



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

**Microprodução com energia solar:
Comparação e análise da viabilidade económica das
diferentes soluções de produção**

André da Fonseca Martins

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre
Engenharia Electrotécnica e de Computadores
2º ciclo de estudos

Orientador: Prof. Doutor Sílvio José Pinto Simões Mariano

Covilhã, Outubro de 2010

Aos meus, Pai e Mãe, Irmãs e Irmão

Agradecimentos

Desejo expressar o meu maior agradecimento ao Professor Doutor Sílvio José Pinto Simões Mariano, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electromecânica da UBI, responsável como orientador científico. O zelo com que conduziu a minha formação e orientou este trabalho mostra o enorme gosto pela Engenharia pela sua experiência e profundo conhecimento. Expresso também o meu reconhecimento pelo espírito crítico e construtivo que me inculuiu no decorrer deste trabalho.

À Professora Doutora Zélia Maria da Silva Serrasqueiro, Professora Auxiliar do Departamento de Gestão e Economia da UBI, desejo expressar a minha gratidão pela forma como me acolheu para tirar dúvidas na parte de avaliação de investimentos deste trabalho, o que também contribuiu para o sucesso do mesmo.

Aos meus Pais Manuel Martins e Maria de Lurdes, Irmãs, Cláudia, Cristina e Margarida e Irmão David, pelo incentivo e apoio, nesta minha caminhada.

Aos colegas e amigos, que acompanharam este meu percurso académico.

Resumo

A subida dos preços dos combustíveis fósseis, o aquecimento global devido ao efeito de estufa, são razões que obrigam ao desenvolvimento das energias renováveis, em complemento aos combustíveis fósseis. Portugal tem condições privilegiadas para um desenvolvimento favorável no campo das energias renováveis. Actualmente, a maior parte da produção de energia recorrendo a fontes renováveis provem das hídricas, dos parques eólicos e fotovoltaicos, os clientes de baixa tensão (BT) mostram-se essenciais na expansão deste tipo de aproveitamentos, uma vez que recorrendo a estes também eles podem produzir electricidade para entregar à rede, sendo este o conceito da microgeração.

Nesta dissertação vai ser feita uma avaliação económico-financeira a sistemas de microgeração solar ligados à rede eléctrica nacional. Essa avaliação vai ser realizada através de um modelo recorrendo à implementação de um software informático em ambiente Matlab. O modelo proposto que inclui a legislação aplicável à microgeração, utilizando o método baseado no *cash-flow*. Esta técnica permite o cálculo dos seguintes critérios de avaliação: Valor Actualizado Líquido (VAL), Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) e período de recuperação do investimento (*payback*). O programa desenvolvido executa quatro diferentes tipos de análises: superfícies *payback* e VAL, evolução dos valores do *payback* e do VAL, análise económica da produção anual estimada e por ultimo, análise económico-financeira de uma instalação. O resultado obtido torna possível responder à pergunta se a instalação de microgeração fotovoltaica é um investimento financeiro seguro para os microprodutores, sendo obtidos gráficos que ilustram a viabilidade, ou não, das instalações de microgeração FV em Portugal.

Palavras-chave

Instalação de Microgeração FV, VAL, *payback*, *cash-flow*, Investimento, Produção Anual, Taxa de Actualização

Abstract

The rising of fossil fuel prices and the global warming due to greenhouse gases are reasons that require for the development of renewable energy. Portugal has ideal conditions for a favorable development in the field of renewable energy. Currently, most energy production using renewable sources comes from hydro, wind farms and photovoltaic. Low voltage customers show to be important in the expansion of photovoltaic energy, since they also can be producers and deliver electricity to the grid, which is the concept of microgeneration.

This dissertation is about the economic-financial assessment of microgeneration grid-connected solar systems. This evaluation will be conducted by using a model implemented in Matlab software. The proposed model, which includes the rules applicable to microgeneration, is based on cash flow method. This technique allows the calculation of the following evaluation criteria: Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Payback Period on Investment (payback). The software performs four different types of analysis: NPV and payback surfaces, values of NPV and payback, economic analysis of the estimated annual production and finally, economic and financial analysis of microgeneration systems. The results make possible to answer the question whether the installation of photovoltaic microgeneration is a safe financial investment for micro-producers, obtaining figures that illustrate the viability of photovoltaic microgeneration installations in Portugal.

Keywords

Installation of Microgeneration PV, NPV, payback, cash flow, Investment, Annual Production, Discount Rate

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento das energias renováveis	2
1.2	Motivação e objectivo.....	4
1.3	Estrutura da dissertação	7
2	Legislação da microgeração em Portugal	8
2.1	Introdução.....	9
2.2	Microprodutor.....	10
2.2.1	Acesso ao regime de geral.....	10
2.2.2	Acesso ao regime bonificado.....	11
2.3	Remuneração do regime bonificado	12
2.4	Funções do SRM.....	12
2.4.1	Registo no SRM.....	12
2.4.2	Unidade microprodução.....	13
2.4.3	Validação do SRM.....	14
2.4.4	Certificado de exploração	14
2.5	Equipamentos e Contagem	15
2.5.1	Controlo dos equipamentos	16
2.5.2	Contrato de compra e venda.....	16
2.5.3	Alteração da titularidade	16

2.5.4	Alteração da instalação	17
2.6	Monitorização e Controlo	17
2.7	Incentivos fiscais	17
2.7.1	IRS	17
2.7.2	IVA	18
3	Avaliação Económico-Financeira do Investimento	19
3.1	Introdução.....	20
3.2	Noções de base	20
3.2.1	Conceito de <i>cash-flow</i>	20
3.2.2	Valor residual	21
3.2.3	Actualização	22
3.3	Análise e avaliação de investimentos	23
3.3.1	Indicadores de avaliação de projectos baseados no <i>cash-flow</i>	24
3.3.2	Valor actualizado líquido (VAL).....	24
3.3.3	Taxa interna de rentabilidade (TIR)	26
3.3.4	Período de Recuperação do Investimento (<i>PAYBACK</i>)	27
4	Tecnologias Fotovoltaica	29
4.1	Sol fonte de energia	30
4.2	Tecnologia fotovoltaica	30
4.3	Estado da tecnologia FV	31
4.3.1	Células de silício cristalino (1ª geração)	32
4.3.2	Células de película fina (2ª Geração).....	33
4.3.3	Conceitos de novas células solares (3ª Geração)	33
4.3.4	Estado actual das diferentes tecnologias	33
4.4	Características eléctricas da célula solar.....	35
4.4.1	Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.....	35
4.4.2	Parâmetros das células e dos módulos	37
4.5	Módulos fotovoltaicos	38
4.5.1	Curvas características dos módulos.....	39
4.5.2	Características eléctricas de módulos.....	40

4.6	Sombreamento	42
4.6.1	Sombreamento temporário	42
4.6.2	Sombreamento de localização	43
4.6.3	Sombreamento do edifício	43
4.7	Orientação dos módulos	43
4.7.1	Inclinação dos módulos fixos	43
4.7.2	Módulos com seguimento solar	44
4.8	Sistema fotovoltaico com MPPT	44
4.8.1	Seguidor do ponto de potência máxima	45
4.9	Produção de energia	45
4.9.1	Estimativa de produção de energia	46
5	Análise económico-financeira de instalações.	48
5.1	Desenvolvimento do modelo da avaliação económica	49
5.1.1	Custos de instalação de microgeração FV	49
5.1.2	Receitas obtidas num ano pela instalação de microgeração FV	50
5.2	Variáveis usadas neste estudo	50
5.2.1	Valor da taxa de actualização	50
5.2.2	Aumento anual da tarifa em regime geral	51
5.3	Superfícies <i>payback</i> e VAL	53
5.4	Evolução dos valores do <i>payback</i> e do VAL	55
5.5	Análise económica da produção anual estimada	58
5.5.1	Uma produção anual estimada de 5000kWh	58
5.5.2	Uma produção anual de 7500kW	60
5.6	Análise económico-financeira de uma instalação	62
5.6.1	Um investimento de 30000€ com produção anual de 8832kWh	62
5.6.2	Um investimento de 25000€ com produção anual de 7350kWh	64
5.6.3	Um investimento de 20000€ com produção anual de 5880kWh	66
5.6.4	Um investimento de 17000€ com produção anual de 5000kWh	68
5.6.5	Um investimento de 17000€ com produção anual de 4100kWh	70
5.6.6	Um investimento de 21000€ com produção anual de 4500kWh	72

5.6.7	Comparação e análise das diferentes soluções de produção	74
6	Conclusão	76
6.1	Conclusões	77
6.2	Trabalhos futuros	78
7	Referências	79
7.1	Principais referências	79
7.2	Outras referências	81
	Anexo	82
A.1	Tabela com os valores de <i>payback</i>	82
A.2	Tabela com os valores do VAL.	84

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Esquema de ligação de uma unidade de microgeração FV em Portugal.	10
Figura 3.1 – Variação do VAL com a taxa de actualização. Adaptado de [15].	26
Figura 3.2 – Representação gráfica da TIR, corresponde ao ponto em que a curva do VAL passa no eixo das abcissas. Adaptado de [15].	27
Figura 4.1 – Tecnologias das células fotovoltaicas existentes.	32
Figura 4.2 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica ideal [19].	35
Figura 4.3 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica. Adaptado de [19].	36
Figura 4.4 – Curva característica I–V de uma célula FV [17].	36
Figura 4.5 – Ligação em série de três módulos FV	39
Figura 4.6 – Ligação em paralelo de três módulos FV	40
Figura 4.7 – Curvas I–V do módulo para diferentes irradiâncias, e temperatura constante. .	41
Figura 4.8 – Curvas I–V do módulo para diferentes temperaturas e irradiância constante. ...	42
Figura 4.9 – Esquema de um gerador fotovoltaico ligado à rede.	44
Figura 5.1 – Evolução do valor do <i>payback</i> . Os pontos assinalados correspondem aos valores de investimento mínimo e máximo, considerando a produção máxima e a produção mínima para a qual o valor do <i>payback</i> não exceda vinte anos.	54
Figura 5.2 – Evolução do valor do VAL. Os pontos assinalados correspondem aos valores de investimento mínimo e máximo, considerando a produção máxima e a produção mínima para a qual o valor do VAL será 0 nos vinte anos considerados.	54
Figura 5.3 – Evolução do valor do <i>payback</i> para os quatro diferentes tipos de investimento. Os valores representados no gráfico são: os valores de <i>payback</i> mínimo de cada um dos investimentos e os valores mínimos de produção anual aos quais o <i>payback</i> é vinte anos.	56
Figura 5.4 – Evolução do valor do VAL para os quatro diferentes tipos de investimento. Os valores representados no gráfico são: os valores do VAL máximos de cada um dos investimentos e os valores de produção anual aos quais o VAL é 0€.	57

Figura 5.5 – Evolução do valor do <i>payback</i> de uma produção anual estimada de 5000kWh. ...	59
Figura 5.6 – Evolução do valor do VAL de uma produção anual estimada de 5000kWh.	59
Figura 5.7 – Evolução do <i>payback</i> de uma produção anual estimada de 7500kWh.	61
Figura 5.8 – Evolução do valor do VAL de uma produção anual estimada de 7500kWh.	61
Figura 5.9 – Evolução de um investimento de 30000€ com produção anual de 8832kWh.	63
Figura 5.10 – Evolução de um investimento de 25000€ com produção anual de 7350kWh. ...	65
Figura 5.11 – Evolução de um investimento de 20000€ com produção anual de 5880kWh. ...	67
Figura 5.12 – Evolução de um investimento de 17000€ com produção anual de 5000kWh. ...	69
Figura 5.13 – Evolução de um investimento de 17000€ com produção anual de 4100kWh. ...	71
Figura 5.14 – Evolução de um investimento de 21000€ com produção anual de 4500kWh. ...	73

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 – Metas do Governo em 2007 (até 2010/2012).....	4
Tabela 3.1 – Exemplo de investimento para calcular o VAL.....	25
Tabela 3.2 – Exemplo de investimento para calcular o <i>payback</i> [13].	28
Tabela 3.3 – Cálculo do <i>cash-flow</i> actualizado acumulado [13].	28
Tabela 4.1 – Máxima Eficiência fotovoltaica, adaptado [17].....	34
Tabela 4.2 – Radiação e temperatura para CST e CNT	37
Tabela 4.3 – Inclinação dos painéis FV fixos [20].	44
Tabela 5.1 – Média dos últimos dez anos da taxa de juro indexada à Euribor a 1 mês.....	51
Tabela 5.2 – Evolução da tarifa em regime geral com aumento anual de 2,5%.....	52
Tabela 5.3 – Evolução da tarifa aplicada às instalações de microgeração FV consideradas nesta dissertação.	52
Tabela 5.4 – Indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 30000€ com produção anual de 8832kWh.	64
Tabela 5.5 – Indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 30000€ com produção anual de 8832kWh.	66
Tabela 5.6 – Indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 20000€ com produção anual de 5880kWh.	68
Tabela 5.7 – Indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 17000€ com produção anual de 5000kWh.	70
Tabela 5.8 – Indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 17000€ com produção anual de 4100kWh.	72
Tabela 5.9 – Indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 21000€ com produção anual de 4500kWh.	74
Tabela A.1 – Valores de <i>payback</i> (anos), com taxa de actualização 4,3% e aumento da tarifa em regime geral de 2,5%.	82
Tabela A.2 – Valores de VAL (€), com taxa de actualização 4,3% e aumento da tarifa em regime geral de 2,5%.	84

Lista de Acrónimos

BT	Baixa tensão
CE	<i>Conformité Européenne</i>
CNT	Condições Nominais de Teste
CPE	Código de Ponto de Entrega
CSP	<i>Concentrating Solar Power</i>
CST	Condições Standard de Teste
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
EN	<i>Europäische Norm</i>
ERIIE	Entidade Regional Inspectora de Instalações Eléctricas
FER	Fontes de Energias Renováveis
FV	Fotovoltaica
MPP	Ponto de Potência Máxima
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
NOTC	<i>Normal Operating Temperature of the cell</i>
<i>payback</i>	Período de Recuperação do Investimento
PNAC	Programa Nacional para as Alterações Climáticas
RESP	Rede Eléctrica de Serviço Público
SEI	Sistema Eléctrico Independente
SEP	Sistema Eléctrico de Serviço Público
SRM	Sistema de Registo da Microprodução
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
UE	União Europeia
VAL	Valor Actualizado Líquido

Capítulo

1

Introdução

Neste capítulo é apresentado uma curta introdução ao enquadramento da microgeração em Portugal, e a implicação desta no sector eléctrico. Esboçam-se as ideias fundamentais que motivaram a abordagem deste tema e apontam-se as principais tarefas a concretizar. É ainda exposta uma delineação dos objectivos deste trabalho, apresentando-se a composição da presente dissertação.

1.1 Enquadramento das energias renováveis

A carência dos combustíveis fósseis, as grandes instabilidades dos mercados actuais e a contínua degradação do meio ambiente, encontram-se entre os problemas fundamentais encarados pela sociedade moderna. O progresso do Homem a nível tecnológico, económico e social, está relacionado com o uso destes combustíveis, entretanto, o seu uso indiscriminado, em particular na produção de energia eléctrica, tem conduzido o planeta a uma crescente degradação ambiental.

Este assunto contém uma natureza complexa, pois se por um lado é essencial uma redução no consumo de combustíveis fósseis, ao mesmo tempo, o ser humano tem uma dependência cada vez maior da energia em particular da energia eléctrica, para as suas actividades, para a sua sobrevivência.

Portugal, para além dos problemas já expostos, é um país com escassos recursos energéticos próprios, designadamente, aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos (como o petróleo, o carvão e o gás). Tal situação de escassez conduz a uma elevada dependência energética do exterior (82,9% em 2007), nomeadamente das importações de fontes primárias de origem fóssil [1].

Assim Portugal evidencia uma situação frágil uma vez que tem uma enorme dependência energética do exterior, vendo assim a factura energética aumentar, com custos mais acentuados para a sociedade. Geram-se assim bons motivos para fazer modificações no nosso paradigma de consumo e produção, apostando em “novas” tecnologias de produção de energia, nomeadamente as energias renováveis.

Falta ainda adicionar, ao já referido, a assinatura do Protocolo de Quioto, que vem estimular ainda mais as soluções alternativas de produção de energia, o compromisso assumido por Portugal em diminuir o nível de emissões poluentes, obriga-nos a olhar para as energias renováveis como uma das fundamentais alternativas ao nosso alcance para garantir o cumprimento das metas estabelecidas.

O Protocolo de Quioto é possivelmente o principal instrumento na luta contra as alterações climáticas. Integra o compromisso assumido pela maioria dos países industrializados de reduzirem em média, 5% nas suas emissões de determinados gases com efeito de estufa, responsáveis pelo aquecimento Global. Os Estados-Membros da União Europeia terão de reduzir, em conjunto, as suas emissões de gases com efeito de estufa em 8%, entre 2008 e 2012 [2].

Observando com atenção a situação dos vários Estados Membros da União Europeia, tanto a nível geográfico como a nível económico-social, foram estabelecidas diferentes metas e objectivos para cada país. Devido a esse facto, Portugal acordou em não aumentar em mais de 27% as emissões de gases de efeito de estufa no período determinado. Para isso adoptou

algumas estratégias de atenuação das alterações climáticas, sendo uma delas a adopção do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC 2006), que engloba as medidas à época tomadas como adequadas para que Portugal viesse a atingir as metas que lhe estão fixadas no âmbito do Protocolo de Quioto e do Acordo de Partilha de Responsabilidades da União Europeia. Nesse protocolo está estabelecido que as energias renováveis desempenham um papel fundamental nos esforços efectuados por Portugal na tentativa de cumprir os objectivos estabelecidos [3].

No final de 2009, as fontes de energias renováveis já representavam 45% do total de electricidade consumida em Portugal [4], tendo sido conseguido um dos objectivos do governo, que era ultrapassar a meta europeia para 2010 de 39% de electricidade produzida a partir de fontes renováveis. Nesta altura, Portugal tinha 9055MW de capacidade instalada para produção de energia eléctrica a partir de Fontes de Energias Renováveis (FER) [4].

A política energética do Governo faz uma grande aposta nas energias renováveis [5]:

- ✓ Na vertente da segurança de abastecimento, reduzindo a nossa dependência externa em combustíveis fósseis;
- ✓ Na vertente ambiental, como uma medida crucial na política de redução de gases de efeitos de estufa e do Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC);

Na vertente económica, face aos níveis históricos de preços dos combustíveis fósseis já alcançados, bem como à criação de *clusters* industriais e investigação de tecnologias de ponta no nosso país.

As metas e novas medidas propostas pelo governo têm como objectivo de facilitar o cumprimento de Quioto, aumentando a segurança do cumprimento do PNAC. Assim entre as novas medidas temos [6]:

Tabela 1.1 – Metas do Governo em 2007 (até 2010/2012)

Renováveis	✓ Aposta na energia hídrica <ul style="list-style-type: none"> • Duplicação do Alqueva e antecipação dos reforços de Picote e Bemposta
	✓ Concurso 200 MW eólico, agilização do licenciamento e sobre-equipamento
	✓ Reforço da meta dos Biocombustíveis em 2010
	✓ “Renováveis na Hora” e a aposta na Microgeração
	✓ 100 MW de Biogás de digestão anaeróbica até 2010
Parque electroprodutor	✓ Descomissionamento de ~400 MW de potência instalada em centrais de fuel/gasóleo
	✓ “Co-combustão”: substituição de 5% a 10% do carvão por biomassa e Combustíveis de Resíduos em Sines e Pego
Eficiência energética	✓ Redução do consumo energético do Estado
	✓ Substituir co-geração a fuel por gás natural

Das propostas apresentadas vamos dar atenção para a “Renováveis na Hora” e a aposta na microgeração. A ideia inicial da microgeração: passa pela introdução de uma nova vertente de renováveis, promovendo um programa para instalação de 50.000 sistemas até 2010, com incentivo à instalação de Água Quente Solar em casas existentes [5].

Em 2 de Novembro de 2007 é publicado o Decreto-Lei n.º 363/2007 que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de electricidade por intermédio de instalações de pequena potência, designadas por unidades de microprodução.

1.2 Motivação e objectivo

Em Portugal actualmente existe um enorme incentivo na microgeração, estimulando-se a produção de energia eléctrica através de instalações de pequena escala utilizando fontes renováveis ou sistemas de conversão, que em alguns casos podem ser de elevada eficiência, tais como painéis fotovoltaicos, micro-turbinas, células de combustível, micro-eólicas, mini e micro-hídricas, cogeração. Ao incentivar o investimento na microgeração pretende-se promover, por exemplo, a instalação de painéis solares fotovoltaicos ou micro-eólicas nas casas portuguesas, transformando assim os consumidores em microprodutores de electricidade.

Ao entrar em vigor o Decreto-Lei n.º 363/2007 de 2 de Novembro, que introduz novos regimes remuneratórios de apoio à microgeração de energia, abrindo caminho a uma maior receptividade a este tipo de tecnologia e solução.

O referido Decreto-Lei (apresentado em detalhe no capítulo 2), entre outras medidas, prevê a possibilidade de acesso a um regime remuneratório geral, e respeitando certos parâmetros, o acesso a um regime bonificado. Está previsto no Decreto-Lei já mencionado a utilização de diferentes tipos de energia renovável, sendo estas:

- a) Solar;
- b) Eólica;
- c) Hídrica;
- d) Cogeração a biomassa;
- e) Pilhas de combustível com hidrogénio proveniente de microprodução renovável;
- f) Combinação das fontes de energia previstas nas anteriores na mesma unidade.

Portugal tem um potencial solar disponível muito considerável, sendo um dos países da Europa com melhores condições para aproveitamento deste recurso, dispondo de um número médio anual de horas de sol variável entre 2200 e 3000 no continente, e entre 1700 e 2200, nos arquipélagos dos Açores e da Madeira [7]. Esta característica com o facto de esta ser uma tecnologia em forte desenvolvimento, faz com que as soluções utilizando sistemas renováveis solares sejam das mais utilizadas.

As energias renováveis e em particular a microgeração é um tema extremamente actual e pertinente, serve a, presente dissertação de guia à avaliação económica em aproveitamentos fotovoltaicos realizada por clientes BT.

É apresentado assim ao longo do trabalho informação sobre este tipo de aproveitamento, os procedimentos a ter em conta para melhor os aproveitar, como prever os lucros gerados pela instalação de microgeração FV no fim de 20 anos.

É ainda realizada uma análise económico-financeira, feita à luz do novo enquadramento legal da microgeração, com o intuito de verificar qual a solução de produção mais rentável.

A avaliação económico-financeira de instalações de microgeração FV será implementada em “*Guide Matlab*” para uma melhor interacção com o utilizador. O programa desenvolvido calcula os valores de *payback* e VAL e representa-os em gráficos para uma melhor compreensão e análise dos resultados obtidos.

Os valores de investimento, produção anual, taxa de actualização, aumento anual da tarifa em regime geral e ano de instalação são os parâmetros de entrada no programa desenvolvido. Conforme a análise o valor dos parâmetros pode ser alterado. Por exemplo, a variação da taxa de actualização, que pode ser considerada a taxa de juro caso seja feito um empréstimo, pode ser alterada pelos diferentes Microprodutores. Sendo que o utilizador pode alterar o valor dos parâmetros conforme a análise que pretenda fazer, bem como as taxas que pretenda alterar.

O utilizador pode escolher os vários parâmetros de entrada de acordo com o Decreto-Lei n.º 363/2007 de 2 de Novembro, os valores de investimento, conforme o tipo de instalação, foram definidos de acordo com a consulta a diversas empresas que projectam e instalam microgeração fotovoltaica (FV). Os resultados gráficos que correspondem a análise pretendida, ou caso os parâmetros escolhidos não tenha instalações de microgeração FV viáveis, é dada uma mensagem a dizer, que com os parâmetros escolhidos, o Microprodutor não vai recuperar o investimento.

Podem ser feitas quatro tipos de análises: superfícies *payback* e VAL, evolução dos valores do *payback* e do VAL, análise económica da produção anual estimada e análise económico-financeira de uma instalação.

As superfícies *payback* e VAL vão dar-nos duas superfícies, uma do *payback* outra do VAL. Nestas superfícies estão representadas todas as combinações possíveis entre o investimento e a produção anual. O utilizador pode nesta análise escolher os valores de taxa de actualização, aumento anual da tarifa regime geral e ano que é feita a instalação de microgeração FV.

A evolução dos valores de *payback* e VAL é uma análise semelhante à anterior, onde foram considerados quatro valores de investimento. Vamos obter dois gráficos, um com a evolução do *payback* e outro com a evolução do VAL.

A partir da análise económica da produção anual estimada, vão ser calculados o *payback* e o VAL para a mesma produção anual e fazendo variar o investimento mostra-se como se comportam o *payback* e o VAL. O utilizador pode fazer variar os parâmetros: produção anual, taxa de actualização, aumento da tarifa regime geral e o ano de instalação de microgeração FV.

Por último, é feita uma análise económico-financeira de uma determinada instalação de microgeração FV. São calculados os indicadores de avaliação económico-financeira, VAL, TIR e *payback* para essa instalação. O utilizador pode fazer variar os parâmetros: produção anual, taxa de actualização, aumento da tarifa regime geral e o ano de instalação de microgeração FV.

Os resultados obtidos serão apresentados em gráficos retirados do programa apenas mostram casos de instalações de microgeração FV que são viáveis. Em que o valor do *payback* não ultrapassa os vinte anos e os valores de VAL menores que zero também não são representados. Com excepção na análise económico-financeira de uma instalação em que pode o gráfico pode mostrar uma instalação inviável.

1.3 Estrutura da dissertação

O texto da dissertação está organizado em seis capítulos. O capítulo 2 é destinado à legislação aplicada à microgeração FV. No capítulo 3 é feito um estudo avaliação económico-financeira do investimento. No Capítulo 4 é feito um estudo às tecnologias fotovoltaicas. No Capítulo 5 é feita uma análise económico-financeira de diferentes instalações. O Capítulo 6 conclui a dissertação. A seguir apresenta-se uma descrição mais detalhada do conteúdo de cada capítulo.

