



Criação de algoritmo para escolha automática de tecnologias de produção de energia térmica e elétrica.

PEDRO NORBERTO DA COSTA FERREIRA

Junho de 2020

CRIAÇÃO DE ALGORITMO PARA ESCOLHA AUTOMÁTICA DE TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA

Pedro Norberto Costa Ferreira

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de
mestre em Engenharia Química, ramo opcional de Energia e Biorrefinaria

Dissertação orientada por:

Dra. Albina Sá Ribeiro

Dra. Maria Paula Neto

Eng. Jorge Roxo

Junho de 2020

Agradecimentos

A realização da presente dissertação é o culminar da vida académica, momento que consegue ser, talvez, tão positivo como o oposto.

Durante todos estes anos foram várias as pessoas que ajudaram a materializar o objetivo que fora traçado há algum tempo. A esses agradeço, através destas palavras e da forma mais sincera possível, sabendo que todos serviram como modelo para os desafios que a vida me propôs até então.

À Dra. Paula Neto e à Dra. Albina Ribeiro pela orientação, acompanhamento e disponibilidade.

A toda a equipa Filotipo, pela forma como me receberam e pelos incentivos nos tempos que tudo parecia correr menos bem. Entre estes, um agradecimento especial ao Eng. Jorge Roxo por todos os momentos professor-aluno, pela determinação, pelas oportunidades que excederam as expectativas e acima de tudo pela aposta em mim.

Aos meus amigos, no verdadeiro sentido da palavra, por todos os momentos vividos, pelas palavras necessárias nos instantes exatos e por tornarem estes “tempos que não voltam” em “lembranças que o coração guardará”.

Por último e mais importante, à minha família, mas em especial aos meus pais e ao meu avô, pela educação e carinho, pelo apoio incondicional e pelos sacrifícios que fizeram para que todo este caminho fosse menos difícil. Obrigado por acreditarem em mim.

Uma nova etapa se inicia.

Resumo

Nos dias de hoje, o uso racional das fontes de energia é um objetivo comum a todo o tipo de atividades. Dadas as diretrizes da união europeia e até uma mudança de paradigma cultural, a eficiência energética e a produção de energia a partir de novas fontes passaram a ser encaradas como prioridades, garantindo assim benefícios sociais, económicos e ambientais.

Desta forma, o objetivo da dissertação foi a criação de um algoritmo, no software Excel, que possibilite ao utilizador, sem um elevado grau de complexidade, a avaliação da possibilidade de substituir ou complementar os atuais processos de obtenção de energia térmica e elétrica por uma ou mais de quatro diferentes tecnologias que geram poupança de energia primária: cogeração, coletores solares híbridos, fotovoltaicos e térmicos.

Para que a avaliação seja feita, terá de ser fornecida à ferramenta criada um conjunto de dados que, depois de tratados e usados em cada algoritmo de dimensionamento, resultam num quadro onde se compararam, a nível técnico e económico, as diferentes soluções e os seus resultados. Note-se para o facto de todo o dimensionamento ser efetuado de forma automatizada segundo uma série de critérios e pressupostos estabelecidos. É ainda importante referir que, para cada tecnologia analisada, foi criada uma base de dados necessária ao dimensionamento.

A aplicação da ferramenta criada foi feita, na presente dissertação, através da introdução de dados de consumo de um exemplo prático que corresponde a um hotel de 4 estrelas, com cerca de 150 quartos e situado no distrito do Porto.

Concluindo, a ferramenta criada, que permite um olhar geral sobre as diferentes soluções obtidas, revela ainda a possibilidade de integrar no mercado nacional de pequenas indústrias e serviços, por exemplo, soluções inovadoras, robustas e com presença no mercado internacional, como a cogeração ou os painéis híbridos, garantindo proveitos económicos e ambientais que sustentam, de forma segura, o investimento.

Palavras chave: Energia, Eficiência Energética, Tecnologias Inovadoras, Algoritmo.

Abstract

Currently, the rational use of energy sources is a common goal to all kinds of activities. With the European Union's guidelines and even a paradigm shift in culture, energy efficiency and production from alternative sources is today faced as a priority, thus granting social, economical and environmental benefits.

It is then the goal of this dissertation to create a algorithm, using the Excel software, that allows the user, without a great degree of complexity, to evaluate the possibility of replacing or complementing the current thermal and electrical energy production sources with one or more of four different technologies, saving primary energy. These sources are cogeneration, hybrid solar collectors, photovoltaic panels and thermal panels.

In order to make this evaluation possible, the user must input in this tool a set of data that, after treated and applied to each sizing algorithm, resulting in a chart where the different solutions are compared on an economical and technical level and its results. This sizing is done in an automated way according to a series of pre-established criteria and presuppositions. It should also be of note that, for each of the technologies involved, the creation of a data base needed for the sizing was required.

The created tool was applied through the introduction of energy consumption data of a practical example that matches a 4 stars hotel, with about 150 rooms and located at Porto.

In conclusion, the tool created allows the user to have a general sense of the different solutions obtained, while also, for example, revealing the possibility for its integration in small companies' the domestic market, or suggesting innovative, robust solution to the international market, such as cogeneration or hybrid panels, granting economical and environmentally sustainable advantages that ensure a solid investment.

Keywords: Energy, Energetic Efficiency, Innovative Technologies, Algorithm.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos.....	1
1.3	Estrutura.....	2
2	Revisão bibliográfica.....	3
2.1	Cogeração	3
2.1.1	Tecnologias de cogeração.....	5
2.1.2	Enquadramento legal	9
2.2	Energia solar - Sistemas de produção de energia.....	11
2.2.1	Coletores Solares Híbridos	13
2.2.2	Solar Fotovoltaico	17
2.2.3	Coletores solares térmicos	22
2.3	Fornecimento de Energia Elétrica.....	28
3	Metodologia de criação do algoritmo.....	31
3.1	Árvore de decisão	31
3.1.1	Matriz Energética	32
3.1.2	Matriz de potências elétricas	34
3.1.3	Quadro Comparativo	36
3.2	Cogeração	37
3.2.1	Potência elétrica.....	39
3.2.2	Potência térmica	42
3.2.3	Validação da cogeração	43
3.2.4	Avaliação económica.....	48
3.3	Solar Híbrido.....	49
3.3.1	Energia Elétrica - Determinação de <i>NE</i>	55

3.3.2	Energia Térmica – Determinação de NT	57
3.3.3	Determinação de N	58
3.3.4	Validação de N	59
3.3.5	Avaliação económica.....	64
3.4	Solar Fotovoltaico.....	66
3.4.1	Introdução.....	66
3.4.2	Determinação de NF	69
3.4.3	Avaliação económica.....	69
3.5	Solar Térmico	71
3.5.1	Determinação de NS	74
3.5.2	Validação de NS	75
3.5.3	Avaliação económica.....	77
4	Aplicação do algoritmo a caso prático	79
4.1	Descrição do caso	79
4.2	Resultados.....	81
4.2.1	Cogeração	81
4.2.2	Solar Híbrido	82
4.2.3	Solar fotovoltaico	82
4.2.4	Solar Térmico	83
4.2.5	Comparação de resultados	83
5	Conclusões	87
	Bibliografia.....	89
	Anexos.....	91
	A. Dados relativos a períodos de consumo.....	91
	B. Dados relativos às horas solares.....	93
	C. Dados relativos às cogerações selecionadas.....	95
	D. Layout do algoritmo aplicado ao caso prático analisado	96

Índice de figuras

Figura 2.1 Esquema representativo da cogeração	3
Figura 2.2 Produção de energia elétrica a partir de cogeração, em Portugal, ao longo dos anos [2].	3
Figura 2.3 Comparação entre sistemas convencionais de produção de energia e um sistema de cogeração.	4
Figura 2.4 Cogeração a partir de turbina a gás [5]	6
Figura 2.5 Cogeração a partir de turbina de contrapressão [5].....	7
Figura 2.6 Cogeração a partir de um motor de combustão interna [5]......	8
Figura 2.7 Componentes da radiação solar [adaptado de 9].....	11
Figura 2.8 Frações de radiação direta e difusa, em Lisboa, durante o período de um ano [10].	12
Figura 2.9 Angulo de radiação solar ao longo das diferentes estações do ano [adaptado de 10]......	12
Figura 2.10 Esquema dos constituintes de um painel híbrido [adaptado de 13]	14
Figura 2.11 Esquema representativo dos fluxos energéticos de um painel fotovoltaico [adaptado de 14]	15
Figura 2.12 Esquema representativo dos fluxos energéticos de um coletor solar híbrido [adaptado de 14].	16
Figura 2.13 Evolução da capacidade de produção mundial [adaptado de 17].	18
Figura 2.14 Representação da estrutura química de uma célula solar [adaptado de 9]..	19
Figura 2.15 Componentes de um módulo fotovoltaico [adaptado de 19]	20
Figura 2.16 Esquemas de sistema solar térmico aberto (a) e fechado (b) [22].....	22
Figura 2.17 purgador de boia e vaso de expansão [10]	23
Figura 2.18 Coletores planos sem cobertura [10;23].....	24
Figura 2.19 Componentes de um coletor plano com cobertura [24].	25
Figura 2.20 Mecanismo de captação de energia solar dos coletores parabólicos compostos [24].	25
Figura 2.21 Funcionamento dos coletores tubo de vácuo [adaptado de 24].....	26
Figura 3.1 Árvore de decisão.....	31
Figura 3.2 Representação dos limites do sistema analisado.....	32
Figura 3.3 Representação esquemática da determinação de B.....	40

