos, através de referência neste texto, constituem prescrições para esta parte da norma IEC 61400. Na altura da publicação, as edições indicadas, são as válidas. Todos os documentos normativos estão sujeitos a revisão e as partes envolvidas em acordos com base nesta parte da norma IEC 61400, são incentivadas a estudar a possibilidade de aplicarem as edições mais recentes das normas abaixo indicadas. Os membros do IEC e da ISO mantêm os registos válidos para as actuais Normas Internacionais.*

*IEC 60044-1: 1996, Transformadores de medida - Parte 1: Transformadores de intensidade*

*IEC 60186: 1987, Transformadores de tensão*

*Alteração 1 (1988).*

*Alteração 2 (1995).*

*IEC 60688:1992, Conversores eléctricos de medida para conversão de quantidades eléctricas em a.c. em sinais analógicos ou digitais*

*ISO 2533:1975, Normas atmosféricas*

*Guia para a apresentação de incertezas de medição, publicações de informação ISO, 1995, 110 p. ISBN 92-67-10188-9" [IEC61400]*

## Capítulo 2

### **“2 Condições de ensaio**

*As condições específicas relacionadas com o ensaio de avaliação do desempenho de potência de aerogeradores devem ser bem definidos e documentados no relatório de ensaio, conforme detalhado na cláusula 6.*

#### **2.1 Aerogerador (Sistema gerador de turbina eólica)**

*Conforme detalhado na cláusula 6, o aerogerador deve ser descrito e documentado de modo a identificar de forma inequívoca a configuração específica da máquina que é testada.*

#### **2.2 Local do ensaio**

*No local do ensaio, deve ser montado um mastro meteorológico nas proximidades do aerogerador para determinar a velocidade do vento que impulsiona a turbina eólica. O local do ensaio pode ter uma influência significativa sobre o desempenho da potência medida no aerogerador. Em particular, os efeitos de distorção do fluxo podem originar que a velocidade do vento no mastro meteorológico e no aerogerador sejam diferentes, embora correlacionados.*

*O local do ensaio deve ser avaliado em relação às fontes de distorção do fluxo de vento, a fim de:*

- Escolher a posição do mastro meteorológico;*
- Definir um sector de medição adequado;*
- Estimar adequadamente os factores de correcção da distorção do fluxo;*
- Avaliar a incerteza devida à distorção do fluxo.*

*Os seguintes factores devem ser considerados em particular:*

- Variações topográficas;*
- Outras turbinas eólicas;*
- Obstáculos (edifícios, árvores, etc.)*

*O sítio do ensaio deve ser documentado, conforme detalhado na cláusula 6.*

### **2.2.1 Localização e distância do mastro meteorológico**

*Devem ser tomados cuidados em relação à localização do mastro meteorológico. Não deve ser colocado muito próximo do aerogerador, uma vez que a velocidade do vento será retardada na frente do aerogerador. Além disso, também não deve estar muito longe do aerogerador, uma vez que a correlação entre a velocidade do vento e da produção de energia eléctrica será reduzida. O mastro meteorológico deve ser colocado a uma distância do aerogerador entre 2 e 4 vezes o diâmetro do rotor  $D$  do aerogerador. É recomendada uma distância de 2,5 vezes o diâmetro do rotor  $D$ . O mastro meteorológico deve ser posicionado dentro do sector de medição seleccionado. No caso de um aerogerador de eixo vertical,  $D$  deve ser de 1,5 vezes o diâmetro máximo horizontal do rotor.*

*A Figura 1 mostra os requisitos de separação entre o mastro meteorológico e o aerogerador. Mostra também a distância recomendada de separação de 2,5 vezes o diâmetro do rotor do aerogerador entre o mastro meteorológico e o aerogerador.*