No Capítulo 2 é descrito toda a regulamentação e legislação referente à microprodução FV. Está descrito os regimes de tarifa (geral e bonificado), os limites de potência de ligação, limite da energia paga. As funções do SRM. Os equipamentos de contagem. E os incentivos fiscais.

No Capítulo 3 é feito um estudo a avaliação de investimentos. Apresentam-se algumas noções base de *cash-flow*, valor residual e actualização. E são introduzidos os indicadores de avaliação de projectos VAL, TIR e *payback*. A fórmula de cálculo dos indicadores e sua explicação para compreender os resultados.

No Capítulo 4 é feito um estudo às tecnologias FV existentes. São indicados os diferentes tipos de células existentes no mercado e ainda em fase de estudo. Depois são mostradas as características eléctricas das células e dos painéis. E ainda uma estimativa de produção de energia.

No Capítulo 5 é feita uma análise económico-financeira de diferentes instalações de microgeração FV. É desenvolvido o método de cálculo. Descrição das variáveis usadas nesta dissertação. E ainda são mostrados os quatro tipos de análises retiradas do programa desenvolvido.

No Capítulo 7 enunciam-se as conclusões principais e apontam-se direcções em que pode ser desenvolvido trabalho de investigação de interesse relevante.

Capítulo

2

Legislação da Microgeração em Portugal

Neste capítulo é descrito, com propósito de enquadramento, o Decreto-Lei n.º 363/2007 de 2 de Novembro. Aqui se encontra em grande detalhe a explicação do Decreto-Lei, explicação dos regimes de pagamento, limites de produção etc.

2.1 Introdução

A produção de energia eléctrica com a possibilidade de fornecer energia à rede pública foi inicialmente regulamentada pelo Decreto-Lei 68/2002. Neste decreto estava regulamentada a produção de energia principalmente para auto consumo, possuindo a possibilidade de entregar a energia excedente à rede pública ou a terceiros, não podendo ultrapassar 150kW potência a entregar a rede pública em cada ponto de recepção, e tendo o consumo próprio ou fornecimento a terceiros que representam no mínimo 50% da energia eléctrica produzida. Verificou-se no entanto que o número de unidades de microgeração a funcionar ao abrigo deste decreto não atingiu um número significativo.

O Decreto-Lei 312/2001 designava as circunstâncias que permitiam que os novos centros de produção de energia eléctrica do SEI pudessem enviar e receber energia eléctrica nas redes SEP. No entanto este decreto-lei não estabelecia nenhum tipo de distinção perante a potência nominal ou localização geográfica dos sistemas produtores, centralizando assim a administração dos processos de licenciamento de micro e pequena dimensão.

Surge a necessidade de simplificar o regime de licenciamento em vigor.

Com o Decreto-Lei n.º 363/2007 de 2 de Novembro é criada o SRM uma plataforma electrónica, que faz a interacção com os produtores, em que o relacionamento com a administração necessária para exercer a actividade de microprodutor.

A simplificação de facturação e relacionamento comercial, evitando a emissão de facturas e acertos de IVA pelos particulares, que são substituídas pelas dos comercializadores. Em que o microprodutor recebe ou paga em uma única transacção, pelo valor líquido dos recebimentos relativos à energia eléctrica produzida e dos pagamentos relativos à energia eléctrica consumida.

Neste decreto-lei são distinguidos dois regimes remuneratórios, o regime geral, aplicado à generalidade das instalações e o regime bonificado, aplicado às fontes de energias renováveis, em que o acesso é condicionado à existência de colectores solares térmicos, no caso de produtores individuais, e da realização de auditoria energética e respectivas medidas, no caso de condomínios. O incentivo associado à venda de energia eléctrica é, assim, utilizado para promover a água quente solar, complementando o Decreto-Lei n.º80/2006, de 21 de Abril, que estabelece a obrigatoriedade de instalação destes sistemas nos novos edifícios [7].

Um sistema de microgeração fotovoltaica ligado à rede eléctrica nacional é um tipo de instalação, que tem três elementos de intervenção: os módulos fotovoltaicos, inversor e uma instalação de energia convencional. A função do inversor DC / AC é converter a energia produzida pelo gerador FV com as características específicas da rede eléctrica. As instalações de microgeração FV ligadas à rede eléctrica não incluem baterias.

Na figura 2.1, está representado um sistema de microgeração FV ligado a rede eléctrica. O contador bidireccional na saída do sistema FV deve ser capaz de medir em ambas as direcções, é obrigatório, o sistema de microgeração FV pode consumir energia, (caso a instalação tenha seguimento solar). E tem ainda o contador para uso doméstico, pois o preço de compra da energia é diferente do preço de venda.

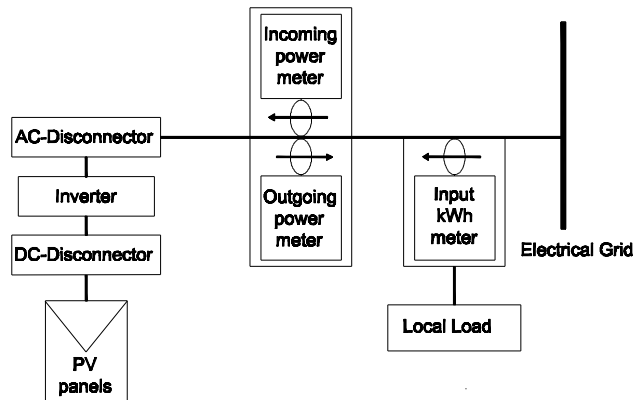


Figura 2.1 – Esquema de ligação de uma unidade de microgeração FV em Portugal.

2.2 Microprodutor

Entidade que produz electricidade por intermédio da unidade de microprodução. Podem ser produtores de electricidade todas as entidades que disponham de um contrato de compra e venda de electricidade em Baixa Tensão.

Uma Unidade de microprodução, corresponde a uma instalação de produção de electricidade monofásica, em baixa tensão, com potência de ligação até 5,75 kW.

Os produtores poderão estabelecer uma unidade de microprodução por cada instalação eléctrica de utilização, vendendo a totalidade de electricidade produzida, nos limites de potência permitidos. É no entanto pretendido que a electricidade fornecida pelos produtores não cause perturbações no normal funcionamento da rede pública BT [7].

2.2.1 Acesso ao regime de geral

Para obter acesso ao regime geral, aplica-se a todas as entidades com actividade de microprodução.

Condições de acesso a este regime são [7] [8]:

1. A potência de ligação é limitada a 50% da potência contratada até um máximo de 5,75kW em instalações não integradas em condomínios.
2. Instalações de microprodução integradas em condomínio, em que não foi realizada uma auditoria energética ou não foram implementadas as medidas de eficiência energética reconhecidas na auditoria.
3. Nas instalações onde não foram montados colectores solares térmicos para aquecimento de água, em que a área mínima do colector tem que ser superior ou igual a 2m², caso não esteja previsto a instalação de cogeração a biomassa para aquecimento do edifício.
4. A produção de electricidade por cogeração com base em energia não renovável.
5. A tarifa de venda é a mesma que a tarifa aplicada na instalação de consumo.

2.2.2 Acesso ao regime bonificado

O regime bonificado é aplicado a unidades de microprodução com uma potência limitada a 50% da potência contratada e não superior a 3,68kWp, que utilizem as seguintes fontes de energia: solar, eólica, hídrica, cogeração a biomassa, pilhas de combustível. Assim, se o microprodutor possuir um contrato de potência contratada de 6,9kVA, fica limitado à instalação de uma unidade de microprodução de potência máxima de 3,45kW. Seguindo a mesma linha de raciocínio, o microprodutor com contrato de potência de 10,35kVA poderia instalar uma unidade de microprodução de 5,175kW, no entanto, de acordo com o Decreto-Lei 363/2007, a potência de ligação à rede da unidade de microprodução está limitada a 3,68 kW [7] [8].

2.2.2.1 Instalação não integrada num condomínio

A instalação de colectores solares térmicos para aquecimento de água na instalação de consumo em que a área mínima do colector tem que ser superior ou igual a 2m², caso não esteja previsto a instalação de cogeração a biomassa para aquecimento do edifício, a qual a existir deve estar integrada no aquecimento do edifício.

E não tenha sido atingido o limite anual de potência de ligação registada, a nível nacional [7] [8].

2.2.2.2 Instalação integrada num condomínio

Tem que ser realizada uma auditoria energética ao edifício, depois implementar as medidas de eficiência energéticas identificadas.

E não tenha sido atingido o limite anual de potência de ligação registada, a nível nacional [7] [8].

2.3 Remuneração do regime bonificado

Cada produtor no regime bonificado terá definida uma tarifa única de referência, aplicável à energia produzida no ano de instalação e nos cinco anos civis seguintes. A tarifa de referência apresenta o valor de 0,65 €/kWh, para os primeiros 10 MW de potência de ligação registada. Por cada 10MW adicionais de potência de ligação registada, a tarifa de ligação é sucessivamente reduzida de 5%. Após os 5 anos e num período adicional de 10 anos, a tarifa a aplicar será a tarifa em vigor a 1 de Janeiro desse ano, para as novas instalações a ligar à rede que lhe sejam equivalentes. Ao fim destes 10 anos, aplica-se a tarifa do regime geral em vigor.

A electricidade vendida encontra-se limitada no caso das unidades de microprodução solar a 2,4MWh/ano e nos restantes casos a 4MWh/ano, por cada kW instalado, mais simplificado (2400x3,68=8832kWh), potência máxima que pode ser vendida o excedente não será pago, irá entrar na rede a custo zero.

A potência de ligação registada no regime bonificado é sujeita a um limite anual, o limite previsto é de 10MW no primeiro ano, sendo aumentado, anual e sucessivamente, em 20% [7] [8].

2.4 Funções do SRM

O SRM é a plataforma electrónica já exposta, de interacção com os produtores, no qual é realizado todo o relacionamento com a administração necessária para exercer a actividade de microprodutor [7].

2.4.1 Registo no SRM

2.4.1.1 Produtor

Para poder instalar uma unidade de microprodução, o produtor deve realizar o seu registo no SRM, onde o formulário disponibilizado precisa da seguinte informação [8]:

- ✓ Identificação do produtor de energia
- ✓ Morada e E-mail do Produtor
- ✓ N° de contribuinte do Produtor, que deverá corresponder à designação social do produtor, e que coincida com o presente no contrato de fornecimento de energia da instalação de consumo
- ✓ Código de utilizador e palavra passe, que permitiram depois aceder ao processo

2.4.1.2 Como entidade instaladora

As entidades instaladoras que pretendam exercer a função de instalação de unidades de microprodução têm de se preencher o formulário disponibilizado para que se possam registar no SRM, necessita da seguinte informação [8]:

- ✓ Nome da Entidade
- ✓ Morada
- ✓ Localidade
- ✓ Telefone/Fax
- ✓ NIF/NIPC
- ✓ N° de Alvará e prazo de validade do mesmo
- ✓ Informação da habilitação para exercer instalações eléctricas:

4ª Categoria - Instalações eléctricas e mecânicas

5ª Subcategoria - Instalações de produção de energia eléctrica

- ✓ E-mail
- ✓ Código de utilizador e palavra passe

Os dados concedidos pela entidade instaladora depois de validados pelo SRM, o SRM solicita-lhe os dados do técnico responsável por instalações eléctricas se serviço particular que suportou a emissão do respectivo alvará pelo InCI, ou outro igualmente habilitado que faça parte do quadro permanente.

2.4.2 Unidade microprodução

O produtor deve efectuar o pedido de registo da unidade de microprodução fornecendo as informações solicitadas no SRM [7] [8].

- ✓ Nome, podendo este diferir do nome do produtor
- ✓ Telefone para contacto
- ✓ Telefone para sms (envio de informações sobre o processo a enviar ao produtor por sms)
- ✓ CPE (código do ponto de entrega)
- ✓ Identificação do Comercializador

O CPE deverá constar na factura de energia eléctrica da instalação de consumo do sítio onde se vai instalar a unidade de microprodução. Caso tal não se verifique, este deverá contactar os serviços de modo a fornecer o CPE.

2.4.3 Validação do SRM

Procedimento para instalar uma unidade de microprodução, o candidato deve efectuar o registo no SRM, disponível no sítio da Internet da DGEG, escolher o tipo de regime remuneratório pretendido, bem como o comercializador com o qual tenciona celebrar o contrato de compra e venda de electricidade.

Caso tenha o correcto preenchimento do registo e não ultrapassando os limites de potência. É enviado um SMS ao produtor, alertando-o para a disponibilidade da resposta ao seu pedido no SRM. O produtor tem então 5 dias para efectuar a confirmação do registo. Após tal ter sido efectuado, o produtor recebe a Referencia Multibanco, para a qual deve transferir, num prazo de 5 dias úteis, o valor da taxa de registo da instalação de microprodução. O não pagamento desta taxa implica uma anulação do registo.

Após o registo provisório, o produtor tem 120 dias para instalar a unidade de microprodução e efectuar o requerimento do certificado de exploração no SRM, indicando no formulário electrónico qual o equipamento instalado, bem como a entidade instaladora, e o técnico responsável por Instalações Eléctricas de serviço particular, ao serviço da mesma [7] [8].

2.4.4 Certificado de exploração

2.4.4.1 Inspeção

O certificado de exploração será emitido após realização da inspeção que terá lugar, num prazo de 20 dias após se ter efectuado o requerimento, com data e hora marcada do conhecimento do produtor e do técnico responsável pela instalação da unidade de microprodução. Esta será realizada pela ERIIE, com presença obrigatória do técnico responsável pela instalação. Na inspeção é verificada se a instalação da unidade de microprodução coincide com o descrito no Decreto-Lei 363/2007 e na regulamentação em vigor, se o contador se encontra correctamente instalado e funcional, e efectuam-se ensaios para verificar o correcto funcionamento dos equipamentos.

Caso a instalação se encontrar em condições de ser ligada à RESP, o relatório da inspeção é entregue ao produtor ou ao técnico responsável, servindo de substituto ao certificado de exploração, o qual será entregue posteriormente ao produtor através do SRM.

No caso da instalação não se encontrar em condições de ser ligada à RESP, é entregue um relatório de inspeção ao produtor ou ao técnico responsável que inclui as deficiências encontradas e respectivas cláusulas que devem ser cumpridas para que tal não se verifique [7] [8].

2.4.4.2 Segunda Inspeção

Se na primeira inspeção são encontradas deficiências que ponham em perigo pessoas e bens, tem que ser realizada uma segunda inspeção para poder ser emitido o certificado de exploração.

O produtor dispõe então de 30 dias para realizar as correcções necessárias e marcar uma nova inspeção, sendo uma segunda inspeção automaticamente marcada para o 1º dia útil findado o prazo referido.

Esta segunda inspeção é efectuada mediante o pagamento de uma taxa, estabelecida na portaria nº201/2008, deve ser paga através de terminal multibanco ou *homebanking*.

Caso na segunda inspeção ainda se verificarem as deficiências que ponham em perigo pessoas e bens, não é autorizada a ligação à RESP da unidade de microprodução, procedendo-se, neste caso, ao cancelamento do registo da unidade de microprodução.

Caso o pagamento da taxa não seja efectuado, se a inspeção não ocorrer por motivos da responsabilidade do produtor ou se forem verificadas novamente deficiências na instalação, o registo da unidade de microprodução é cancelado, sendo o produtor obrigado a realizar novo registo [7] [8].

2.4.4.3 Dispensa de inspeção

O SRM pode não realizar inspeção quando a unidade em questão foi instalada por um técnico que já tenha passado por cinco inspeções sucessivas, sem recurso a segunda inspeção. Aqui é implementado um sistema de amostragem por sorteio, que determina se a instalação será inspeccionada ou não [7] [8].

2.5 Equipamentos e Contagem

Os equipamentos eléctricos usados numa unidade de microprodução devem ser portadores da marca CE, mostrando assim que se encontram abrangidos pela Directiva de BT do Decreto-Lei nº6/2008. O inversor a utilizar deverá estar de acordo com a norma EN 50438 ou DIN VDE 0126-1-1, sendo necessário mostrar junto da DGEG um certificado que mostre que prove a aptidão do inversor. O SRM disponibiliza uma lista dos inversores possíveis de se usar, de acordo com a informação cedida pela DGEG.

O equipamento de contagem de electricidade, é independente do contador da instalação de consumo e deve estar disponível num local de livre acesso ao comercializador com quem o contrato foi celebrado e ao operador de rede de distribuição, os quais também

deverão ter acesso aos equipamentos de protecção da interligação. A contagem da electricidade será realizada por telecontagem, através de um contador bidireccional, ou contador que assegure a contagem líquida nos dois sentidos. Este terá de ser independente do contador da instalação de consumo [7] [8].

2.5.1 Controlo dos equipamentos

Fabricantes, importadores, seus representantes e as entidades instaladoras podem comprovar com a entidade responsável pelo SRM que os equipamentos estão certificados e a natureza da certificação, o SRM deve proceder à respectiva disponibilização no sítio da internet.

Caso os produtores instalem equipamentos que não tenham sido previamente certificados pelo SRM devem apresentar os respectivos certificados na inspecção [7].

2.5.2 Contrato de compra e venda

O comercializador será informado pelo SRM no prazo de 5 dias úteis após a emissão do certificado de exploração. O comercializador tem depois 5 dias úteis para enviar o contrato de compra e venda ao produtor. Se o comercializador não pretender celebrar contrato com o produtor, deverá notificar o SRM, que contactará o comercializador de último recurso, com a finalidade de ser este a celebrar o contrato com o produtor. Após a celebração do contrato o produtor deverá registar-se no SRM.

O SRM notificará o operador da rede de distribuição, que deverá efectuar a ligação da unidade de microprodução à RESP, num prazo de 10 dias úteis. A data de ligação deve ser remetida pelo operador à RESP. É da responsabilidade do produtor, o estabelecimento de condições para que a referida ligação seja possível [7] [8].

2.5.3 Alteração da titularidade

É possível haver mudança de produtor de uma unidade de microprodução, desde que esta mantenha as suas características técnicas. O novo produtor deve proceder ao registo no SRM, de modo a poder substituir o anterior.

Dá-se a possibilidade de transferir uma unidade de microprodução para um novo local de consumo, sendo necessário proceder-se como se de uma nova instalação se tratasse. No entanto deve manter-se a data, número de registo e o regime remuneratório detidos anteriormente à alteração do local de instalação [7] [8].

2.5.4 Alteração da instalação

O produtor é livre de efectuar alterações na instalação da unidade de microprodução, durante a exploração desta, tendo para isso de proceder a novo registo no SRM. A data da instalação inicial mantém-se para efeitos de fixação da tarifa de referência. Se as alterações efectuadas conduzirem a uma alteração da potência de ligação, será efectuada a uma avaliação da possibilidade de ligação pelo SRM [8].

2.6 Monitorização e Controlo

As instalações de microprodução são sujeitas à monitorização e controlo realizadas pela entidade responsável do SRM. Esta monitorização visa a verificação das protecções de interligação com a RESP, bem como as características da instalação previstas no registo, e abrange anualmente pelo menos 1% das instalações que são seleccionadas por amostragem e sorteio [7].

2.7 Incentivos fiscais

Nestes seguintes pontos são abordados os incentivos fiscais acessíveis aos interessados em microprodução. A Portaria n.º 725/91 descreve que fontes de energia e equipamentos são abrangidos por estes. Assim as formas de energia renováveis aos quais são aplicáveis os ditos benefícios são a radiação solar directa ou difusa, a energia contida nos resíduos florestais ou agrícolas e a energia eólica. Como equipamentos abrangidos têm-se as instalações solares térmicas para aquecimento de águas sanitárias, que utilizam colectores solares planos ou colectores solares concentradores; os painéis fotovoltaicos e respectivos sistemas de controlo e armazenamento de energia; os aerogeradores de potência nominal inferior a 5 kW e respectivos sistemas de controlo e armazenamento de energia eléctrica a habitações [9].

2.7.1 IRS

Com a aquisição de equipamentos novos para utilização de energias renováveis ou que consumam gás natural é possível deduzir 30% das importâncias despendidas, com o limite máximo de 803 euros, não podendo estes ser considerados custos da categoria B, isto é, rendimentos empresariais e profissionais [10].

2.7.2 IVA

O preço de custo dos equipamentos específicos para sistemas fotovoltaicos, isto é os painéis solares e o inversor, está sujeito à taxa intermédia de IVA de 12% [11].

Capítulo

3

Avaliação Económico-Financeira do Investimento

Neste capítulo são apresentados alguns dos indicadores de avaliação económico-financeira do investimento. Esses indicadores irão permitir fazer a avaliação económica do investimento, responder a perguntas tais como: Quando vai ser amortizado o investimento? O projecto de investimento é viável ou inviável? Após este capítulo saberemos, calcular os indicadores que permitem dar resposta a essas perguntas.

3.1 Introdução

Projectos de investimento não são fáceis de examinar. Para começar, são diversos os pontos de vista importantes para a sua apreciação: estratégico, comercial, político, financeiro e outros. Neste trabalho apenas será abordado o ponto de vista financeiro, sendo que nunca é de mais salientar que esta é apenas uma das facetas da avaliação de projectos, não se pode esquecer das restantes.

Com a avaliação económico-financeira de projectos pretende-se responder a duas perguntas fundamentais [12]:

1. Será que o projecto a implementar é rentável?
2. Qual dos projectos que tenho em vista é mais rentável?

A primeira questão prende-se com a classificação de um projecto: aceitar ou não aceitar. A segunda prende-se com a ordenação: este é o melhor, depois aquele, depois o outro.

Existe ainda uma pergunta “financeira” que nos poderá parecer mais óbvia: quanto é que este projecto rende? Entretanto esta pergunta não tem resposta directa. Para a abordar é inevitável estabelecer uma variedade de pressupostos e critérios, pelo que qualquer resposta resulta fortemente contextualizada e condicionada. As boas notícias são que ao responder às questões 1) e 2) em cima também trará alguma luz a esta terceira pergunta.

Neste trabalho são apresentadas algumas noções de base, tais como o valor do dinheiro no tempo. Depois a explicação de alguns dos critérios de avaliação económico-financeira mais difundidos e utilizados, incluindo os respectivos métodos de cálculo.

3.2 Noções de base

3.2.1 Conceito de *cash-flow*

Cash-flow é o fluxo de dinheiro de e para um projecto de investimento. No âmbito da análise económico-financeira de projectos de investimento o factor importante é o fluxo do dinheiro, e não as datas em que se assumem compromissos, se registam os custos / proveitos ou qualquer outro critério contabilístico [12].

O *cash-flow* é um conceito objectivo, claramente definido, que é registável de forma inequívoca. Por exemplo uma venda a prazo é registada na contabilidade enquanto benefício, traduzindo-se no aumento do lucro, contudo enquanto o dinheiro não for recebido não se

verifica qualquer alteração no *cash-flow*. Sucede que os pagamentos em dinheiro não se traduzem obrigatoriamente no aumento do saldo de tesouraria, pelo que é incorrecto traduzir-se *cash-flow* por fluxo de caixa.

Na definição de *cash-flow* é importante não só identificar os recebimentos e pagamentos do projecto em dinheiro, mas também o período de tempo em que se verifica esse fluxo, dado que o dinheiro tem valor no tempo [13].

O conceito de *cash-flow* é desagregável em termos do processo sequencial do projecto de investimento em [13]:

- *Cash-flow* de investimento;
- *Cash-flow* de exploração.

O *cash-flow de investimento* regista os pagamentos em dinheiro associados à despesa de investimento do projecto, líquido dos recebimentos em dinheiro associados à extinção do projecto.

O *cash-flow de exploração* regista os recebimentos líquidos de pagamentos em dinheiro associados à exploração do projecto.

A partir do *cash-flow* de investimento e do *cash-flow* de exploração define-se o *cash-flow líquido* [13].

$$\begin{array}{rcccl} \textit{Cash-flow} & & \textit{Cash-flow de} & & \textit{Cash-flow de} \\ \textit{Líquido} & = & \textit{exploração} & - & \textit{investimento} \end{array}$$

O *cash-flow* de investimento obtém-se a partir do investimento e o *cash-flow* de exploração a partir do plano de exploração. O plano de investimento e o plano de exploração registam os fluxos de saída (pagamentos/despesas) e entrada (recebimentos/receitas) de numerários devidos ao projecto; a característica fundamental dos fluxos registados é a de serem fluxos de numerário, característica esta que independente da forma como são financiados os pagamentos.

3.2.2 Valor residual

O valor residual do investimento é o valor de mercado dos terrenos, edifícios, etc. que constituem a despesa de investimento do projecto, considerados no último ano de vida do projecto. Com o fim do projecto, o valor desses *itens* não desaparece sendo necessário atribuir ao projecto a receita de numerário que corresponderá ao valor de mercado desses *itens* [13].

O valor de mercado a considerar varia de *item para item*. Por exemplo, o valor dos terrenos e construções tende a aumentar com o tempo, enquanto o valor dos equipamentos, devido ao menor período de vida técnica, tende a diminuir [13].

Note-se que quando a vida económica ou a vida técnica do equipamento é inferior ao período de vida do projecto, o valor residual desse equipamento tem de ser considerado nesse período. O valor residual constituirá uma receita financeira que compensa a despesa financeira correspondente ao novo equipamento de substituição [13].

3.2.3 Actualização

O conceito de actualização é essencial à possibilidade de aplicação de capital num período actual com objectivo de obter rendimento futuro.

Os agentes económicos, independentemente do risco, da inflação e da desvalorização cambial, preferem rendimento imediato a rendimento futuro. Esta preferência pelo rendimento actual tem natureza psicológica e varia de indivíduo para indivíduo conforme as respectivas necessidades actuais e as expectativas sobre o futuro; contudo, independentemente das variações inter-individuais, os agentes económicos estão dispostos a pagar um juro pelo sacrifício de deferir o consumo actual em troca de consumo futuro [13].

A escolha pelo presente, permite afirmar que o dinheiro tem valor no tempo e que uma unidade monetária actual é equivalente a um múltiplo dessa unidade num período posterior [13].

Assim sendo pode-se concluir que a mesma unidade financeira actual e a mesma quantia no próximo anos são dois valores diferentes, que não se podem comparar nem adicionar.