Figura 3.4 Representação esquemática do algoritmo usado para a escolha da cogeração.	47
Figura 3.5 Representação esquemática da etapa inicial de dimensionamento da tecnologia solar híbrido.	51
Figura 3.6 Representação esquemática da validação do número de painéis híbridos. ...	63
Figura 3.7 Esquema representativo da determinação do número de painéis solares híbridos.	64
Figura 3.8 Diagrama representativo da determinação do número de painéis fotovoltaicos.	66
Figura 3.9 Representação esquemática da determinação do número de coletores solares térmicos	71
Figura 3.10 Esquema da etapa de validação da instalação de coletores solares térmicos.	76
Figura 4.1 Quadro comparativo de resultados.....	83

Índice de tabelas

Tabela 2.1 Dados relativos aos períodos de consumo em função do nível de tensão [25].	29
Tabela 3.1 Características técnicas do painel híbrido utilizado no algoritmo.	50
Tabela 3.2 Produção térmica e elétrica mensal para os locais em análise.....	52
Tabela 3.3 Produção térmica e elétrica média diária para os locais em análise.....	52
Tabela 3.4 Número de horas de sol em períodos de ponta e cheia nos diversos meses em função dos diferentes ciclos de consumo de energia.	54
Tabela 3.5 Fatores correccionais para os diferentes meses e ciclos de fornecimento.....	54
Tabela 3.6 Características técnicas do painel fotovoltaico utilizado no algoritmo.	67
Tabela 3.7 Produção elétrica mensal para os locais em análise.	68
Tabela 3.8 Produção média diária de energia elétrica para os locais em análise.	68
Tabela 3.9 Características técnicas do painel fotovoltaico utilizado no algoritmo.	72
Tabela 3.10 Produção térmica mensal para os locais em análise.	73
Tabela 3.11 Produção média diária de energia térmica para os locais em análise.....	73
Tabela 4.1 Consumos elétricos anuais nos respetivos períodos.	79
Tabela 4.2 Tarifas associadas a cada período de consumo.	80
Tabela 4.3 Consumo de combustível para os meses em análise.	80

Nomenclatura

Símbolos:

A – Potência elétrica teórica da cogeração (kW).

B – Potência elétrica da cogeração (kW).

$b_{consumo}$ – Ordenada na origem da reta de consumo de combustível (kW).

$b_{elétrico}$ – Ordenada na origem da reta de potência elétrica (kW).

$b_{térmico}$ – Ordenada na origem da reta de potência térmica (kW).

C – Potência térmica teórica (kW).

D – Potência elétrica da cogeração escolhida pela vertente térmica (kW).

$Dias_{consumo_{mês}}$ – Dias de consumo do mês em análise.

$Energia_{elétrica\ diária\ mês}$ – Energia elétrica produzida diariamente no mês em análise (kWh).

$Energia_{térmica\ diária\ mês}$ – Energia térmica produzida diariamente no mês em análise (kWh).

$Energia_{total\ diária\ mês}$ – Energia total produzida diariamente no mês em análise (kWh).

$F_{sol_{mês}}$ – Fator de correção mensal para energia de pontas e cheias.

$h_{c_{mês}}$ – Horas diárias em período de cheias do mês em análise.

$h_{p_{mês}}$ – Horas diárias em período de pontas do mês em análise.

$H_{pontas_{cheias_{mês}}$ – Horas diárias em período de pontas e cheias do mês em análise.

$Hsol_{ponta_{cheias_{mês}}$ – Horas de sol diárias em períodos de ponta e cheias do mês em análise.

$m_{consumo}$ – Declive da reta de consumo de combustível (kW/ carga de operação).

$m_{elétrico}$ – Declive da reta de potência elétrica (kW/ carga de operação).

$m_{térmico}$ – Declive da reta de potência térmica (kW/ carga de operação).

N – Número de coletores solar híbridos.

$n^{\circ} \text{ horas}_{período}$ – Número de horas de funcionamento por período.

N_E – Número mensal de coletores solar híbridos determinados pela vertente elétrica.

$Necessidades\ Térmicas_{mês}$ – Necessidades térmicas do mês em análise (kWh).

$Necessidades\ Totais_{mês}$ – Necessidades energéticas totais do mês em análise (kWh).

N_F – Número de coletores solares fotovoltaicos.

$N_{F_mês}$ – Número de coletores solares fotovoltaicos no mês em análise.

N_N – Número de coletores solar térmico que cumpre critério térmico.

NOCT – temperatura normal de operação da célula fotovoltaica (°C).

N_S – Número de coletores solar térmicos.

$N_{S_mês}$ – Número de coletores solar térmicos no mês em análise.

N_T - Número mensal de coletores solar híbridos determinados pela vertente térmica.

N_V – Número de coletores solares híbridos validado.

$P_{cheia_mês}$ – Potência média do período de cheia do mês em análise (kW).

$P_{média_mês}$ – Potência médias das horas de ponta e cheia do mês em análise (kW).

$Potência\ Elétrica_{max}$ – Potência elétrica máxima do painel (kW).

$P_{ponta_mês}$ – Potência média do período de pontas do mês em análise (kW).

x – Carga de operação da cogeração.

α_1 – Coeficiente de perdas térmicas 1 (W/m². K).

α_2 – Coeficiente de perdas térmicas 2 (W/m². K).

Siglas:

AQS – Águas quentes sanitárias.

Impp - Intensidade em máxima potência.

ISC - Intensidade da corrente de curto circuito.

PBP – Tempo de retorno de Investimento.

SERUP - Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção

TIR – Taxa interna de rentabilidade.

UPAC - Unidade para produção em autoconsumo

UPP - Unidade de pequena produção

VAL – Valor atual líquido.

Vmpp - Voltagem e máxima potência.

VOC - Voltagem em circuito aberto.

1 Introdução

Foram vários os passos que, a nível energético, possibilitaram o desenvolvimento das sociedades. O mais marcante foi, talvez, a descoberta da máquina a vapor. No entanto, neste momento, encontramos-nos num ponto em que existe uma mudança de paradigma cultural e a produção de energia tem de ser aliada às mais variadas questões ambientais.

1.1 Enquadramento

O uso da energia marcou a evolução humana desde a pré-história até aos dias de hoje. A melhoria das condições de vida e o crescimento populacional, entre outras razões, levou a que o consumo deste bem essencial aumentasse em larga escala.

Desta forma, o uso excessivo de combustíveis fósseis, verificado nas últimas décadas, é uma tendência que deve ser contrariada. Para isso, é imperativo que se encontrem formas mais limpas e eficientes de produzir e utilizar energia.

A aposta na inovação da produção é garante de um sem número de benefícios, dos quais se podem destacar a diminuição da dependência energética exterior ou a criação de emprego. Contudo, deve ser facilitada pelas organizações que definem os enquadramentos legais, por exemplo, ou pelos *players* que participam ativamente na mudança energética.

1.2 Objetivos

A dissertação foi desenvolvida na empresa Filotipo – Engenharia e Energia que tem como objetivo a implementação de soluções personalizadas que permitem ao cliente a redução de consumos e custos energéticos e hídricos. De entre todos os serviços prestados podem-se destacar a comercialização de tecnologias inovadoras como painéis solares híbridos ou cogeração, sobre os quais a dissertação também incide.

De acordo com a área de especialização em Engenharia Química, Energia e Biorrefinaria, o objetivo da dissertação foi a criação de uma ferramenta simples que permite facilitar a abordagem do utilizador, que pode ou não ter conhecimentos técnicos na matéria, para determinar, a partir de uma série de dados de fácil acesso, qual a(s) melhor(s) solução(s) económica e/ou energética para o caso apresentado.

1.3 Estrutura

O presente documento encontra-se dividido em cinco capítulos que dizem respeito à introdução, revisão bibliográfica, explicitação do algoritmo, apresentação e discussão de um caso prático e ainda uma síntese das principais conclusões.

2 Revisão bibliográfica

Para dar cumprimento aos objetivos propostos, foi necessária uma revisão bibliográfica sobre algumas tecnologias de produção de energia térmica e elétrica, nomeadamente a cogeração e painéis solares híbridos, térmicos e fotovoltaicos.

2.1 Cogeração

A cogeração define-se como a geração simultânea de múltiplas formas de energia útil, nos casos mais comuns, energia elétrica e térmica, a partir de uma única fonte de energia primária como biomassa, biogás, gás natural ou gasóleo, por exemplo [1].

Na figura 2.1 é apresentado um esquema representativo da cogeração.

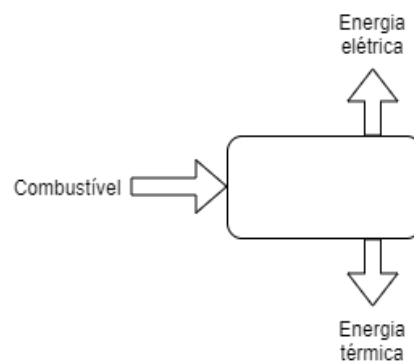


Figura 2.1 Esquema representativo da cogeração

Em Portugal, a produção anual de energia térmica e elétrica a partir da cogeração, representada na figura 2.2, teve um crescimento sustentado até 2013.

