

dimensionamento de pequenos sistemas eletroprodutores híbridos

COM FONTES RENOVÁVEIS, PARA AUTOCONSUMO

O objetivo deste artigo é o de apresentar ao leitor um método (acompanhado de um exemplo) que permite determinar a combinação e potências ótimas a atribuir a diversos tipos de fontes renováveis e não renováveis, para abastecimento de uma instalação elétrica isolada da rede pública.

Edgar Franco
António André

1. Introdução

Nos últimos anos, vários fatores têm levado a um crescente interesse em soluções baseadas em fontes renováveis para abastecimento dos consumos energéticos dos mais diversos tipos de instalações de utilização. Essa procura tem como objetivo a alimentação das necessidades energéticas para aquecimento ambiente, preparação de Águas Quentes Sanitárias (AQS) e ainda a alimentação de recetores elétricos.

O decréscimo dos preços das tecnologias para aproveitamento das energias renováveis, o aumento dos preços da eletricidade e a regulamentação referente aos requisitos de desempenho energético dos edifícios têm vindo a estimular esse interesse. A última versão da "Energy Performance of Buildings Directive", recentemente transcrita para a legislação nacional através do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto e respetivas portarias e despachos complementares, destaca o conceito de "near-Zero Energy Buildings (nZEB)".

Consideram-se como nZEB, os edifícios que dispõem de elevados níveis de eficiência energética e que são complementados por aproveitamentos renováveis para abastecimento de praticamente 100% das respetivas necessidades energéticas. Nesse diploma é requerido que a partir de 2019 todos os novos edifícios ocupados e detidos por autoridades públicas sejam nZEB, e no final de 2020 esse requisito seja alargado a todos os novos edifícios (incluindo privados).

Neste artigo apresenta-se um caso de estudo executado no âmbito do relatório final de estágio de António André – ex-aluno e detentor do Curso de Especialização Tecnológica em Energias Renováveis concedido pelo Instituto Politécnico de Leiria. O trabalho consistiu no levantamento dos consumos energéticos do edifício MercoAlcobaça – um imóvel de serviços localizado em Alcobaça – e no dimensionamento de um Sistema Eletroprodutor Híbrido (SEH) dotado de fontes renováveis e não renováveis para proceder ao seu abastecimento.

A configuração ótima do SEH foi determinada em função da disponibilidade de recursos primários renováveis, dos custos de combustíveis e equipamentos, de requisitos técnicos estabelecidos pelo projetista, entre outros fatores. A finalidade deste estudo é a de se obter uma solução "otimizada" e que garanta o cumprimento de "restrições" por nós definidas.

Este tipo de abordagem corresponde à formulação de um problema de otimização em que se pretendem minimizar, simultaneamente, o montante

do investimento inicial e o somatório (desde o ano 0 até ao horizonte de projeto – estabelecido em 20 anos) dos custos de Operação e Manutenção (O&M), do custo de produção de cada kWh de eletricidade e ainda dos Impactos Ambientais.

As restrições impostas consistiram no facto de se pretenderem elevados níveis de fiabilidade, designadamente para garantir que a quantidade de eletricidade produzida é sempre suficiente para abastecimento da instalação. Pretende-se ainda uma fração renovável mínima de 80% e que os geradores Diesel sejam impedidos de operar durante o período entre as 8 e as 23h.

A resolução de um problema deste género dispõe de um nível de dificuldade considerável, não só pela complexidade matemática, mas ainda pelo facto de se necessitar de determinar o funcionamento temporal do sistema sob as mais diversas condições climáticas. Assim, este tipo de formulação requer que se determinem não só os níveis de produção de cada um dos geradores renováveis e não renováveis ao longo de cada dia do ano, mas também o estado de carga das baterias de acumuladores, os momentos em que se verifica insuficiência de produção, entre outros parâmetros. Nestes termos, verifica-se a necessidade de se utilizar uma ferramenta computacional que disponha dessa capacidade, tendo-se optado pelo *software* Homer®.

2. Caracterização do edifício e levantamento dos consumos energéticos

O edifício MercoAlcobaça foi inaugurado em 1990 como Mercado Abastecedor de Produtos Agrícolas. Devido às contingências do mercado agrícola, por volta do ano 2000 o edifício deixou de servir essa função. Atualmente, o espaço onde funcionava o mercado abastecedor é utilizado como pavilhão multiusos, onde se realizam feiras e outros eventos. Nas outras divisões do edifício encontram-se ainda um restaurante e as associações AVAPI e TrevoOeste.

Os pontos de utilização do pavilhão multiusos, da AVAPI e TrevoOeste, bem como as instalações de iluminação exterior do parque de estacionamento, acessos e alpendres em redor ao edifício são alimentados por uma instalação elétrica comum, que por sua vez é abastecida em Baixa Tensão (BT) a partir da rede pública. O restaurante é abastecido por uma baixada independente, igualmente proveniente da rede pública de BT.

Na Figura 1, apresenta-se a vista aérea do edifício MercoAlcobaça com a identificação dos diversos espaços e zonas envolventes:



Figura 1 Vista aérea do edifício MercoAlcobaça e sua envolvente, bem como a identificação dos espaços listados abaixo.

Os espaços assinalados na Figura 1 são:

1. Instalações da AVAPI;
2. Instalações da TrevoOeste;
3. Pizzaria El-Rei;
4. Pavilhão Multiusos;
5. Hall de Entrada;
6. Parque de estacionamento na frente do edifício;
7. Parque de estacionamento nas traseiras do edifício;
8. Espaço de exposição no exterior e de divertimentos/jogos;
9. Rua General Humberto Delegado, que efetua a ligação à rotunda do Hospital e à saída para Leiria;
10. Rotunda do Merco;
11. Estrada Nacional 8 à entrada Alcobaça, que efetua a ligação à Nazaré e à autoestrada A8;
12. Avenida Eng.º Joaquim Vieira Natividade, com ligação ao centro da cidade;
13. Rua Mariana Coelho Bernardo;
14. Edifício do hipermercado Modelo/Continente;
15. Edifício do lar da Misericórdia de Alcobaça;
16. Espaço onde se realiza o mercado semanal (à segunda-feira).

Pelo facto do abastecimento de todas as necessidades energéticas do presente edifício ser assegurado através do vetor eletricidade, o primeiro passo do trabalho consistiu na obtenção de um diagrama de cargas de uma semana típica. Para o efeito, procedeu-se ao registo dos consumos através da ligação de um analisador de energia ao Quadro de Entrada da instalação elétrica, (o qual registou as diversas grandezas elétricas em intervalos de 5 minutos), conforme se apresenta nas Figuras 2 e 3.