O relacionamento entre as duas unidades financeiras desfasadas no tempo pode ser determinado recorrendo: a taxa de juro, é o preço do dinheiro no tempo, criando assim ligação entre a unidade financeira actual e a unidade financeira futura.

Um valor financeiro de 1000€ actuais vale, à taxa de juro de 10%.

$$1000 * (1 + 0,1) = 1000 + 0,1 * 1000 = 1100$$

Esta operação designa-se por capitalização e permite projectar no futuro fluxos de rendimentos actuais. Naturalmente que 1100€ daqui a um ano têm, actualmente, à taxa de juro de 10%, o valor:

$$\frac{1100}{(1 + 0,1)} = 1000$$

Esta operação designa-se por actualização e é a operação inversa da capitalização, permitindo projectar no presente (actualmente) fluxos de rendimentos futuros.

Conclui-se, portanto, que o capital capitalizado (acumulado), no período t_n , com $n = 0, 1, 2 \dots$ igual a [14]:

Período:	0	t_1	t_2	t_3
Valor	x	$x(1+i)$	$x(1+i)^2$	$x(1+i)^3$

A actualização do *cash-flow* do projecto é a operação inversa da capitalização e consiste na divisão do fluxo de *cash-flow* pelo factor de actualização [14]:

Cash-flow actualizado

Período:	0	t_1	t_2	t_3
<i>Cash-flow</i> actualizado	x	$\frac{x}{1+i}$	$\frac{x}{(1+i)^2}$	$\frac{x}{(1+i)^3}$

Enquanto a actualização projecta no presente (no período actual) fluxos de rendimento gerados no futuro, a capitalização projecta no futuro (um período determinado, em geral o último período) fluxos de rendimento gerados nos períodos precedentes ao último período. A razão pela qual se actualizam os fluxos gerados por um projecto de investimento advém do facto da decisão relativa à implementação do projecto se fazer actualmente.

3.3 Análise e avaliação de investimentos

Quando se ambiciona realizar um determinado investimento é essencial averiguar se esse investimento irá ter retorno e em quanto tempo. É importante fazer uma análise económico-financeira para se fazer a avaliação de todas as opções de investimento e para decidir qual se revela mais atraente consoante os objectivos desejados.

Um investimento em energias renováveis exige tal como outro investimento qualquer, de uma análise de viabilidade económica. A correcta avaliação da viabilidade económico-financeira dos investimentos em instalações de produção descentralizada de energia eléctrica é condição fundamental para que o gradual estabelecimento das novas tecnologias de energia se faça de modo sólido e convincente.

3.3.1 Indicadores de avaliação de projectos baseados no *cash-flow*

Os critérios de avaliação de projectos são medidas ou indicadores de rentabilidade dos projectos de investimento que servem de suporte à tomada de decisão de implementar ou não implementar o projecto.

Os critérios de avaliação baseados no *cash-flow* são os critérios por excelência da avaliação da rentabilidade dos projectos de investimento. Uma vez que esses critérios têm em consideração o valor temporal do dinheiro.

3.3.2 Valor actualizado líquido (VAL)

Na análise económico-financeira de projectos o indicador mais difundido é o Valor Actualizado Líquido – VAL (em inglês *Net Present Value* – NPV).

O VAL origina da soma algébrica da despesa de investimento com o valor actualizado dos *cash flows* de exploração do investimento, segundo uma taxa de juro que corresponde ao custo de oportunidade do capital (taxa de actualização) [14] [15] [16].

$$\sum_{t=1}^n \frac{CFE_t}{(1+i)^t} - Invest = VAL \quad (3.1)$$

Onde:

- CFE_t é o *cash-flow* de exploração no ano t ;
- $Invest$ é a despesa de investimento no ano 0;
- i é a taxa de actualização correspondente ao custo de oportunidade do capital.

Temos portanto que o VAL é o somatório dos *cash-flows* líquidos actualizados subtraindo o investimento.

Um projecto é rentável quando o valor líquido actual é positivo á taxa de actualização escolhida. Todos os projectos com $VAL > 0$ são implementáveis de acordo com o critério e todos os projectos com $VAL < 0$ são rejeitados.

Vejamos um exemplo de aplicação [13]:

Tabela 3.1 – Exemplo de investimento para calcular o VAL.

Ano	Cash-flow	Factor de actualização de 10%	Cash-flow actualizado
0	(10000)	1	(100000)
1	20000	0,9091	18182
2	40000	0,8264	33058
3	80000	0,7513	60104
4	100000	0.6830	68300
			VAL=79644

Conclui-se, portanto, que o investidor investe 100000€, remunera o capital que se mantém investido à taxa de 10%, recupera o investimento inicial e gera um excedente de 79644€.

Afirmar que o projecto gera um VAL de 79644 significa que o investidor recebe cada ano parte do investimento realizado, e um juro, à taxa de actualização de 10% sobre o capital investido.

Conhecido o período de vida do projecto, como o investimento é dado e as receitas e despesas da exploração também são dadas, o único parâmetro variável na fórmula do VAL é a taxa de actualização.

A dependência do VAL relativamente à taxa de actualização é a seguinte:

$$\frac{\Delta VAL}{\Delta i} < 0$$

Pelo que, tanto maior a taxa de actualização tanto menor será o VAL. Em termos gráficos a relação entre a taxa de actualização e o VAL vem:

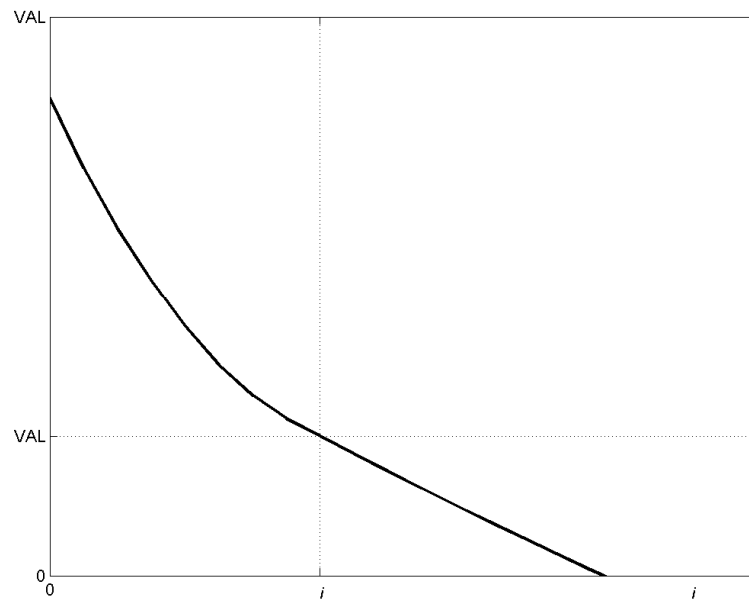


Figura 3.1 – Variação do VAL com a taxa de actualização. Adaptado de [15].

3.3.3 Taxa interna de rentabilidade (TIR)

Um dos indicadores também muito utilizado na análise financeira de projectos é a Taxa Interna de Rentabilidade - TIR (em inglês *Internal Rate of Return* - IRR) [14] [15] [16].

$$\sum_{t=0}^n \frac{CFE_t}{(1 + TIR)^t} - Invest = 0 \quad (3.2)$$

Onde:

- CFE_t é o *cash-flow* de exploração no ano t ;
- $Invest$ é a despesa de investimento no ano 0;

A TIR iguala o *cash-flow* de exploração ao *cash-flow* de investimento, anulando o VAL.

Em termos de gráficos a TIR vem:

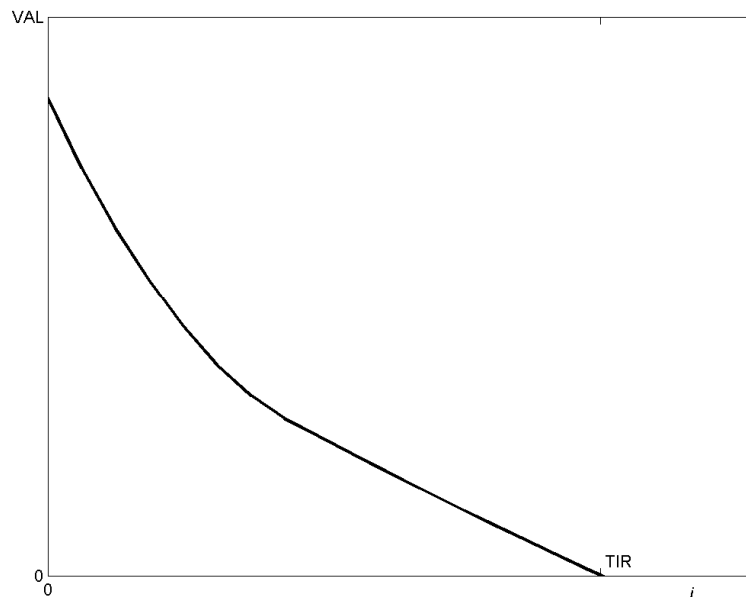


Figura 3.2 – Representação gráfica da TIR, corresponde ao ponto em que a curva do VAL passa no eixo das abcissas. Adaptado de [15].

Observa-se que para este investimento o VAL decresce à medida que a taxa de actualização “ i ” aumenta e que, a dada altura, intersecta o eixo xx, ou seja existe uma taxa de actualização “ i ” para a qual VAL é 0. Essa taxa é, por definição, a TIR:

Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) - Valor da taxa de actualização para a qual o VAL é igual a 0 [15].

- ✓ TIR = taxa de actualização, o projecto gera uma taxa de rentabilidade igual ao custo de oportunidade do capital, VAL=0 pelo que económico - financeiramente é indiferente aceitar/rejeitar o projecto; [15]
- ✓ TIR > taxa de actualização, o projecto consegue gerar uma taxa de rentabilidade superior ao custo de oportunidade do capital, pelo que do ponto de vista económico-financeiro encontrar-se perante um projecto viável; [15]
- ✓ TIR < taxa de actualização, então o VAL<0; o projecto não consegue gerar uma taxa de rentabilidade superior ao custo de oportunidade do capital, pelo que do ponto de vista económico-financeiro encontrar-se perante um projecto inviável; [15]

3.3.4 Período de Recuperação do Investimento (*PAYBACK*)

O período de recuperação do investimento, *payback period* ou apenas *payback* não é um indicador de rentabilidade, mas sim um indicador de liquidez.

Não há um critério de aceitação ou rejeição de projectos com base no *payback*. Tal depende do investidor, da sua disponibilidade ou necessidade de capital; mais do que um indicador da performance financeira do projecto, trata-se de um indicador de liquidez [14].

O *payback* equivale ao número de anos necessários para resgatar o investimento, visando a importância do valor do dinheiro ao longo do tempo, por isso os *cash-flows* de exploração são actualizados a taxa de actualização e comparados com o investimento. Conforme o *payback* um projecto deve ser aceite se for abaixo ou igual a um determinado período limite de recuperação pré-estabelecido pelos promotores do projecto de investimento.

Vamos ver um exemplo com o *cash-flow* actualizado

Tabela 3.2 – Exemplo de investimento para calcular o *payback* [13].

Ano	<i>Cash-flow</i>	Factor de actualização de 10%	<i>Cash-flow</i> actualizado
0	(100000)	1	(100000)
1	20000	0,9091	18182
2	40000	0,8264	33058
3	80000	0,7513	60104
4	100000	0.6830	68300

Considerando o *cash-flow* acumulado, após a actualização, tem-se:

Tabela 3.3 – Cálculo do *cash-flow* actualizado acumulado [13].

Ano	<i>Cash-flow</i> actualizado	<i>Cash-flow</i> actualizado acumulado
0	(100000)	(100000)
1	18182	(81818)
2	33058	(48760)
3	60104	11344
4	68300	79644

O investimento é retomado entre o 2.º e o 3.º ano. Interpolando, obtemos:

$$\frac{60104}{1} = \frac{48760}{x} \Rightarrow x = 0,81 \text{ anos}$$

O *payback* é de 2,81 anos, assim caso seja inferior ao período limite fixado, então o projecto é aceite.

Capítulo

4

Tecnologia Fotovoltaica

Neste capítulo é feito um estudo sobre a energia solar fotovoltaica. Uma breve explicação como funciona, das tecnologias existentes, quais as tecnologias que actualmente dominam o mercado FV, características eléctricas das células e módulos, efeitos da radiação e temperatura nos módulos. E ainda como se calcula uma estimativa da produção.

4.1 Sol fonte de energia

O Sol fornece energia na forma de radiação, que é a base de toda a vida na Terra. No centro do Sol, a fusão transforma núcleos de hidrogénio em núcleos de hélio. Durante este processo, parte da massa é transformada em energia. O Sol é assim um enorme reator de fusão [17].

Com a enorme distância existente entre o Sol e a Terra, apenas uma mínima parte da radiação solar emitida atinge a superfície da Terra. Esta radiação corresponde a uma quantidade de energia de 1×10^{18} kWh/ano, essa quantidade de energia solar que atinge a superfície da Terra corresponde, aproximadamente, a dez mil vezes à procura global de energia. Assim, teríamos de utilizar apenas 0,01% desta energia para satisfazer a procura energética total da humanidade [17].

A energia solar pode ser aproveitada para gerar energia eléctrica através de células solares, tecnologia fotovoltaica. Ainda temos outras tecnologias de aproveitamento da radiação solar que estão disponíveis: os sistemas solares térmicos, que aproveitam a luz do sol para produzir calor e aquecer água são já bastante utilizados em Portugal. A sua utilização é economicamente viável e uma lei recente obriga a que todos os novos edifícios possuam de raiz condições para que estes equipamentos sejam facilmente instalados [18]. Uma outra solução (sistemas termoeléctricos), os sistemas CSP (do inglês Concentrating Solar Power), lentes ou espelhos parabólicos concentram a radiação solar em painéis de alta eficiência. É utilizado o calor do sol para aquecer fluidos, com os quais é produzida energia eléctrica. A tecnologia é bastante distinta da do fotovoltaico normal, e a sua aplicação em sistemas de pequena escala é mais difícil.

4.2 Tecnologia fotovoltaica

O efeito fotovoltaico traduz a transformação directa da luz em energia eléctrica, recorrendo-se a células solares. O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839. Neste processo, são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio, telurieto de cádmio ou disselenieto de cobre e índio. A célula de silício cristalina é a mais comum. Presentemente, cerca de 95 % de todas as células solares do mundo são de silício. O silício mostra uma disponibilidade quase infinita. O silício não existe como um elemento químico. Existe apenas associado à areia de sílica [17].

Inicialmente o desenvolvimento da tecnologia FV era feito por empresas do sector de telecomunicações, de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas. O segundo agente impulsionador foi a "corrida espacial". A célula solar era, e continua a ser, o meio mais adequado (menor custo e peso) para fornecer a quantidade de energia necessária para longos períodos de permanência no espaço. Outro uso espacial que impulsionou o desenvolvimento das células solares foi a necessidade de energia para satélites.

Antes de distinguir em maior pormenor quais as tecnologias presentemente utilizadas, é preciso entender como funciona todo o sistema que permite obter electricidade a partir do Sol. O painel fotovoltaico é o elemento principal. É composto por um material semiconductor, tipicamente silício, constituinte da areia, que se carrega electricamente quando submetido à luz solar. Substâncias dopantes são adicionadas ao semiconductor para permitir uma melhor conversão da potência associada à radiação solar em potência eléctrica.

Os módulos são constituídos por células fotovoltaicas, que produzem tipicamente potências eléctricas da ordem de 1,5 Wp (relativos a uma tensão de 0,5 V e uma corrente de 3 A). As células são ligadas em série ou paralelo para formarem módulos ou painéis fotovoltaicos. Contactos de metal nas extremidades de cada célula constituem os terminais, que absorvem os electrões livres, concentrando assim a energia.

Para uma maior produção de energia a orientação dos painéis fotovoltaicos têm um papel fundamental. Inclinando-os com um ângulo igual ao da latitude a que se encontram, maximiza-se a radiação solar incidente sobre o painel ao longo do dia, e do ano. Alguns sistemas mais recentes possuem dispositivos de *tracking*, que localizam o sol e viram o painel na sua direcção. Sendo que a radiação solar varia consoante o período do dia, época do ano e condições climáticas, a quantidade total de radiação solar é expressa em termos de horas de pico solar.

4.3 Estado da tecnologia FV

A tecnologia fotovoltaica está dividida em três subcategorias. Estas separam os diferentes tipos de células existentes segundo o tipo. As células de primeira geração, feitas a partir de silício cristalino, englobam as soluções monocristalinas e policristalinas. As de segunda geração apareceram há cerca de 30 anos, e correspondem às soluções de película fina, onde novos materiais semicondutores são explorados. Por fim, a categoria das células de terceira geração, que engloba vários novos conceitos de células solares, na sua maioria ainda apenas na fase de desenvolvimento. Soluções microcristalinas, nanocristalinas ou híbridas são alguns exemplos. De seguida, temos um esquema com os tipos de células mais frequentes, com as suas principais características.

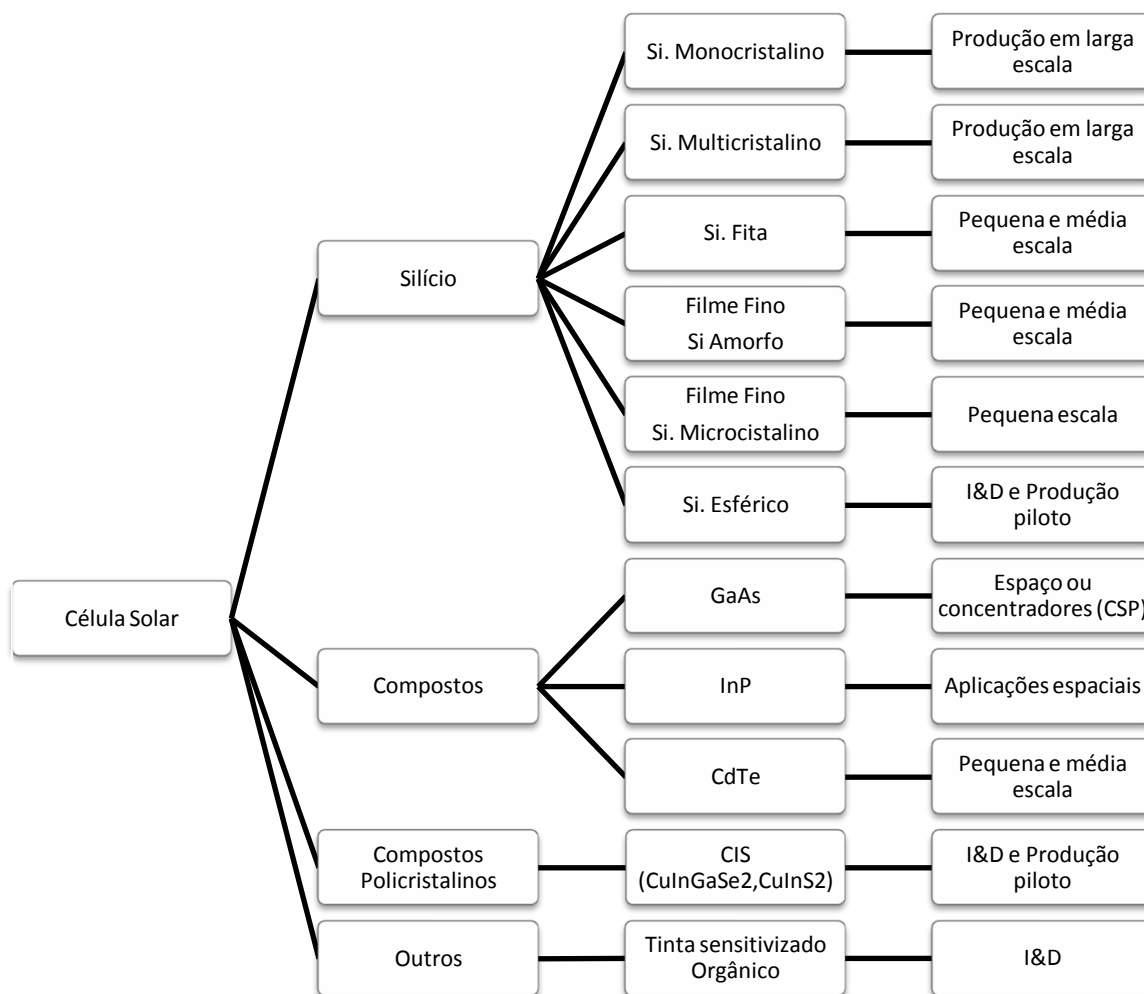


Figura 4.1 – Tecnologias das células fotovoltaicas existentes.

4.3.1 Células de silício cristalino (1ª geração)

É a geração tecnológica que domina o mercado actualmente. Hoje, 90% dos painéis fotovoltaicos instalados no mundo são feitos à base de silício cristalino. Dentro destes, o silício monocristalino é o mais antigo, e ainda o que domina o mercado. Tipicamente, apresenta eficiências entre os 15% e os 18%, e é utilizado em todo o tipo de aplicações terrestres de média e elevada potência. O silício policristalino é uma alternativa um pouco mais barata, mas também menos performance. A eficiência varia entre os 12% e os 15%, já com camada de anti-reflexão. As células Power são uma variação, resultado da engenharia de pastilha policristalina, e podem ser produzidas com duas faces fotossensíveis, mas têm eficiência da ordem dos 10%. Exemplos de tecnologias menos comuns são as de silício policristalino EFG, faixa de filamentos (policristalino), rede dendrítica (monocristalino), ou ainda as células policristalinas Apex [17].

4.3.2 Células de película fina (2ª Geração)

A segunda geração de células vem responder a uma necessidade de redução do consumo de silício, muito oneroso por requerer elevadas temperaturas na produção e um grau de pureza muito alto. A película fina tem também a vantagem de ser muito menos pesada, permitindo aplicações integradas em fachadas de edifícios. A principal tecnologia é a do silício amorfo, muito usada na electrónica profissional e em relógios ou calculadoras. Embora apresente eficiências muito mais baixas do que as de primeira geração, da ordem dos 5% a 7%, o seu fabrico é mais barato, e funciona com uma gama de luminosidade mais alargada: podemos utilizar calculadoras solares apenas com iluminação difusa, em interiores. As células de Diselenieto de Cobre e Índio (CIS) são mais eficientes e igualmente baratas, mas contêm Cádmiio, um material perigoso e interdito pela UE. Há ainda a tecnologia de Telurieto de Cádmiio (CdTe [17]).

4.3.3 Conceitos de novas células solares (3ª Geração)

Estas novas tecnologias estão ainda em fase de estudos. Prometem grandes eficiências e custos muito mais baixos, mas o seu processo de desenvolvimento tecnológico não deverá permitir que tenham expressão significativa no mercado nos próximos 10 a 15 anos. Refiram-se as tecnologias nanocristalinas sensibilizadas com colorantes, microcristalinas, micromorfas e híbridas (Células solares HCl). É ainda importante referir uma outra, já bastante usada, mas apenas em situações muito específicas: o Arsénio de Gálio (GaAs) apresenta rendimentos que podem chegar a 25%, mas tem custos de produção muito elevados, que só permitem o seu uso em satélites ou sistemas de concentradores (CSP) [17].

4.3.4 Estado actual das diferentes tecnologias

Nos sistemas de microgeração fotovoltaica, geralmente são usadas células solares de silício monocristalino e policristalino. A nível de preços entre os dois o policristalino é mais barato mas em contrapartida tem menor eficiência.

A eficiência de conversão da energia pelas células fotovoltaicas é geralmente baixa. No entanto, tem-se alcançado uma evolução notável. Esta evolução tem permitido uma redução drástica do custo de produção por kWh. A tabela 4.1 resume a eficiência de cada tipo de célula acima referido. É de notar que as células relativas às tecnologias de segunda geração têm actualmente uma eficiência mais baixa que as de primeira geração. Este facto deve-se em parte a um estado de desenvolvimento menos avançado, mas é também característico dessas tecnologias. O contraponto deste defeito é um custo de produção das células bastante inferior (nomeadamente por utilizarem menos silício), que aumenta a sua

competitividade. Nas tecnologias de terceira geração, os testes em laboratório revelaram já eficiências de conversão que lhes auguram um bom futuro.

Tabela 4.1 – Máxima Eficiência fotovoltaica, adaptado [17]

Material da célula	Eficiência Máxima Obtida		
	Laboratório	Produção	Produção em Série
Silício monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício policristalino	19,8%	15%	13%
Silício policristalino EFG	19,7%	14%	13%
Película fina	19,2%	9,5%	7,9%
Silício Amorfo *	13%	10,5%	7,5%
Silício Microamorfo *	12%	10,7%	9,1%
Híbrido HCl	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Telúrio de Cádmio	16,4%	10%	9%
Semicondutor III-V	35,8% **	27,4%	27%
Células com colorante	12%	7%	5% ***
*no estado estável	** medida com um fluxo concentrado de radiação	*** séries de produção limitada	

As tecnologias relatadas acima têm hoje diferentes estados de desenvolvimento. Apenas as tecnologias baseadas em silício estão já em fase de produção industrial e comercialização em massa. São estas que actualmente equipam a grande maioria dos dispositivos fotovoltaicos no Mundo. As tecnologias de segunda geração estão actualmente na fase de produção em escala piloto, e as de terceira geração não são ainda comercializadas, sendo que a maioria não saiu ainda de laboratório. Calcula-se que sejam precisos cerca de 10 a 15 anos para que uma nova tecnologia faça o seu percurso evolutivo até à produção industrial, pelo que teremos no curto prazo as tecnologias de segunda geração produzidas a nível industrial e comercializadas no mercado. A médio prazo, será a vez das novas ideias tecnológicas, as células de terceira geração, chegarem ao mercado.

4.4 Características eléctricas da célula solar

4.4.1 Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica

Uma célula FV pode ser modelizada através de um díodo de junção PN. A fonte de corrente $I_s(A)$ representa a corrente eléctrica gerada pela radiação solar. Na figura 3-9 é possível visualizar o esquema corresponde a uma célula fotovoltaica ideal. [19]

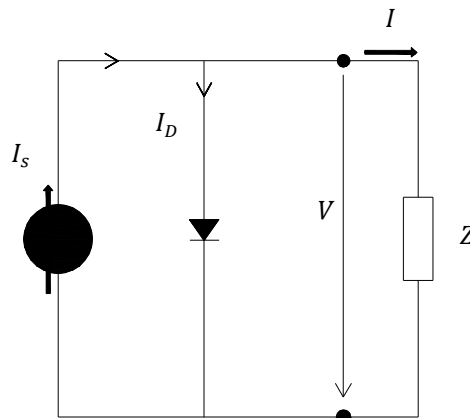


Figura 4.2 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica ideal [19].