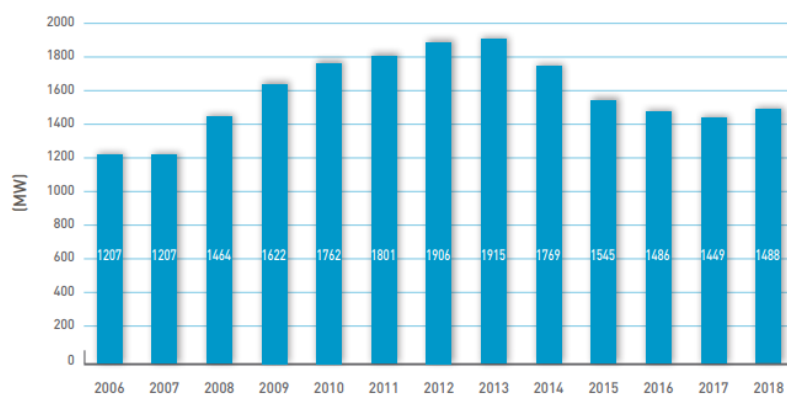


Figura 2.2 Produção de energia elétrica a partir de cogeração, em Portugal, ao longo dos anos [2].

Com os efeitos da crise e a necessidade de se reduzirem custos com a produção em regime especial, existiu uma diminuição da potência instalada, de 2006 até 2018, ano no qual se verifica uma mudança de tendência [2].

As centrais termoelétricas convencionais convertem cerca 1/3 da energia do combustível em energia elétrica. Tendo em conta as diretivas europeias do aumento de eficiência é necessário encontrar formas mais eficientes de transformação de energia que passam, por exemplo, pela produção descentralizada. Comparando um sistema convencional de produção de energia elétrica e térmica com um sistema de produção descentralizada para a produção da mesma quantidade de energia verifica-se, na figura 2.3, que o sistema de cogeração apresenta uma eficiência de conversão energética superior.

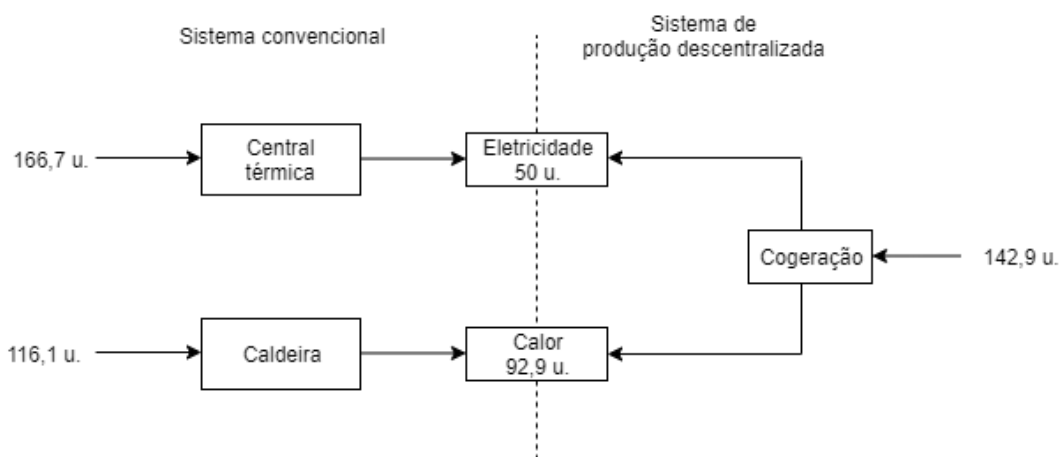


Figura 2.3 Comparação entre sistemas convencionais de produção de energia e um sistema de cogeração.

Como visto, a cogeração é uma tecnologia que proporciona um aumento de eficiência na conversão do combustível em energia útil. Além disso, além de ter a capacidade de produzir, vulgarmente água quente e eletricidade, proporciona também a produção de água fria a partir de *chillers* de absorção, dando assim origem à trigeração [2].

Em termos de capacidade de produção elétrica, existem centrais desde os 15 kW aos vários MW, pelo que assim esta tecnologia pode ser aplicada para os mais variados setores. Como qualquer outra tecnologia, tem as suas vantagens e limitações. Em termos de pontos positivos verifica-se a diminuição de emissões poluentes, a redução do uso da rede energética, economia de energia primária quando comparada com a produção convencional, descentralização de produção, que leva a menos perdas no transporte e

transformação, e redução dos custos energéticos. Quanto às limitações, podem indicar-se os custos de investimento elevados e problemas com a poluição sonora e local [3].

Para se projetar e operar um sistema de cogeração, deve-se ter em conta o seu objetivo principal sendo este normalmente de natureza técnica e/ou económica. Qualquer que seja o modo de funcionamento, o sistema deve operar sem excedentes ou défices. Assim, o modo de funcionamento é projetado em função de uma supremacia de uma forma de energia, seja ela elétrica ou térmica, de um objetivo económico ou em modo combinado [1].

As instalações equipadas com sistemas de cogeração encontram-se normalmente ligadas à rede. Podem ser instalações 100% autoconsumo ou autoconsumo com excedentes de energia para venda, sendo esta atualmente economicamente não viável. No primeiro caso, a potência instalada pela rede pública deverá ser a exigida para o normal funcionamento, no caso de falha da cogeração. Caso a instalação não seja fornecida pela rede, porque tem excedente de produção elétrica, sendo este vendido à rede, a cogeração terá de ter capacidade para alimentar toda a unidade.

2.1.1 Tecnologias de cogeração

Existem diversas tecnologias que podem ser utilizadas na produção combinada de energia elétrica/mecânica e térmica. De forma geral podem-se dividir em tecnologias convencionais, ou seja, que apresentam maturidade tecnológica e têm sido aplicadas nos últimos anos, e nas tecnologias emergentes que se encontram ainda numa fase de desenvolvimento. As primeiras englobam turbinas a gás e a vapor, motores alternativos de combustão interna e ciclos combinados. Já as microturbinas ou pilhas de combustível são consideradas emergentes [3].

As turbinas a gás têm por base um ciclo de Brayton, que consiste em quatro transformações reversíveis, e produzem potências elétricas entre os 0,2-100 MW ou superiores. A instalação é formada por um sistema de admissão de ar, um compressor, uma câmara de combustão, uma turbina e um sistema de exaustão. O ar entra no compressor, onde a sua pressão e temperatura aumenta. De seguida é encaminhado para

a câmara de combustão, onde, contactando com o combustível ocorre a combustão. Os gases quentes são encaminhados para a turbina, onde expandidos, produzem energia mecânica sendo esta depois transformada em elétrica. Os gases resultantes do processo podem ainda ser encaminhados para equipamentos que apresentem necessidade de utilidades quentes [3;4].

Os combustíveis usados são derivados do petróleo, gás natural ou produtos da gaseificação do carvão. Na escolha de combustível deve-se ter em conta que as pás da turbina estão diretamente expostas aos gases, pelo que estes não devem ter constituintes que provoquem corrosão. O rendimento de sistemas como o representado na figura 2.4, encontra-se entre os 60 e os 80% e são usados em instalações de média e grande dimensão, onde são exigidas potências entre os 40 kW e os 250 MW. Tem manutenção simples e elevada fiabilidade. No entanto são ineficazes para processos com baixas necessidades térmicas [3].

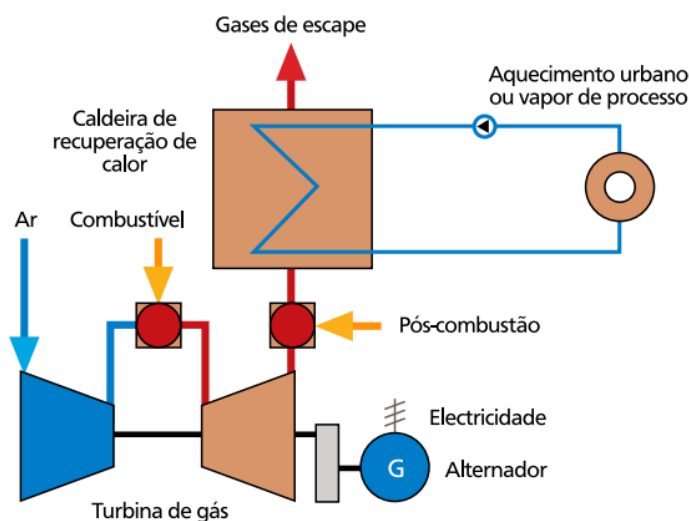


Figura 2.4 Cogeração a partir de turbina a gás [5]

A turbina a vapor tem por base o ciclo de Rankine. Podem ser classificadas como turbinas de vapor de condensação ou turbinas de vapor de contrapressão. De forma geral, a água é transformada em vapor de alta pressão que é depois encaminhado para a turbina. Na turbina é produzida energia mecânica, posteriormente convertida em elétrica. Nas primeiras, o vapor sai da turbina a alta temperatura e encaminha-se para um condensador sendo novamente introduzido no ciclo através de uma bomba. Nas turbinas de vapor de

contrapressão, o vapor deixa a turbina a uma pressão semelhante à que se usa no processo e superior à atmosférica. É depois alimentado a um possível processo industrial ou introduzido novamente no circuito [6].