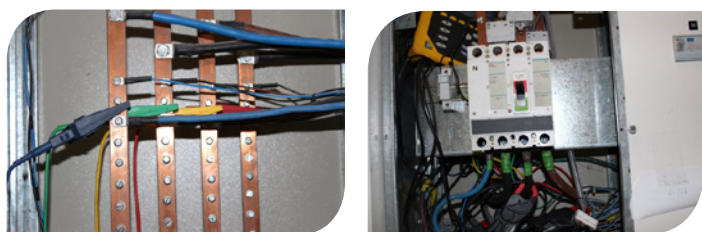


Figura 2 Pormenores de ligação do analisador de energia ao Quadro de Entrada: a) Ligação das pinças de tensão às barras das 3 fases e do neutro do barramento principal. b) Instalação das pinças de corrente em volta de cada um dos condutores de fase e neutro da canalização estabelecida entre o contador de eletricidade e o interruptor de corte geral.



Figura 3 Ligação do analisador de energia no Quadro Principal do edifício MercoAlcobaça.

Na Figura 4 apresenta-se um gráfico que dispõe do registo da potência aparente média verificada em cada hora de cada dia em que se realizaram as medições dos consumos de eletricidade.

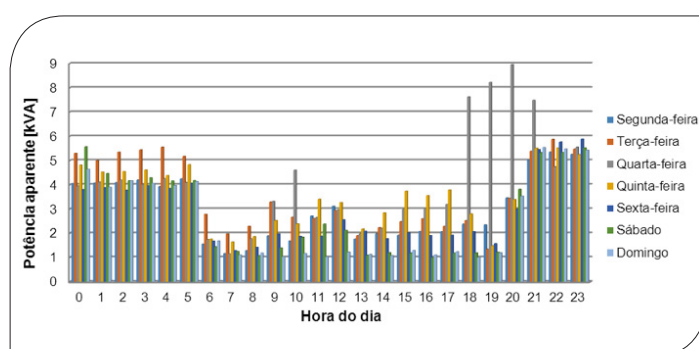


Figura 4 Consumos médios, em cada hora, dos dias de uma semana típica de consumo do Edifício MercoAlcobaça.

Analisando globalmente os valores das potências aparentes absorvidas em cada hora do dia, verifica-se que o perfil diário de consumo de eletricidade é relativamente idêntico ao longo da semana, sendo mais elevado do que em dias de fim de semana. Nota-se ainda que entre as 18 e 21h das Quartas-Feiras se verifica um acréscimo de consumo, que se deve ao facto do "Alcobaça Clube de Ciclismo" utilizar as instalações para atividades de treino.

Verifica-se ainda que o período em que se registam consumos mais elevados se encontra compreendido entre as 20h e as 6h, pelo facto de se encontrarem em funcionamento as luminárias exteriores. É importante referir que não existiu nenhuma feira durante o período de realização das medições e que, muitas vezes, parte dos consumos elétricos verificados durante as mesmas são abastecidos através de geradores dos próprios feirantes ou da entidade organizadora do evento.

Desde modo, os consumos verificados em dias de feira não serão considerados na conceção do SEH pelo facto de resultar num sobredimensionamento considerável do mesmo, que iria aumentar drasticamente o investimento inicial e os excessos de produção de eletricidade nas alturas em que se verificam maiores disponibilidades dos recursos renováveis.

Na presença destes dados, o próximo passo consistiu na construção dos diagramas de carga típicos de dias de semana e de dias de fim de semana, os quais se apresentam na Figura 5.

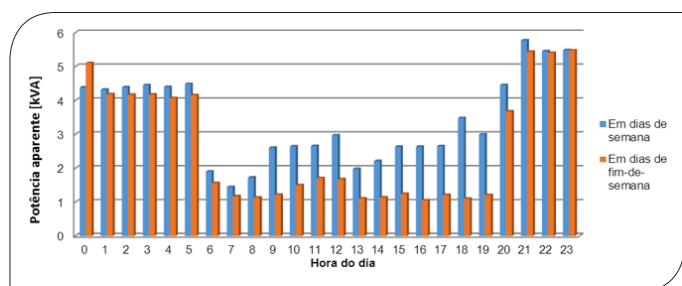


Figura 5 Diagramas de cargas de dias característicos de semana e de fim de semana.

Além dos diagramas de carga típicos de dias de semana e de fim de semana, o software Homer® requer ainda informações relativas à variabilidade expetável da carga, designadamente:

- **Desvio padrão médio relativo para cada hora, de cada dia:** Através da aplicação da respetiva fórmula aos valores das potências registadas em cada período de 5 minutos, de cada hora. Após se obterem esses valores para todas as horas da amostragem, determinou-se a média das mesmas, cujo resultado foi de 50,39%;
- **Desvio padrão médio relativo para cada dia:** Através da determinação da média dos valores obtidos no passo anterior, para cada um dos dias da semana (apenas como passo intermédio para o valor a obter no passo seguinte);
- **Desvio padrão médio relativo de um dia típico:** Através da determinação da média dos valores obtidos no passo anterior, e que cujo resultado foi de 17,26%.

Por fim, conforme se pode verificar na Figura 6, procedeu-se à introdução das potências médias horárias para dias de semana e de fim de semana, bem como os valores das médias do desvio padrão relativo diário e horário, nos respetivos campos da janela "Primary Load Inputs" do software Homer®.

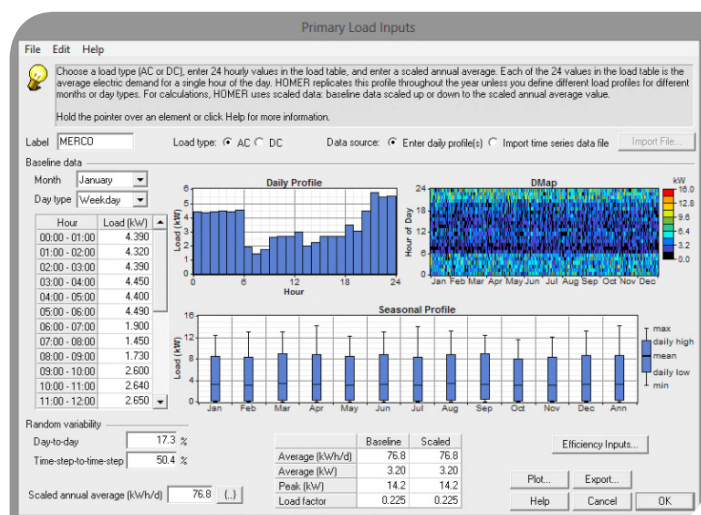


Figura 6 Janela de introdução das informações relativas à carga a abastecer.