A corrente que atinge a carga é dada pela seguinte equação:

$$I(A) = I_s - I_D = I_s - I_0 \cdot \left(e^{\frac{V}{m \cdot V_t}} - 1 \right) \quad (4.1)$$

Onde:

- $I_0(A)$ representa a corrente de saturação do díodo;
- m representa o factor de idealidade do díodo;
- V_t é obtido através da formula (equação (4.2));

$$V_t(V) = \frac{k \cdot t}{q} \quad (4.2)$$

Onde:

- k é a constante de Boltzmann ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} C$);
- t é a temperatura da célula ($^{\circ}K$);
- q é a carga do electrão ($q = 1,6 \cdot 10^{-19} C$).

O circuito equivalente de uma célula fotovoltaica inclui as resistências R_s e R_p que modelizam respectivamente as perdas de tensão e de corrente, e se mostram responsáveis pelo abatimento da curva característica da célula solar. De referir também que R_p se apresenta muito maior que R_s . A disposição destas é explicitada na figura 4.3.

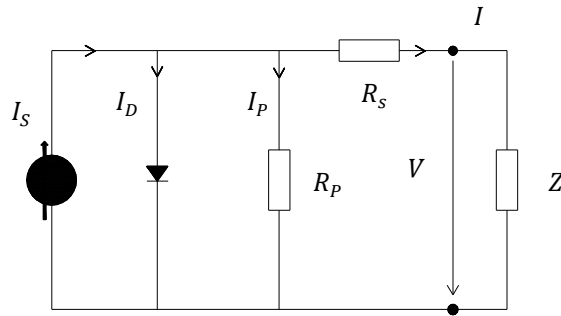


Figura 4.3 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica. Adaptado de [19].

A corrente que passa a carga é determinada pela seguinte equação:

$$I(A) = I_s - I_D - I_p = I_s - I_0 \cdot \left(e^{\frac{(V+R_s \cdot I)}{V_t}} - 1 \right) - \frac{V + R_s \cdot I}{R_p} \quad (4.3)$$

A característica I-V (corrente/tensão) de uma célula fotovoltaica pode ser determinada com base na equação (4.1). Para uma célula genérica a curva I-V típica encontra-se apresentada na figura 4.4

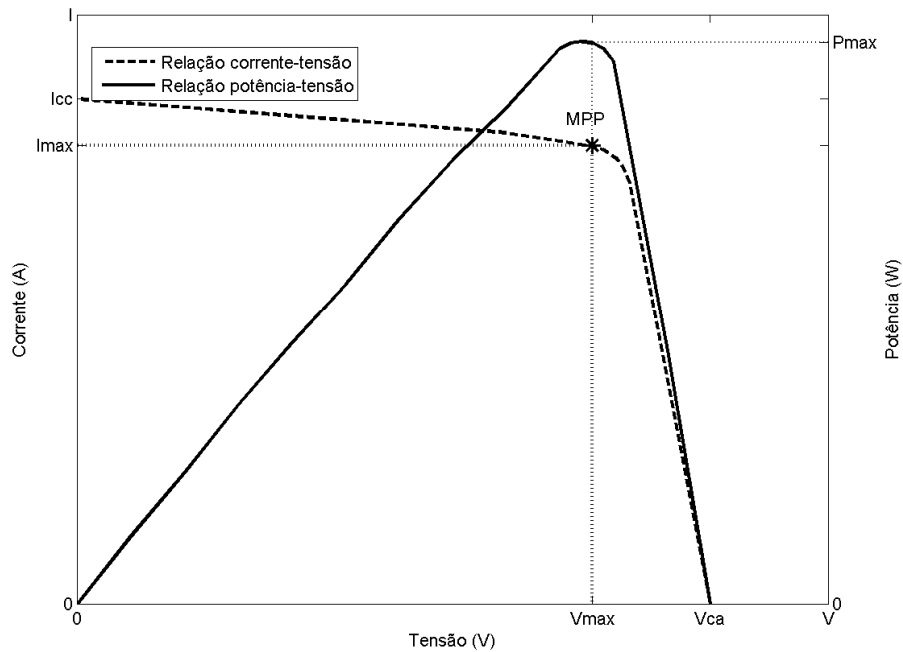


Figura 4.4 – Curva característica I–V de uma célula FV [17].

Para condições de radiação e temperatura arbitrárias, G_a e T_c , respectivamente a célula fotovoltaica é caracterizada pelos seguintes parâmetros fundamentais [17].

- Corrente de curto-circuito I_{CC} ;
- Tensão de curto aberto, V_{ca} ;
- Ponto de potência máxima, MPP;
- Rendimento máximo, $\eta = \frac{P_{max}}{P} = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{A \cdot G_a}$, em que A é a área da célula;
- Factor de forma, $FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{ca} \cdot I_{CC}}$,

O valor da corrente de curto-circuito, assim como o da tensão em circuito aberto são fornecidos pelos fabricantes para CST e/ou CNT de acordo com a tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Radiação e temperatura para CST e CNT

	CNT	CST
Radiação	$G_{a,ref} = 800W/m^2$	$G_{a,0} = 1000W/m^2$
Temperatura ambiente	$T_{a,ref} = 20^\circ C$	$T_{c,0} = 25^\circ C$

A influência da radiação e da temperatura nos parâmetros das células é tratada nas secções seguintes.

4.4.2 Parâmetros das células e dos módulos

Na prática, as condições de funcionamento de um sistema fotovoltaico diferem das CST, pelo que para um dado valor da radiação incidente e temperatura ambiente, G_a e T_a , respectivamente, a temperatura da célula é dada pela expressão:

$$T_c = T_a + G_a \cdot \frac{NOTC - 20}{800} \quad (4.4)$$

Onde:

- NOTC é a temperatura normal de funcionamento da célula (*Normal Operating Temperature of the cell*), cujo valor é fornecido pelo fabricante para as CNT.

Assim, para a temperatura da célula, a corrente de curto-circuito, a tensão em circuito aberto e o potencial térmico são dados pelas expressões seguintes:

$$I_{CC} = \frac{G_a}{G_{a,0}} [I_{CC,0} + \mu_{I_{CC}}(T_C - T_{C,0})] \quad (4.5)$$

$$V_{Ca} = V_{Ca,0} + \mu_{V_{Ca}}(T_C - T_{C,0}) \quad (4.6)$$

$$V_t = \frac{KT_C}{q} \quad (4.7)$$

Onde:

- $I_{CC,0}$ é a corrente de curto-circuito da célula em CTS;
- $V_{Ca,0}$ é a tensão de circuito aberto da célula em CST;
- $\mu_{I_{CC}}$ é o coeficiente de variação da corrente de curto-circuito com a temperatura, dada pelo fabricante;
- $\mu_{V_{Ca}}$ é o coeficiente de variação da tensão em circuito aberto com a temperatura, dada pelo fabricante;
- K é a constante de Boltzmann;
- q é a carga do electrão.

Tal como foi referido anteriormente, como a potência produzida por uma célula é relativamente baixa, são ligadas varias células em serie e/ou paralelo, de modo a produzir a característica I-V desejada.

4.5 Módulos fotovoltaicos

Pelo facto de uma célula ter potência reduzida justifica a ligação de várias células no fabrico dos módulos fotovoltaicos. Ao ligar as células em paralelo, soma-se as correntes e a tensão fica a mesma. Ao ligar células em série, soma-se as tensões e a corrente fica igual.

A classificação de um módulo pode ser feita recorrendo a diferentes aspectos, nomeadamente em função do material que constitui as células, do material que constitui o encapsulamento, tecnologia de substrato utilizada, estrutura da armação, entre outros. Destacam-se de seguida três classificações e respectivas breves descrições de módulos [17].

- Módulo Standard: O baixo custo, facilidade de montagem e valor estético faz com que estes módulos sejam utilizados caso não existam exigências especiais.
- Módulo Especial: Produzido em massa para um propósito específico, nomeadamente aplicações de pequena escala, veículos solares, barcos, telhas solares, entre outras.
- Módulo Específico: Fabrico para uma determinada aplicação, onde o local de aplicação tem forte influência na estrutura, dimensão e forma do módulo.

4.5.1 Curvas características dos módulos

4.5.1.1 Módulos ligados em série

A curva da figura 4.5 mostra a relação entre corrente e tensão para três módulos instalados em série. Onde é possível observar um aumento de tensão e a corrente permanece inalterada.

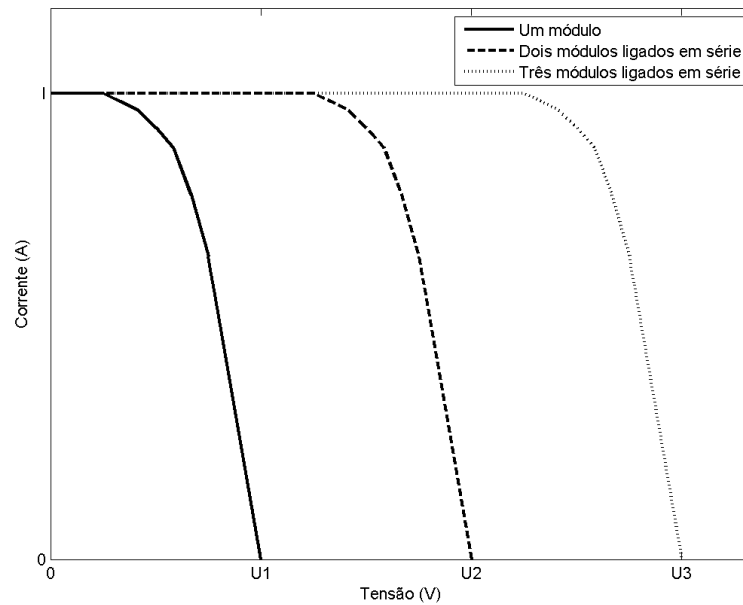


Figura 4.5 – Ligação em série de três módulos FV

4.5.1.2 Módulos Ligados em paralelo

Quando os módulos são ligados em paralelo, verifica-se que a tensão se mantém, mas a corrente aumenta conforme se adicionam mais módulos. Pode ser observado na figura 4.6.

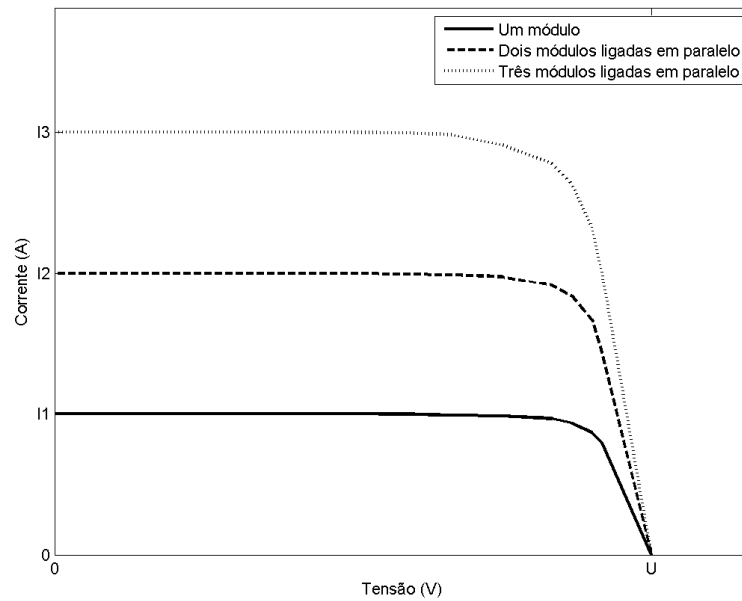


Figura 4.6 – Ligação em paralelo de três módulos FV

4.5.2 Características eléctricas de módulos.

As instalações solares fotovoltaicas raramente operam em condições nominais de funcionamento. O funcionamento nominal apenas ocorre nas condições de referência CST. O desempenho e as curvas características dos módulos fotovoltaicos, dependem da temperatura das células e da intensidade da radiação incidente, pelo que os módulos funcionam normalmente em regime de carga parcial [17].

4.5.2.1 Variação da irradiância

A intensidade da corrente que atravessa o módulo, é praticamente proporcional à variação da irradiância ao longo do dia. Quando a irradiância desce para metade, a intensidade da corrente gerada reduz-se também para metade.

Por outro lado, a tensão MPP permanece relativamente constante com as variações da radiação solar. Na figura 4.7, pode-se observar que para um módulo, a alteração máxima da tensão MPP produzida pelas variações da irradiância é de alguns Volt. Contudo, dado que a maioria dos sistemas fotovoltaicos possuem vários módulos fotovoltaicos ligados em série, a tensão MPP irá flutuar dentro de um intervalo maior, sob a influência das variações da radiação. Para fracos níveis de radiação (apenas alguns W/m^2) a tensão cairá. Os inversores passam então a operar ao nível da tensão correspondente [16] [17].

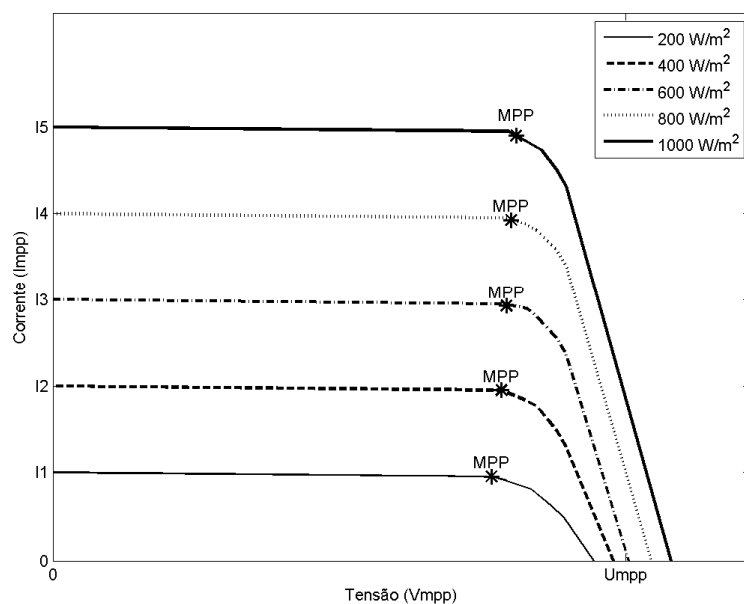


Figura 4.7 – Curvas I–V do módulo para diferentes irradiâncias, e temperatura constante.

4.5.2.2 Variação da temperatura

A variação temperatura da célula provoca uma grande variação de tensão no módulo. O desvio da tensão para um módulo ventilado nas condições CST pode variar, menor tensão no Verão e a maior tensão no Inverno. Quando em baixas temperaturas se encontram vários módulos ligados em série, esta condição poderá causar um nível de aumento da tensão (poderá ser superior a 100 V) que leve a que seja ultrapassada a tensão máxima permitida pelos dispositivos situados a jusante. Esta realidade é, em regra tida em consideração nos projectos das instalações FV. As variações de temperatura não têm um efeito significativo na corrente, verificando-se apenas um ligeiro aumento com o aumento da temperatura [16] [17].

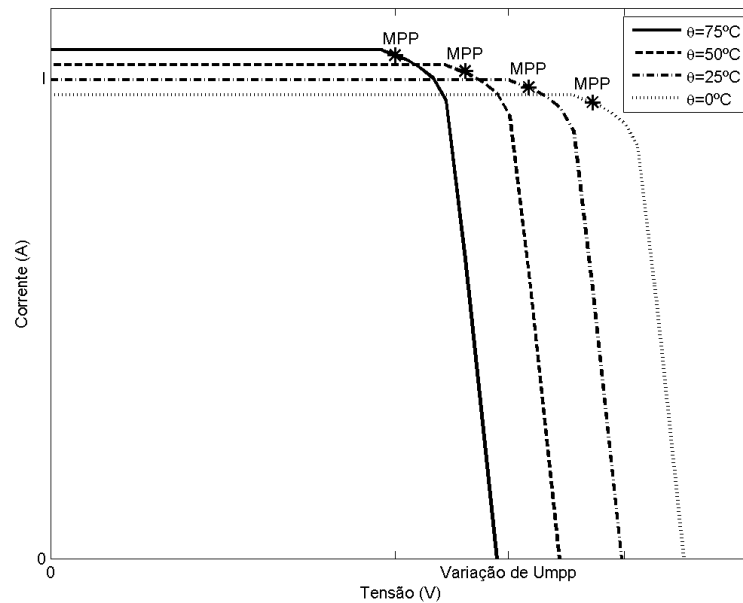


Figura 4.8 – Curvas I–V do módulo para diferentes temperaturas e irradiância constante.

4.6 Sombreamento

Durante o planeamento de um sistema fotovoltaico será aconselhável uma análise do tipo de sombreamentos que afectam o local onde se pretende realizar a instalação [17].

4.6.1 Sombreamento temporário

O sombreamento temporário é resultante da presença de neve, folhas e outros tipos de sujidade. O fenómeno de auto-limpeza do gerador, que consiste na lavagem da sujidade por parte da chuva, ajuda a diminuir a quantidade de dejectos no gerador, melhorando a eficiência deste. Para que o sistema de auto-limpeza funcione, será necessário colocar os painéis com um ângulo mínimo de inclinação de 12°, funcionando melhor com o aumento do ângulo.

Nos locais propícios ao aparecimento de neve, é recomendada a instalação dos módulos na vertical, de maneira a que a deposição de neve na parte inferior destes cause um sombreamento menor.

O efeito de sombreamento mostra-se mais duradouro quando considerados sujidade, e folhas das arvores, sendo recomendável quando perante uma grande quantidade de resíduos acumulada, uma limpeza com água e sem recorrer a detergentes ou escovas, vistos estes poderem danificar os módulos.

4.6.2 Sombreamento de localização

Este sombreamento é causado pelo que rodeia o gerador fotovoltaico. Prédios vizinhos, árvores, cabos eléctricos podem originar sombras nos módulos, diminuindo o rendimento do sistema fotovoltaico.

4.6.3 Sombreamento do edifício

O edifício onde se encontra instalado o gerador fotovoltaico pode incluir diversos elementos passíveis de causar sombreamento nos módulos, tais como antenas, para raios, chaminés, saliências e ressaltos na estrutura do prédio. Este tipo de sombreamento pode ser evitado através da deslocação dos elementos, se possível, ou do correcto dimensionamento e concepção do sistema, de modo a minimizar o impacto da sombra.

4.7 Orientação dos módulos

4.7.1 Inclinação dos módulos fixos

A potência na saída do gerador fotovoltaico depende da radiação solar incidente sobre superfície inclinada do painel fotovoltaico. Em algumas aplicações, a orientação do módulo é condicionada pela natureza da estrutura de suporte: por exemplo, uma instalação integrada em um edifício é ditada pela orientação do telhado ou fachada, onde o módulo vai ser instalado. Para um módulo fotovoltaico com posição livre, a consideração mais importante na decisão orientação do módulo é maximizar a recolha de energia solar, por os módulos fotovoltaicos inclinados. Isso depende frequentemente da sazonalidade da carga. O exemplo típico inclui:

- Algumas aplicações requerem energia apenas durante os meses de verão. Este Pode ser o caso, por exemplo, para muitos sistemas de irrigação.
- Se a produção for ao longo de todo ano, durante os meses de inverno, é provável que para um funcionamento satisfatório, a orientação do módulo deve garantir melhor captação de energia durante o mês com o menor de radiação diária. No hemisfério norte, este é normalmente o mês de Dezembro.

Na prática ‘regras de ouro’ para a inclinação dos módulos são resumidos na Tabela 4.3. O uso dos valores recomendados na Tabela 4.3 é normalmente justificado pela simplicidade e pelo fato de que a energia produzida por módulo não é muito sensível ao ângulo preciso da inclinação [20].

Tabela 4.3 – Inclinação dos painéis FV fixos [20].

Época do ano	Ângulo óptimo de inclinação
Verão	Latitude-15°
Inverno	Latitude+15°
Média anual	Latitude

4.7.2 Módulos com seguimento solar

Existem sistemas que possuem dispositivos de *tracking*, que localizam o sol e viram o painel na sua direcção. Sendo que a radiação solar varia consoante o período do dia, época do ano e condições climáticas, a quantidade total de radiação solar é expressa em termos de horas de pico solar.

A captação de energia por um sistema de seguimento solar é aumentada em mais de 30% sobre um módulo com inclinação fixa [20].

4.8 Sistema fotovoltaico com MPPT

O sistema fotovoltaico apresenta uma característica I-V similar à apresentada na figura 4.1, pelo que o inversor se encontra equipado com um MPPT de modo a assegurar que o sistema funcione no MPP para diferentes condições de radiação e temperatura ambiente.

Assim, a configuração típica dos sistemas fotovoltaicos ligados à rede encontra-se apresentado na figura 4.9 [16].

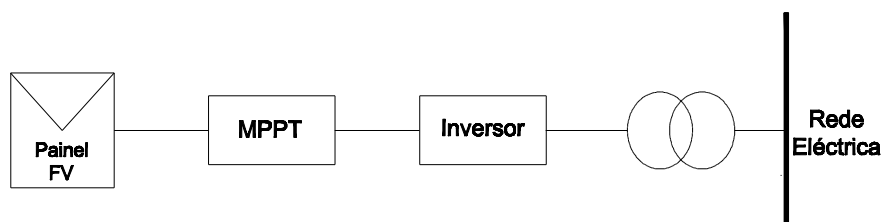


Figura 4.9 – Esquema de um gerador fotovoltaico ligado à rede.

4.8.1 Seguidor do ponto de potência máxima

Para determinar o MPP (Ponto de Potência Máximo) da instalação de microgeração FV é necessário criar um sistema designado por MPPT (*Maximum Power Point Tracker*- seguidor de potência máxima), que consiste basicamente num sistema de controlo do conversor CC/CC.

Como explicado anteriormente, a potência máxima que um painel pode fornecer varia com as condições ambientais a que este está sujeito, ou seja, temperatura e radiação solar, causando variações nas correntes e tensões de saída do sistema fotovoltaico. O MPPT é um sistema electrónico que ajusta o ponto de funcionamento de modo a extrair do painel a potência máxima disponível.

Os MPPT tradicionais são usualmente compostos por microprocessadores ou computadores e outros sistemas electrónicos que, analisando as várias grandezas do painel determinam o ponto de funcionamento para o qual se consegue extrair a potência máxima para a temperatura e radiação a que o painel está sujeito. O algoritmo de controlo do MPPT utiliza o método da variação da condutância para a determinação do MPP.

Este método consiste em verificar o declive da curva de potência em função da tensão, de forma a encontrar o ponto onde a potência é máxima, que corresponde a um declive próximo de zero.

4.9 Produção de energia

A energia produzida por um sistema fotovoltaico depende de uma série de factores que precisam ser analisados quando o sistema é concebido. Um estudo global identificou sete factores que influenciam o desempenho anual de módulos fotovoltaicos [20]. Um breve resumo das principais conclusões a seguir.

- **Radiação solar.** Perfis de irradiância de longo prazo dependem da superfície de orientação. Esse factor depende da localização e tem uma redução de cerca de 25% para uma superfície vertical e aumenta mais de 30% para o seguimento de dois eixos, em comparação com um sistema fixo.
- **Potência do módulo em condições normais de ensaio.** Análise de várias tecnologias FV tem demonstrado que para o mesmo nível de potência das tecnologias nas mesmas condições é esperado um erro de cálculo de 5%.
- **Temperatura de funcionamento.** Análise das diversas tecnologias e sítios mostra que a produção anual pode ser reduzida devido à temperatura por um factor entre 2% e 10%, dependendo do design módulo, velocidade do vento, a técnica de montagem e

temperatura ambiente. O efeito da temperatura de funcionamento é discutido quantitativamente na subsecção 4.5.2.

- **Maximum Power Point (MPP) dependente da irradiância.** Os módulos Si e CdTe tendem a ter um valor de MPP maior nos níveis de irradiância baixo. Este facto pode resultar em um aumento adicional de 10% na produção anual de energia.
- **Sujidade.** A sujidade pode ser responsável na redução até 10% da produção anual.

4.9.1 Estimativa de produção de energia

Para se ter uma estimativa da produção de energia, é necessário fazer uma avaliação ao local e a qualidade do sistema fotovoltaico. Para este efeito, são deduzidas as perdas do sistema fotovoltaico à produção ideal calculada para o gerador (E_{ideal}) [17].

Para avaliar a qualidade da instalação, é usado um parâmetro independente de localização, conhecido como o índice de desempenho (ID). Este índice resulta da relação entre a energia fornecida pelo gerador (E_{real}) e a energia teoricamente expectável (E_{ideal}).

$$ID = \frac{E_{real}}{E_{ideal}} \quad (4.8)$$

A energia idealmente produzida pelo gerador fotovoltaico (E_{ideal}) é dada por:

$$E_{ideal} = A_{FV} \cdot H_{eq} \cdot \eta(\text{"eta"}) \quad (4.9)$$

Ou:

$$E_{ideal} = E_{FV} \cdot \eta(\text{eta}) \quad (4.10)$$

Onde:

- H_{eq} é número de horas de sol equivalente;
- A_{FV} é a área da superfície do gerador fotovoltaico;
- $\eta(\text{"eta"})$ é a eficiência dos módulos fotovoltaicos;

O índice de desempenho permite estabelecer um termo de comparação entre diferentes sistemas fotovoltaicos. Para comparar a qualidade técnica dos sistemas, devemos encontrar as perdas por sombreamento de cada sistema e eliminá-las dos cálculos.

A maneira mais generalizada do cliente ter uma previsão da energia produzida anualmente pelo sistema fotovoltaico, é através do recurso a programas de simulação.

Em alternativa aos programas de simulação, poderá ser usado um diagrama de irradiação solar. Usando o diagrama, podemos determinar a irradiação anual que incide em cada unidade de área a partir da orientação e inclinação do módulo.