Para melhores rendimentos elétricos usam-se turbinas de condensação, sendo que para melhores rendimentos térmicos utiliza-se as de contrapressão. Em qualquer um dos casos, é necessário que o título do vapor à saída da turbina seja alto com vista a não desequilibrar a mesma. Qualquer um deles apresenta também a vantagem de não haver risco de corrosão das pás garantindo assim uma maior flexibilidade na escolha do combustível.

A gama de potências elétricas produzidas em ciclos como o representado na figura 2.5 encontra-se na gama dos 0,5 aos 100 MW ou superior. Apresentam um tempo de vida útil e uma eficiência global elevados, mas o seu arranque é lento [3].

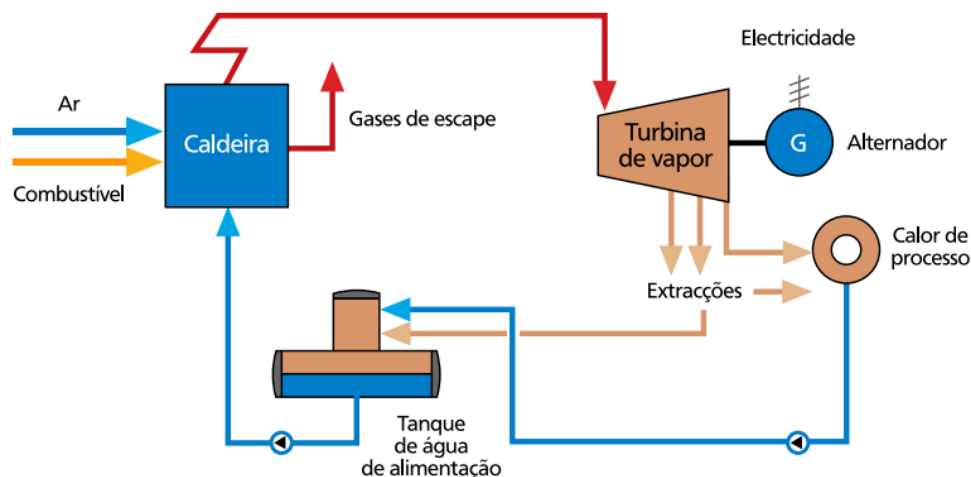


Figura 2.5 Cogeração a partir de turbina de contrapressão [5]

O ciclo combinado consiste na junção das duas tecnologias anteriores e apresenta uma produção de energia elétrica entre os 4-100 MW. Uma turbina a gás produz eletricidade através da passagem de gases de combustão. Estes são direcionados para uma caldeira de recuperação, onde é produzido vapor de elevada entalpia que é encaminhado para uma turbina a vapor que gera energia elétrica e vapor húmido a altas temperaturas. Esta tecnologia é predominantemente usada quando se deseja produzir energia elétrica e térmica em quantidades variáveis. No seu global o sistema tem uma grande eficiência e flexibilidade na quantidade de energia produzida sendo, no entanto, é mais complexo [3].

Os motores de combustão interna são definidos como máquinas que obtêm energia mecânica através da energia química contida no combustível. A energia mecânica é depois convertida em elétrica através de um alternador, produzindo potências elétricas entre os 15kW e os 2MW. A energia térmica é aproveitada por meio dos circuitos de água que fazem o arrefecimento do bloco do motor, do alternador, do óleo de lubrificação e dos gases de combustão. Nesta tecnologia podem ser usados combustíveis líquidos, como gasóleo, gasolina ou biodiesel, e gasosos como o gás natural ou o biogás. A cogeração a partir de um motor de combustão interna encontra-se representada pela figura 2.6 [4].

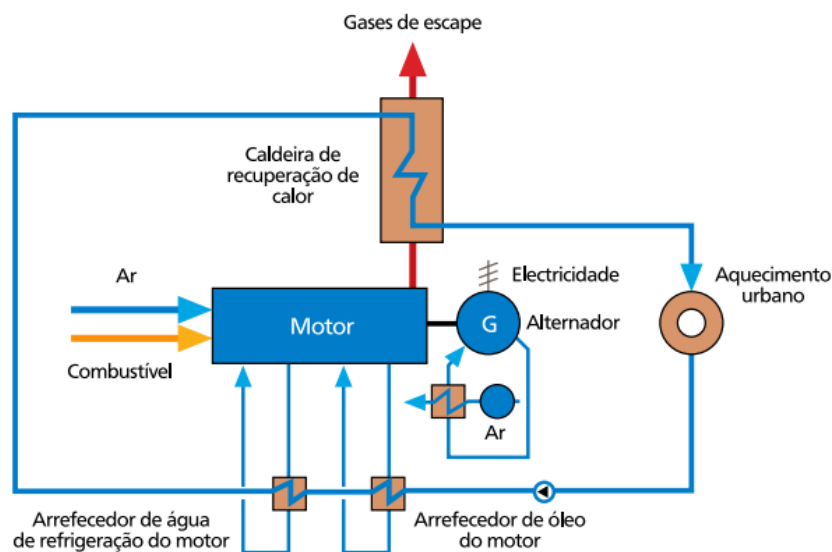


Figura 2.6 Cogeração a partir de um motor de combustão interna [5].

Existem dois tipos de motores de combustão interna: de combustão e de explosão, sendo que a principal diferença entre eles está no modo de queima do combustível. Os motores de combustão, que tem por base um ciclo diesel, são normalmente motores a 4 tempos, ou seja, o ciclo é dividido em 4 etapas. Na primeira etapa, o ar injetado para o cilindro (câmara de combustão), na segunda há a compressão do ar por parte do pistão, na terceira o combustível, vaporizado, é injetado para o interior do cilindro que se encontra a altas temperaturas devido à compressão por parte do pistão. Como se encontra nestas condições há combustão espontânea da mistura. Por último, há exaustão dos gases de combustão. O movimento dos pistões transmite trabalho ao veio, através de uma biela. A energia mecânica do veio é convertida em energia elétrica através do alternador. Os combustíveis usados neste tipo de motor são predominantemente líquidos, desde o fuelóleo ao gasóleo [3;6].

Nos motores de explosão, que tem por base o ciclo Otto, a combustão não se dá de forma espontânea. O ar e o combustível são misturados antes de entrarem no cilindro e a ignição dá-se por meio de uma faísca. À exceção destas duas particularidades, o ciclo funciona de forma semelhante ao anterior. Os motores de explosão utilizam como combustível mais frequente o gás natural, podendo-se também fazer a combustão de propano, butano, biogás, gás de síntese, entre outros [3;6].

Os motores a diesel têm, atualmente, uma taxa de compressão superior aos motores de explosão, apresentado assim uma maior eficiência.

Esta tecnologia apresenta como vantagens um arranque rápido, operações de manutenção simples, custos de investimento mais baixos, é uma solução chave na mão e opera com uma grande variedade de combustíveis. No entanto, apresenta emissões de CO₂ relativamente elevadas, necessita de refrigeração mesmo que o calor não seja recuperado e provoca níveis de ruído elevado [3].

O uso de motores de combustão interna está associado, principalmente, a micro-cogerações e a cogerações de pequena dimensão.

2.1.2 Enquadramento legal

O decreto de lei nº23/2010, de 25 de março estabelece o regime jurídico e remuneratório aplicável à energia elétrica e mecânica e de calor útil produzidos em cogeração.

O regime remuneratório de uma cogeração pode ser definido como especial ou geral. O primeiro é aplicável a cogeradores com potências elétricas de injeção igual ou inferior a 20 MW e, neste caso, o cogerador vende a energia térmica e elétrica diretamente ao cliente e ao comercializador de último recurso, respetivamente [7].

A modalidade geral compreende duas submodalidades: A e B. A primeira integra as cogerações com potência de injeção na rede igual ou inferior a 20 MW que operam em modo de autoconsumo da eletricidade produzida, sendo a energia não consumida entregue ao comercializador de último recurso. A submodalidade B integra as cogerações que operam em regime de venda, total ou parcial, da eletricidade produzida em mercados organizados ou mediante controlos bilaterais [7].

O exercício da atividade de produção em cogeração é livre, podendo ser exercida por pessoas singulares ou coletivas. No entanto, para operar uma cogeração é necessário um título de controlo prévio que variam de acordo com a dimensão da instalação, nomeadamente:

- Micro-cogeração, com potência até 50 kW, é necessário o registo da instalação da cogeração e o correspondente certificado de exploração.
- Cogeração de pequena dimensão, com potência entre 50 kW e 1MW, é requerida uma comunicação prévia e o correspondente certificado de exploração.
- Licença de produção e correspondente licença de exploração, nos demais casos [7].

Para a obtenção do título de controlo prévio é necessário o cumprimento de uma série de requisitos que se relacionam com a poupança de energia primária, do cumprimento da legislação ambiental ou da segurança da rede elétrica, entre outros. No caso de haver injeção na rede elétrica de serviço público, os termos e condições para a atribuição da potência de injeção são ditados pela portaria 173/2016 de 21 de junho. A mesma explicita, além do referido, os procedimentos que devem ser seguidos para a obtenção do título de controlo, de acordo com o decreto de lei nº23/2010, de 25 de março. A tramitação do processo deveria ser efetuada no portal cogeração, acessível no sítio da internet da Direção Geral de Energia e Geologia. No entanto, até à data, não se encontra disponível [7;8].