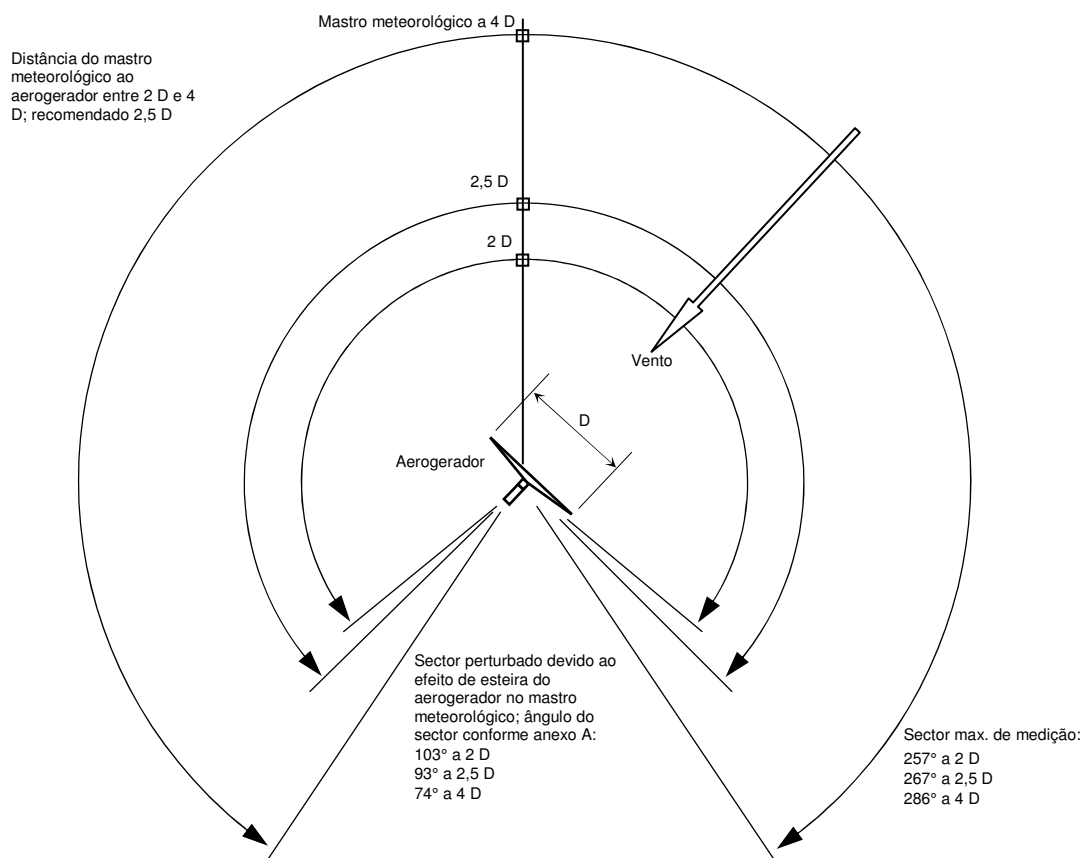


Figura 1 - Requisitos de distância do mastro meteorológico e dos sectores de medição máximos permitidos [IEC61400]

### 2.2.2 Sector medição

O sector de medição deve excluir direcções que tenham obstáculos significativos, variações significativas de orografia ou outras turbinas eólicas, visto tanto do aerogerador em teste, como do mastro meteorológico.

Os sectores perturbados a serem excluídos devido ao facto do mastro meteorológico estar na esteira do aerogerador em ensaio são, para as distâncias de 2, 2,5 e 4 vezes o diâmetro do rotor do aerogerador, são os mostrados na figura 1. Para todas as outras distâncias entre o aerogerador em

*ensaio e o mastro meteorológico, assim como também para todos os aerogeradores e obstáculos vizinhos, as direcções a serem excluídas devido aos efeitos de esteira devem ser determinadas usando o procedimento previsto no anexo A desta norma.*

### **2.2.3 Factores de correcção e incertezas, devidos à distorção do fluxo no local do ensaio**

*Se o local de ensaio cumprir os requisitos definidos no anexo A desta norma, então nenhuma análise adicional é necessária, nem correcções à distorção do fluxo são necessárias. A margem de incerteza a aplicar devido à distorção do fluxo no local do ensaio, deve ser considerada como 2%, ou superior, da velocidade de vento medida se o mastro meteorológico estiver posicionado a uma distância entre 2 e 3 vezes o diâmetro do rotor do aerogerador e de 3%, ou superior, se a distância for de 3 a 4 vezes o diâmetro do rotor.*

*Se o local do ensaio não satisfizer os requisitos definidos no anexo A, ou for exigida uma incerteza inferior devida à distorção do fluxo no local do ensaio, então, é necessário efectuar uma calibração experimental sítio do ensaio ou uma análise do local de prova com um modelo de fluxo tridimensional, que esteja validada para o correspondente tipo de terreno.*

*Se for realizado um teste experimental de calibração do sítio, recomenda-se que seja utilizado o procedimento previsto no Anexo B. Para cada sector, devem ser usados factores de correcção da distorção do fluxo medido. O valor da incerteza atribuído à correcção do local não deverá ser inferior a um terço da correcção máxima encontrada em todo o sector de medição e o sector de 60° centrado na direcção predominante do vento do ensaio.*

*Se for realizada uma avaliação teórica dos factores de correcção para o local do ensaio, utilizando um modelo válido de fluxo tridimensional, então devem ser utilizados sectores menores ou iguais a 30°. O valor da incerteza atribuído*

*à correcção do local não deverá ser inferior a metade da correcção máxima encontrada em todo o sector de medição e o sector de 60° centrado na direcção predominante do vento do ensaio.*

*Embora o procedimento de calibração do sítio, possa ser utilizado para a determinação das características de desempenho individual de turbinas eólicas inseridas numa central energia eólica, é importante avaliar a consistência dos resultados, em situações de terreno muito complexo.” [IEC61400]*

## Capítulo 3

### **“3 Equipamento de teste**

#### **3.1 Potência eléctrica**

*A potência eléctrica líquida do aerogerador deve ser medida utilizando um dispositivo de medição de potência (por exemplo, um conversor de potência) e ser baseado na medição da corrente e da tensão em cada uma das fases.*

*A classe dos transformadores de corrente deve cumprir os requisitos da norma IEC 60044-1 e a classe dos transformadores de tensão, se usados, devem cumprir os requisitos da norma IEC 60186. Todos deverão ser de classe de precisão 0,5, ou superior.*

*A precisão do dispositivo de medição de potência, se for um conversor de potência, deverá cumprir com os requisitos da norma IEC 60688 e recomenda-se que seja de classe 0,5 ou superior. Se o dispositivo de medição de potência não for um conversor de potência, então a classe de precisão deverá ser equivalente à classe 0,5 dos conversores de potência. A gama de funcionamento do dispositivo de medição da potência deve ser definida para medir todos os picos instantâneos de potência, positivos e negativos, produzidos pelo aerogerador. Como orientação, o intervalo total da gama de medida do dispositivo de medição de potência deverá ser parametrizado entre -50% e 200% da potência nominal do aerogerador. Todos os dados deverão ser verificados periodicamente durante o ensaio de modo a assegurar que os limites da gama de medição do conversor de potência não são excedidos. O dispositivo de medição de potência deve ser montado no ponto de ligação com a rede, de modo a garantir que apenas a potência activa líquida de saída, entregue à rede de energia eléctrica, é medida.*