A irradiação anual total que é colectada pelo gerador fotovoltaico:

$$E_{FV} = I_{rr} \cdot A_{FV} \quad (4.11)$$

Onde:

- I_{rr} é a irradiação anual;
- A_{FV} é a área total da superfície do gerador;

Com a eficiência do módulo (η), obtemos a energia ideal produzida (E_{ideal}) num ano:

$$E_{ideal} = E_{FV} \cdot \eta \quad (4.12)$$

Ao multiplicar este valor percentual pelo índice de desempenho (ID), obtemos a energia realmente produzida pelo gerador fotovoltaico.

$$E_{real} = E_{ideal} \cdot ID \quad (4.13)$$

Dependendo da qualidade da instalação, o índice de desempenho pode ser assumido entre 70% e 85%. O ID de um sistema fotovoltaico bem concebido, pode atingir valores ainda maiores.

A produção específica expressa em kWh por kWp, também permite comparar resultados operacionais entre sistemas situados em diferentes locais. Este parâmetro pode ser definido para referências temporais de um dia, de uma semana, de um mês ou de um ano, sendo designado por “*Factor de Produção*”.

$$FP = \frac{E_{real}}{P_{nFV}} \quad (4.14)$$

Para os sistemas fotovoltaicos autónomos, tornou-se uma prática corrente calcular o factor de produção como um valor médio diário. Se o factor de produção for calculado para um período de um ano, deverá coincidir com a produção específica anual do sistema fotovoltaico.

Capítulo

5

Análise económico-financeira de instalações.

Neste capítulo é feita uma análise económico-financeira considerando diferentes tipos de instalações de microgeração FV. Em primeiro é feito uma análise a todos os casos possíveis conforme o investimento e a produção anual. De seguida são analisados dois valores de produção anual estimada, sendo calculado o intervalo com o melhor valor de investimento. Por último são analisados vários casos de instalações de microgeração FV, procurando dar resposta às questões económicas dos Microprodutores.

5.1 Desenvolvimento do modelo da avaliação económica

Após conhecer a legislação referente à microgeração solar FV (ver capítulo 2) é possível criar métodos de avaliação económico-financeira, para fazer uma avaliação económica de instalações de microgeração FV, averiguar a rentabilidade das instalações de microgeração FV. Na literatura de análise de avaliação do investimento (ver capítulo 3) recomenda a utilização de métodos baseados no *cash-flow*. O método baseado no *cash-flow* permite calcular os seguintes critérios de avaliação económico-financeiros: Valor Actualizado Líquido (VAL), Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) e período de retorno (*payback*).

Os critérios de avaliação de projectos são indicadores de rentabilidade dos projectos de investimento que servem de suporte à tomada de decisão de implementar, ou não, um determinado projecto de microgeração FV.

Os critérios de avaliação baseados no *cash-flow* são os critérios por excelência da avaliação da rentabilidade de projectos de investimento. Uma vez que esses critérios têm em consideração o valor temporal do dinheiro.

5.1.1 Custos de instalação de microgeração FV

Os custos de uma instalação de microgeração PV em Portugal para um microprodutor estão descritos a seguir.

Para calcular os indicadores de avaliação económico-financeira é necessário saber o valor do investimento feito (*Invest*): é o custo inicial de uma instalação de microgeração FV ligada à rede. Equação (5.1).

$$Invest = C_{ger} + C_{inv} + C_{inst} \quad (5.1)$$

Onde:

- *Invest* é o investimento;
- C_{ger} é o custo dos painéis fotovoltaicos (gerador);
- C_{inv} é o custo do inversor DC/AC;
- C_{inst} é custo da instalação onde está incluído as estruturas de apoio, (seguidores solar de um ou dois eixos e obra de construção civil), cabos, elementos de protecção, realização do projecto de engenharia;

A duração do investimento (*n*), é a vida útil da instalação em anos. Que é considerada como sendo de vinte anos.

5.1.2 Receitas obtidas num ano pela instalação de microgeração FV

O *cash-flow* líquido para o ano t (CFE_t): é o fluxo de caixa líquido para um determinado ano da instalação, que é a diferença entre a entrada em caixa de dinheiro gerado pelo investimento e o pagamento em dinheiro ou saída que o investimento requer. Equação (5.2).

$$CFE_t = (\text{Cash input})_t - (\text{Cash output})_t = E_{a_t} * \text{tarifa}_t - (C_{O\&M} + C_{seg} + C_{Fin}) \quad (5.2)$$

Onde:

- E_{a_t} é a energia anual produzida pelo sistema de microgeração FV;
- tarifa_t é a tarifa aplicada a essa instalação;
- $(C_{O\&M} + C_{seg} + C_{Fin})$ são os custos de operação e manutenção, seguros e de financiamento, respectivamente;

Estes valores são correspondentes ao ano t .

5.2 Variáveis usadas neste estudo

Consideram-se as seguintes variáveis: investimento, produção anual, aumento da tarifa em regime geral e taxa de actualização.

O valor do investimento está no intervalo entre 17000€ e 30000€—os valores de investimento, conforme o tipo de instalação, foram definidos de acordo com a consulta a diversas empresas que projectam e instalam microgeração FV. A produção anual está no intervalo entre 0kWh e 8832 kWh, previstos no Decreto-Lei 363/2007, como referido na secção 2.3. O aumento da tarifa em regime geral e a taxa de actualização nesta dissertação vão ter um valor fixo para todas as análises que serão feitas.

5.2.1 Valor da taxa de actualização

A taxa de actualização usada nesta dissertação, provem da taxa de juro indexada à Euribor a 1 mês mais um determinado *spread*. Os valores de *spread* aplicados pelos bancos a este tipo de investimento variam entre 0,5% e 2%, [21]. Vai ser aplicado um *spread* de 1,25%, valor intermédio. Para determinar o valor mais realista possível da taxa Euribor a 1 mês foi calculada a média dos últimos 10 anos: valores retirados de [22].

Tabela 5.1 – Média dos últimos dez anos da taxa de juro indexada à Euribor a 1 mês.

Ano	Média
2000	4,238%
2001	4,337%
2002	3,306%
2003	2,348%
2004	2,081%
2005	2,143%
2006	2,942%
2007	4,080%
2008	4,276%
2009	0,892%
Média final	3,064%

Assim, vem $\text{taxa de actualização} = 3,064 + 1,25 = 4,314 \cong 4,3\%$.

Em todos os casos de estudo abordados nesta dissertação o valor da taxa de actualização é de 4.3%.

5.2.2 Aumento anual da tarifa em regime geral

O sistema de tarifa aplicado a instalações de microgeração FV no final da tarifa bonificada é a tarifa do regime geral em vigor, secção 2.3.

Face aos aumentos verificados nestes últimos 2 anos [23], e tendo em conta os desvios nos custos da EDP relativos à aquisição de energia eléctrica com a Produção de electricidade em Regime Especial: (i) 814 milhões de euros, referentes ao ano de 2009, a devolver à tarifa; e (ii) 186 milhões de euros, relativos a 2008, a recuperar [24], conduzirá a um aumento do preço da electricidade para os consumidores. Assim sendo, foi estimado um aumento anual da tarifa em regime geral em 2.5%. A tarifa em regime geral em 2010 tem o valor de 0,1285€/kWh [25].

Este aumento da tarifa vai-se reflectir nos anos em que a tarifa bonificada deixa de ser aplicada, nessa altura o valor pago ao microprodutor é o valor da tarifa em regime geral.

A tabela 5.2 mostra a evolução da tarifa em regime geral em 2010, e um aumento, em média de 2.5% para os vinte anos seguintes.

Tabela 5.2 – Evolução da tarifa em regime geral com aumento anual de 2,5%.

Evolução da tarifa	
2010–0.1285€	
2011–0.1317€	2021–0.1686€
2012–0.1350€	2022–0.1728€
2013–0.1384€	2023–0.1771€
2014–0.1418€	2024–0.1816€
2015–0.1454€	2025–0.1861€
2016–0.1490€	2026–0.1908€
2017–0.1527€	2027–0.1955€
2018–0.1566€	2028–0.2004€
2019–0.1605€	2029–0.2054€
2020–0.1645€	2030–0.2106€

A evolução da tarifa para uma unidade de microgeração FV ligada à rede em 2010 é calculada através do decreto-lei 363-2007 (secção 2.3), referir que a tarifa calculada é o pior cenário, em que todos os anos se atinge os limites máximos de potência de ligação. No nono ano da instalação o valor da tarifa bonificada já fica mais baixo que a tarifa em regime geral sendo aplicada a partir desse ano a tarifa em regime geral em vigor. A tabela 5.3 mostra a tarifa aplicada em instalações de microgeração FV descritas nesta dissertação.

Tabela 5.3 – Evolução da tarifa aplicada às instalações de microgeração FV consideradas nesta dissertação.

Evolução da tarifa	
1º Ano 0.5866€	11º Ano 0.1686€
2º Ano 0.5866€	12º Ano 0.1728€
3º Ano 0.5866€	13º Ano 0.1771€
4º Ano 0.5866€	14º Ano 0.1816€
5º Ano 0.5866€	15º Ano 0.1861€
6º Ano 0.3011€	16º Ano 0.1908€
7º Ano 0.2453€	17º Ano 0.1955€
8º Ano 0.1898€	18º Ano 0.2004€
9º Ano 0.1605€	19º Ano 0.2054€
10º Ano 0.1645€	20º Ano 0.2106€

5.3 Superfícies *payback* e VAL

A evolução dos valores do *payback*—período de recuperação do investimento, e VAL—Valor Actualizado Líquido tal como definidos nas subsecções 3.3.4 e 3.3.2 respectivamente, permitem aferir da maior ou menor viabilidade de uma qualquer instalação conforme o investimento e a produção esperada.

Assim, considere-se uma instalação de microgeração FV com potência de ligação de 3,68kW (potência máxima de ligação à rede, secção 2.2.2), com diferentes tipos de painéis FV e com diferentes sistemas de seguimento solar ou sem seguimento, às quais corresponderá um valor de investimento no intervalo entre 17000€ e 30000€. Admite-se que a produção anual não excede os 8832 kWh, previstos no Decreto-Lei 363/2007, como referido na secção 2.3. como já referido, os valores de investimento, conforme o tipo de instalação, foram definidos de acordo com a consulta a diversas empresas que projectam e instalam microgeração FV.

As figuras 5.1 e 5.2 mostram os valores de *payback* e VAL respectivamente, para todas as possíveis instalações.

A observação da figura 5.1 permite visualizar o valor do *payback* para qualquer investimento considerado e conforme o valor esperado de produção. Por exemplo: (1) no caso de uma instalação com o investimento mínimo de 17000€ e uma produção anual estimada de 8832kWh, o valor *payback* é de 3,62 anos; (2) no caso de uma instalação com investimento mínimo de 17000€ e uma produção anual estimada de 3916kWh o respectivo *payback* será de 20 anos; (3) no caso de uma instalação com investimento máximo de 30000€ e uma produção anual estimada de 8832kWh, o respectivo *payback* será 10,35 anos; (4) por último, no caso de uma instalação com investimento máximo de 30000€ e uma produção anual estimada de 6910kWh o respectivo *payback* será de 20 anos.

A observação da figura 5.2 permite visualizar o valor do VAL para qualquer investimento considerado e conforme o valor esperado de produção anual. Por exemplo: (1) no caso de uma instalação com o investimento mínimo de 17000€ e uma produção anual estimada de 8832kWh, o valor do VAL será de 21348€; (2) no caso de uma instalação com investimento mínimo de 17000€ e tem uma produção anual estimada de 3916kWh o respectivo VAL será de 0€; (3) no caso de uma instalação com investimento máximo de 30000€ e tem uma produção anual estimada de 8832kWh o respectivo VAL será 8348€; (4) por último no caso de uma instalação com investimento máximo de 30000€ e uma produção anual estimada de 6910kWh o respectivo VAL será de 0€.

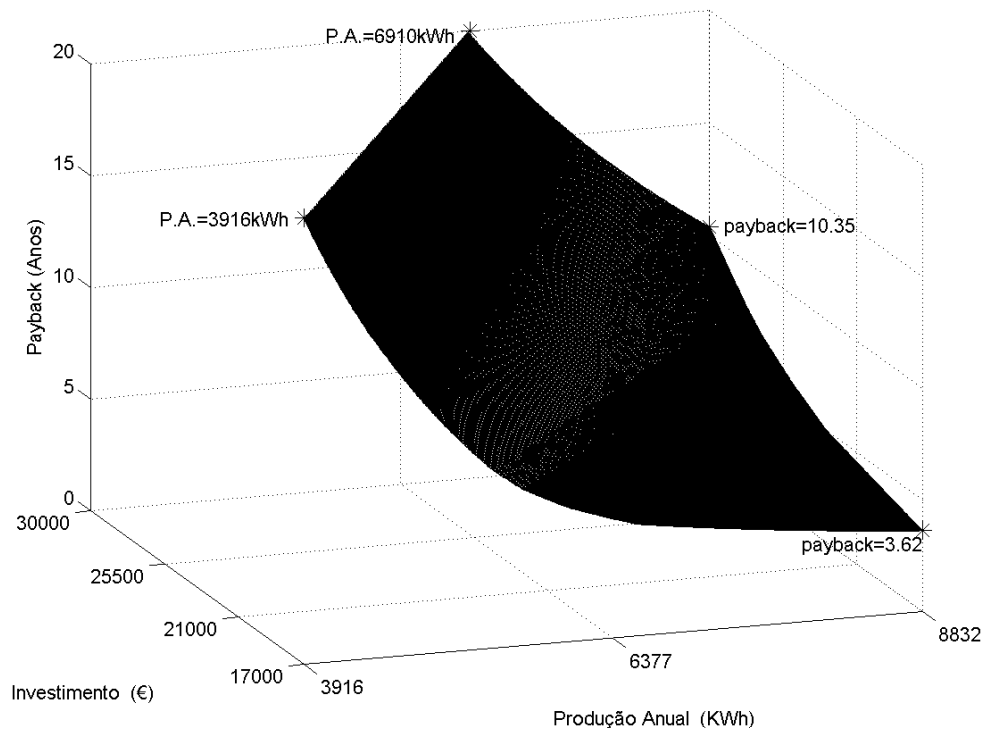


Figura 5.1 – Evolução do valor do *payback*. Os pontos assinalados correspondem aos valores de investimento mínimo e máximo, considerando a produção máxima e a produção mínima para a qual o valor do *payback* não exceda vinte anos.

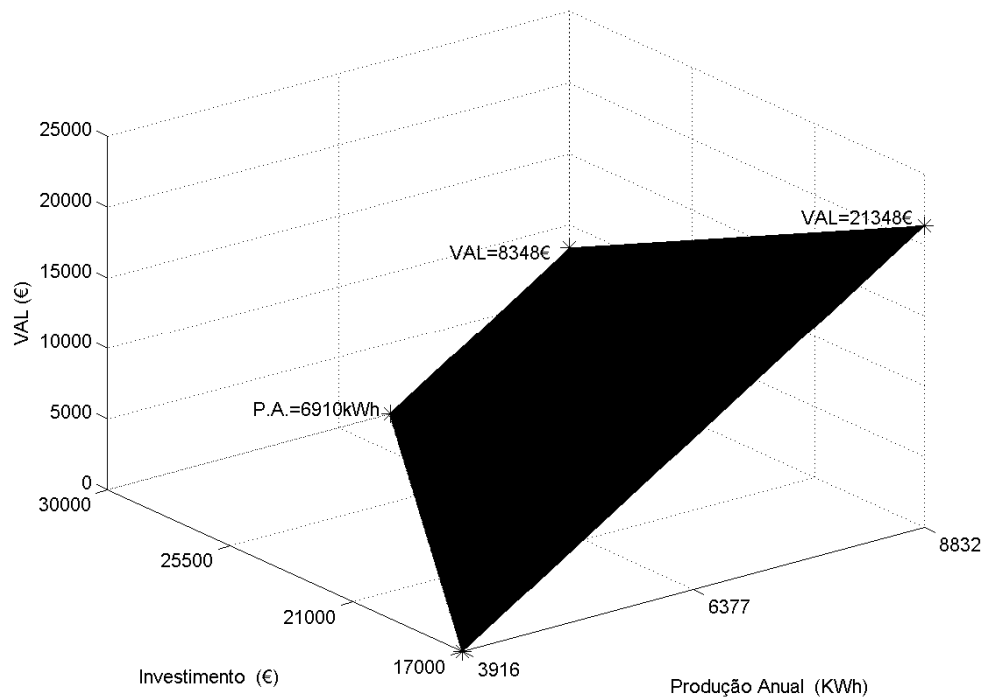


Figura 5.2 – Evolução do valor do VAL. Os pontos assinalados correspondem aos valores de investimento mínimo e máximo, considerando a produção máxima e a produção mínima para a qual o valor do VAL será 0 nos vinte anos considerados.

Os valores representados nas figuras 5.1 e 5.2 podem ser postos em tabelas A.1 e A.2 respectivamente, em anexo, que permitem uma consulta expedita e que, de forma fácil, nos dá os indicadores *payback* e do VAL conforme o valor do investimento e da respectiva produção anual.

Faz-se notar que, para investimentos elevados, o valor de VAL evolui de forma significativa para uma pequena variação da produção esperada. Sendo estas as instalações com maior capacidade de produção (pelo seu maior investimento) são também aquelas que obrigam a tecnologias mais fiáveis, que garantam sempre a produção anual máxima. Por exemplo uma avaria por um período de quinze dias, com sol, pode representar uma perda de energia de 600 kWh, perda essa que, a verificar-se frequentemente, pode levar a que uma instalação de microgeração FV deixe de ser viável.

5.4 Evolução dos valores do *payback* e do VAL

Este estudo é semelhante ao da subsecção 5.1.1. Da mesma forma considera-se uma qualquer instalação de microgeração FV com potência de ligação 3,68kW (potência máxima de ligação à rede eléctrica descrito na subsecção 2.2.2), com diferentes tipos de painéis FV e com diferentes sistemas de seguimento solar ou sem seguimento, às quais correspondem quatro valores de investimento [17000€, 21000€, 25500€ 30000€]. Admite-se que a produção anual não excede os 8832 kWh.

As figuras 5.3 e 5.4 mostram os valores de *payback* e VAL respectivamente, para todas as possíveis instalações com investimentos seguintes: [17000€, 21000€, 25500€ 30000€].

A observação da figura 5.3 permite visualizar a evolução do valor do *payback* para qualquer dos quatro investimentos considerados e conforme o valor esperado de produção anual. Por exemplo: (1) no caso de uma instalação com o investimento mínimo de 17000€ e uma produção anual estimada de 8832kWh, o valor *payback* é de 3,62 anos; (2) no caso de uma instalação com investimento mínimo de 17000€ e uma produção anual estimada de 3916kWh, o respectivo *payback* será de 20 anos; (3) no caso de uma instalação com investimento de 21000€ e uma produção anual estimada de 8832kWh, o respectivo *payback* será 4,55 anos; (4) no caso de uma instalação com investimento de 21000€ e uma produção anual estimada de 4837kWh, o respectivo *payback* será de 20 anos; (5) no caso de uma instalação com investimento de 25500€ e uma produção anual estimada de 8832kWh, o respectivo *payback* será 6,35 anos; (6) no caso de uma instalação com investimento de 25500€ e uma produção anual estimada de 5873kWh, o respectivo *payback* será de 20 anos; (7) no caso de uma instalação com investimento máximo de 30000€ e uma produção anual estimada de 8832kWh, o respectivo *payback* será 10,35 anos, (8) por último, no caso de uma instalação

com investimento máximo de 30000€ e uma produção anual estimada de 6916kWh, o respectivo *payback* será de 20 anos.

A observação da figura 5.4 permite visualizar a evolução do valor do VAL para qualquer dos quatro investimentos considerados e conforme o valor esperado de produção anual. Por exemplo: (1) no caso de uma instalação com o investimento mínimo de 17000€ e uma produção anual estimada de 8832kWh, o valor do VAL é de 21348€; (2) no caso de uma instalação com investimento mínimo de 17000€ e uma produção anual estimada de 3916kWh, o respectivo VAL será de 0€; (3) no caso de uma instalação com investimento de 21000€ e tem uma produção anual estimada de 8832kWh, o respectivo VAL será 17348€; (4) no caso de uma instalação com investimento de 21000€ e uma produção anual estimada de 4837kWh, o respectivo VAL será de 0€; (5) no caso de uma instalação com investimento de 25500€ e uma produção anual estimada de 8832kWh, o respectivo VAL será de 12848€; (6) no caso de uma instalação com investimento de 25500€ e uma produção anual estimada de 5913kWh, o respectivo VAL será de 0€; (7) no caso de uma instalação com investimento máximo de 30000€ e tem uma produção anual estimada de 8832kWh o respectivo VAL será de 8348€; (8) por último, no caso de uma instalação com investimento máximo de 30000€ e uma produção anual estimada de 6910kWh, o respectivo VAL será de 0€.

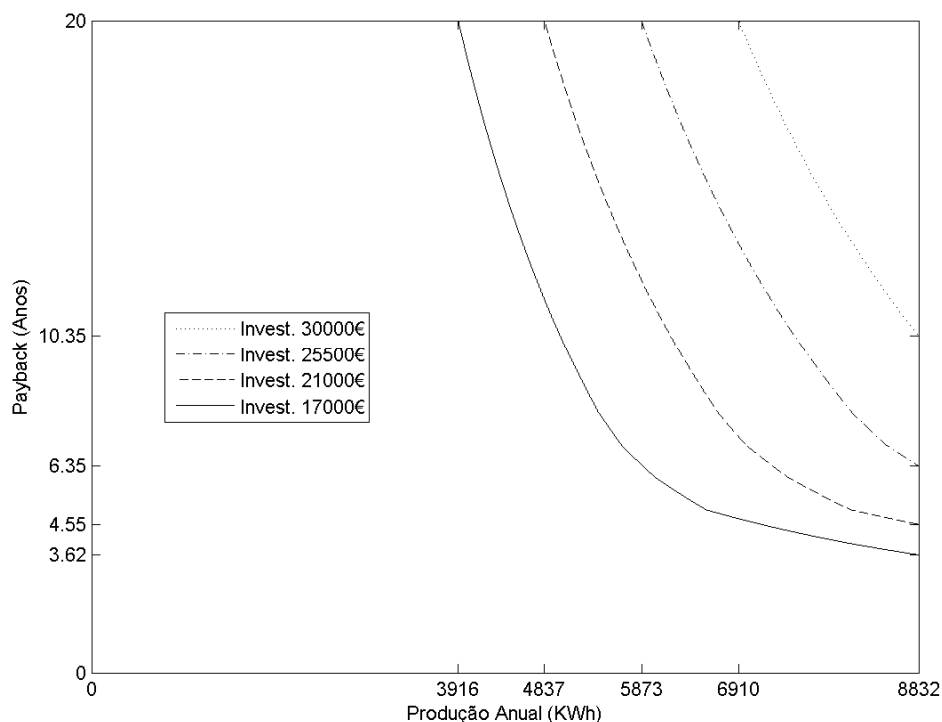


Figura 5.3 – Evolução do valor do *payback* para os quatro diferentes tipos de investimento. Os valores representados no gráfico são: os valores de *payback* mínimo de cada um dos investimentos e os valores mínimos de produção anual aos quais o *payback* é vinte anos.

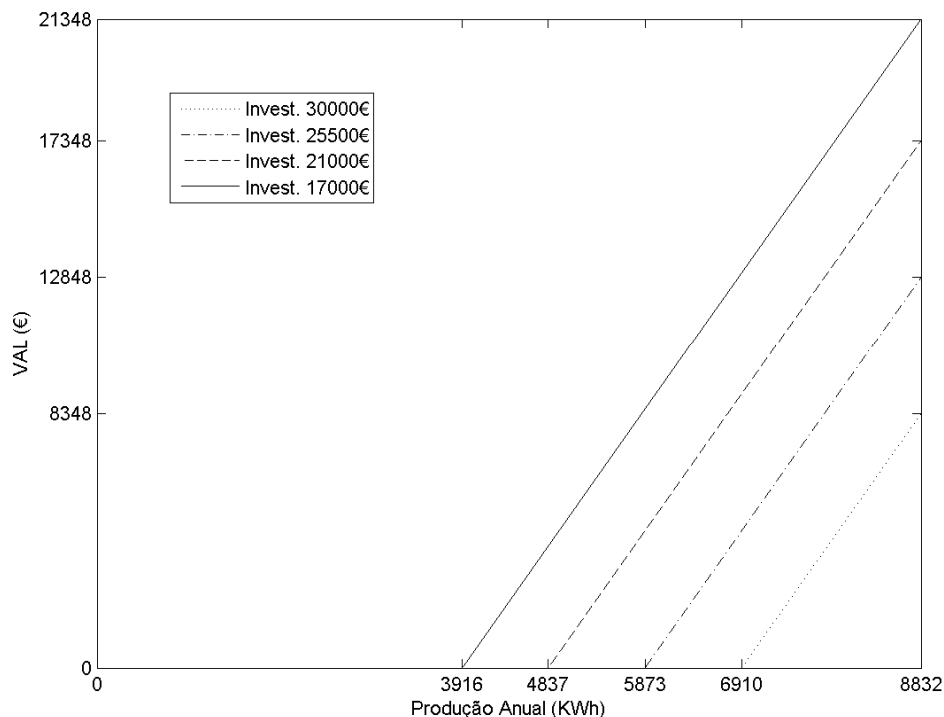


Figura 5.4 – Evolução do valor do VAL para os quatro diferentes tipos de investimento. Os valores representados no gráfico são: os valores do VAL máximos de cada um dos investimentos e os valores de produção anual aos quais o VAL é 0€.

Ao analisar as figuras 5.3 e 5.4 e à primeira observação poderemos ser levados a pensar que os investimentos de valores mais baixos são os mais rentáveis. Pois as linhas dos investimentos mais baixos são as que mostram os indicadores económicos com valores mais apelativos.