3. Caracterização dos recursos renováveis e não renováveis

Os dados relativos à caracterização do recurso solar e às temperaturas médias mensais que se verificam no local da instalação foram obtidos a partir do portal PVGIS da instituição JRC Europe [1]. Na Figura 7 apresenta-se a introdução desses valores no programa, juntamente com as coordenadas geográficas do local:

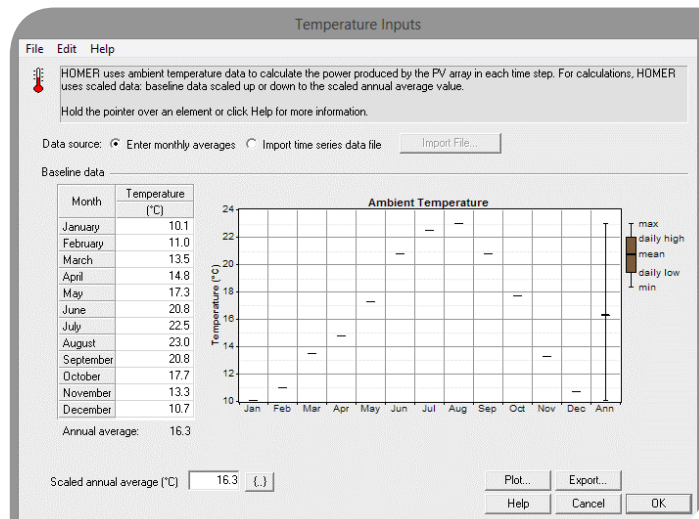
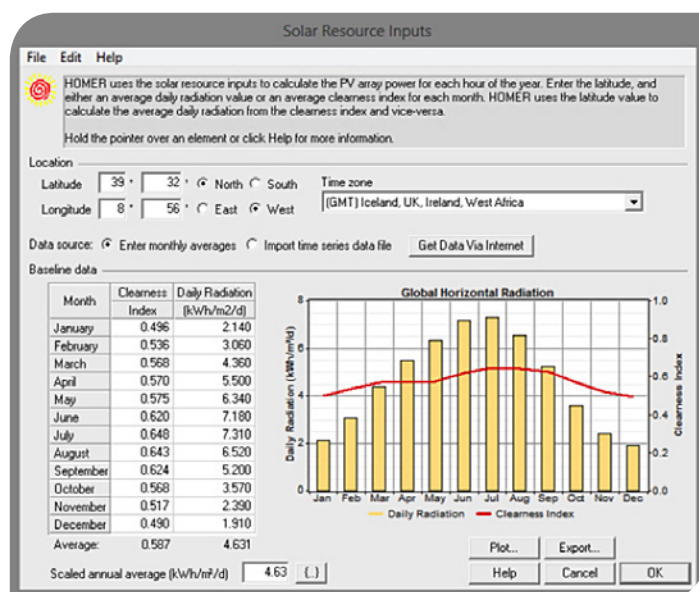


Figura 7 Janelas de configuração do recurso solar e temperatura e respetivos valores na localização do MercoAlcobaça.

A velocidade do vento foi obtida a partir de dados provenientes da estação meteorológica instalada na Estação Nacional de Fruticultura Vieira Natividade, na Quinta da Roda. Não sendo exatamente na zona onde se situam as instalações, supõe-se que não deverão existir grandes diferenças, ou a existirem serão por defeito, já que o edifício MercoAlcobaça se situa numa zona mais exposta do que a zona onde foram registados os dados.

Para uma melhor caracterização da variabilidade do recurso eólico, foram também introduzidos os valores dos parâmetros necessários para a definição de uma distribuição probabilística do Weibull [2]. O parâmetro k assume o valor de 2, o fator de autocorrelação horária é de 0,85 e a taxa média de variação da velocidade do vento ao longo do dia é de 0,25. Estima-se que tipicamente se registam maiores velocidades do vento por volta das 20h. Na Figura 8 apresenta-se a introdução dos dados suprarreferidos no software Homer®.

No SEH proposto irá igualmente testar-se a instalação de geradores Diesel, para servirem de apoio aos renováveis. Para proceder a esse teste é necessário definir-se um preço-base para o combustível e uma possível gama de variação do mesmo, para que se possa avaliar a influência das suas variações na configuração ótima do sistema.

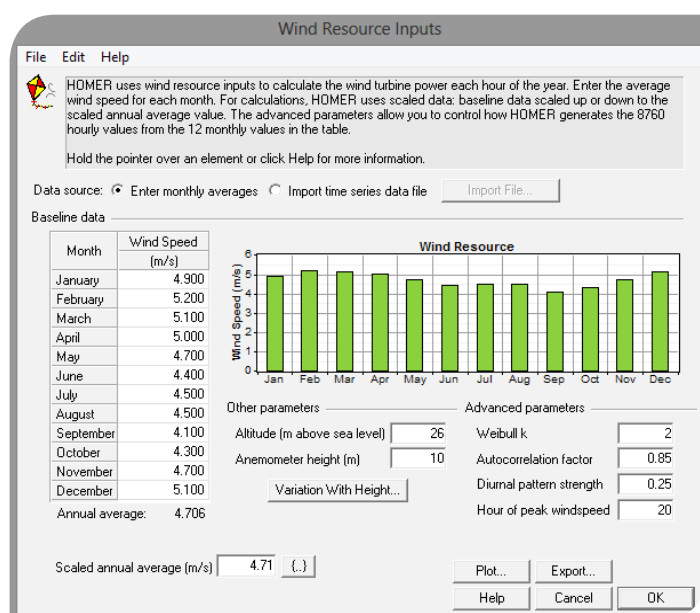


Figura 8 Janela de configuração do recurso eólico.

Devido ao facto do *software* Homer® representar as unidades monetárias com o símbolo do dólar, optou-se por realizar a conversão de todos os preços para essa moeda, já que a introdução de valores em euros junto do símbolo do dólar poderia causar confusão ao leitor.

Utilizou-se como base o preço médio de venda de Diesel de 2013 até à data de consulta desses valores, que era de 1,9\$/litro [3]. Testaram-se ainda variações de +5%, -5%, e +10%, relativamente a esse preço, conforme se apresenta na Figura 9.

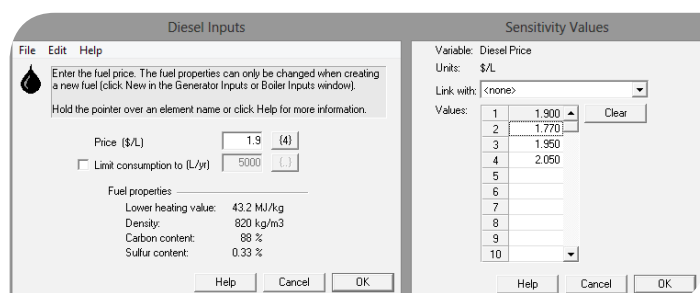


Figura 9 Janela de configuração dos preços de Diesel.

4. Componentes em teste para a definição do SEH

Uma das principais variáveis avaliadas pelo *software* Homer®, aquando da determinação da configuração ótima do sistema, é o investimento inicial a realizar em cada tipo de aproveitamento.

Apesar dos referidos preços terem sido obtidos através de contactos telefónicos com empresas do setor, estes podem não corresponder com exatidão aos acessíveis às empresas instaladoras deste tipo de aproveitamentos. Todavia, julgam-se dispor de um nível de imprecisão que não compromete os resultados obtidos no processo de simulação. Estes resultados dependem não só dos montantes de investimento em cada uma das soluções possíveis, mas também dos custos de O&M, do próprio custo da eletricidade produzida, da fiabilidade do sistema e ainda dos níveis de emissões poluentes.