#### **3.2 Velocidade do vento**

*As medições de velocidade do vento devem ser feitas com um anemómetro de copos, devidamente instalado à altura do centro do cubo do aerogerador num*

*mastro meteorológico, num local que represente o fluxo livre de vento que impulsiona o aerogerador.*

*A velocidade do vento deve ser medida com um anemómetro de copos que tenha uma “constante de distância” de menos de 5 m e que mantenha a sua calibração ao longo da duração do período de medição. A calibração do anemómetro deverá ser realizada antes e após a conclusão do teste de performance da curva de potência, seguindo a norma. A segunda calibração pode ser substituída por uma comparação “in situ” com outro anemómetro de referência calibrado, montado a uma distância de 1,5 m a 2 m da altura do anemómetro do cubo, durante o período de medição. Durante a calibração, o anemómetro deve ser montado numa configuração semelhante à que será utilizado durante o teste de medição da curva de potência. A incerteza da medição do anemómetro deve ser mencionada.*

*O anemómetro deve ser montado dentro de uma margem de  $\pm 2,5\%$  da altura do cubo, de preferência na ponta de um tubo redondo, colocado verticalmente e de forma livre no topo do mastro meteorológico. Em alternativa, o anemómetro pode ser montado sobre um suporte fixado ao lado do mastro e apontando na direcção predominante do vento.*

*Devem ser tomadas precauções para minimizar as perturbações de fluxo que se verifiquem nas proximidades do anemómetro. Para reduzir os efeitos do fluxo, o anemómetro deve ser montado de forma que a sua separação vertical de qualquer suporte montado seja pelo menos de 7 vezes o diâmetro do suporte e sua separação horizontal entre o mastro à altura do anemómetro seja de pelo menos 7 vezes o diâmetro máximo do mastro; sendo o mastro em tubo, cone, ou do tipo de treliça. Nenhum outro instrumento deverá ser montado, senão o fluxo incidente sobre o anemómetro, pode ser perturbado.*

*Quaisquer eventuais correcções que sejam aplicadas à velocidade de vento medida, de modo a ter em conta factores tais como a distorção do fluxo devido ao local, devem ser claramente mencionadas. A incerteza da própria correcção deve ser também avaliada e registada, e tipicamente, não deve ser inferior a metade da diferença entre o valor corrigido e o não corrigido.*

### **3.3 Direcção do vento**

*As medições de direcção do vento devem ser feitas com um cata-vento montado no mastro meteorológico dentro de uma margem de 10% da altura do cubo. Atenção adequada deve ser prestada ao posicionamento do cata-vento para evitar a distorção do fluxo de vento entre o anemómetro e o cata-vento. A precisão absoluta da medida de direcção de vento deve ser superior a 5°.*

### **3.4 Densidade do ar**

*A densidade do ar deve ser obtida a partir da medição da temperatura e da pressão do ar, utilizando a equação (1). Para temperaturas elevadas é recomendável também a medição da humidade relativa e a correcção da densidade em função da mesma.*

$$\rho_{10min} = \frac{B_{10min}}{R - T_{10min}} \quad (1)$$

onde

*$\rho_{10min}$  é a densidade média do ar calculada para cada período de 10 min;*

*$T_{10min}$  é a temperatura absoluta média, medida em cada período de 10 min;*

*$B_{10min}$  é a pressão média do ar, medida em cada período de 10 min;*

*R é a constante específica de gás para ar seco 287,05 J/(kg×K);*

*O sensor da temperatura do ar deve ser montado no mínimo a 10 m acima do nível do solo. Preferencialmente, deveria ser montado no mastro meteorológico, próximo da altura do cubo para dar uma boa representação da temperatura do ar no centro do rotor do aerogerador.*

*O sensor da pressão do ar deve ser montado no mastro meteorológico, próximo da altura do cubo para dar uma boa representação da pressão do ar no centro do rotor do aerogerador. Se o sensor da pressão do ar não for*

*montado próximo da altura do cubo, as medições da pressão do ar devem ser corrigidas para a altura do cubo de acordo com a norma ISO 2533.*

### **3.5 Precipitação**

*Para distinguir as medições em períodos secos e em períodos húmidos, a precipitação deve ser monitorizada durante o período de medição e documentado no relatório do ensaio.*

### **3.6 Estados do aerogerador**

*Deve ser monitorizado pelo menos um parâmetro que indique estado de funcionamento do aerogerador. Essa informação de estado deve ser utilizada no processo de determinação da disponibilidade do aerogerador.*

### **3.7 Sistema de aquisição de dados**

*Deve ser utilizado um sistema digital de aquisição de dados com uma taxa de amostragem por canal, de pelo menos 0,5 Hz, para recolha das medições e armazenamento dos dados pré-processados.*

*Deverá ser efectuada uma calibração ponto-a-ponto para cada um dos sinais do sistema de aquisição de dados instalado. Como referência, a incerteza do sistema de aquisição de dados deverá ser negligenciável em comparação com a incerteza dos sensores.” [IEC61400]*

## Capítulo 4

### **“4 Procedimento de Medição**

#### **4.1 Introdução**

*O objectivo do procedimento de medição é recolher dados que cumpram um conjunto de critérios bem definidos de forma a garantir que os dados são em quantidade e qualidade suficiente para determinar com precisão as características de potência e de desempenho do Aerogerador. O procedimento de medição deve ser documentado, conforme detalhado na cláusula 6<sup>a</sup>, de modo que cada etapa do procedimento e condições do ensaio possam ser revistos e se necessário, repetidos.*

*A exactidão das medições deve ser expressa em termos de incerteza da medição, conforme descrito no Anexo C. Durante o período de medição, os dados deverão ser verificados periodicamente para garantir uma alta qualidade e repetibilidade dos resultados do ensaio. Os registos do ensaio deverão ser mantidos para documentar todos os eventos importantes ocorridos durante o teste de verificação da curva de potência.*