No caso das micro-cogerações ou cogerações de pequena dimensão, depois da obtenção da comunicação prévia ou o registo, dependendo do caso, o início da obra e exploração tem de se dar em 36 meses sendo posteriormente devidamente vistoriada [8].

Além do decreto e da portaria acima referidos, existem ainda dois que se destinam a estabelecer o regime de prevenção e controlo de emissões de poluentes e o regime jurídico de registo de motores.

2.2 Energia solar - Sistemas de produção de energia

A energia emitida pelo sol chega à terra na forma de ondas eletromagnéticas e é a forma de energia mais abundante e importante do planeta, uma vez que é indispensável à existência de vida. A energia solar que chega à superfície terrestre é largamente superior à soma de todas as outras energias que são atualmente utilizadas [9,10].

Da energia emitida pelo sol só parte chega à superfície terrestre devido à grande distância Sol-Terra. A intensidade da radiação solar fora da atmosfera depende da distância ao sol, devido à órbita da terra, e encontra-se entre os 1325 e os 1412 W/m^2 . O valor médio é designado por constante solar (E_0) e tem o valor de 1367 W/m^2 . No entanto, devido a fenômenos como a reflexão, a absorção feita por pequenas moléculas e a dispersão em partículas de pó e poluição considera-se que, em qualquer localização, o nível de irradiância no seu máximo e com boas condições climáticas é de 1000 W/m^2 . No entanto, este valor varia consoante a localização de medida e as condições climáticas [9,10].

A luz solar que atinge a superfície terrestre é dividida em diferentes componentes: radiação direta, difusa e albedo, representadas na figura 2.7. A radiação direta diz respeito à fração de radiação que incide diretamente na superfície. A difusa corresponde à fração que é recebida de forma indireta, ou seja, é proveniente da difração nas nuvens, nevoeiro e poeiras, por exemplo. O albedo é uma outra parte da radiação que é proveniente da capacidade refletora do solo. É ainda de referir que em dias claros a radiação direta prevalece, sendo também verdade que em dias mais cobertos de nuvens a radiação solar é praticamente toda difusa [9,10].

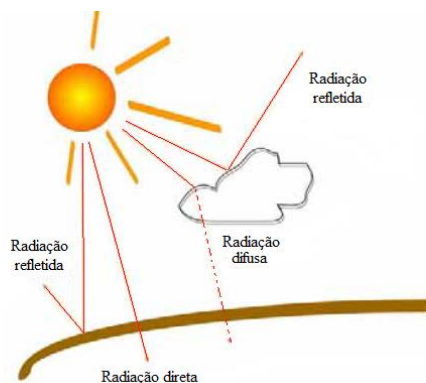


Figura 2.7 Componentes da radiação solar [adaptado de 9].

A figura 2.8 apresenta as frações de radiação diária direta e difusa, em base diária, durante o período de um ano, em Lisboa. Nos dias cobertos de nuvens, especialmente no inverno, a radiação solar é praticamente difusa sendo que nos restantes a direta prevalece. Em Portugal, a proporção da radiação solar difusa durante um ano é cerca de 40% da radiação total [9].

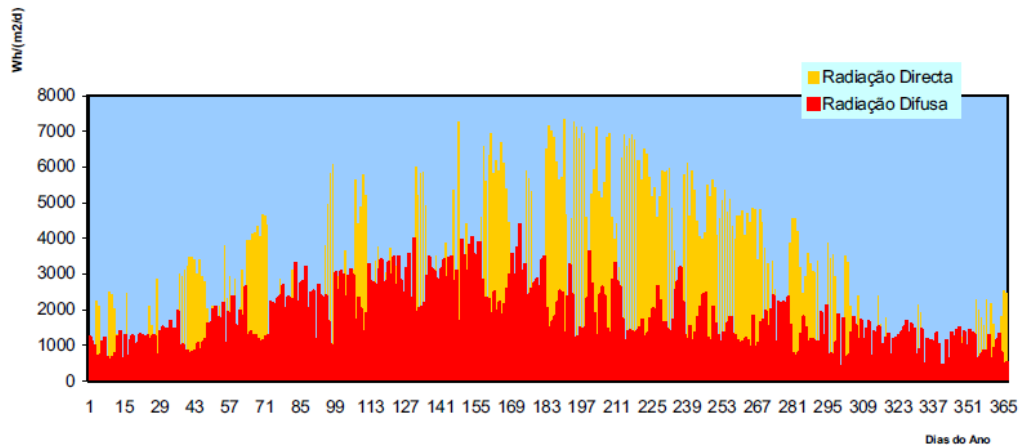


Figura 2.8 Frações de radiação direta e difusa, em Lisboa, durante o período de um ano [10].

O conhecimento exato da localização do sol é necessário para determinar e otimizar a energia captada pelas instalações que transformam a energia solar. A irradiância solar depende da altura do Sol, que é calculada a partir de uma base horizontal. Quando o Sol se localiza verticalmente, acima de uma determinada localização, a radiação efetua o caminho mais curto através da atmosfera. Por outro lado, quando o Sol se encontra num ângulo mais baixo a radiação percorre um caminho mais longo, sofrendo a uma maior absorção e difusão e estando disponível uma menor intensidade de radiação, como demonstrado na figura 2.9.

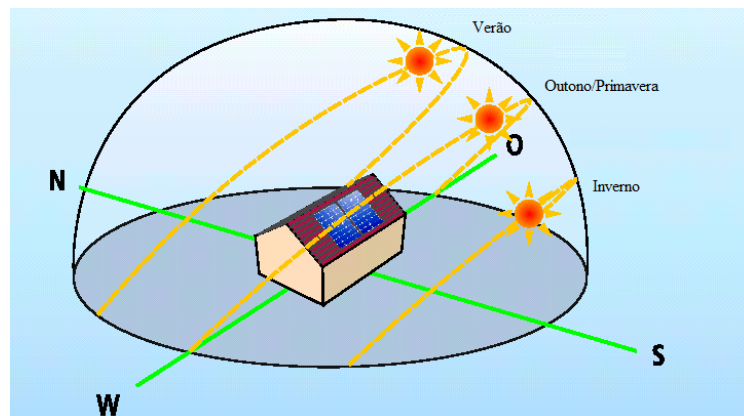


Figura 2.9 Ângulo de radiação solar ao longo das diferentes estações do ano [adaptado de 10].

A radiação solar é sempre maior quando atinge uma superfície perpendicular. Assim, os coletores devem otimizar a captação tendo em conta a variação da altura e do ângulo solar ao longo do ano e do dia. Para o caso de Portugal, o ângulo ótimo do coletor em relação à superfície deve-se situar, aproximadamente, nos 35° de inclinação. O ângulo de inclinação ótimo para os meses de Inverno é maior que no Verão devido à menor altura solar [10].

A orientação que maximiza a quantidade de radiação captada por uma superfície coincide normalmente com o sul geográfico para o hemisfério norte. No entanto, existem casos onde a orientação em relação ao norte pode variar com vista a uma melhor adequação da produção elétrica em relação aos períodos de consumo.

2.2.1 Coletores Solares Híbridos

Um coletor solar híbrido é um equipamento que tem a capacidade de produzir energia elétrica e térmica simultaneamente. A investigação e o desenvolvimento de coletores solares híbridos começou nos anos 70 e o seu principal objetivo era o aumento da eficiência do painel fotovoltaico. No início dos anos 90, a aposta em sistemas fotovoltaicos aumentou e a necessidade de diminuir a temperatura do painel foi associada a um possível aproveitamento da energia em excesso [11].

As principais vantagens deste sistema são a redução do custo de instalação, do espaço ocupado e a manutenção da eficiência de produção elétrica ao longo do ano. Embora alguns sistemas fotovoltaicos já maximizem a quantidade de energia produzida mediante as condições atmosféricas, existe, ainda assim, uma quantidade de energia que chega aos módulos fotovoltaicos e que não é convertida devido ao seu aquecimento. Assim, foram desenvolvidos sistemas de arrefecimento que podem ser classificados como ativos ou passivos sendo que a diferença entre os dois é o uso ou não de energia para promover o arrefecimento [12].

O arrefecimento passivo pode ser conseguido pela elevação das cotas dos painéis fotovoltaicos em relação à superfície de apoio da estrutura de forma a que exista circulação natural de ar e se promova assim uma diminuição da temperatura do painel. Pode também ser alcançado com a instalação dos painéis em superfícies de cor clara,

preferencialmente branca, de forma a que não haja o aquecimento do painel pelas superfícies à volta do mesmo [12].

No entanto, o arrefecimento passivo é pouco eficiente quando comparado com um sistema de arrefecimento ativo e não permite o aproveitamento da energia retirada. Este último pode ser conseguido de diferentes formas dependendo da configuração do coletor híbrido. O aproveitamento da energia térmica pode ser feito através de ar, natural ou forçado, ou através de um fluido como água ou glicol [11;12].

A aposta em coletores solares híbridos faz-se praticamente através de coletores equipados com uma serpentina que se localiza na face interna dos módulos fotovoltaicos e proporciona o aproveitamento térmico através de circulação de um fluido. Assim, considera-se coletor solar híbrido como sendo o tipo de tecnologia representado pela figura 2.10.