Mas uma melhor análise, verificamos que muitos dos casos representados nas figuras 5.3 e 5.4 são irrealistas, como por exemplo, uma instalação de microgeração FV com investimento de 17000€ e uma produção anual estimada de 8832kWh. Com esse valor de investimento e com a tecnologia FV existente não é hoje exequível obter um valor tão elevado de produção. Da mesma forma que na linha em que o investimento é 21000€, também tem alguns casos irrealistas – a produção máxima não se consegue atingir com esse valor de investimento.

A figura 5.3 pode-nos remeter para uma analogia errónea, no caso de considerarmos que queremos o *payback* em um determinado ano, é feito o investimento conforme o *payback* definido por exemplo 10,35 anos, verificamos na figura 5.3 que todas as linhas de investimento têm valores com o *payback* de 10,35 anos. Qual seria a melhor linha de investimento? Quem não tenha conhecimento dos indicadores de avaliação económico-financeira irá escolher o menor investimento. Na subsecção 5.6.7 deste capítulo vamos dar uma melhor visão a esta analogia, e escolher o melhor investimento para o mesmo *payback*.

5.5 Análise económica da produção anual estimada

Nesta análise pretende-se encontrar um intervalo de investimento, através de um valor de produção anual estimada, que seja o mais rentável possível para a instalação de microgeração FV.

É possível obter a produção anual estimada através de softwares que utilizam: a localização onde se pretende instalar o sistema de microgeração FV, o tipo de painéis FV, a orientação e inclinação dos painéis FV.

Este estudo é importante para empresas que projectam e instalam microgeração FV, de forma a realizar a melhor solução para o cliente. Deste modo, é possível determinar a quando da realização do projecto, o valor máximo de investimento a realizar.

Considere-se uma qualquer instalação de microgeração FV com potência de ligação 3,68kW, com a produção anual estimada em um valor fixo, e fazendo variar o investimento no intervalo entre 17000€ e 30000€, serão calculados os valores de *payback* e VAL em que o investimento é recuperado.

5.5.1 Uma produção anual estimada de 5000kWh

Nesta análise vai ser considerada uma produção anual estimada de 5000kWh.

As figuras 5.5 e 5.6 mostram a evolução dos valores de *payback* e VAL respectivamente, para uma produção anual estimada de 5000kWh.

A observação da figura 5.5 permite visualizar a evolução do valor do *payback* considerando uma produção anual de 5000kWh, (1) no caso em que o investimento é mínimo (17000€), o valor do *payback* dessa instalação será de 10,38 anos, (2) e no caso em que o valor do investimento é de 21700€ o *payback* será de 19,98 anos.

A observação da figura 5.6 permite visualizar a evolução do valor do VAL para uma produção anual de 5000kWh, (1) no caso em que o investimento é mínimo (17000€), o valor do VAL dessa instalação será de 4710€, (2) e no caso em que o valor do investimento é de 21700€ o respectivo VAL será de 10€.

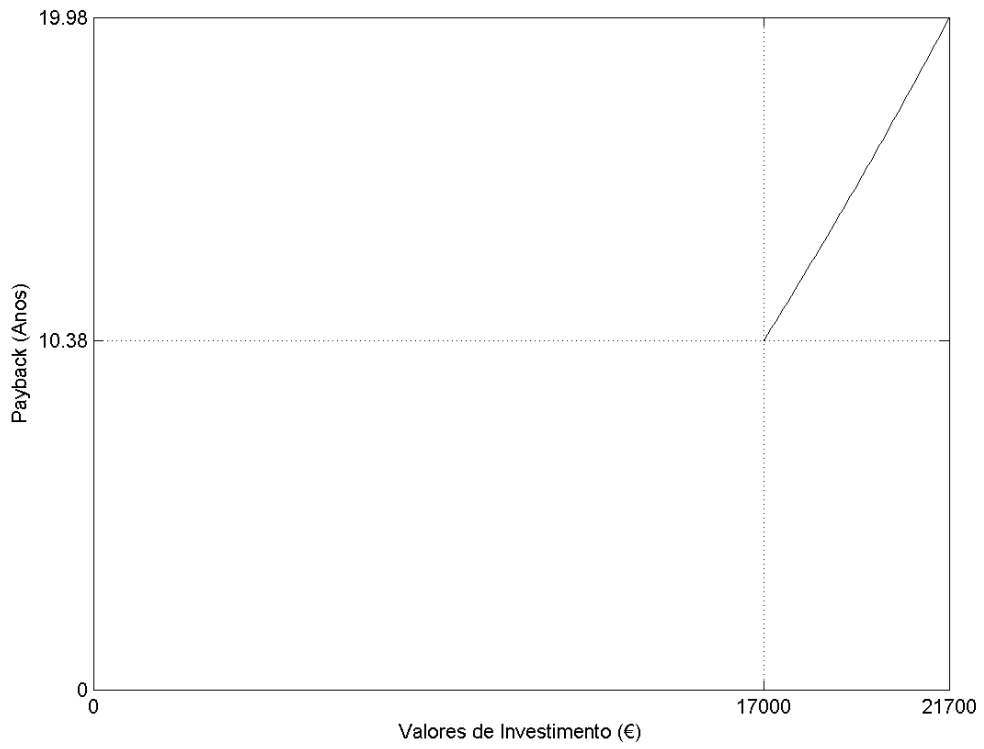


Figura 5.5 – Evolução do valor do *payback* de uma produção anual estimada de 5000kWh.

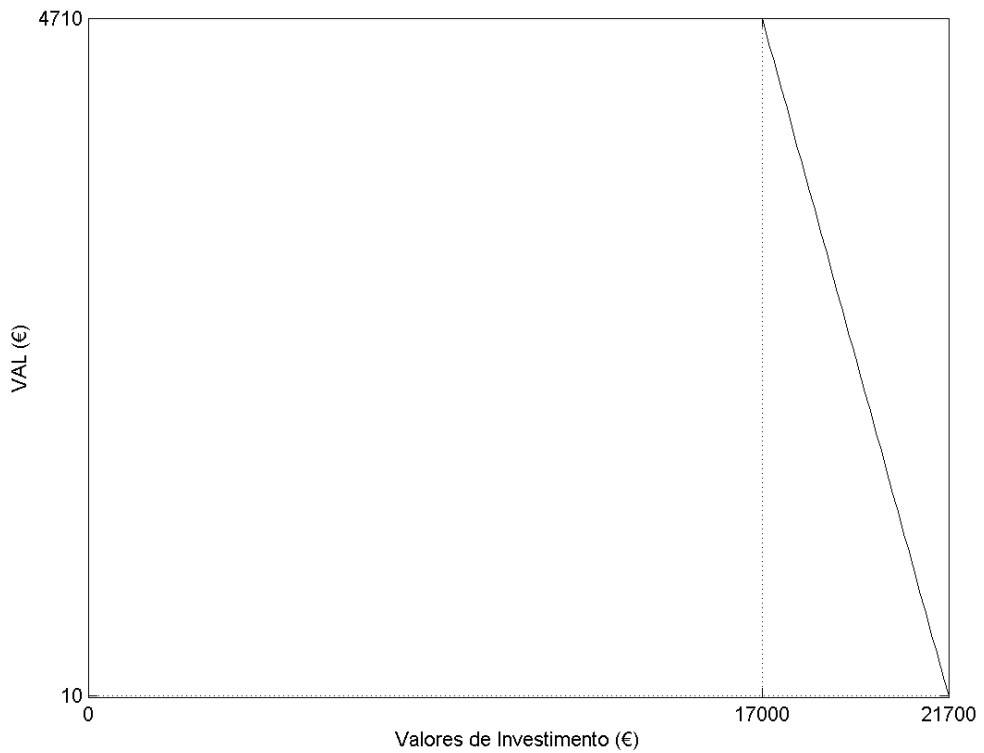


Figura 5.6 – Evolução do valor do VAL de uma produção anual estimada de 5000kWh.

Ao analisar as figuras 5.5 e 5.6 obtemos um intervalo de valores de investimento 17000€ e 21700€. Em que qualquer tipo de instalação de microgeração FV que tenha uma produção anual de 5000kWh, e o investimento feito esteja dentro do intervalo descrito, irá recuperar o investimento.

As figuras 5.5 e 5.6 ainda mostram que quanto mais baixo for o valor do investimento para a mesma produção anual estimada menor será o *payback* e o valor do VAL vai aumentar conforme o investimento diminui.

Nestes casos de estudo, em que a produção anual estimada é baixa (5000kWh), e observando as figuras 5.5 e 5.6 o investimento a realizar deve ser o mais baixo possível para que o microprodutor em causa consiga obter lucros, pois caso seja feito um investimento superior a 21700€ o microprodutor não vai conseguir amortizar o investimento.

5.5.2 Uma produção anual de 7500kW

Nesta análise vai ser considerada uma produção anual estimada de 7500kWh.

As figuras 5.7 e 5.8 mostram a evolução dos valores de *payback* e VAL respectivamente, para uma produção anual estimada de 7500kWh.

A observação da figura 5.7 permite visualizar a evolução do valor do *payback* considerando uma produção anual de 7500kWh, no caso em que o investimento é mínimo (17000€), o valor do *payback* dessa instalação será de 4,32 anos, e no caso em que o valor do investimento é máximo (30000€) o *payback* será de 16,32 anos.

A observação da figura 5.8 permite visualizar a evolução do valor do VAL para uma produção anual de 7500kWh, no caso em que o investimento é mínimo (17000€), o valor do VAL dessa instalação será de 15565€, e no caso em que o valor do investimento é máximo (30000€), o respectivo VAL será de 2565€.

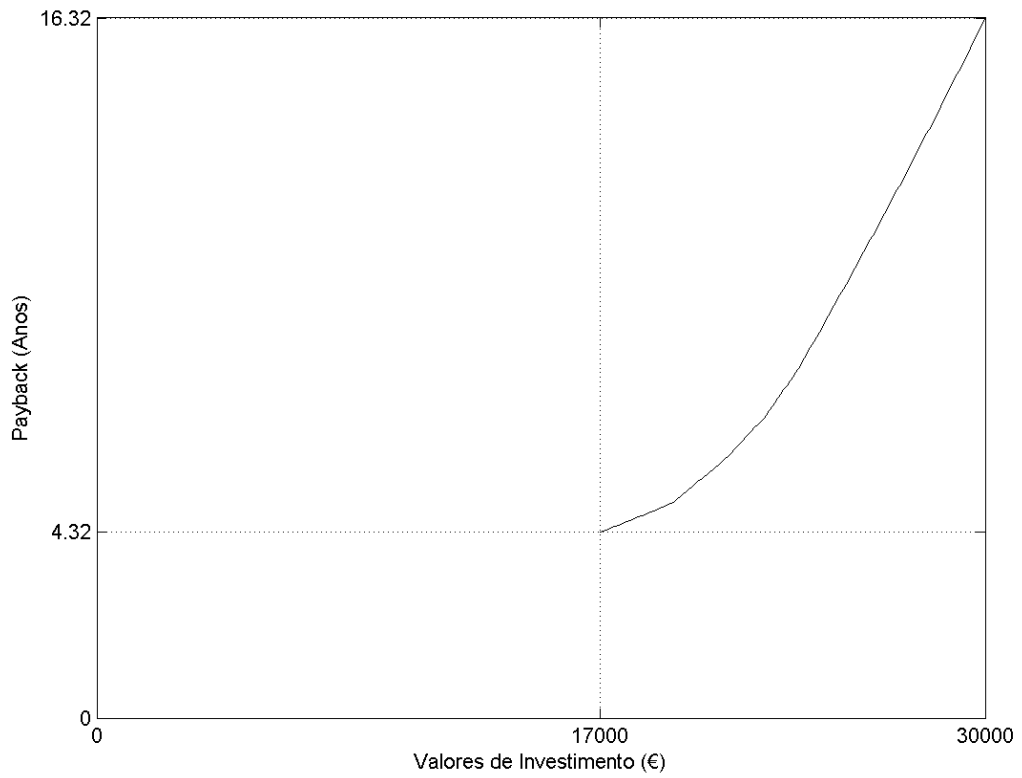


Figura 5.7 – Evolução do *payback* de uma produção anual estimada de 7500kWh.

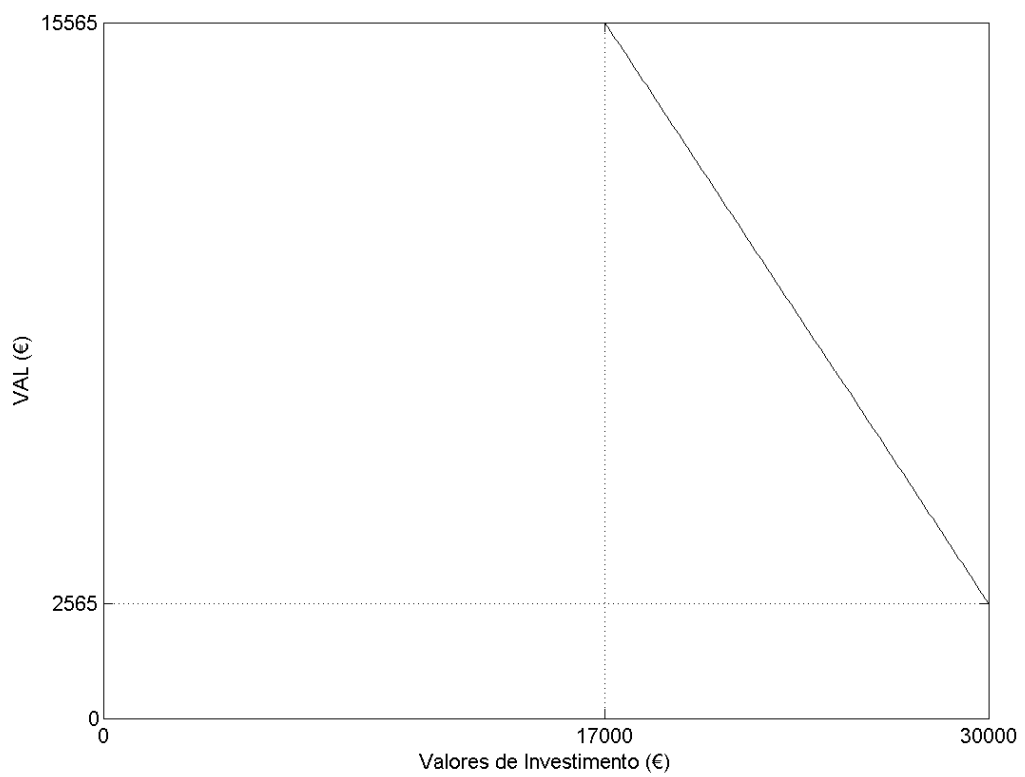


Figura 5.8 – Evolução do valor do VAL de uma produção anual estimada de 7500kWh.

Ao analisar as figuras 5.7 e 5.8 vemos as evoluções dos valores de *payback* e VAL respectivamente, para o valor de produção anual de 7500kWh. E tiramos um intervalo de valores de investimento 17000€ e 30000€, que é igual aos valores de investimento mínimo e máximo que foram definidos de acordo com a consulta a diversas empresas que projectam e instalam microgeração FV.

As figuras 5.7 e 5.8 ainda mostram que quanto mais baixo for o valor do investimento para a mesma produção anual estimada menor será o *payback* e o valor do VAL vai aumentar conforme o investimento diminui.

Uma produção anual estimada de 7500kWh é possível fazer um investimento de 30000€ que esse investimento vai ter lucro de 2565€ e tem a amortização do investimento em 16,32 anos. A análise das figuras 5.7 e 5.8 mostra, que quanto mais baixo for o valor do investimento para a mesma produção anual estimada mais lucro o microprodutor vai ter e a amortização do investimento é mais cedo.

5.6 Análise económico-financeira de uma instalação

Nesta análise vai ser feita uma avaliação económico-financeira do investimento para uma produção anual esperada, calculando os indicadores de avaliação económico-financeira, (VAL, TIR e *payback*), descritos nas subsecções 3.3.2, 3.3.3 e 3.3.4 respectivamente.

Neste tipo de análise de uma instalação de microgeração FV pretende-se averiguar a viabilidade do investimento. Saber se o investimento é rentável? Saber quando vai ter a amortização do investimento? Saber o lucro que a instalação de microgeração FV vai gerar? Estas são algumas das perguntas para as quais os Microprodutores querem saber as respostas como forma de ponderar o seu investimento, ou mesmo de decidir pelo montante de investimento aquando da instalação da unidade de microprodução FV.

5.6.1 Um investimento de 30000€ com produção anual de 8832kWh.

Vamos fazer uma avaliação económico-financeira de uma instalação de microgeração FV com investimento de 30000€, com uma produção anual estimada de 8832kWh, valor máximo que é pago por lei (ver secção 2.3).

A figura 5.9 mostra a evolução de um investimento de 30000€, com uma produção anual de 8832kWh.

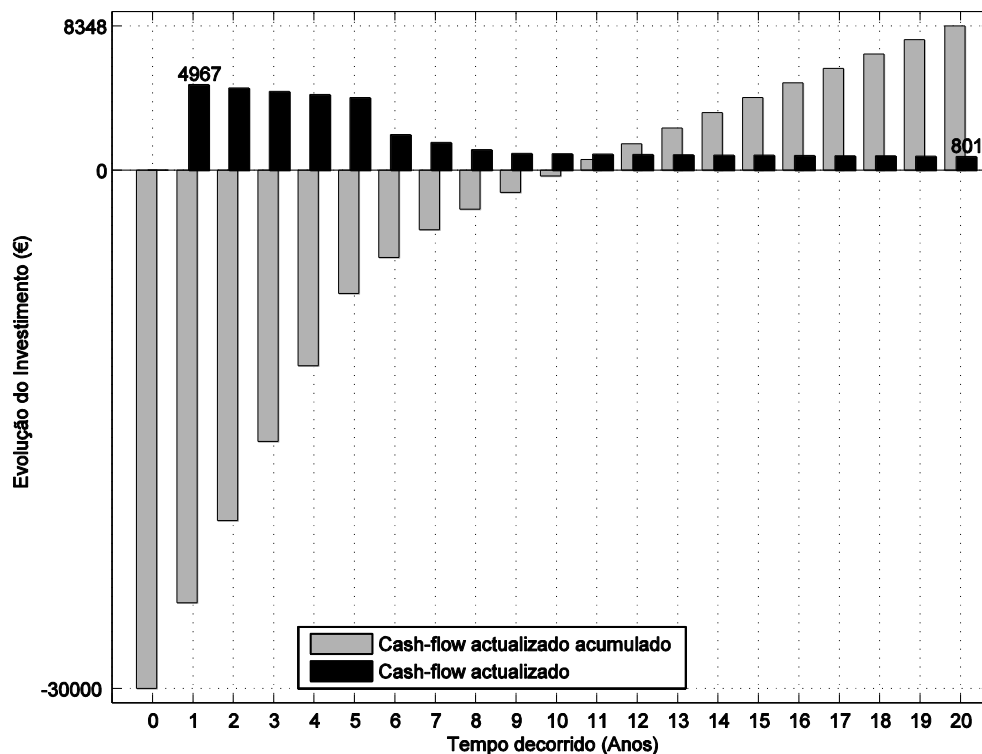


Figura 5.9 – Evolução de um investimento de 30000€ com produção anual de 8832kWh.

A observação da figura 5.9 permite visualizar a evolução do investimento ao longo dos anos. As barras a cinzento mostram o *cash-flow* actualizado acumulado, que corresponde ao investimento no ano 0, nos anos seguintes mostra a amortização do investimento e depois o lucro gerado pela instalação de microgeração FV. As barras a preto representam o *cash-flow* actualizado, que corresponde à receita anual da instalação. A receita anual tem valor máximo de 4967€ no primeiro ano de instalação, sendo a tarifa igual nos cinco primeiros anos, isto é devido à actualização dos *cash-flows* (subsecção 3.2.3). A receita anual tem valor mínimo de 801€ no último ano, apesar da tarifa considerada estar a aumentar nos últimos anos da instalação (subsecção 5.2.2), a receita é mínima no último ano devido à actualização dos *cash-flows* (subsecção 3.2.3).

A tabela 5.4 mostra os indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 30000€, com uma produção anual de 8832kWh.

Tabela 5.4 – Indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 30000€ com produção anual de 8832kWh.

VAL	8348€
TIR	8,65%
<i>payback</i>	10,35 anos

Podemos verificar que este é um projecto viável. Os indicadores de avaliação económico-financeira são: VAL=8348€, TIR=8,65% e um *payback* de 10,35 anos.

Conclui-se, portanto, que se o Microprodutor investir 30000€, remunera o capital que se mantém investido à taxa de 4,3%, recuperando o investimento inicial e gerando um excedente de 8348€. O valor da TIR igual a 8,65%, quer dizer que a uma taxa de actualização de 8,65% no final dos vinte anos teremos o VAL igual a 0€ significa que recuperamos o investimento. Um *payback* de 10,35 anos é o tempo que o projecto leva até recuperar o investimento.

5.6.2 Um investimento de 25000€ com produção anual de 7350kWh.

Vamos fazer uma avaliação económico-financeira de uma instalação de microgeração FV com investimento de 25000€, com uma produção anual estimada de 7350kWh.

A figura 5.10 mostra a evolução de um investimento de 25000€, com uma produção anual de 7350kWh.

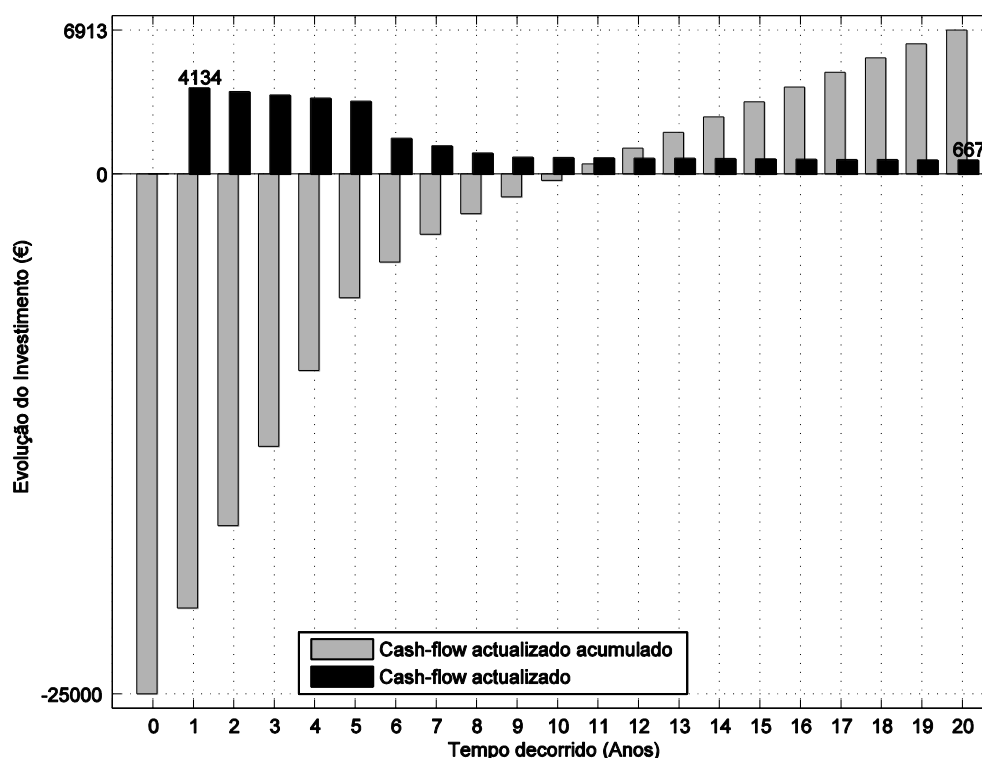


Figura 5.10 – Evolução de um investimento de 25000€ com produção anual de 7350kWh.

A observação da figura 5.10 permite visualizar a evolução do investimento ao longo dos anos. As barras a cinzento mostram o *cash-flow* actualizado acumulado, que corresponde ao investimento no ano 0, nos anos seguintes mostra a amortização do investimento e depois o lucro gerado pela instalação de microgeração FV. As barras a preto representam o *cash-flow* actualizado, que corresponde à receita anual da instalação. A receita anual tem valor máximo de 4134€ no primeiro ano de instalação, sendo a tarifa igual nos cinco primeiros anos, isto é devido à actualização dos *cash-flows* (subsecção 3.2.3). A receita anual tem valor mínimo de 667€ no último ano, apesar da tarifa considerada estar a aumentar nos últimos anos da instalação (subsecção 5.2.2), a receita é mínima no último ano devido à actualização dos *cash-flows* (subsecção 3.2.3).

A tabela 5.5 mostra os indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 25000€, com uma produção anual de 7350kWh.

Tabela 5.5 – Indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 30000€ com produção anual de 8832kWh.

VAL	6913€
TIR	8,62%
<i>payback</i>	10,39 anos

Podemos verificar que este é um projecto viável. Os indicadores de avaliação económico-financeira são: VAL=6913€, TIR=8,62% e um *payback* de 10,39 anos.

Conclui-se, portanto, que se o Microprodutor investir 25000€, remunera o capital que se mantém investido à taxa de 4,3%, recuperando o investimento inicial e gerando um excedente de 6913€. O valor do TIR igual a 8,62%, quer dizer que a uma taxa de actualização de 8,62% no final dos vinte anos teríamos o VAL igual a 0€, significa que recuperamos o investimento. Um *payback* de 10,39 anos é o tempo que o projecto leva até recuperar o investimento.

5.6.3 Um investimento de 20000€ com produção anual de 5880kWh.

Vamos fazer uma avaliação económico-financeira de uma instalação de microgeração FV com investimento de 20000€, com uma produção anual estimada de 5880kWh.

A figura 5.11 mostra a evolução de um investimento de 20000€, com uma produção anual de 5880kWh.