#### **4.2 Funcionamento do Aerogerador**

*Durante o período de medição, o Aerogerador deve estar em funcionamento normal, conforme previsto no manual de operação do próprio aerogerador e toda a parametrização do sistema de controlo da máquina não pode ser alterada. Todos os dados recolhidos enquanto o aerogerador estiver indisponível, serão rejeitados.*

#### **4.3 Recolha dos dados**

*Os dados deverão ser recolhidos de forma contínua, com uma frequência de amostragem de 0,5 Hz, ou superior. A temperatura do ar, a pressão*

*atmosférica e precipitação e os estados do aerogerador podem ser recolhidos com uma taxa de amostragem inferior, mas no mínimo de minuto a minuto.*

*O sistema de aquisição de dados deverá armazenar as amostras ou reprocessar o conjunto dos dados conforme descrito abaixo, ou ambos. Os conjuntos de dados pré-processados deverão conter a seguinte informação em cada amostra de dados:*

- Valor médio;*
- Desvio-padrão;*
- Valor máximo;*
- Valor mínimo.*

*A duração total de cada conjunto de dados pré-processados deverá situar-se entre os 30 s e os 10 min e cada período de 10 min deverá ser divisível por um número inteiro. Além disso, se os conjuntos de dados tiverem uma duração inferior a 10 min, então, as amostras de dados adjacentes não devem ser separadas por qualquer intervalo de tempo. Os dados deverão ser recolhidas até que as condições definidas no ponto 4.6 sejam satisfeitas.*

#### **4.4 Selecção dos dados**

*O conjunto de dados seleccionados deverá basear-se em períodos de 10 min, derivados a partir da medição contínua de dados. Os valores médios e do desvio padrão para cada período de 10 min deverão, quando provenientes de conjuntos de dados pré-processados, ser calculados de acordo com as seguintes equações:*

$$X_{10min} = \frac{1}{N_k} \sum_1^{N_k} X_k \quad (1)$$

$$\sigma_{10min} = \sqrt{\frac{1}{N_k N_s - 1} \sum_1^{N_k} (N_s (X_{10min} - X_k)^2 + \sigma_k^2 (N_s - 1))} \quad (2)$$

onde

$N_k$  é o número de conjuntos de dados pré-processados dentro de um período de 10 min;

$X_k$  é o valor médio do parâmetro durante o período de tempo do pré-processamento;

$X_{10min}$  é o valor médio do parâmetro durante o período de 10 min;

$N_s$  é o número de amostras de dados de cada conjunto de dados pré-processados;

$\sigma_k$  é o desvio padrão do parâmetro pré-processado;

$\sigma_{10min}$  é o desvio padrão do parâmetro pré-processado em médias de 10 min.

Os conjuntos de dados devem ser excluídos da base de dados sempre que se verifiquem as seguintes circunstâncias:

- O aerogerador esteja indisponível;
- Ocorra alguma falha nos equipamentos de teste;
- As direcções do vento estejam fora dos sectores de medição.

Os conjuntos de dados recolhidos sob especiais condições de funcionamento (por exemplo, pás com elevada rugosidade devido ao pó, sal, insectos, gelo) ou condições atmosféricas (por exemplo, precipitação, perfil do vento) que ocorrem durante o período de medição, pode ser seleccionada para uma base de dados especial e os critérios de selecção deve ser indicados no relatório de medição.

#### **4.5 Correção de dados**

O conjunto dos dados seleccionados deve ser corrigido para a distorção do fluxo (ver 2.2) e para a pressão de ar, se a medição for a uma altura diferente da altura do cubo (ver 3.4). As correcções podem ser aplicadas às medições,

*se puder ser demonstrado que pode ser obtida uma maior precisão (por exemplo, correcções na velocidade do vento quando o anemómetro é afectado por erros devidos a excessos de velocidade em sítios de turbulência elevada).*

#### **4.6 Base de Dados**

*Após a normalização dos dados (ver 5.1), os conjuntos de dados seleccionados devem ser classificados usando o procedimento do “método dos bins” (ver 5.2). Os conjuntos de dados seleccionados devem abranger uma gama de velocidades de vento que se estenda desde 1 m/s abaixo da velocidade limiar de início de produção até 1,5 vezes a velocidade do vento à qual o aerogerador atinge 85% da sua potência nominal. Em alternativa, o intervalo da velocidade do vento deverá abranger a gama desde 1 m/s abaixo da velocidade limiar de início de produção até um valor ao qual a “AEP - medida” é maior ou igual a 95% da “AEP - extrapolada” (ver 5.3). A gama das velocidades de vento deverá ser dividida em “bins” contínuos de 0,5 m/s, centrados em múltiplos inteiros de 0,5 m/s.*

*A base de dados deverá ser considerada completa quando reunir os seguintes critérios:*

- Cada “Bin” incluir um mínimo de 30 min de amostras de dados;*
- A duração total do período de medição seja superior a 180 h com o aerogerador disponível dentro da gama de velocidade do vento do seu funcionamento.*

*A base de dados deve ser apresentada no relatório de ensaio, conforme detalhado na cláusula 6.” [IEC61400]*