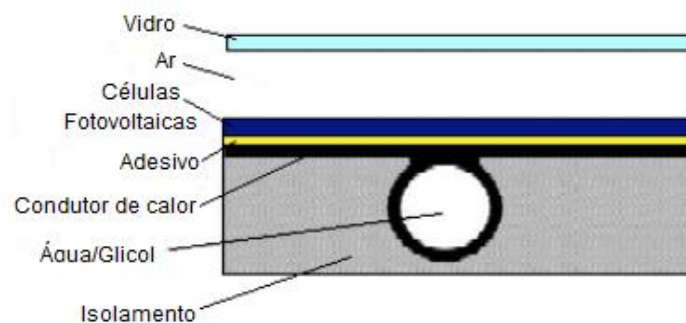


Figura 2.10 Esquema dos constituintes de um painel híbrido [adaptado de 13]

A esta configuração podem ser adicionadas camadas de ar ou água acima das células fotovoltaicas, que embora permitam um maior isolamento, diminuem a conversão de radiação em energia elétrica devido a reflexões adicionais [14].

Os coletores solares híbridos são uma junção de duas partes distintas, uma térmica e outra elétrica. Quando se comparam os rendimentos de coletores fotovoltaicos e térmicos, em separado, com os rendimentos térmicos e elétricos de um coletor híbrido verifica-se que são mais baixos para o caso dos híbridos. Em termos elétricos há uma diminuição da eficiência do coletor uma vez que alguma radiação é refletida na cobertura do módulo. Na vertente térmica a redução da eficiência deve-se principalmente à:

- Absorvância de um coletor solar ser superior à de um coletor fotovoltaico. Além dos módulos fotovoltaicos apresentarem diferentes camadas que provocam a reflexão, estes só absorvem radiação solar se a energia do fóton for superior à energia de banda de condução. Assim, radiações com baixas energia de fóton serão dificilmente absorvidas.
- Resistência térmica entre a superfície absorvedora e o fluido do coletor. Esta aumenta devido à adição sucessivas camadas de diferentes materiais como células fotovoltaicas e material de encapsulamento, por exemplo. Para que se dê uma boa transferência de calor, a superfície absorvedora terá de estar a uma temperatura relativamente alta, levando a perdas térmicas maiores e a uma diminuição da conversão em energia elétrica [11].

Por norma, a eficiência máxima de um painel fotovoltaico é relativamente baixa, rondando valores entre os 15 e os 22%. Isto significa que cerca de 78 a 85% da energia que chega ao painel através da radiação solar não é favoravelmente aproveitada, sendo parte dela dissipada através de fenómenos de reflexão e a restante transformada em energia térmica, como demonstrado na figura 2.11, reduzindo significativamente o desempenho dos módulos fotovoltaicos devido ao aumento da temperatura.

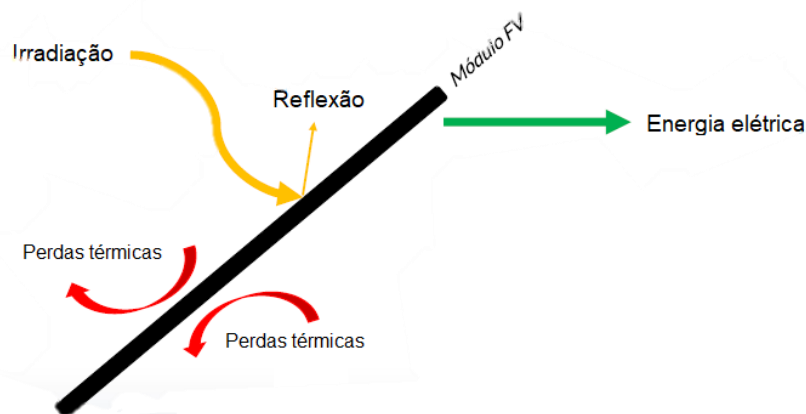


Figura 2.11 Esquema representativo dos fluxos energéticos de um painel fotovoltaico [adaptado de 14]

A remoção de calor através da circulação do fluido permite que a eficiência dos módulos fotovoltaicos se mantenha praticamente constante ao longo do ano, uma vez que a sua temperatura sofre poucas variações quando sujeitos a períodos de alta ou baixa radiação.

Além do mais, o fluido que circula, normalmente água ou glicol, pode ser encaminhado para um reservatório cedendo calor à água que aí se encontra permitindo assim o aquecimento de águas sanitárias.

Nas tecnologias mais recentes, é introduzido um gás inerte na caixilharia do painel que permite que aconteça o fenômeno de efeito estufa. Assim, o gás inerte aquece e aprisiona mais energia, diminuindo as perdas térmicas e permitindo que o fluido retire ainda mais calor, aumentando assim a eficiência global do sistema. Este tipo de tecnologia encontra-se representado na figura 2.12.



Figura 2.12 Esquema representativo dos fluxos energéticos de um coletor solar híbrido [adaptado de 14].

Como explicitado, os painéis híbridos apresentam características técnicas que se podem dividir em duas vertentes: térmica e elétrica. Estas encontram-se, de igual forma associadas a coletores solares térmicos e fotovoltaicos, respetivamente.

Os parâmetros técnicos que podem caracterizar o desempenho de coletores solares térmicos são:

- Rendimento ótico – taxa de energia térmica usada para o aquecimento do fluido.
- Área abertura – corresponde à área através da qual a radiação passa para o coletor.
- coeficientes de perdas térmicas - α_1 e α_2 – indicam a quantidade de calor perdido e dependem da construção do painel e da temperatura exterior. São expressas em $W/m^2 K$.

- Modificador de ângulo de incidência – coeficiente que relaciona a radiação absorvida com o seu ângulo de incidência [10].

Ao nível da parte elétrica, os parâmetros que influenciam o desempenho do coletor são:

- Material das células
- Potência
- Intensidade da corrente de curto circuito (ISC) – corrente máxima produzida numa situação de anomalia do painel.
- Voltagem e máxima potência (VMP) – voltagem máxima gerada quando o painel funciona ao máximo do seu rendimento.
- Intensidade em máxima potência (IMP) – corrente elétrica que será produzida com um funcionamento perfeito.
- Voltagem em circuito aberto (VOC) – tensão de saída quando não está sujeito a nenhuma carga.
- NOCT – temperatura que o painel alcançou em laboratório quando submetido a uma irradiância de 800 W/m^2 , que simula um dia de sol moderado [15;16].

Existem ainda coeficientes térmicos que atuam sobre o ISC, VMP, IMP e VOC fornecendo uma relação destes com a variação da temperatura, sendo assim importantes para estimar o desempenho.

2.2.2 Solar Fotovoltaico

A aposta na tecnologia solar fotovoltaica tem sido crescente, sendo o ano de 2018 aquele em que foi adicionada mais capacidade de produção. Entre 2008 e 2018, a nível mundial, a capacidade anual de produção energética através desta tecnologia aumentou de 15 para 505 GW, como demonstrado na figura 2.13. Esta aposta pode ser explicada pelo aumento da maturidade tecnológica, o desenvolvimento de tecnologias com melhor relação qualidade/preço e uma maior consciência ambiental.

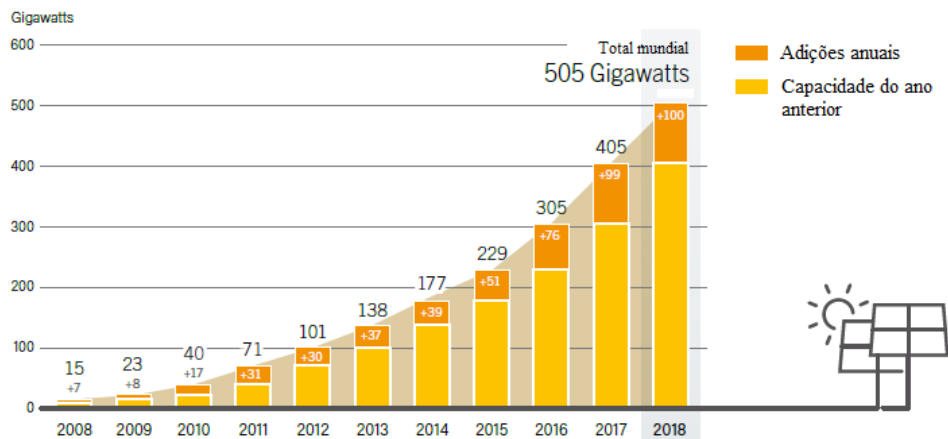


Figura 2.13 Evolução da capacidade de produção mundial [adaptado de 17].

Em termos nacionais, o solar fotovoltaico tem também apresentado nos últimos anos aumentos consecutivos, representando em 2017 cerca de 2,13% de contributo para o consumo final de eletricidade, aumentando 0,36% em relação ao ano anterior [18].

Um sistema solar fotovoltaico tem a capacidade transformar irradiação solar em energia elétrica. Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em sistemas ligados à rede e sistemas autónomos [9].

Os sistemas autónomos, ou Off-Grid, verificam-se principalmente em aplicações onde o fornecimento de energia através da rede pública não é viável, como telefones de emergência ou boias de sinalização marítima. Estes sistemas necessitam de energia acumulada, ou seja, é necessário o uso de baterias recarregáveis. A utilização da variante autónoma em instalações de maiores dimensões, como habitações ou indústrias, ainda não é atualmente aplicada, uma vez que o investimento a nível de sistemas acumuladores é consideravelmente alto e a instalação deve-se encontrar ligada a rede no caso de o sistema fotovoltaico falhar por qualquer motivo. Por norma, o uso de baterias obriga a utilização de um regulador de carga. Assim, estes sistemas são constituídos por: gerador fotovoltaico, caixa de junção, inversor, regulador de carga, acumulador, cabos e aparelho de medida [9].