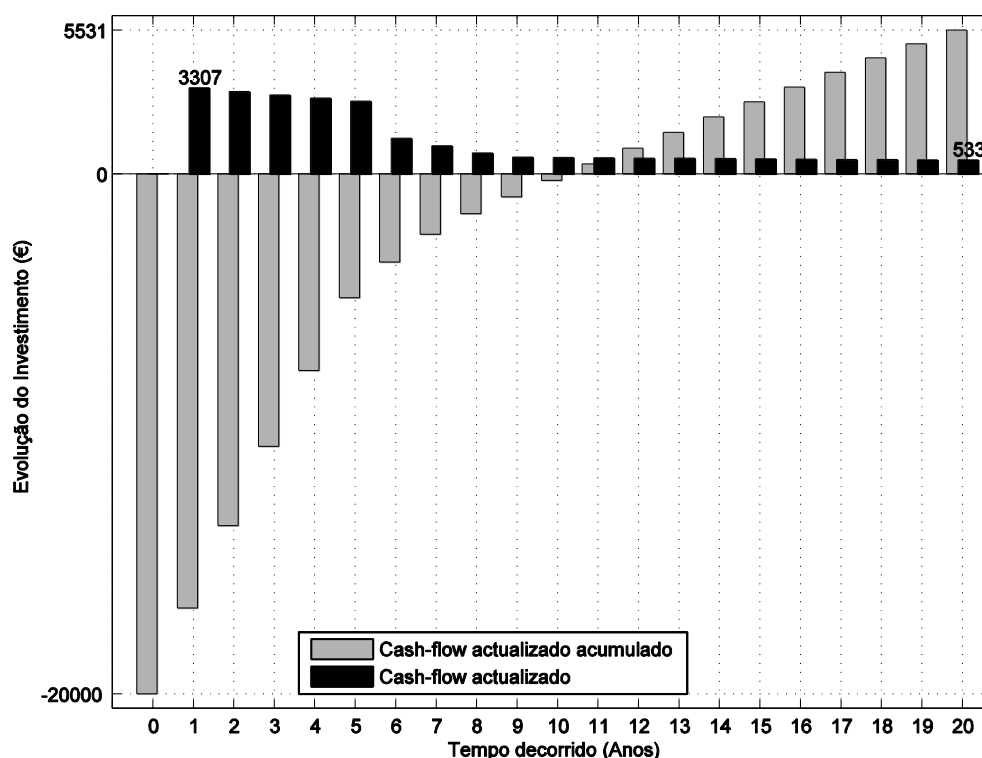


Figura 5.11 – Evolução de um investimento de 20000€ com produção anual de 5880kWh.

A observação da figura 5.11 permite visualizar a evolução do investimento ao longo dos anos. As barras a cinzento mostram o *cash-flow* actualizado acumulado, que corresponde ao investimento no ano 0, nos anos seguintes mostra a amortização do investimento e depois o lucro gerado pela instalação de microgeração FV. As barras a preto representam o *cash-flow* actualizado, que corresponde à receita anual da instalação. A receita anual tem valor máximo de 3307€ no primeiro ano de instalação, sendo a tarifa igual nos cinco primeiros anos, isto devido à actualização dos *cash-flows*. A receita anual tem valor mínimo de 533€ no último ano, apesar da tarifa considerada estar a aumentar nos últimos anos da instalação, a receita é mínima no último ano, devido à actualização dos *cash-flows*.

A tabela 5.6 mostra os indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 20000€, com uma produção anual de 5880kWh.

Tabela 5.6 – Indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 20000€ com produção anual de 5880kWh.

VAL	5530€
TIR	8,62%
<i>payback</i>	10,39 anos

Podemos verificar que este é um projecto viável. Os indicadores de avaliação económico-financeira são: VAL=5530€, TIR=8,62% e um *payback* de 10,39 anos.

Conclui-se, portanto, que se o Microprodutor investir 20000€, remunera o capital que se mantém investido à taxa de 4,3%, recuperando o investimento inicial e gerando um excedente de 5530€. O valor da TIR igual a 8,62%, quer dizer, que a uma taxa de actualização de 8,62% no final dos vinte anos teríamos o VAL igual a 0€, significa que recuperamos o investimento. Um *payback* de 10,39 anos é o tempo que o projecto leva até recuperar o investimento.

5.6.4 Um investimento de 17000€ com produção anual de 5000kWh.

Vamos fazer uma avaliação económico-financeira de uma instalação de microgeração FV com investimento de 17000€, com uma produção anual estimada de 5000kWh.

A figura 5.12 mostra a evolução de um investimento de 17000€, com uma produção anual de 5000kWh.

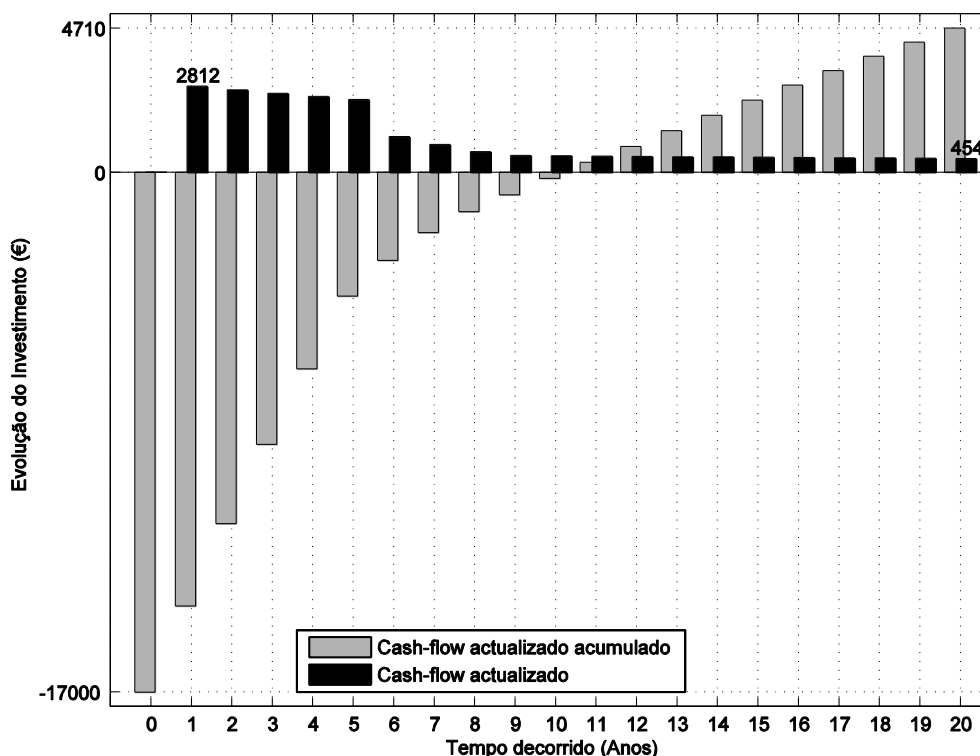


Figura 5.12 – Evolução de um investimento de 17000€ com produção anual de 5000kWh.

A observação da figura 5.12 permite visualizar a evolução do investimento ao longo dos anos. As barras a cinzento mostram o *cash-flow* actualizado acumulado, que corresponde ao investimento no ano 0, nos anos seguintes mostra a amortização do investimento e depois o lucro gerado pela instalação de microgeração FV. As barras a preto representam o *cash-flow* actualizado, que corresponde à receita anual da instalação. A receita anual tem valor máximo de 2812€ no primeiro ano de instalação, sendo a tarifa igual nos cinco primeiros anos, isto devido, à actualização dos *cash-flows*. A receita anual tem valor mínimo de 454€ no último ano, apesar da tarifa considerada estar a aumentar nos últimos anos da instalação, a receita é mínima no último ano, devido à actualização dos *cash-flows*.

A tabela 5.4 mostra os indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 17000€, com uma produção anual de 5000kWh.

Tabela 5.7 – Indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 17000€ com produção anual de 5000kWh.

VAL	4710€
TIR	8,63%
<i>payback</i>	10,38 anos

Podemos verificar que este é um projecto viável. Os indicadores de avaliação económico-financeira são: VAL=4710€, TIR=8,63% e um *payback* de 10,38 anos.

Conclui-se, portanto, que se o Microprodutor investir 17000€, remunera o capital que se mantém investido à taxa de 4,3%, recuperando o investimento inicial e gerando um excedente de 4710€. O valor da TIR igual a 8,63%, quer dizer que a uma taxa de actualização de 8,63% no final dos vinte anos teríamos o VAL igual a 0€, significa que recuperamos o investimento. Um *payback* de 10,38 anos é o tempo que o projecto leva até recuperar o investimento.

5.6.5 Um investimento de 17000€ com produção anual de 4100kWh.

Vamos fazer uma avaliação económico-financeira de uma instalação de microgeração FV com investimento de 17000€, com uma produção anual estimada de 4100kWh.

A figura 5.13 mostra a evolução de um investimento de 17000€, com uma produção anual de 4100kWh.

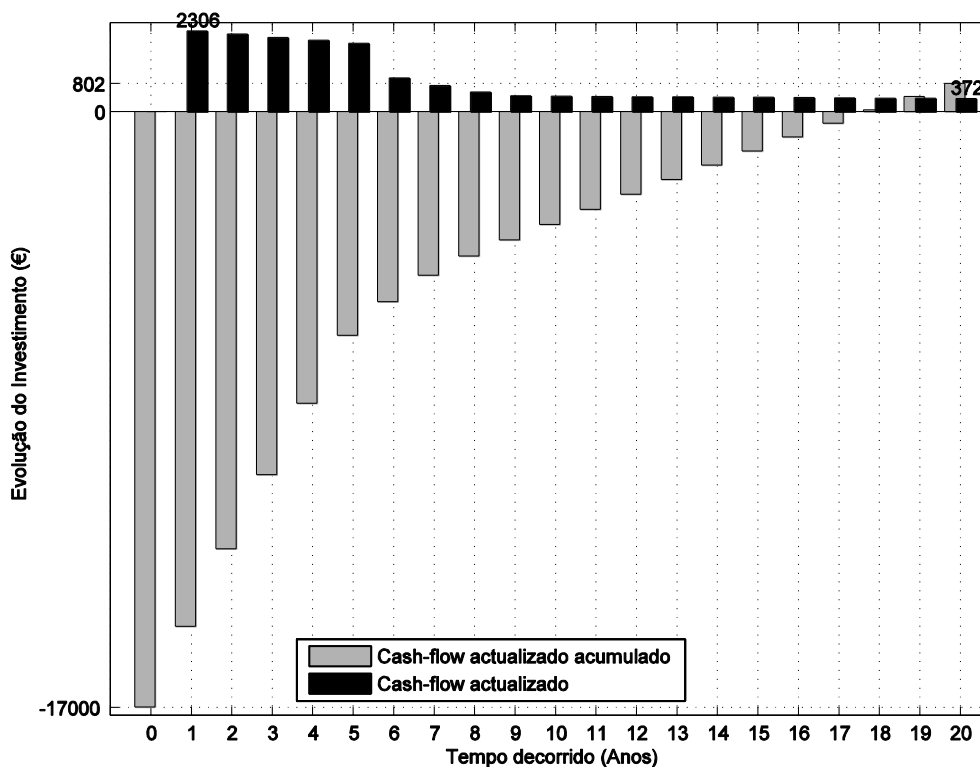


Figura 5.13 – Evolução de um investimento de 17000€ com produção anual de 4100kWh.

A observação da figura 5.13 permite visualizar a evolução do investimento ao longo dos anos. As barras a cinzento mostram o *cash-flow* actualizado acumulado, que corresponde ao investimento no ano 0, nos anos seguintes mostra a amortização do investimento e depois o lucro gerado pela instalação de microgeração FV. As barras a preto representam o *cash-flow* actualizado, que corresponde à receita anual da instalação. A receita anual tem valor máximo de 2306€ no primeiro ano de instalação, sendo a tarifa igual nos cinco primeiros anos, isto devido à actualização dos *cash-flows*. A receita anual tem valor mínimo de 372€ no último ano, apesar da tarifa considerada estar a aumentar nos últimos anos da instalação, a receita é mínima no último ano, devido à actualização dos *cash-flows*.

A tabela 5.8 mostra os indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 17000€, com uma produção anual de 4100kWh.

Tabela 5.8 – Indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 17000€ com produção anual de 4100kWh.

VAL	802€
TIR	5,05%
<i>payback</i>	17,87 anos

Podemos verificar que este é um projecto viável. Os indicadores de avaliação económico-financeira são: VAL=802€, TIR=5,05% e um *payback* de 17,87 anos.

Conclui-se, portanto, que se o Microprodutor investir 17000€, remunera o capital que se mantém investido à taxa de 4,3%, recuperando o investimento inicial e gerando um excedente de 802€. O valor da TIR igual a 5,05%, quer dizer, que a uma taxa de actualização de 5,05% no final dos vinte anos teríamos o VAL igual a 0€ significa que recuperamos o investimento. Um *payback* de 17,87anos é o tempo que o projecto leva até recuperar o investimento.

5.6.6 Um investimento de 21000€ com produção anual de 4500kWh.

Vamos fazer uma avaliação económico-financeira de uma instalação de microgeração FV com investimento de 21000€, com uma produção anual estimada de 4500kWh.

A figura 5.14 mostra a evolução de um investimento de 21000€, com uma produção anual de 4500kWh.

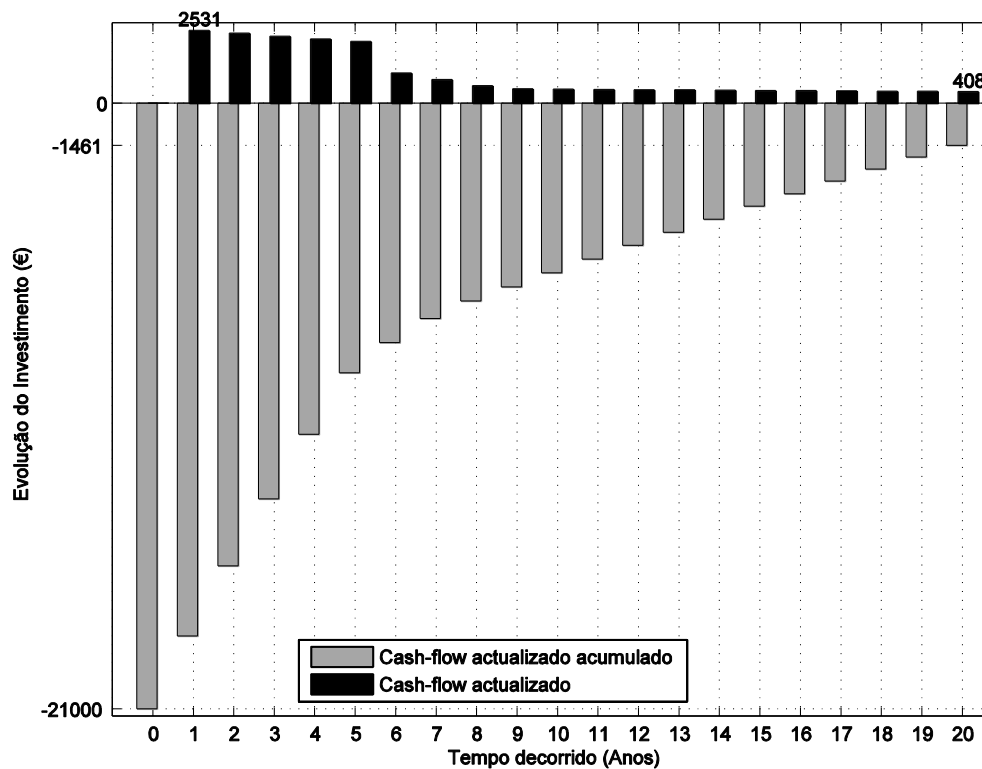


Figura 5.14 – Evolução de um investimento de 21000€ com produção anual de 4500kWh.

A observação da figura 5.14 permite visualizar a evolução do investimento ao longo dos anos. As barras a cinzento mostram o *cash-flow* actualizado acumulado, que corresponde ao investimento no ano zero, nos anos seguintes mostra a amortização do investimento da instalação de microgeração FV. As barras a preto representam o *cash-flow* actualizado, que corresponde à receita anual da instalação. A receita anual tem valor máximo de 2531€ no primeiro ano de instalação, sendo a tarifa igual nos cinco primeiros anos, isto devido à actualização dos *cash-flows*. A receita anual tem valor mínimo de 408€ no último ano, apesar da tarifa considerada estar a aumentar nos últimos anos da instalação, a receita é mínima no último ano, devido à actualização dos *cash-flows*.

A tabela 5.9 mostra os indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 21000€, com uma produção anual de 4500kWh.

Tabela 5.9 – Indicadores de avaliação económico-financeira de um investimento de 21000€ com produção anual de 4500kWh.

VAL	-1461€
TIR	3,19%

Podemos verificar que este projecto é inviável. Os indicadores de avaliação económico-financeira são: VAL=-1461€, TIR=3,19%.

Conclui-se, portanto, que se o Microprodutor investir 21000€, remunera o capital que se mantém investido à taxa de 4,3%, mas não recupera o investimento inicial e gera um prejuízo de 1461€. O valor da TIR igual a 3,19%, indica que ao invés de uma taxa de actualização 4,3% tiver uma com valor de 3,19% no final dos vinte anos teríamos o VAL igual a 0€, significa que recuperamos o investimento. Para esta instalação de microgeração FV ser viável a taxa de actualização não pode ser superior a 3,19%.

5.6.7 Comparação e análise das diferentes soluções de produção

Neste ponto vão ser analisadas as diferentes instalações de microgeração FV expostas nas secções anteriores. A instalação da secção 5.6.1, sendo esta a instalação com maior capacidade de produção (pelo seu maior investimento) são também aquelas que obrigam a tecnologias mais fiáveis, que garantam sempre a produção anual máxima, logo esta é a instalação que gera mais lucro, devido a atingir a produção anual máxima paga por lei (secção 2.3).

Nos casos das, secção 5.6.2, secção 5.6.3 e secção 5.6.4) em que o investimento é menor, a produção anual também será menor logo o lucro gerado será menor que no caso da secção 5.6.1. Em instalações que são bem projectadas é possível dizer que quanto maior o investimento maior será o lucro gerado.

Neste ponto já estamos em condições para responder à questão que se levantou na secção 5.4.1, que era: “A figura 5.3 pode-nos remeter para uma analogia errónea, no caso de considerarmos que queremos o *payback* em um determinado ano, é feito o investimento conforme o *payback* definido por exemplo 10,35 anos, verificamos na figura 5.3 que todas as linhas de investimento têm valores com o *payback* de 10,35 anos. Qual seria a melhor linha de investimento? Quem não tenha conhecimento dos indicadores de avaliação económico-financeira irá escolher o menor investimento”. Agora depois de analisados os casos de instalações das secções 5.6.1 até à secção 5.6.4 em que todos têm valores de *payback* muito próximos de 10.35 anos mas o VAL é diferente entre eles, o VAL aumenta à medida que o investimento e produção anual aumentam. Logo a melhor opção é a curva de investimento 30000€ pois é a que gera mais lucro. Isto acontece porque após resgatar o investimento a

instalação que mais produz, mais lucro vai ter, uma vez que a tarifa é igual em todos os casos, ver a formulação do calculo da receita, (secção 5.1.2).

No caso da secção 5.6.5 temos uma instalação viável em que o microprodutor vai ter lucro, mas por exemplo, uma avaria por um período de quinze dias, com sol, pode representar uma perda de energia de 300kWh perda essa que, a verificar-se frequentemente, pode levar a instalação de microgeração FV deixe de ser viável.

No caso da secção 5.6.6 temos uma instalação inviável em que o microprodutor vai ter prejuízo, não consegue recuperar o investimento feito. Isto acontece porque por vezes as empresas instaladoras não fazem bem o projecto de engenharia. Na maior parte destes casos acontece porque a instalação é feita em zonas afectadas por sombras que em determinados momentos do dia tapam a radiação solar, baixando em muito o desempenho da instalação de microgeração FV.

Analisados estes exemplos de instalações de microgeração FV pode-se afirmar que uma instalação que não produz não vai ter lucro independentemente se a tarifa bonificada aplicada for 0,65€ ou 0.5866€, é um facto que o custo das instalações não baixaram ao mesmo nível que a tarifa bonificada. O regime bonificado é um incentivo à implementação da microgeração FV, em que não basta instalar mesmo à sombra que no fim o microprodutor vai ter lucro. Essa é uma ideia errada. A instalação tem que produzir energia para recuperar o investimento feito.

Capítulo

6

Conclusão

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões do trabalho desenvolvido sobre avaliação económico-financeira de instalações de microgeração FV. Procede-se a uma síntese dos casos de estudo precedentes. São apresentados possíveis trabalhos futuros.

6.1 Conclusões

Nesta dissertação foram apresentados vários casos de estudo em que o objectivo principal era fazer uma avaliação económico-financeira de instalações de microgeração FV em Portugal com acesso à tarifa bonificada descrita pelo Decreto-Lei 363/2007 de 2 de Novembro.

Os casos das secções 5.3 e 5.4 consideram uma qualquer instalação de microgeração FV com potência de ligação 3,68kW, às quais corresponderá um investimento no intervalo entre 17000€ e 30000€. Admite-se que a produção anual não excede os 8832 kWh. Ao visualizar as figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 verifica-se que têm combinações investimento e produção anual que não têm significado na prática. Mas através dessas figuras dá para verificar através de uma rápida visualização, como evolui o investimento e a produção anual em termos de *payback* e VAL. Com o mesmo investimento se a produção baixar o *payback* vai aumentar e o VAL vai diminuir, se a produção aumenta o *payback* diminui e o VAL aumenta. Se a produção for a mesma e o investimento baixa o *payback* diminui e o VAL aumenta, se o investimento aumentar o *payback* aumenta e o VAL diminui.

O caso da secção 5.5 prevê o *payback* e VAL de uma produção anual estimada. E indica o intervalo de investimento que pode ser feito sem que o microprodutor tenha prejuízo.

Na secção 5.6 estão vários casos de instalações de microgeração FV, os cinco primeiros casos são viáveis, em que o primeiro é o caso mais rentável. E é possível verificar que quanto mais se investe na instalação, maior será a sua rentabilidade. O último caso é inviável pois com o investimento de 21000€ deveria produzir cerca de 5500kWh para que esta fosse viável.

De referir ainda que os cálculos efectuados foram sempre no pior caso, em que a tarifa bonificada baixa o máximo, pois foi considerado que todos os anos se atinge o limite de potência de ligação, e a tarifa bonificada baixa 5% em cada 10MW ligados à rede.

Ainda, faz-se notar que para os cálculos também não foi considerada nenhum valor de produção no ano zero, em que a tarifa a essa produção é paga a 0.5866€ por kW produzido. Não é considerada porque as instalações podem não ser ligadas à rede no início do ano, logo a produção anual vai ser diferente dos restantes anos a produção efectuada no ano zero é paga no valor máximo, se a instalação da secção 5.6 fosse instalada no início do ano com uma produção cerca de 4000kWh teria um rendimento no ano zero de 2346€, esta instalação passava a ser viável.

É de notar, qualquer uma destas instalações se não estivessem ao abrigo da tarifa bonificada eram todos projectos inviáveis pois o investimento não iria ser recuperado.

Obtiveram-se gráficos que permitem, por consulta aferir da viabilidade económico-financeira de instalações de microgeração FV, foram obtidos através do programa desenvolvido em “*Guide Matlab*”, escolhendo os parâmetros descritos, serão obtidos os resultados apresentados nesta dissertação.

Após a conclusão do trabalho foi com agrado e felicidade que todos esses objectivos foram cumpridos.

Assim com este trabalho tive a possibilidades de compreender o funcionamento geral da microgeração FV em Portugal.

O estudo e compreensão sobre a tecnologia FV foram uma mais-valia para mim a nível pessoal e profissional. Com o desenvolvimento deste trabalho, adquiri conhecimentos de como funciona a microgeração FV, o planeamento de uma instalação bem como a análise económico-financeira de instalações de microgeração FV.

6.2 Trabalhos futuros

Após a conclusão desta dissertação é possível indicar vários trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos nesta área:

- (1) Relacionar os resultados obtidos com os valores de investimento e produção anual de instalações de microgeração FV já implementadas.
- (2) Adaptar este modelo de cálculo, à futura legislação que será aplicada.
- (3) Melhorar este modelo de cálculo, que considere produções no ano zero, e que retire os casos de investimento–produção anual que não são exequíveis conforme a data.

Referências

7.1 Principais referências

[1] – DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia “*Caracterização Energética Nacional*”; disponível em <http://www.dgge.pt/>.

[2] – Portal da União Europeia, “Protocolo de Quioto relativo às alterações climáticas”; disponível em http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/l28060_pt.htm.

[3] – Agência Portuguesa do Ambiente “*Alterações Climáticas*”, disponível em <http://www.apambiente.pt/politicambient/AlteracoesClimaticas/Paginas/default.aspx>.

[4] – Direcção Geral de Energia e Geologia, “*Renováveis: Estatísticas Rápidas, Novembro/Dezembro 2009*”, disponível em <http://www.dgge.pt/>.

[5] – Ministério da Economia e da Inovação, “*Energias Renováveis em Portugal*”, 2007, disponível em http://www.min-economia.pt/document/Energias_Renov_PT.pdf.

[6] – Ministério da Economia e da Inovação “*Política Energética Vol. I*”, 2007, disponível em <http://www.min-economia.pt/document/politica1.pdf>.

[7] – Decreto-Lei n.º 363/2007 de 2 de Novembro.

[8] – Guia para a certificação de uma unidade de microprodução, disponível em http://www.renovaveisnagora.pt/c/document_library/get_file?folderId=15654&name=DLFE-4403.pdf.

[9] – Portaria n.º 725/91 de 29 de Julho.