## Capítulo 6

### **“6 Formato do relatório**

*O relatório do ensaio deve conter as seguintes informações:*

- *Descrição dos aerogeradores, com identificação da configuração específica do aerogerador sob teste, a qual deve incluir, no mínimo, as seguintes informações:*
  - *fabricante, modelo, número de série, ano fabricação,*
  - *diâmetro do rotor verificado,*
  - *velocidade nominal do rotor, gama de velocidade de funcionamento do rotor,*
  - *potência nominal e a velocidade nominal do vento,*
  - *dados das pás: fabricante, modelo, números de série, número de pás, “pitch” fixo ou variável, e ângulo(s) de “pitch” verificado(s),*
  - *altura do solo ao centro do cubo e tipo de torre;*
- *Descrição do local de ensaio (ver ponto 2.2): a descrição do local de ensaio deve incluir fotografias de todos os sectores de medição, de preferência obtidas à altura do cubo do aerogerador. Um mapa do local de ensaio, mostrando a área envolvente cobrindo uma distância radial de pelo menos 20 vezes o diâmetro rotor do aerogerador e indicando a topografia, localização dos aerogeradores, mastro meteorológico, obstáculos significativos, outras turbinas eólicas existentes na zona, e o sector de medição;*
- *Descrição das condições da rede no local de ensaio, tais como tensão, frequência e respectivas tolerâncias;*
- *Descrição do equipamento de ensaio (ver ponto 3): identificação do sensores e do sistema de aquisição de dados, incluindo documentação de calibração para os sensores, linhas de transmissão e sistema de aquisição de dados;*

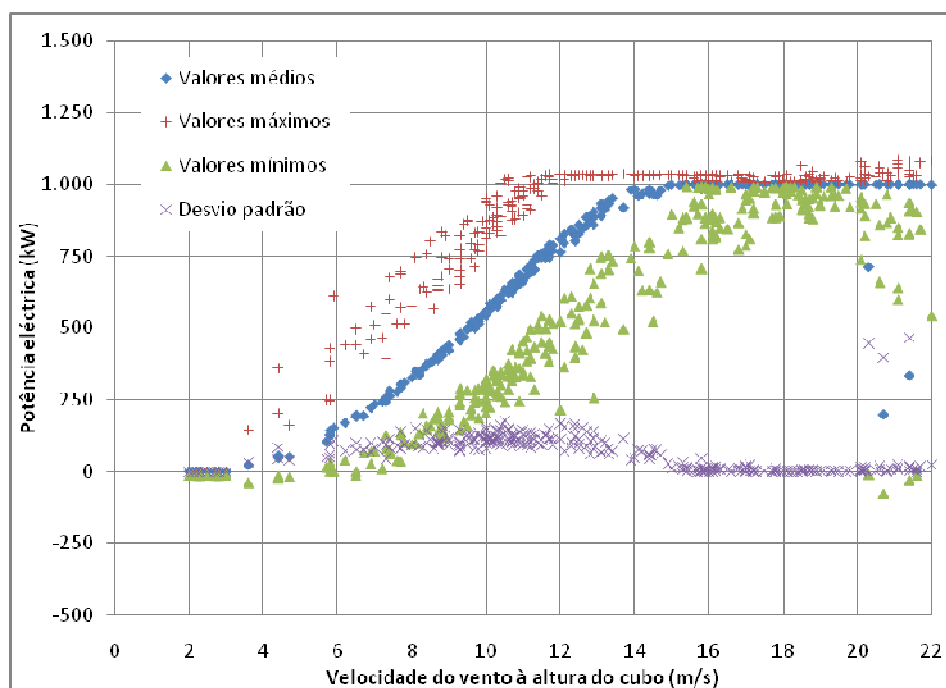
- *Descrição do procedimento de medição (ver ponto 4): documentação das etapas processuais, das condições de teste, da taxa de amostragem, período das médias, e livro de registo de todos os eventos ocorridos durante o ensaio de verificação do desempenho de curva de potência;*
- *Apresentação dos dados (ver 4.3 a 4.6): os dados devem ser apresentados em forma de tabela e forma gráfica, fornecendo estatísticas de potência de saída medida em função da velocidade do vento e dos parâmetros meteorológicos importantes. Os gráficos da média, desvio padrão, máxima e mínima potência de saída em função da velocidade do vento e da dispersão da velocidade média do vento e da intensidade da turbulência em função de direcção do vento para cada conjunto de dados seleccionado, deve ser apresentado. Exemplos de gráficos de dispersão da potência de saída relativos aos dados do teste de desempenho, são mostrados na figura 2.*

*Bases de dados especiais compostas por dados recolhidos sob condições operacionais especiais ou condições atmosféricas especiais, devem também ser apresentados conforme acima descrito;*

- *a apresentação da curva de potência medida para ambas as densidades do ar de referência deve contemplar as representações em forma de tabela e em forma gráfica. A densidade do ar de referência deve ser indicada em gráfico e em tabela. Para cada “bin”, o quadro deve incluir a velocidade média do vento normalizada e a média normalizada da potência de saída, número de conjuntos de dados e as incertezas normalizadas de categoria A, categoria B e combinada. Deverá ser apresentada uma representação gráfica dos mesmos dados da velocidade do vento, da potência de saída e das incertezas combinadas tal como na tabela. Um exemplo de uma curva de potência medida é mostrado na tabela 1 e uma representação gráfica da curva de potência, é fornecido na figura 3.*

*Curvas de potência especiais constituídas por dados recolhidos sob condições de operação ou atmosféricas especiais, deve também ser apresentado conforme acima descrito;*