4.1 Aproveitamento solar fotovoltaico

Um dos componentes a testar na definição do SEH é o gerador fotovoltaico. Após a realização de um processo de pesquisa de soluções e preços, verificou-se que seria mais favorável proceder à instalação de painéis fotovoltaicos Sanyo HIT-240HDE4 de 240 W [4] num seguidor solar de 2 Eixos equivalente ao modelo SSx0203 da Metalogalva [5].

O gerador fotovoltaico será dividido em várias *strings*, cada uma dotada de vários módulos ligados em série, cuja configuração apenas poderá ser definida após a determinação da potência do aproveitamento fotovoltaico. Este será ligado a um inversor análogo aos da série Sunny Tripower da SMA de modelo e potência apenas possíveis de definir após o processo de simulação.

Relativamente aos montantes indicativos de investimento, obteve-se um preço de \$416,16 por módulo fotovoltaico, correspondendo a custo de cerca de 1760\$/kW. Para o inversor utilizou-se o preço de referência do modelo Sunny Tripower 15000TL da SMA [6], que é de \$3844, o que corresponde a cerca de 260\$/kW.

O seguidor solar utilizado como referência dispõe da capacidade de albergar 63 painéis Sanyo HIT-240HDE4 (que correspondem a cerca de 15 kW). Como este dispõe de um custo de \$13234, verifica-se a sua utilização para a instalação destes módulos fotovoltaicos corresponde a um custo de cerca de 880\$/kW.

Foram ainda considerados outros custos, designadamente os decorrentes das obras de construção civil, estabelecimento de canalizações e quadros elétricos, caixas de ligação, mão-de-obra diversa e outros, os quais se estimam rondar 875\$/kW.

Na presença destes valores, estima-se que aproveitamento fotovoltaico disponha de um montante de investimento unitário de cerca de 3775\$/kWp. Considerando que, no caso de substituição do mesmo, os custos sejam ligeiramente inferiores, pois será sempre possível aproveitar parte do material já instalado, estima-se que o preço de substituição ronde 3453\$/kW. Os custos de O&M foram calculados na base de 2,5% do investimento inicial, o que corresponde a cerca de 94,3\$/ano/kW.

Conforme se pode verificar na Figura 10, definiu-se uma gama de potências de teste para o aproveitamento compreendida entre 5 e 25 kWp, com intervalos de 5 kWp, selecionou-se o sistema de seguimento solar de 2 eixos e introduziram-se as grandezas elétricas dos painéis que são apresentadas na referência [4]. Os restantes parâmetros foram deixados com os respetivos valores padrão.

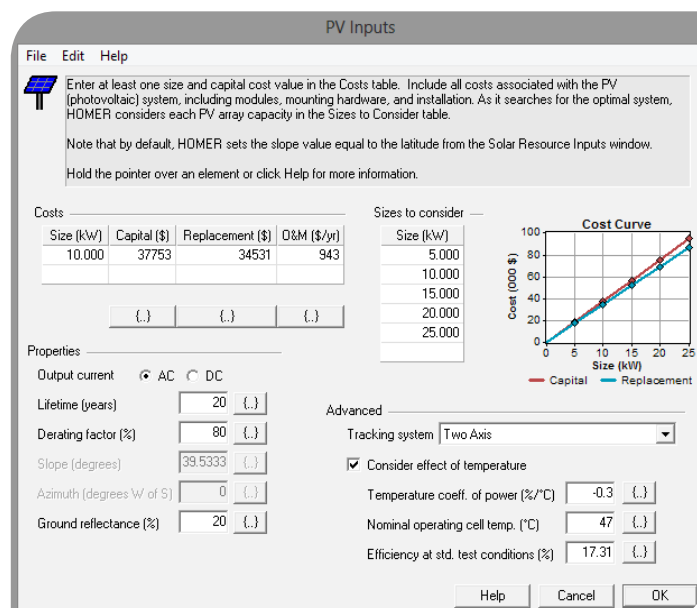


Figura 10 Janela de configuração do gerador fotovoltaico.

4.2 Aproveitamento eólico

Testou-se igualmente a possibilidade de instalação de um aproveitamento eólico, pelo facto da localização geográfica do edifício ser potencialmente favorável. Para tal, foram testados dois aerogeradores de diferentes potências, designadamente:

- **Bergey Excel 10 kW** [7];
- **Westwind 6 kW** [8].

No caso do aerogerador Bergey Excel 10 kW dispor do cubo do rotor instalado 20 metros acima do solo, estima-se que custo total (incluindo transporte e instalação) seja de \$68678, e o custo de substituição seja de \$54943 (80% do investimento inicial). No caso de se optar por uma torre de 30m, estima-se que os valores anteriores sejam acrescidos de 10%. Os custos anuais de O&M foram calculados na base de 3% do investimento inicial, correspondendo a cerca de 2061\$/ano. Na Figura 11 apresenta-se a introdução dos dados suprarreferidos no *software*.

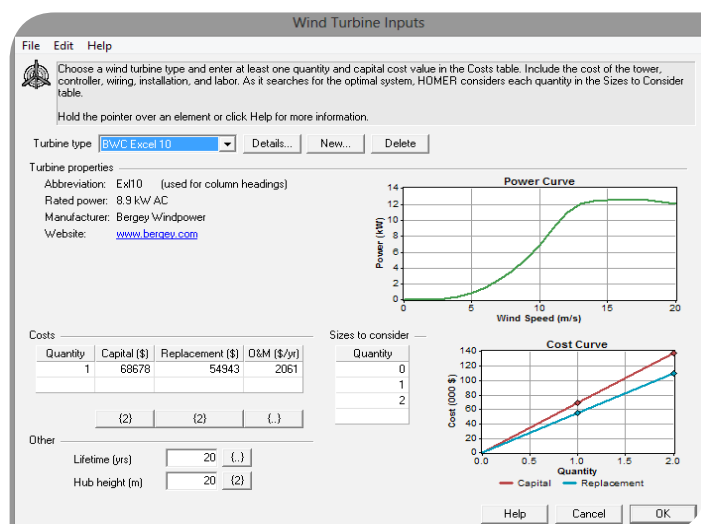


Figura 11 Janela de configuração do aerogerador Bergey Excel 10 kW.

No caso do aerogerador Westwind 6 kW dispor do cubo do rotor instalado a 10 metros acima do solo, o custo total do mesmo (incluindo transporte e instalação) é de cerca de \$40806 e o custo de substituição é de cerca de \$27888 (80% do investimento inicial). No caso de se optarem por torres de 12, 15 ou 18 metros, estima-se que os valores anteriores que sejam acrescidos, respetivamente, de 5, 8 e 21%. Estima-se que os custos anuais de O&M rodem os 3% do valor de instalação, correspondendo a cerca de 400\$/ano.