- [10] – Portal das Finanças, Artigo 85.º-A, “*Deduções Ambientais*”, disponível em: http://info.portaldasfinancas.gov.pt/pt/informacao_fiscal/codigos_tributarios/irs/irs89a.htm
- [11] – Lei nº109-B/2001 de 27 Dezembro.
- [12] – Quintas, Jaime; “*Avaliação Financeira de Projectos*”, Março de 2009.
- [13] – Barros, Carlos; “*Decisões de Investimento e Financiamento de Projectos*”, 3ª Edição, 1995.
- [14] – Eusébio, Cristina, “*Gestão de Energia - Avaliação Económica de Projectos*”; ISEL, Setembro 2007, disponível em <http://pwp.net.ipl.pt/deea.isel/ccamus>.
- [15] – Serrasqueiro, Zélia; “*Sebenta de Análise de Investimentos*”; UBI, 2009/2010.
- [16] – Castro, Rui; “*Introdução à Avaliação Económica de Investimentos*”, Energias Renováveis e Produção Descentralizada, IST, Lisboa, Edição 5, Fevereiro 2009.
- [17] – GREENPRO, “*Energia Fotovoltaica - Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação*”, 2004, disponível em <http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>.
- [18] – Resolução do Conselho de Ministros nº 63/2003.
- [19] – Castro, Rui; “*Introdução à energia fotovoltaica*”, Energias Renováveis e Produção Descentralizada, IST, Maio de 2008 (edição 2.2).
- [20] – Markvart, Tom & Castañer, Luis; “*Practical Handbook of Photovoltaics Fundamentals and Applications*”, Elsevier, 2003.
- [21] – EDP; “Catálogo My Energy Microgeração EDP”, disponível em: www.edp.pt.
- [22] – EBF–European Banking Federation, Euribor rates, disponível em: www.euribor.org.
- [23] – ERSE; Disponíveis em: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/Paginas/default.aspx>.
- [24] – EDP; “ERSE define tarifas de electricidade para 2010”, disponível em: http://www.edp.pt/pt/investidores/informacaoprivilegiada/2009/Informao%20Privilegiada%202009/Tarifas%20ERSE%202010_PO_vFinal.pdf.
- [25] – EDP – Energias de Portugal, tarifas BNT entre 2,3 e 20,7kVA, disponível em: <http://www.edpsu.pt/pt/negocios/tarifasehorarios/tarifasBTN/Pages/TarifasBTNentre2.3e20.7kVA.aspx>.

7.2 Outras referências

Messenger, Roger A.; *“Photovoltaic Systems Engineering”*, second edition, CRC Press, 2005.

Thomas, Randall; *“Photovoltaics and Architecture”*, Spon Press, 2001.

Paul A. Lynn; *“Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics”*, A John Wiley & Sons, 2010.

Amaryllis Audenaert, Liesje De Boeck, Sven De Cleyn, Sebastien Lizin, Jean-François Adam; *“An economic evaluation of photovoltaic grid connected systems (PVGCS) in Flanders for companies: A generic model”*, Renewable Energy, 2010.

José L. Bernal-Agustín, Rodolfo Dufo-López; *“Economical and Environmental Analysis of Grid Connected Photovoltaic Systems in Spain”*, University of Zaragoza, Renewable Energy 2006.

Carlos Santos, *“Aplicação de Conversores Matriciais em Sistemas Fotovoltaicos”*, Tese de Mestrado, IST, Setembro 2007.

Assunção, Alice; *“Integração de Microgeração em Larga Escala nas Redes de Baixa tensão”*, Tese de Mestrado IPB.

Tiago Soares; *“Sistemas de produção de electricidade descentralizada baseados em energia renovável”*, Tese de Mestrado FEUP, Fevereiro de 2009.

Samuel Gomes; *“Integração em Edifícios de um Sistema Fotovoltaico de Potência 3,68kWp (Microgeração)”*, Tese de Mestrado IST, Outubro 2009.

Emanuel Proença; *“A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM PORTUGAL, Estado-da-Arte e Perspectivas de Desenvolvimento”*, Tese de Mestrado IST, Agosto de 2007.

A.1 Tabela com os valores de *payback*.

Tabela A.1 – Valores de *payback* (anos), com taxa de actualização 4,3% e aumento da tarifa em regime geral de 2,5%.

	17000	18000	19000	20000	21000	22000	23000	24000	25000	26000	27000	28000	29000	30000
3932	19,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3982	19,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4032	18,62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4082	18,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4132	17,52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4182	17,00	19,58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4232	16,50	19,02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4282	16,01	18,48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4332	15,54	17,96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4382	15,08	17,45	19,93	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4432	14,63	16,96	19,39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4482	14,20	16,49	18,87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4532	13,78	16,02	18,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4582	13,37	15,58	17,87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4632	12,98	15,14	17,39	19,73	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4682	12,59	14,72	16,93	19,23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4732	12,22	14,31	16,48	18,73	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4782	11,86	13,91	16,04	18,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4832	11,50	13,52	15,62	17,79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4882	11,16	13,14	15,20	17,34	19,55	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4932	10,82	12,78	14,80	16,90	19,07	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4982	10,50	12,42	14,41	16,47	18,61	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5032	10,18	12,07	14,03	16,05	18,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5082	9,87	11,73	13,66	15,65	17,72	19,86	—	—	—	—	—	—	—	—
5132	9,56	11,40	13,30	15,26	17,29	19,39	—	—	—	—	—	—	—	—
5182	9,27	11,08	12,94	14,87	16,87	18,94	—	—	—	—	—	—	—	—
5232	8,98	10,76	12,60	14,50	16,46	18,50	—	—	—	—	—	—	—	—
5282	8,70	10,45	12,26	14,13	16,07	18,07	—	—	—	—	—	—	—	—
5332	8,42	10,15	11,94	13,78	15,68	17,65	19,69	—	—	—	—	—	—	—
5382	8,15	9,86	11,62	13,43	15,31	17,24	19,25	—	—	—	—	—	—	—
5432	7,91	9,57	11,31	13,09	14,94	16,84	18,82	—	—	—	—	—	—	—
5482	7,70	9,29	11,00	12,76	14,58	16,46	18,40	—	—	—	—	—	—	—

5532	7,49	9,02	10,71	12,44	14,23	16,08	17,99	19,96	—	—	—	—	—	—
5582	7,29	8,75	10,42	12,13	13,89	15,71	17,59	19,53	—	—	—	—	—	—
5632	7,09	8,49	10,13	11,82	13,56	15,35	17,20	19,11	—	—	—	—	—	—
5682	6,92	8,24	9,85	11,52	13,23	15,00	16,82	18,70	—	—	—	—	—	—
5732	6,78	7,99	9,58	11,22	12,91	14,66	16,45	18,30	—	—	—	—	—	—
5782	6,64	7,79	9,32	10,94	12,60	14,32	16,09	17,91	19,80	—	—	—	—	—
5832	6,50	7,59	9,06	10,66	12,30	13,99	15,74	17,53	19,39	—	—	—	—	—
5882	6,36	7,40	8,80	10,38	12,00	13,67	15,39	17,16	18,99	—	—	—	—	—
5932	6,23	7,21	8,56	10,11	11,71	13,36	15,05	16,80	18,60	—	—	—	—	—
5982	6,10	7,02	8,31	9,85	11,43	13,05	14,72	16,45	18,22	—	—	—	—	—
6032	5,98	6,88	8,07	9,59	11,15	12,75	14,40	16,10	17,85	19,65	—	—	—	—
6082	5,88	6,74	7,87	9,34	10,88	12,46	14,09	15,76	17,48	19,26	—	—	—	—
6132	5,78	6,61	7,68	9,09	10,61	12,17	13,78	15,43	17,13	18,88	—	—	—	—
6182	5,68	6,48	7,50	8,85	10,35	11,89	13,48	15,10	16,78	18,51	—	—	—	—
6232	5,59	6,35	7,31	8,61	10,09	11,62	13,18	14,79	16,44	18,14	19,90	—	—	—
6282	5,50	6,23	7,13	8,38	9,84	11,35	12,89	14,48	16,11	17,79	19,52	—	—	—
6332	5,41	6,10	6,97	8,15	9,60	11,08	12,61	14,17	15,78	17,44	19,14	—	—	—
6382	5,32	5,99	6,84	7,94	9,36	10,83	12,33	13,87	15,46	17,10	18,78	—	—	—
6432	5,23	5,89	6,71	7,76	9,12	10,57	12,06	13,58	15,15	16,76	18,42	—	—	—
6482	5,14	5,80	6,59	7,58	8,89	10,32	11,79	13,30	14,85	16,44	18,07	19,75	—	—
6532	5,06	5,71	6,47	7,41	8,67	10,08	11,53	13,02	14,55	16,11	17,73	19,39	—	—
6582	4,99	5,62	6,35	7,24	8,44	9,84	11,27	12,74	14,25	15,80	17,39	19,03	—	—
6632	4,94	5,53	6,23	7,07	8,22	9,61	11,02	12,48	13,96	15,50	17,07	18,68	—	—
6682	4,90	5,45	6,11	6,93	8,01	9,38	10,78	12,21	13,68	15,19	16,75	18,34	19,98	—
6732	4,86	5,36	5,99	6,81	7,83	9,15	10,54	11,95	13,41	14,90	16,43	18,00	19,62	—
6782	4,83	5,28	5,91	6,69	7,67	8,93	10,30	11,70	13,14	14,61	16,12	17,68	19,27	—
6832	4,79	5,19	5,82	6,57	7,50	8,71	10,06	11,45	12,87	14,33	15,82	17,36	18,93	—
6882	4,75	5,11	5,73	6,45	7,33	8,50	9,84	11,21	12,61	14,05	15,53	17,04	18,60	—
6932	4,71	5,03	5,65	6,34	7,17	8,29	9,61	10,97	12,36	13,78	15,23	16,73	18,27	19,84
6982	4,67	4,98	5,56	6,22	7,01	8,08	9,39	10,73	12,10	13,51	14,95	16,43	17,94	19,50
7032	4,64	4,94	5,48	6,11	6,89	7,90	9,18	10,50	11,86	13,25	14,67	16,13	17,63	19,16
7082	4,60	4,90	5,40	6,00	6,78	7,74	8,96	10,28	11,62	12,99	14,40	15,84	17,32	18,84
7132	4,57	4,86	5,32	5,92	6,66	7,58	8,76	10,05	11,38	12,74	14,13	15,55	17,01	18,51
7182	4,53	4,82	5,24	5,83	6,55	7,42	8,55	9,83	11,15	12,49	13,86	15,27	16,72	18,20
7232	4,50	4,79	5,16	5,75	6,44	7,26	8,35	9,62	10,92	12,25	13,60	15,00	16,42	17,89
7282	4,46	4,75	5,08	5,67	6,33	7,11	8,15	9,41	10,69	12,00	13,35	14,73	16,14	17,58
7332	4,43	4,72	5,01	5,59	6,22	6,97	7,96	9,20	10,47	11,77	13,10	14,46	15,85	17,28
7382	4,40	4,68	4,97	5,51	6,12	6,86	7,81	9,00	10,25	11,54	12,85	14,20	15,58	16,99
7432	4,36	4,65	4,93	5,43	6,01	6,75	7,65	8,80	10,04	11,31	12,61	13,94	15,31	16,70
7482	4,33	4,61	4,89	5,36	5,93	6,64	7,50	8,60	9,83	11,09	12,38	13,69	15,04	16,42
7532	4,30	4,58	4,86	5,28	5,85	6,53	7,35	8,41	9,63	10,87	12,14	13,45	14,78	16,14
7582	4,27	4,55	4,82	5,21	5,77	6,43	7,20	8,21	9,42	10,66	11,91	13,20	14,52	15,87
7632	4,24	4,51	4,79	5,13	5,69	6,32	7,05	8,03	9,22	10,44	11,69	12,96	14,27	15,60
7682	4,21	4,48	4,76	5,06	5,62	6,22	6,93	7,87	9,03	10,23	11,47	12,73	14,02	15,34
7732	4,18	4,45	4,72	4,99	5,54	6,12	6,83	7,72	8,83	10,03	11,25	12,50	13,78	15,08

7782	4,15	4,42	4,69	4,96	5,47	6,02	6,72	7,57	8,64	9,83	11,04	12,27	13,54	14,83
7832	4,12	4,39	4,66	4,92	5,39	5,94	6,62	7,43	8,46	9,63	10,83	12,05	13,30	14,58
7882	4,09	4,36	4,62	4,89	5,32	5,86	6,52	7,29	8,27	9,44	10,62	11,83	13,07	14,33
7932	4,06	4,33	4,59	4,86	5,25	5,79	6,42	7,14	8,09	9,24	10,42	11,62	12,84	14,09
7982	4,03	4,30	4,56	4,82	5,18	5,71	6,32	7,00	7,93	9,05	10,22	11,40	12,62	13,85
8032	4,00	4,27	4,53	4,79	5,11	5,64	6,22	6,90	7,78	8,87	10,02	11,19	12,40	13,62
8082	3,98	4,24	4,50	4,76	5,04	5,57	6,12	6,80	7,64	8,68	9,83	10,99	12,18	13,39
8132	3,95	4,21	4,47	4,73	4,98	5,49	6,03	6,70	7,50	8,50	9,63	10,79	11,96	13,17
8182	3,93	4,18	4,44	4,69	4,95	5,42	5,95	6,60	7,36	8,33	9,45	10,59	11,75	12,94
8232	3,90	4,15	4,41	4,66	4,92	5,35	5,87	6,50	7,23	8,15	9,26	10,39	11,55	12,73
8282	3,88	4,12	4,38	4,63	4,89	5,29	5,80	6,41	7,09	7,98	9,08	10,20	11,34	12,51
8332	3,85	4,10	4,35	4,60	4,85	5,22	5,73	6,31	6,97	7,84	8,90	10,01	11,14	12,30
8382	3,83	4,07	4,32	4,57	4,82	5,15	5,66	6,22	6,87	7,71	8,72	9,82	10,94	12,09
8432	3,80	4,04	4,29	4,54	4,79	5,08	5,59	6,12	6,77	7,57	8,55	9,64	10,75	11,88
8482	3,78	4,02	4,26	4,51	4,76	5,02	5,52	6,03	6,68	7,44	8,38	9,46	10,56	11,68
8532	3,75	3,99	4,24	4,48	4,73	4,98	5,45	5,95	6,58	7,30	8,21	9,28	10,37	11,48
8582	3,73	3,97	4,21	4,45	4,70	4,94	5,39	5,88	6,49	7,17	8,04	9,10	10,18	11,29
8632	3,71	3,94	4,18	4,43	4,67	4,91	5,32	5,82	6,40	7,04	7,90	8,93	10,00	11,09
8682	3,68	3,92	4,16	4,40	4,64	4,88	5,25	5,75	6,31	6,94	7,76	8,76	9,82	10,90
8732	3,66	3,89	4,13	4,37	4,61	4,85	5,19	5,68	6,22	6,84	7,63	8,59	9,64	10,72
8782	3,64	3,87	4,10	4,34	4,58	4,82	5,13	5,61	6,13	6,75	7,50	8,42	9,47	10,53
8832	3,62	3,85	4,08	4,32	4,55	4,79	5,06	5,55	6,04	6,66	7,37	8,26	9,30	10,35

A.2 Tabela com os valores do VAL.

Tabela A.2 – Valores de VAL (€), com taxa de actualização 4,3% e aumento da tarifa em regime geral de 2,5%.

	17000	18000	19000	20000	21000	22000	23000	24000	25000	26000	27000	28000	29000	30000
3882	-144	-1144	-2144	-3144	-4144	-5144	-6144	-7144	-8144	-9144	-10144	-11144	-12144	-13144
3932	73	-927	-1927	-2927	-3927	-4927	-5927	-6927	-7927	-8927	-9927	-10927	-11927	-12927
3982	290	-710	-1710	-2710	-3710	-4710	-5710	-6710	-7710	-8710	-9710	-10710	-11710	-12710
4032	507	-493	-1493	-2493	-3493	-4493	-5493	-6493	-7493	-8493	-9493	-10493	-11493	-12493
4082	724	-276	-1276	-2276	-3276	-4276	-5276	-6276	-7276	-8276	-9276	-10276	-11276	-12276
4132	941	-59	-1059	-2059	-3059	-4059	-5059	-6059	-7059	-8059	-9059	-10059	-11059	-12059
4182	1158	158	-842	-1842	-2842	-3842	-4842	-5842	-6842	-7842	-8842	-9842	-10842	-11842
4232	1375	375	-625	-1625	-2625	-3625	-4625	-5625	-6625	-7625	-8625	-9625	-10625	-11625
4282	1592	592	-408	-1408	-2408	-3408	-4408	-5408	-6408	-7408	-8408	-9408	-10408	-11408
4332	1809	809	-191	-1191	-2191	-3191	-4191	-5191	-6191	-7191	-8191	-9191	-10191	-11191
4382	2026	1026	26	-974	-1974	-2974	-3974	-4974	-5974	-6974	-7974	-8974	-9974	-10974
4432	2244	1244	244	-756	-1756	-2756	-3756	-4756	-5756	-6756	-7756	-8756	-9756	-10756
4482	2461	1461	461	-539	-1539	-2539	-3539	-4539	-5539	-6539	-7539	-8539	-9539	-10539

4532	2678	1678	678	-322	-1322	-2322	-3322	-4322	-5322	-6322	-7322	-8322	-9322	-10322
4582	2895	1895	895	-105	-1105	-2105	-3105	-4105	-5105	-6105	-7105	-8105	-9105	-10105
4632	3112	2112	1112	112	-888	-1888	-2888	-3888	-4888	-5888	-6888	-7888	-8888	-9888
4682	3329	2329	1329	329	-671	-1671	-2671	-3671	-4671	-5671	-6671	-7671	-8671	-9671
4732	3546	2546	1546	546	-454	-1454	-2454	-3454	-4454	-5454	-6454	-7454	-8454	-9454
4782	3763	2763	1763	763	-237	-1237	-2237	-3237	-4237	-5237	-6237	-7237	-8237	-9237
4832	3980	2980	1980	980	-20	-1020	-2020	-3020	-4020	-5020	-6020	-7020	-8020	-9020
4882	4197	3197	2197	1197	197	-803	-1803	-2803	-3803	-4803	-5803	-6803	-7803	-8803
4932	4415	3415	2415	1415	415	-585	-1585	-2585	-3585	-4585	-5585	-6585	-7585	-8585
4982	4632	3632	2632	1632	632	-368	-1368	-2368	-3368	-4368	-5368	-6368	-7368	-8368
5032	4849	3849	2849	1849	849	-151	-1151	-2151	-3151	-4151	-5151	-6151	-7151	-8151
5082	5066	4066	3066	2066	1066	66	-934	-1934	-2934	-3934	-4934	-5934	-6934	-7934
5132	5283	4283	3283	2283	1283	283	-717	-1717	-2717	-3717	-4717	-5717	-6717	-7717
5182	5500	4500	3500	2500	1500	500	-500	-1500	-2500	-3500	-4500	-5500	-6500	-7500
5232	5717	4717	3717	2717	1717	717	-283	-1283	-2283	-3283	-4283	-5283	-6283	-7283
5282	5934	4934	3934	2934	1934	934	-66	-1066	-2066	-3066	-4066	-5066	-6066	-7066
5332	6151	5151	4151	3151	2151	1151	151	-849	-1849	-2849	-3849	-4849	-5849	-6849
5382	6368	5368	4368	3368	2368	1368	368	-632	-1632	-2632	-3632	-4632	-5632	-6632
5432	6586	5586	4586	3586	2586	1586	586	-414	-1414	-2414	-3414	-4414	-5414	-6414
5482	6803	5803	4803	3803	2803	1803	803	-197	-1197	-2197	-3197	-4197	-5197	-6197
5532	7020	6020	5020	4020	3020	2020	1020	20	-980	-1980	-2980	-3980	-4980	-5980
5582	7237	6237	5237	4237	3237	2237	1237	237	-763	-1763	-2763	-3763	-4763	-5763
5632	7454	6454	5454	4454	3454	2454	1454	454	-546	-1546	-2546	-3546	-4546	-5546
5682	7671	6671	5671	4671	3671	2671	1671	671	-329	-1329	-2329	-3329	-4329	-5329
5732	7888	6888	5888	4888	3888	2888	1888	888	-112	-1112	-2112	-3112	-4112	-5112
5782	8105	7105	6105	5105	4105	3105	2105	1105	105	-895	-1895	-2895	-3895	-4895
5832	8322	7322	6322	5322	4322	3322	2322	1322	322	-678	-1678	-2678	-3678	-4678
5882	8539	7539	6539	5539	4539	3539	2539	1539	539	-461	-1461	-2461	-3461	-4461
5932	8757	7757	6757	5757	4757	3757	2757	1757	757	-243	-1243	-2243	-3243	-4243
5982	8974	7974	6974	5974	4974	3974	2974	1974	974	-26	-1026	-2026	-3026	-4026
6032	9191	8191	7191	6191	5191	4191	3191	2191	1191	191	-809	-1809	-2809	-3809
6082	9408	8408	7408	6408	5408	4408	3408	2408	1408	408	-592	-1592	-2592	-3592
6132	9625	8625	7625	6625	5625	4625	3625	2625	1625	625	-375	-1375	-2375	-3375
6182	9842	8842	7842	6842	5842	4842	3842	2842	1842	842	-158	-1158	-2158	-3158
6232	10059	9059	8059	7059	6059	5059	4059	3059	2059	1059	59	-941	-1941	-2941
6282	10276	9276	8276	7276	6276	5276	4276	3276	2276	1276	276	-724	-1724	-2724
6332	10493	9493	8493	7493	6493	5493	4493	3493	2493	1493	493	-507	-1507	-2507
6382	10710	9710	8710	7710	6710	5710	4710	3710	2710	1710	710	-290	-1290	-2290
6432	10928	9928	8928	7928	6928	5928	4928	3928	2928	1928	928	-72	-1072	-2072
6482	11145	10145	9145	8145	7145	6145	5145	4145	3145	2145	1145	145	-855	-1855
6532	11362	10362	9362	8362	7362	6362	5362	4362	3362	2362	1362	362	-638	-1638
6582	11579	10579	9579	8579	7579	6579	5579	4579	3579	2579	1579	579	-421	-1421
6632	11796	10796	9796	8796	7796	6796	5796	4796	3796	2796	1796	796	-204	-1204
6682	12013	11013	10013	9013	8013	7013	6013	5013	4013	3013	2013	1013	13	-987
6732	12230	11230	10230	9230	8230	7230	6230	5230	4230	3230	2230	1230	230	-770

6782	12447	11447	10447	9447	8447	7447	6447	5447	4447	3447	2447	1447	447	-553
6832	12664	11664	10664	9664	8664	7664	6664	5664	4664	3664	2664	1664	664	-336
6882	12881	11881	10881	9881	8881	7881	6881	5881	4881	3881	2881	1881	881	-119
6932	13098	12098	11098	10098	9098	8098	7098	6098	5098	4098	3098	2098	1098	98
6982	13316	12316	11316	10316	9316	8316	7316	6316	5316	4316	3316	2316	1316	316
7032	13533	12533	11533	10533	9533	8533	7533	6533	5533	4533	3533	2533	1533	533
7082	13750	12750	11750	10750	9750	8750	7750	6750	5750	4750	3750	2750	1750	750
7132	13967	12967	11967	10967	9967	8967	7967	6967	5967	4967	3967	2967	1967	967
7182	14184	13184	12184	11184	10184	9184	8184	7184	6184	5184	4184	3184	2184	1184
7232	14401	13401	12401	11401	10401	9401	8401	7401	6401	5401	4401	3401	2401	1401
7282	14618	13618	12618	11618	10618	9618	8618	7618	6618	5618	4618	3618	2618	1618
7332	14835	13835	12835	11835	10835	9835	8835	7835	6835	5835	4835	3835	2835	1835
7382	15052	14052	13052	12052	11052	10052	9052	8052	7052	6052	5052	4052	3052	2052
7432	15269	14269	13269	12269	11269	10269	9269	8269	7269	6269	5269	4269	3269	2269
7482	15487	14487	13487	12487	11487	10487	9487	8487	7487	6487	5487	4487	3487	2487
7532	15704	14704	13704	12704	11704	10704	9704	8704	7704	6704	5704	4704	3704	2704
7582	15921	14921	13921	12921	11921	10921	9921	8921	7921	6921	5921	4921	3921	2921
7632	16138	15138	14138	13138	12138	11138	10138	9138	8138	7138	6138	5138	4138	3138
7682	16355	15355	14355	13355	12355	11355	10355	9355	8355	7355	6355	5355	4355	3355
7732	16572	15572	14572	13572	12572	11572	10572	9572	8572	7572	6572	5572	4572	3572
7782	16789	15789	14789	13789	12789	11789	10789	9789	8789	7789	6789	5789	4789	3789
7832	17006	16006	15006	14006	13006	12006	11006	10006	9006	8006	7006	6006	5006	4006
7882	17223	16223	15223	14223	13223	12223	11223	10223	9223	8223	7223	6223	5223	4223
7932	17440	16440	15440	14440	13440	12440	11440	10440	9440	8440	7440	6440	5440	4440
7982	17658	16658	15658	14658	13658	12658	11658	10658	9658	8658	7658	6658	5658	4658
8032	17875	16875	15875	14875	13875	12875	11875	10875	9875	8875	7875	6875	5875	4875
8082	18092	17092	16092	15092	14092	13092	12092	11092	10092	9092	8092	7092	6092	5092
8132	18309	17309	16309	15309	14309	13309	12309	11309	10309	9309	8309	7309	6309	5309
8182	18526	17526	16526	15526	14526	13526	12526	11526	10526	9526	8526	7526	6526	5526
8232	18743	17743	16743	15743	14743	13743	12743	11743	10743	9743	8743	7743	6743	5743
8282	18960	17960	16960	15960	14960	13960	12960	11960	10960	9960	8960	7960	6960	5960
8332	19177	18177	17177	16177	15177	14177	13177	12177	11177	10177	9177	8177	7177	6177
8382	19394	18394	17394	16394	15394	14394	13394	12394	11394	10394	9394	8394	7394	6394
8432	19611	18611	17611	16611	15611	14611	13611	12611	11611	10611	9611	8611	7611	6611
8482	19829	18829	17829	16829	15829	14829	13829	12829	11829	10829	9829	8829	7829	6829
8532	20046	19046	18046	17046	16046	15046	14046	13046	12046	11046	10046	9046	8046	7046
8582	20263	19263	18263	17263	16263	15263	14263	13263	12263	11263	10263	9263	8263	7263
8632	20480	19480	18480	17480	16480	15480	14480	13480	12480	11480	10480	9480	8480	7480
8682	20697	19697	18697	17697	16697	15697	14697	13697	12697	11697	10697	9697	8697	7697
8732	20914	19914	18914	17914	16914	15914	14914	13914	12914	11914	10914	9914	8914	7914
8782	21131	20131	19131	18131	17131	16131	15131	14131	13131	12131	11131	10131	9131	8131
8832	21348	20348	19348	18348	17348	16348	15348	14348	13348	12348	11348	10348	9348	8348