- *Apresentação da AEP estimado: deve ser fornecida uma tabela com os valores da AEP estimada, calculada a partir da curva de potência medida e extrapolada. A tabela deverá indicar a densidade do ar de referência e a velocidade do vento de paragem da máquina. Para cada velocidade média anual do vento, o quadro deve incluir a AEP medida, as incertezas da AEP medida, e a AEP extrapolada. A tabela deve ser referenciada como incompleta nas velocidades de vento média anual onde a AEP medida é inferior a 95% da AEP extrapolada;*
- *Apresentação do coeficiente de potência: devem ser fornecidas em tabelas e gráficos representações do coeficiente de potência em função da velocidade do vento;*
- *Devem ser fornecidos todas as incertezas assumidas em relação a cada um dos componentes;*
- *Desvios: quaisquer desvios relativamente aos requisitos desta norma devem ser claramente documentados no relatório de ensaio e apoiado com a justificação técnica racional para cada desvio.*



*Figura 2 - Apresentação de um exemplo de dados: gráficos de dispersão do teste de desempenho de potência*  
(Fonte: Norma IEC 61400)

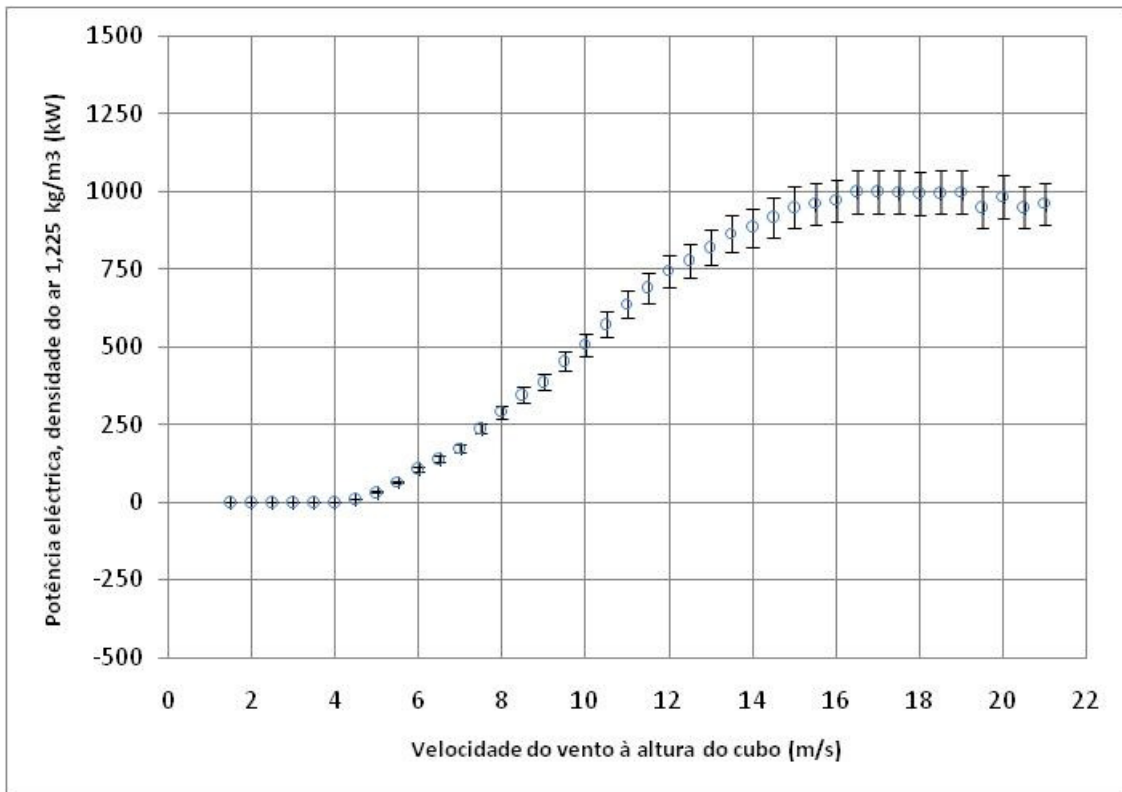


Figura 3 - Apresentação de exemplo de medição de curva de potência  
(Fonte: Norma IEC 61400)

Tabela 1 – Exemplo de apresentação da curva de potência medida  
(Fonte: Norma IEC 61400)

Curva de potência medida Densidade do ar de referência 1,225 kg/m <sup>3</sup>				Incerteza categoria A	Incerteza categoria B	Incerteza combinada
"Bin" "Nº" i	Velocidade do vento à altura do cubo V <sub>i</sub> m/s	Potência de saída P <sub>i</sub> kW	Nº de conjuntos de dados N <sub>i</sub> Méd. 10 min	Incerteza padrão S <sub>i</sub> kW	Incerteza padrão U <sub>i</sub> kW	Incerteza padrão U <sub>c,i</sub> kW
1	1,59	-0,85	8	0,00	6,31	6,31
2	2,02	-0,74	15	0,08	6,30	6,30
3	2,51	-0,81	18	0,05	6,30	6,30
4	3,04	-0,50	22	0,09	6,30	6,30
5	3,53	-0,57	27	0,10	6,30	6,30
6	4,04	0,16	41	0,67	6,31	6,35
7	4,55	7,32	55	1,02	7,21	7,28
8	4,99	25,90	61	1,22	12,45	12,51
9	5,54	61,43	54	1,98	18,40	18,50
10	6,00	93,16	95	1,51	20,13	20,19
11	6,47	129,78	90	1,87	23,71	23,78
12	6,97	174,46	81	2,55	27,32	27,44