Em ambos os aerogeradores, o espaço de pesquisa inicialmente definido era compreendido entre 0 e 5 unidades. Porém, por se ter verificado ao longo das simulações que as melhores soluções raramente propunham a instalação de mais de 2 aerogeradores. Esta diminuição no espaço de procura resultou no aumento das velocidades de simulação.

4.3 Geradores Diesel

Neste estudo foi igualmente considerada a hipótese de se incluir um (ou vários) gerador(es) Diesel que, em caso de necessidade, deverá(ão) abastecer a instalação. Na simulação foram testados três modelos de geradores que constam no portal *Generator Joe*², com diferentes potências e custos:

- **Sentinel GPED-65K-3**: De 5kW e um custo de \$4620 [9];
- **Centurion 20CP&CP3**: De 15kW e um custo de \$8588 [10];
- **Centurion GJSY-025**: De 20kW e um custo de \$11118 [11].

O custo de substituição dos geradores foi definido como o mesmo preço do investimento. Para a determinação dos custos de O&M seguiu-se uma recomendação encontrada no fórum do portal *Homer Energy* [12]. Nesse tópico é indicado que este pode ser determinado, com relativa aproximação, através do produto de \$0,02 pela potência do gerador, i.e.,

$$C_{O\&M} [\$ / h] = C_{O\&M} [\$ / kWh] \times \text{Potência gerador [kW]}$$

Por precaução, optou-se no presente estudo pelo valor de 0,025\$/kWh.

Na Figura 12 apresenta-se a introdução dos relativos ao gerador Centurion 20CP&CP3 no *software*.

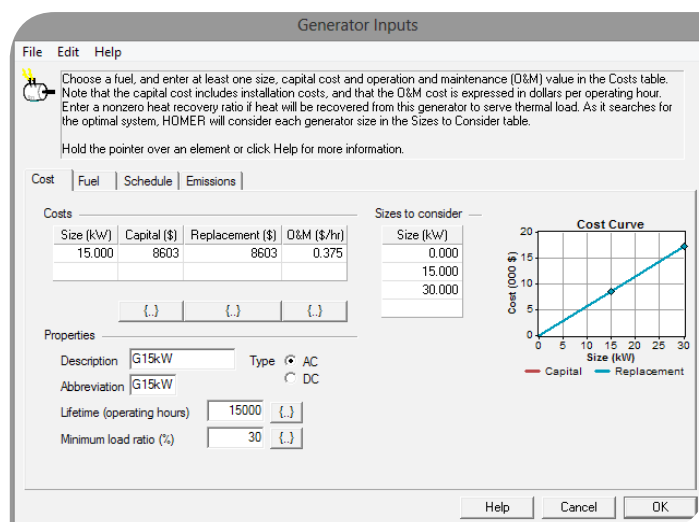


Figura 12 Janela de configuração do gerador Diesel Centurion 20CP&CP3 [10].

No separador "Fuel" selecionou-se o combustível "Diesel" e introduziram-se as informações relativas ao consumo de combustível quando os geradores se encontram a operar, respetivamente, a 50%, 75% e 100% da carga. Essas informações são igualmente disponibilizadas na página web de cada um dos geradores [9, 10, 11].

Relativamente às quantidades de geradores em teste, estabeleceu-se um espaço de pesquisa de 0 a 3 unidades no caso do gerador de 5 kW, de 0 a 2 unidades no caso do gerador de 15 kW e, de 0 a 1 unidade no caso do gerador de 20 kW.

Devido ao facto do presente SEH ser concebido para abastecimento de um edifício de serviços, deste se encontrar junto a um restaurante e de se prever dotá-lo de baterias, estabeleceu-se ainda a obrigatoriedade dos geradores Diesel não operarem durante o período entre as 8h e as 23h.

4.4 Banco de baterias de acumuladores

No presente SEH prevê-se ainda a instalação de um banco de baterias de acumuladores que permita o armazenamento de energia elétrica para um período até 3 dias. Este período de reserva estima-se ser suficiente para possibilitar o abastecimento da carga nos instantes em que se verificam menores disponibilidades dos recursos solar e eólico, e que se desliguem os geradores Diesel durante o período diurno.

Após a realização de um processo de pesquisa de soluções e preços, verificou-se que seria mais favorável proceder à instalação de baterias da marca Trojan e modelo J185H-AC, que dispõe de um nível de tensão de 12V aos seus terminais e uma capacidade nominal de 225 Ah. Pelo facto do *software* não dispor das características desta bateria na sua base de dados, verificou-se a necessidade de introduzirem os dados apresentados na Figura 13 e que constam na referência [13].

2 www.generatorjoe.net

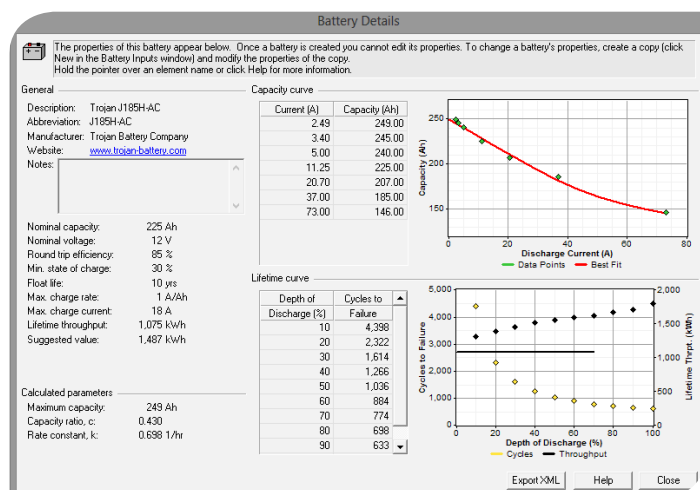


Figura 13 Especificações da bateria Trojan J185H-AC de 12V/225Ah.

Devido ao facto de se ter seleccionado um conversor bidirecional (apresentado em 4.5) que dispõe de um nível de tensão, do lado de corrente contínua, de 120 V verificou-se a necessidade de agruparem as baterias em strings de 10 unidades.

Após a definição do tipo de bateria a utilizar e do nível de tensão de operação do banco de baterias, já se reúnem as condições necessárias para determinar a capacidade de armazenamento necessária para 3 dias, que é de³:

$$C = \frac{W \times n}{V_{bat} \times L_d \times (1 - A_{dd})} = \frac{76800 \times 3}{120 \times 0,7 \times (1 - 0,002)} = 2748 \text{ Ah}$$

A quantidade de strings de baterias de acumuladores a instalar é dada por:

$$n^{\circ} \text{ strings} = \frac{2748}{225} = 12,21$$

Optou-se pela instalação de 12 strings pelo facto de se considerar suficiente dispor de período de reserva de aproximadamente 2,94 dias. O custo nominal desta bateria é de \$425 e o custo O&M estima-se que seja de 2,5\$/ano/bateria. Na Figura 14 apresenta-se a introdução dos custos da bateria, bem como a quantidade de strings e de baterias por string no software Homer®.