Os sistemas ligados à rede, ou On-Grid, encontram-se vulgarmente em habitações, hotéis ou indústrias e tem como constituintes: gerador fotovoltaico, caixa de junção, cabos, inversor, aparelho de medida e regulador de carga (no caso de possuírem acumuladores

de energia elétrica). Para esta variante de aplicação, o sistema deve ser dimensionado de acordo com as necessidades base da instalação onde se encontra e nunca para os períodos do dia ou do ano em que a potência exigida é maior.

Os painéis fotovoltaicos são formados por agregados de células solares que são constituídas por redes de materiais semicondutores, sendo que o mais usado a nível mundial é o silício. O silício tem elétrons ligados de forma fraca na banda de valência. É formada uma rede onde através de ligações covalentes se consegue a estabilidade do material. Para que este funcione como gerador de energia, a estrutura é contaminada propositalmente com átomos impuros. Esta contaminação designa-se de dopagem e pode ser efetuada de duas formas distintas: dopagem positiva e negativa, respetivamente representada na figura 2.14 pelas áreas p e n. Para se conseguir a primeira são adicionados átomos de boro ficando disponível uma lacuna por cada átomo adicionado, devido aos 3 elétrons de valência. Para a dopagem negativa é adicionado fósforo que cria um excesso de um elétron por cada átomo adicionado, devido aos 5 elétrons de valência.

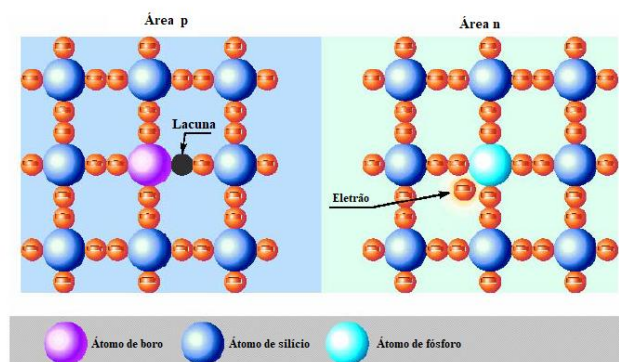


Figura 2.14 Representação da estrutura química de uma célula solar [adaptado de 9]

Se se juntam as camadas aos semicondutores n e p, produz-se uma região de transição pn, que é uma área com poucos portadores de carga e que funciona como uma barreira de potencial. Se o semicondutor é exposto à luz, os elétrons libertados são conduzidos para a área n enquanto que as lacunas seguem para a área p. O processo é chamado efeito fotovoltaico e a difusão das lacunas e dos elétrons até aos contactos eletrónicos produz tensão na fronteira da célula solar. Se o circuito eletrónico estiver fechado, a eletricidade flui [9].

Tendo em conta que a célula solar tem uma reduzida potência, justifica-se a ligação de várias para o fabrico dos módulos fotovoltaicos. A ligação entre células é normalmente

feita em série ligando o polo positivo de uma ao negativo da outra. Também pode ser feita em paralelo. O número de módulos ligados em série perfaz a tensão do sistema, que é a tensão de entrada no inversor. Módulos ligados em paralelo perfazem a intensidade do sistema. No conjunto, as ligações das fileiras ligadas em paralelo perfazem a intensidade e a tensão. As fileiras individuais são ligadas entre si na caixa de junção do gerador, sendo a corrente depois direcionada para o inversor [9].

Em contraste com outras tecnologias, os sistemas fotovoltaicos raramente operam em condições normais de funcionamento porque o funcionamento nominal ocorre nas condições de referência. O desempenho dos módulos fotovoltaicos depende da temperatura das células e da radiação incidente. A intensidade da corrente é praticamente proporcional à irradiação, ou seja, quando a irradiação desce para metade a eletricidade produzida segue a mesma regra. Já a tensão permanece relativamente constante com as variações de radiação solar. Tendo em conta que a potência é dada pelo produto da tensão com a intensidade, a potencia máxima é alcançada quando a irradiação é máxima e a temperatura é mínima, uma vez que para maiores temperaturas a velocidade de movimentação dos eletrões é inferior.

Para proteger as células das tensões mecânicas e dos agentes atmosféricos estas são revestidas num material transparente e depois aplicadas num substrato que se pode situar na face posterior, anterior ou ambas. A cobertura do lado sensível da luz deverá ser feita com um material de elevada transmissão luminosa [9].

O resultado final da construção dá origem ao módulo, como é designado comercialmente e representado, por partes, na figura 2.15. Pode ser classificado em função dos materiais celulares e de encapsulamento, das tecnologias de encapsulamento e de substrato, da estrutura da armação, etc. [9].

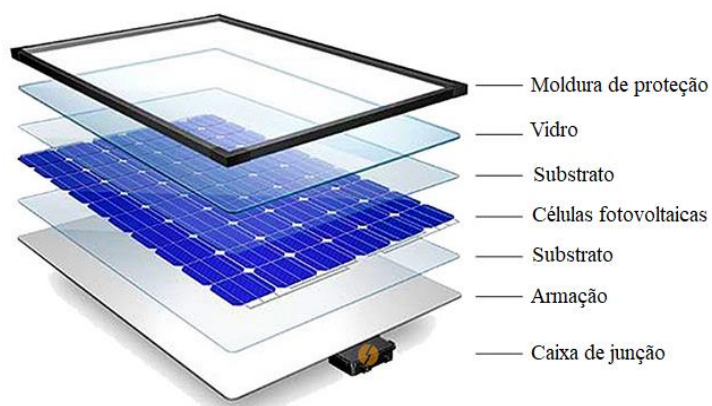


Figura 2.15 Componentes de um módulo fotovoltaico [adaptado de 19]

Para que a energia elétrica produzida possa ser usada nos diversos equipamentos da instalação, terá de ser convertida em corrente alternada. A principal função do inversor é converter a corrente contínua em sinal alternado e ajustar para a frequência e nível de tensão da rede a que está ligado. Nos sistemas com ligação à rede, o inversor está ligado diretamente à rede. Assim, a eletricidade ou é diretamente injetada na rede ou é consumida primeiramente, sendo o excedente fornecido á rede pública. Além destas funções, os inversores são também capazes de se ajustar ao ponto de produtividade máximo. Existem ainda inversores com a capacidade de dissipar termicamente a energia não consumida, ao invés de a injetar na rede [9].

Para sistemas fotovoltaicos onde a produção e o consumo de energia não coincidem, terão de existir baterias. Para caracterizar uma bateria terão de se ter em conta vários fatores, como a tensão, densidade e energia específica, ciclos de vida (número de vezes que a bateria pode carregar/descarregar durante a vida útil), capacidade (quantidade máxima de energia que pode fornecer até descarga completa, auto descarga (% de descarga mesmo quando não utilizada) e profundidade de descarga. No caso de não existirem baterias, a solução terá de ser dimensionada para a potência base da instalação, ou seja, toda a energia produzida terá de ser gasta instantaneamente para garantir que o sistema seja economicamente viável [9].

O decreto de lei 153/2014, de 20 de Outubro, estabelece o regime o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade em unidades produtoras para autoconsumo, UPAC, com ou sem ligação à rede pública, baseada em tecnologias de produção renováveis ou não. Também estabelece o regime jurídico para instalações que vendam a totalidade de energia à rede, UPP. De referir que a cogeração não é abrangida pelo decreto de lei apresentado.

O interessado em obter um título de controlo prévio para qualquer uma das modalidades deve registar-se no Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção, SERUP. Os títulos são diferentes mediante o tipo de modalidade escolhida. No caso de ser UPP, os trâmites legais englobam o pagamento de uma inscrição, depois de validada, a aprovação pelo operador da rede e a atribuição da potência de ligação, Se, por sua vez, for uma UPAC, o procedimento é diferente consoante a potência instalada e o interessado deve apresentar no SERUP:

- Uma comunicação prévia para instalações com potências instaladas entre os 200W e 1,5 kW que não se encontrem ligadas à rede pública.
- Um pedido de registo prévio e de certificado de exploração para potências instaladas inferiores a 1,5 kW mas que se encontrem ligadas à rede ou qualquer instalação acima deste valor de potência.
- Uma licença de produção e exploração para potências superiores a 1 MW. O enquadramento legal destas não é o mesmo.

Todas as etapas de aprovação podem ter como resultado a validação, validação com reservas ou a recusa. No final, concluído o registo prévio, o produtor solicita inspeção através do SERUP. Se aprovada, o certificado de exploração é tornado definitivo e é permitido o início de exploração [20].

2.2.3 Coletores solares térmicos

O objetivo de um coletor solar térmico é transformar a energia da radiação que nele incide em energia térmica através do aquecimento de um fluido que nele circula. Existem dois tipos de sistemas solares térmicos, representados na figura 2.16: circuitos abertos ou fechados. Nos primeiros, a água alimentada às instalações é diretamente aquecida no coletor, enquanto que nos segundos a mesma é aquecida indiretamente por trocas de calor, num permutador, com um fluido que se desloca entre o permutador e o coletor solar. O fluido é escolhido consoante cada caso, mas normalmente ou é água, devido à sua capacidade calorífica, ou água glicolisada, escolhida em casos em que existe o risco de congelamento [21].