Aferição de Desempenho Operacional de Parques Eólicos

13	7,53	231,77	68	2,91	33,10	33,23
14	8,02	283,63	61	2,79	34,56	34,67
15	8,52	339,55	73	3,56	39,19	39,35
16	9,00	387,22	69	3,36	35,38	35,54
17	9,51	445,98	69	2,91	42,88	42,98
18	9,99	504,41	81	2,58	46,23	46,30
19	10,50	565,17	79	2,86	47,72	47,80
20	11,01	620,67	74	3,73	44,69	44,85
21	11,50	680,87	78	3,07	53,04	53,13
22	12,02	731,22	85	3,42	43,10	43,24
23	12,46	770,77	80	4,00	41,44	41,64
24	13,03	820,11	102	2,63	41,46	41,55
25	13,53	850,86	88	3,57	31,81	32,01
26	13,99	884,94	79	4,68	37,79	38,08
27	14,47	923,82	85	3,36	42,99	43,12
28	14,98	940,46	61	4,59	21,13	21,62
29	15,49	956,59	28	7,35	21,01	22,25
30	15,92	972,27	27	7,19	23,81	24,87
31	16,50	990,54	33	3,46	21,99	22,26
32	16,93	994,74	14	7,80	14,15	16,16
33	17,45	987,43	12	3,00	15,38	15,67
34	18,01	976,59	23	10,26	17,36	20,16
35	18,51	980,11	23	4,71	13,58	14,37
36	18,91	984,33	13	6,84	14,52	16,05
37	19,50	954,56	5	12,15	35,38	37,40
38	20,01	975,12	7	9,84	29,91	31,49
39	20,53	934,42	8	9,46	55,36	56,16
40	20,97	952,60	5	11,97	31,26	33,47

Tabela 2 – Exemplo de apresentação da produção estimada anual de energia  
(Fonte: Norma IEC 61400)

Produção estimada anual de energia				
Densidade do ar de referência 1,225 kg/m <sup>3</sup>				
Velocidade do vento de paragem: 25 m/s				
(extrapolação por potência constante do último "bin")				
Média anual da velocidade do vento à altura do cubo (Patamares) m/s	AEP – medida (curva de potência medida) MWh	Incerteza da curva de potência medida em termos de desvio padrão da AEP MWh, %		AEP – extrapolada (curva de potência extrapolada) MWh
4	412	111	27 %	412
5	911	154	17 %	911
6	1 536	191	12 %	1 536
7	2 207	219	10 %	2 214
8	2 847	236	8 %	2 880
9	3 395	245	7 %	3 487
10	3 812	248	6 %	4 001
11	4 092 incompleto	245	6 %	4 403

## Anexo B

### **“Anexo B** *(informação)*

#### **Calibração do local do ensaio**

*O objectivo de uma calibração experimental do local de ensaio é determinar os factores de correcção da distorção do fluxo devida à topografia do local de ensaio. A calibração do local de ensaio deve ser realizada através da recolha de dados de velocidade do vento e de direcção do vento à altura do cubo do aerogerador, num mastro meteorológico temporário instalado na base da fundação onde será instalado o aerogerador que vais ser submetido ao ensaio e no mastro meteorológico que será utilizado para o ensaio de medição da curva de potência.*

*As medições de velocidade de vento e de direcções de vento deve seguir os requisitos da cláusula 3. A recolha dos dados devem seguir os procedimentos descritos no ponto 4.3 e a selecção de dados deve seguir o estabelecido no ponto 4.4. Os dados devem ser classificados por sectores de direcção do vento com uma largura máxima de 30°. Para cada sector de direcção do vento, devem ser adquiridos um mínimo de 24 h de dados, na gama de velocidades de vento entre os 5 m/s e os 10 m/s.*

*Para os mastros meteorológicos, devem ser estabelecidos factores de correcção da distorção do fluxo para cada sector da direcção do vento, através da regressão dos dados de vento medidos na localização da turbina eólica, para os dados de vento medidos no mastro de referência.*

*As incertezas relacionadas com a medição dos factores de correcção da distorção do fluxo devem ser obtidas a partir das medições. Devem ser aplicados os procedimentos para a análise das incertezas, conforme descrito*

*no anexo C. A incerteza estimativa deve ser usada quando da aplicação dos factores de correcção da distorção do fluxo, mas a incerteza estabelecida, não deve ser inferior ao exigido no ponto 2.2.3.” [IEC61400]*

## **Anexo C**

Catálogo do “Data logger” utilizado na torre meteorológica permanente do parque eólico de Madrinha.



## Data Logger Meteo-32X

Order-No: P 2520.3

- 18 Channel data logger for Meteorological Applications
- Detailed statistics & measurement data set
- Minimal power consumption
- Weathers extreme weather conditions
- Serial port for PC/Laptop, Telephone, GSM



### Recording measurements

The **METEO-32X** is a data logger specially developed for meteorological data logging. It registers all relevant data for a detailed weather observation: wind speeds (at three heights), wind direction (at two heights), air temperature, and humidity, atmospheric pressure, global radiation, rain and some extended channels at your disposal.

The Data logger collects the data at selected intervals. A variety of evaluation functions are available, and the memory capacity allows unsupervised automatic operation over a period of months or even years. Measurement datasets are available as text files so that standard programs can be used for the evaluation (such as MS Excel).

The Data Logger is also able to calculate additional statistics in a form suitable for basic energy calculations. This speeds up the evaluation process, and energy estimates can be made using the "ALWIN" software program (available as freeware).

### Data interface

The AMMONIT data logger has a serial RS232 interface, and we supply CALLaLOG software (Windows 9x++). This makes it easy to program the data logger, and data can also be transferred automatically.

The logger can be fitted with a standard or GSM modem. The GSM-system offers the ideal solution if no telephone line is accessible, and the SMS function means it is easy to monitor the system by mobile phone.

### Power supply

The data logger is powered by two Alkaline Batteries (9V 6LR61 - PP3). They can be replaced by Lithium batteries. It can also be linked up to an external power source, and this may be necessary for some sensors. A small photovoltaic system is available as an accessory, which is sufficient to operate the entire measurement set-up including the sensors and GSM-system.