4.5 Conversor bidirecional

Finalmente, é igualmente necessário prever a instalação de um conversor bidirecional que permita retificar as tensões quando se necessita de transmitir energia do barramento de corrente alternada para as baterias (para que as mesmas sejam recarregadas), e para inverter as tensões quando se necessita de fornecer energia no sentido inverso.

Considerando que pode ser necessária a utilização do banco de baterias para abastecer a totalidade da carga, e que a potência instalada no edifício MercoAlcobaça é relativamente elevada (principalmente devido à quantidade de luminárias existentes no pavilhão multiusos, que são

3 C – Capacidade do banco de baterias de acumuladores [Ah];
W – Energia consumida diariamente (apresentada na Figura 6);
n – Número de dias de armazenamento;
 V_{bat} – Nível de tensão elétrica de operação do banco de baterias [V];
 L_d – Profundidade de descarga da bateria (geralmente entre 0 e 1);
 A_{dd} – Taxa de autodescarga diária da bateria (geralmente entre 0 e 1).

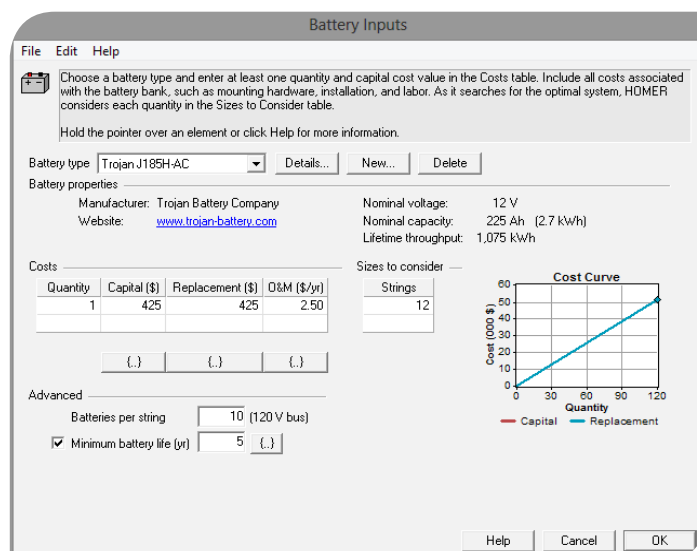


Figura 14 Janela de introdução da quantidade de baterias em teste e respetivos custos.

esporadicamente utilizadas pelas associações sediadas no edifício), propõe-se a instalação de um conversor bidirecional Leonics Appolo MTP-413F [14] com uma potência nominal de 25 kW.

O conversor dispõe da capacidade de operar como a principal fonte de alimentação do sistema, de comandar o arranque automático dos geradores e de gerir o carregamento e descarregamento de um banco de baterias de acumuladores. Dispõe de uma tensão nominal, do lado de corrente contínua, de 120 V (valor para o qual o banco de baterias foi dimensionado). Do lado de corrente alternada, dispõe da possibilidade de operar com as tensões (trifásicas) de 380, 400 ou 415 V a 50 ou 60 Hz [14].

No caso em que o conversor se encontre a operar como inversor, este apresenta uma eficiência mínima de 94% e desconhece-se o valor da eficiência aquando do funcionamento como retificador. Por esse motivo, aquando da introdução dos respectivos dados no software, optou-se por considerar o valor por defeito apresentado pelo Homer® (90%).

Estima-se que o custo unitário deste tipo de equipamentos ronde 500\$/kW e um custo anual de O&M 25\$/kW/ano. Na Figura 15, apresenta-se a introdução dos dados suprarreferidos no software.

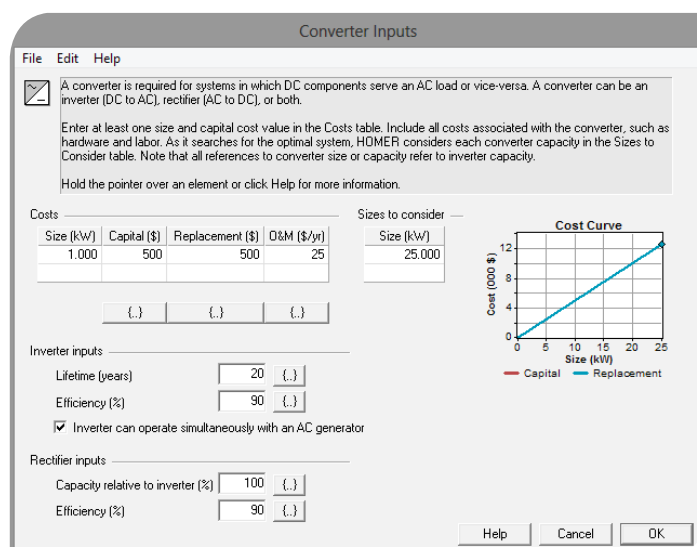


Figura 15 Janela de configuração do conversor.

- **Sistema fotovoltaico:** Com uma potência de 15 kW;
- **Sistema eólico:** 1 aerogerador Westwind 6 kW.

No caso em que o preço do Diesel é de 1,77\$/litro e a altura do cubo do aerogerador Westwind 6 kW passa a ser de 12 metros, a solução ótima passa a ser composta por:

- **Sistema fotovoltaico:** Com uma potência de 10 kW;
- **Sistema eólico:** 1 aerogerador Westwind 6 kW;
- **Sistema Diesel:** 2 geradores Sentinel GPED-65K-3 de 5 kW.

Entre as duas soluções ótimas apresentadas verifica-se que quando são adicionados os geradores Diesel, a potência do gerador fotovoltaico decresce de 15 para 10 kW, o que é justificado pelo facto de que, ao se instalar o aerogerador a uma cota superior, este consiga gerar mais energia devido à melhor disponibilidade de vento.

Por outro lado, ao descer a potência do gerador fotovoltaico, o sistema torna-se mais vulnerável à variabilidade do recurso eólico, o que justifica a introdução dos geradores Diesel, para serem colocados em funcionamento sempre que se verifique uma menor disponibilidade desse recurso.

Existe ainda uma outra solução que se verifica sempre se teste a instalação do cubo do aerogerador Westwind 6 kW a 18 metros, que é independente do preço do Diesel (dentro da gama que foi testada), composta por:

- **Sistema fotovoltaico:** Com uma potência de 10 kW;
- **Sistema eólico:** 1 aerogerador Westwind 6 kW;
- **Sistema Diesel:** 1 gerador Sentinel GPED-65K-3 de 5 kW.

Esta solução reforça o raciocínio anterior, já que ao aumentar ainda mais a altura do cubo do aerogerador, reduz-se a variabilidade do recurso eólico, reduzindo igualmente as necessidades de apoio por parte de geradores convencionais e fazendo com que neste caso o Homer® apenas proponha a introdução de um único gerador Diesel.