### Sensors

Low-energy, high-precision sensors are available for the system. There are many different types of anemometer, and we recommend comparing the technical specifications carefully before making a final choice. For energy predictions, you should have the chosen anemometer calibrated individually.

### Installation and maintenance

All AMMONIT data loggers are designed for permanent automatic operation in exposed positions. If the system is provided with a remote monitoring facility and the small solar system as power supply then the only maintenance that is necessary is an occasional check that the sensors are working properly.

It is crucial that the system is installed with care. Even though the logger is weatherproof, it is advisable to install it in a metal cabinet with a lock and a good earth connection, as additional protection against freak weather conditions and also against theft and vandalism. Ammonit offers a variety of suitable cabinets. All accessories are also available separately for self-installation.

It is important to make sure that all sensor cables are attached securely to the mast. If the cables become damaged then moisture might find its way into the cabinet or into the logger itself.



### Specification Meteo-32X:

<b>Input channels</b>	3 x Wind speed 2 x Wind direction 1 x rel. air humidity 1 x Air temperature 1 x Air pressure 1 x Global radiation 1 x Rain 2 x 16-bit-counter 4 x 12-bit-ADC 2 x Status
<b>Housing</b> - protection - dimensions - weight - connectors	IP65, connectors IP67 120 x 200 x 75mm approx. 1,2 kg (incl. batteries) screwed miniature round-socket, Binder series 723
<b>Power Supply</b> - operation - external - current	2 Alkaline-Batteries (9V E-Block - 6LR61 - PP3) can be replaced by Lithium batteries input 12 V <sub>DC</sub> 10...24 Volt (connector supplied) approx.: 0,5 mA (between the measurements), 45 mA (Meas. Operation)
<b>Temperature</b> - operation - Display readable	- 40 ... + 85 °C - 10 ... + 50 °C
<b>Memory</b>	4000 kByte non-volatile memory (EEPROM) recorded app. 2.000.000 values
<b>Clock</b> Backup-Battery	Buffered real time clock, accuracy -30°C ... +60°C: < 5 ppm 3V Lithium Button Cells CR2032, approx. 180...230mAh
<b>Digital out</b>	Open-Drain, 12 ... 24VDC, ca. 20 mA
<b>Data output</b>	Display, 2 x 16 character double spaced serial RS232, RS485, 38400 bps, 8E1
<b>Series meas.</b> - Scan interval - Log interval - Configuration - Functions	1 .. 60 seconds 1 .. 9999 scan intervals Shift register, subdivided in daily data blocks Average, maximum, minimum, standard deviation
<b>Statistics</b> - Scan interval - Log interval - Configuration - Evaluation	1 minute Monthly according to real time calendar Shift register, subdivided in 4 statistic blocks 29 classes à 1 m/s wind speed distribution (2 heights) sectors wind rose with unique distributions (anemometer 1)
<b>Included in delivery</b>	User's manual, Batteries, drying agent, PC-cable, 3-pol. Stecker (ext. supply), Software CALLaLOG02.
<b>Recommended sensors</b> - Wind speed - Wind direction - Temperature - Temperature/humidity - Air pressure - Rain	P6100H, P6121H, P6140H, P6150H, P6181 P6200H, P6220H, P6245H P6311 P6312 P6330.2, P6331.2 P6360H, P6363H
<b>Fitting accessories</b> - Steel cabinets / options	P9106.2, P8150M.63, P8270M



## Communication Systems:

### Requirements for each hardware

Hardware	Interface	Logger Online	SMS	Email	Ammonit-Website
PC-Cable	USB, COM	x			
GSM Modem TC35	GSM-Network	x	x		
GSM/GPRS TC63	GSM/GPRS-Network	x	x	x	x
Satellite-Modem	Satellite-Connection	x			
COM-Transfer	LAN-Network (TCP/IP)	x			
Bluetooth	USB, COM	x			
Cable to SCADA-System of WEA Manufacturers	RS 485 Interface with data logger	x			

### Data transfer - Options

Type of connection	Logger configuration	Modem settings	Switch	Collection of Info & Warnings	Access of stored data
Logger Online	x	x	x	x	x
Txt- Message		x	x	x	
Email				x	x

Overview of Channels		WICOM-32	METEO-32	METEO-32X
Anemometers (*1)	16-bit Counters	3	4 (*1)	6 (*1)
Wind Vanes (*2, *3 + *4)	12-bit ADC	2	2 (*4)	2 (*2 + *3 + *4)
Thermometer (*3)	12-bit ADC		1	1 (*3)
Hygrometer (*3)	12-bit ADC		1	1 (*3)
Barometer (*3)	12-bit ADC		1	1 (*3)
Pyranometer (*4)	12-bit ADC		1 (*4)	1 (*3 + *4)
Precipitation (*1)	16-bit Counter		(*1)	(*1)
12-bit ADC (*3)	12-bit ADC			4 (*3)
Status (0 or 1)				2
<b>Total number of channels</b>		<b>5 channels</b>	<b>10 channels</b>	<b>18 channels</b>

\*1) A precipitation sensor can be connected instead of a 4th anemometer (Meteo-32) and 6th anemometer (Meteo-32X).

\*2) Up to 7 wind vanes can be connected, refer to (\*3) & (\*4)

\*3) 4 additional analogue sensors can be connected: wind vanes, thermometer, hygrometer, barometer ultra-sonic, pyranometer, propeller anemometer.

\*4) A 3rd wind vane could be connected, instead of a pyranometer

## **Anexo D**

Fotografias do parque eólico de Madrinha





Aferição de Desempenho Operacional de Parques Eólicos