Devido ao facto destas três soluções disporem de níveis de insuficiência de produção, respetivamente, de 5%, 3,61% e 4,89%, que são níveis muito elevados para as necessidades de fiabilidade características de empresas de serviços, não se optou por nenhuma das soluções suprarreferidas.

Devido ao facto de que grande parte das soluções apresentadas pelo Homer® como sendo “as melhores”, disporem de baixos índices de fiabilidade e/ou não cumprirem com a restrição que requer que 80% de produção seja garantida por fontes renováveis, optou-se por uma solução pior em termos económicos, mas claramente superior nos aspetos anteriormente referidos.

Na Figura 19 apresentam-se os resultados para última simulação realizada, em que se fixou o preço do Diesel em 2,05\$/litro e as alturas máximas de cada aerogerador.

Conforme se pode verificar pela análise da Figura 19 (em que se encontra assinalada a solução que se propõe adotar), esta não se encontra muito próxima da apontada como ótima pelo software, no entanto dispõe de índices de fiabilidade adequados aos requisitos de qualidade necessários para o bom funcionamento das associações sediadas no edifício MercoAlcobaça.

Conforme se pode verificar nas Figuras 20, 21 e 23, o SEH proposto para abastecimento do edifício MercoAlcobaça é composto por:

- **Sistema fotovoltaico:** Com uma potência de 15 kW;
- **Sistema eólico:** 1 aerogerador Bergey Excel 10 kW com o cubo instalado a cota de 30 metros;

Figura 19 Lista de melhores resultados para a configuração do SEH, com o preço do Diesel fixado em 2,05\$/litro e os aerogeradores nas respetivas alturas máximas.

- **Sistema Diesel:** 1 gerador Centurion 20CP&CP3 de 15 kW;
- **Banco de baterias de acumuladores:** 120 baterias Trojan J-185H-AC, de 12 V/225 Ah, divididas em 12 strings, com 10 baterias cada;
- **Conversor bidirecional:** Leonics Appolo MTP-413F de 25 kW.

Na Figura 20 apresentam-se os resultados mensais e anuais de produção de energia elétrica através de cada um dos aproveitamentos. Pode-se verificar que 63% da carga anual é abastecida pelo gerador fotovoltaico, 37% pelo aerogerador e apenas um valor residual é assegurado pelo gerador Diesel. Verifica-se assim que a fração de produção de energia elétrica sob fonte renovável é de 99,9%.

Para se conseguirem altos níveis de fiabilidade é necessário que o dimensionamento dos sistemas em rede isolada seja realizado de modo a que consiga garantir o pleno abastecimento da carga, mesmo nos períodos em que a disponibilidade de recursos primários seja inferior. Este requisito resulta em períodos com excessos de produção (em que a energia se perde por não poder ser utilizada nem armazenada nas baterias), quando a disponibilidade de recursos renováveis é abundante.

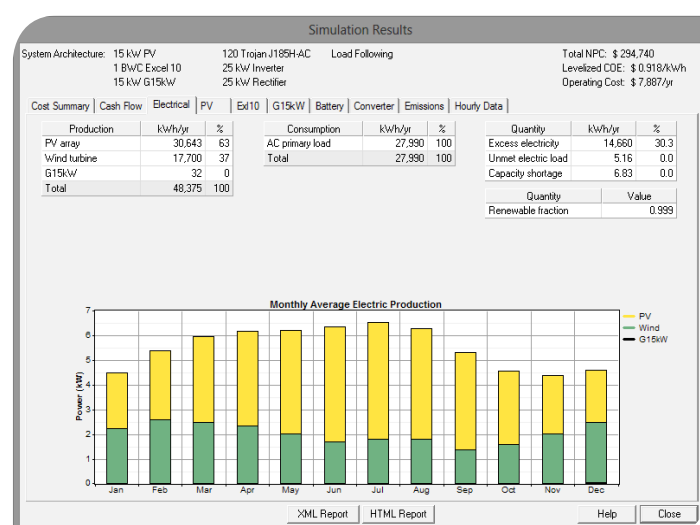


Figura 20 Resultados elétricos mensais e anuais do SEH proposto.

Na Figura 21, apresentam-se gráficos que descrevem indisponibilidade de produção de energia elétrica em dias característicos de cada um dos meses do ano. Através da análise dos mesmos verifica-se apenas uma pequena

indisponibilidade de energia para abastecimento da carga no mês de dezembro. Considera-se, porém, que esta pequena insuficiência é perfeitamente tolerável e que, através de uma gestão cuidada dos consumos elétricos nos dias em que se verificar que o estado de carga do banco de baterias de acumuladores seja baixo, se consiga garantir o regular funcionamento das associações que dispõem de serviços a funcionar no edifício MercoAlcobaça.



Figura 21 Níveis de insuficiência de produção de energia elétrica ao longo de um ano.

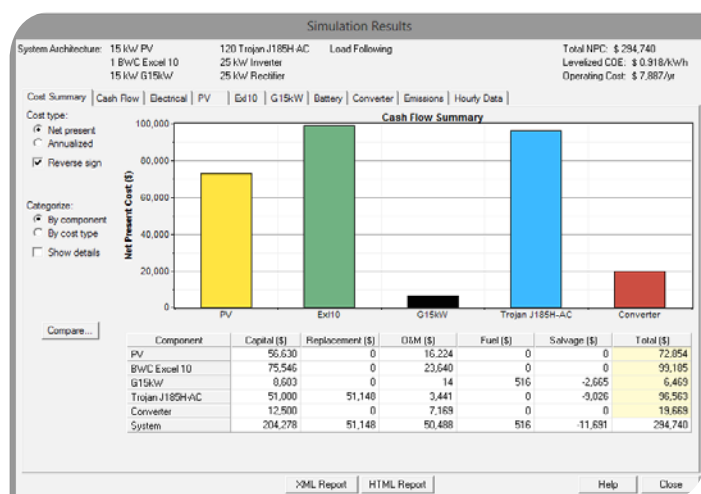


Figura 22 Resultados económicos, no horizonte do projeto, do SEH proposto.

Na Figura 22, apresentam-se os principais indicadores económicos do projeto. O software fornece informações acerca do consumo de combustível, emissões poluentes, entre outras informações que se sumarizam na seguinte lista:

- Investimento inicial: \$204278;
- Custo atual líquido do projeto (Investimento + Custos de O&M ao longo de 20 anos): \$294740;
- Custo médio da eletricidade: 0,918\$/kWh;
- Encargos totais (durante o horizonte do projeto) com a substituição de componentes \$51148;
- Encargos anuais de O&M \$4402;
- Encargos anuais com combustível \$45 (22 litros/ano);

- Produção anual de eletricidade em excesso 14 660 kWh (30,3%);
- Emissões anuais de CO₂: 57,8 kg/ano;
- Emissões anuais de CO: 0,143 kg/ano;
- Emissões anuais de SO₂: 0,116 kg/ano;
- Emissões anuais de NO_x: 1,27 kg/ano;
- N° médio de horas anuais de funcionamento do gerador Diesel: 5h.

6. Conclusões

A conceção de um SEH é um processo que contempla diversos passos, designadamente a caracterização das cargas a abastecer dos recursos renováveis e não renováveis disponíveis no local, bem como a seleção dos equipamentos e das respetivas potências a testar.

Para se proceder a uma conveniente caracterização da carga a abastecer, é necessário proceder a medições num período de tempo que seja representativo dos consumos típicos da instalação. A recolha de dados pode ser realizada de uma forma simples, através de um analisador de energia. Os dados devem ser tratados de modo a se obterem diagramas de carga representativos de dias típicos de semana e fim de semana e de parâmetros que auxiliem a caracterização da variabilidade da carga.

Os dados que caracterizam os recursos renováveis disponíveis devem ser preferencialmente medidos no local. Devem-se ainda recolher dados relativos aos preços dos combustíveis para os geradores convencionais, bem como os preços de todos os equipamentos que se pretendem testar aquando da definição das hipóteses possíveis ao nível da configuração do SEH.

No final de todos os parâmetros se encontrarem definidos, devem-se efetuar simulações e avaliar o desempenho técnico e económico das diversas soluções obtidas, de modo a se identificar a mais adequada em função dos requisitos pretendidos. É igualmente possível determinar a fração anual de produção de cada gerador do SEH e definir o horário de funcionamento dos geradores convencionais.

O sistema que se identificou como "ideal" dispõe de uma continuidade de serviço estimada em 99%, verificando-se ainda que praticamente 100% da carga é abastecida através dos geradores renováveis.

Apesar dos evidentes benefícios ambientais dos SEH, verifica-se que, **devido ao elevado investimento inicial**, estes são ainda economicamente inviáveis em **zonas onde é possível que a instalação seja abastecida a partir da rede pública**.

Como nota final, espera-se que no futuro, devido ao decréscimo dos preços dos equipamentos necessários para os SEH, se venha a verificar a sua viabilidade económica, a qual iria certamente causar sérias dores de cabeça às empresas ligadas ao setor elétrico.

Referências bibliográficas

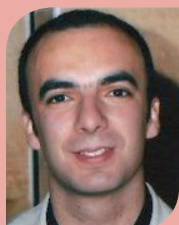
- [1] PVGIS - JRC Europe, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, acedido em 12 de novembro de 2013;
- [2] Weibull distribution, http://en.wikipedia.org/wiki/Weibull_distribution, acedido em 12 de agosto de 2013;
- [3] Direção Geral de Energia e Geologia, Preço dos combustíveis online - Informação ao consumidor, www.precoscombustiveis.dgeg.pt/?cpp=1, acedido em 12 de julho de 2013;
- [4] Sanyo HIT photovoltaic module, www.enat.pt/media/8119/datasheet_SANYO_HIT_EN.pdf, acedido em 13 de agosto de 2013;
- [5] Metalgalva - Novo seguidor Solar de 2 Eixos SSx0203 (80m2), [http://metalgalva.pt/noticias/novo-seguidor-solar-de-2-eixos-ssx0203-\(80m2\)](http://metalgalva.pt/noticias/novo-seguidor-solar-de-2-eixos-ssx0203-(80m2)), acedido em 11 de julho de 2013;
- [6] SMA Sunny Tripower, www.sma.de/en/products/solar-inverter-without-transformer/sunny-tripower-10000tl-12000tl-15000tl-17000tl.html, acedido em 13 de agosto de 2013;

- [7] Bergy Wind Power - The Excel 10kW Wind Turbine, <http://bergey.com/products/wind-turbines/10kw-bergey-excel>, acedido em 14 de junho de 2013;
- [8] Westwind Wind Turbines, www.westwindturbines.co.uk/pages/index.asp?title=Overview_5kw&catID=198&subcatID=, acedido em 14 de junho de 2013;
- [9] GeneratorJoe Inc. - Sentinel Series, www.generatorjoe.net/product.asp?0=543&l=441&3=4339, acedido em 14 de junho de 2013";
- [10] GeneratorJoe Inc. - Centurion "P" Series, www.generatorjoe.net/html/genjoe/Centurion%20P%20Series.pdf, acedido em 14 de junho de 2013";
- [11] GeneratorJoe Inc. - Centurion "SY" Series, www.generatorjoe.net/product.asp?3=4034, acedido em 14 de junho de 2013";
- [12] 10066 - Diesel O&M costs in HOMER, <http://support.homerenergy.com/index.php?Knowledgebase/Article/View/107/25/10066---diesel-om-costs-in-homer>, acedido em 14 de junho de 2013;
- [13] Trojan J185H-AC data sheet, www.trojanbatteryre.com/PDF/datasheets/J185HAC_TrojanRE_Data_Sheets.pdf, acedido em 15 de julho de 2013;
- [14] Leonics Apollo MTP- 410, www.leonics.com/product/renewable/inverter/inverter_apollo_mtp-410_en.php, acedido em 19 de junho de 2013".

Apresentação dos autores

Edgar Filipe da Silva Franco

edgar.franco@ipleiria.pt



É licenciado em Engenharia Eletrotécnica – Ramo de Energia e Automação e mestre em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas de Automação, pela Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, obtendo respetivos graus em 2009 e 2011. Concluiu em janeiro de 2013 o Curso de Doutoramento (não conferente de grau) em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores pela Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto.

Foi projetista de instalações elétricas em 2010 e bolsheiro de investigação do INESC Coimbra em 2011.

É docente do Curso de Especialização Tecnológica de Energias Renováveis do Instituto Politécnico de Leiria desde janeiro de 2011.

António Manuel Brites André

ambandre@hotmail.com



É detentor do Curso de Especialização Tecnológica em Energias Renováveis pelo Centro de Formação para Cursos de Especialização Tecnológica do Instituto Politécnico de Leiria, obtendo o respetivo grau em 2013.

Dispõe ainda do curso de formação de jornalismo, conferido pelo Centro Protocolar de Jornalistas (CENJOR) e obtido em 1996.

É funcionário administrativo e responsável pela publicação de jornais e revistas da Associação para a Valorização Agrícola e Produção Integrada (AVAPI) desde dezembro de 2012, já tendo desempenhado essas funções entre agosto de 2001 e dezembro de 2008.

Foi paginador e jornalista do jornal "Região de Cister" entre 1997 e 1998, e desempenhou as mesmas funções no jornal "A semana" entre 1998 e 2001. Foi responsável por vários Postos de Abastecimento da CIPOL entre 2009 e 2011.

Colaborou com associações de âmbito desportivo e cultural, tais como Alcobaça Clube de Ciclismo, e é secretário administrativo da Sociedade Filarmónica Maiorguense desde maio de 2013, com a qual já havia colaborado anteriormente.