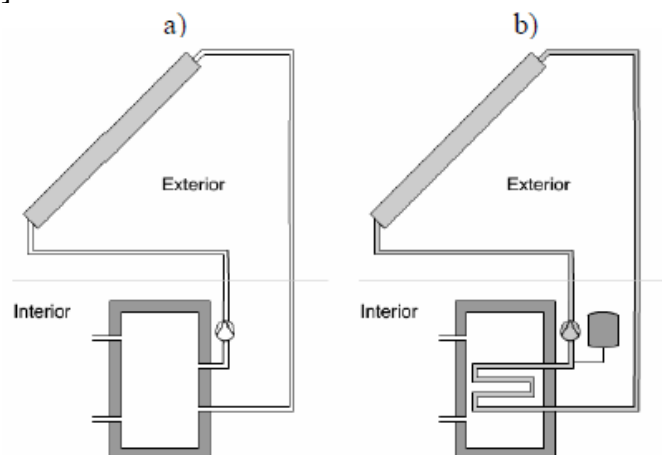


Figura 2.16 Esquemas de sistema solar térmico aberto (a) e fechado (b) [22].

Além da caracterização por diretos ou indiretos, os sistemas solares térmicos para o aquecimento de águas sanitárias podem ainda ser divididos em dois tipos: circulação natural, ou termossifão, ou circulação forçada [21].

Os sistemas solares por circulação natural são normalmente constituídos por coletores solares, depósito acumulador, purgadores, vasos de expansão e outros acessórios de pequenas dimensões como válvulas, por exemplo. Neste tipo de sistema, o reservatório está situado acima do coletor, de forma a que a circulação do fluido se realize de forma natural. A radiação incidente no painel aquece o fluido que se descola até ao acumulador. Aqui pode ser encaminhado para a rede de águas sanitárias ou então trocar calor, através de uma serpentina, com a água presente no acumulador. Normalmente os sistemas por termossifão são aplicados a pequenas redes, como as domésticas.

Os sistemas de circulação forçada são formados pelo coletor solar, depósito acumulador, bomba eletrocirculadora, controlador diferencial, purgador, vaso de expansão e outros acessórios de pequenas dimensões. Este tipo de sistema funciona de maneira semelhante ao anterior, com a principal diferença de que o acumulador não tem de se situar acima do coletor devido à circulação se efetuar através de uma bomba eletrocirculadora. O controlador diferencial é uma peça importante do processo, na medida em que através do desvio do set-point da temperatura do acumulador, faz variar o caudal alimentado pela bomba garantido assim, por exemplo, o não sobreaquecimento. Embora este tipo de sistema tenha mais custos de operação, é mais eficiente atingindo-se a temperatura desejada mais rapidamente.

Em qualquer um dos tipos de circulação verifica-se a existência de equipamentos de segurança como purgadores ou vasos de expansão, instalados, por norma, no circuito de aquecimento. Uma vez que este pode atingir altas temperaturas e levar a formação de vapor, é necessário haver um purgador de forma a retirar o vapor do circuito, fomentando assim a proteção dos equipamentos. Com o aumento de temperatura, há também um aumento de pressão que é contrabalançado com a utilização do vaso de expansão.



Figura 2.17 purgador de boia e vaso de expansão [10]

Os coletores solares são escolhidos para cada instalação de acordo com a sua simplicidade, facilidade de instalação e temperatura pretendida. Existem diversos tipos de coletores e numa primeira abordagem podem se dividir em coletores concentradores, usados principalmente em instalações de grandes dimensões ou aplicações específicas, e não concentradores, ou estacionários. Estes últimos são aplicados em instalações para o aquecimento de águas quentes sanitárias sendo o componente principal da instalação e com mais peso sob o ponto de vista económico [21].

Nesta classe de coletores existem:

Coletores planos sem cobertura – usados normalmente para o aquecimento de piscinas a temperaturas relativamente baixas. Não são envidraçados e são normalmente feitos de copolímeros plásticos com estabilizadores UV. A superfície absorvedora apresenta vários tubos por onde a água se desloca, como representado na figura 2.18 [21].

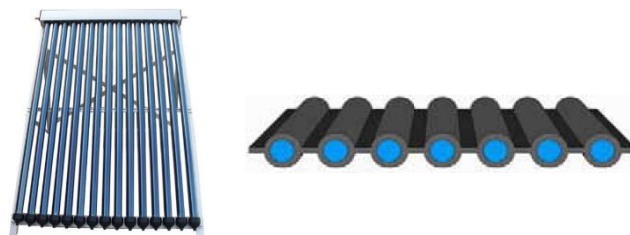


Figura 2.18 Coletores planos sem cobertura [10;23].

Coletores planos com cobertura – os mais usados mundialmente para aquecimento do ar ou produção de águas quentes sanitárias, entre 30 a 80°C. Os coletores são formados por uma caixilharia forte. No interior da estrutura encontra-se uma placa absorvedora, normalmente de cobre ou alumínio e de cor preto-baço ou, cujo principal objetivo é ter a maior capacidade de absorção possível e baixa capacidade de emissão de radiação, na medida em que o ganho líquido energético é dado pela diferença entre a primeira e a segunda [21].

As superfícies inferiores e laterais da estrutura devem-se encontrar termicamente isoladas. Os tubos onde circula a água ou o fluido a aquecer devem ser feitos de um material com boa condutividade térmica, como o cobre ou alumínio, são incorporados na placa absorvedora e tem início e fim em coletores que se localizam no topo e na base do painel. A sua disposição na mesma é feita em serpentina ou em paralelo [25].

O princípio de funcionamento do painel baseia-se na transferência de energia entre os diferentes componentes do mesmo. A radiação solar atravessa o vidro e atinge a placa absorvedora que imite radiação infravermelha (I.V). O vidro é opaco á radiação I.V criando então um efeito estufa, levando a um aquecimento mais rápido do sistema e por consequência para a água que nele circula. Os diversos elementos de um coletor plano com cobertura encontram-se representados na figura 2.19.

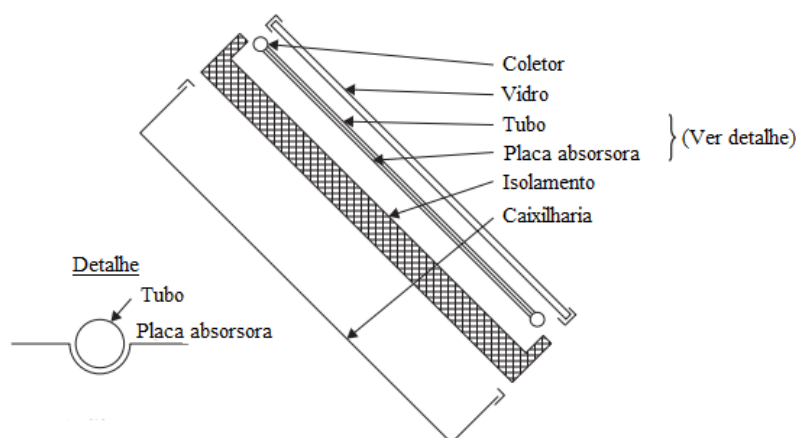


Figura 2.19 Componentes de um coletor plano com cobertura [24].

Coletores parabólicos compostos – Neste tipo de coletor a área de absorção é inferior à área de captação de radiação, o que faz com que haja concentração de energia e por consequência a capacidade de atingir maiores temperaturas. A caixilharia é semelhante à dos coletores planos com coberturas, no entanto a placa absorvedora tem um sistema de reflexão parabólica, demonstrado na figura 2.20, que possibilita o aquecimento de tubos que se encontram aplicados em alheta e com a forma de acento circunflexo. Assim, a radiação é absorvida nas partes superiores e inferiores da alheta. Esta configuração permite um maior rendimento e menores perdas de calor na medida em que a área de absorção é menor [21].

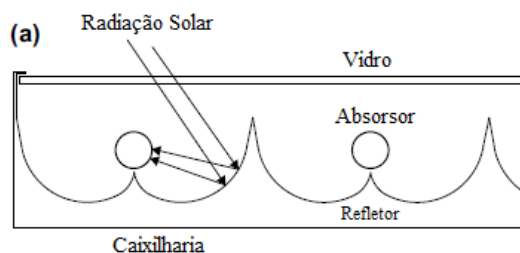


Figura 2.20 Mecanismo de captação de energia solar dos coletores parabólicos compostos [24].

Coletores tubos de vácuo - os coletores planos com cobertura são usados em climas amenos e com boa exposição solar. Em dias nebulosos a sua produção não é relevante. Com vista a contrair esta desvantagem, desenvolveram-se os coletores tubos de vácuo que tem a capacidade de atingir altas temperaturas. Estes são formados por uma caixa coletora isolada que dispõe de linhas de alimentação e retorno do fluido de aquecimento. Neste tipo de coletor podem existir duas tecnologias diferentes:

- Fluxo direto: O fluido a ser aquecido é conduzido até à base da placa absorvedora, de onde posteriormente segue para uma caixa coletora, aumentando a sua temperatura no percurso de volta.
- Separação de fluidos: Existem dois fluidos a circular em nos tubos, o que se pretende aquecer e um outro, como metanol, que em vácuo evapora a temperaturas superiores a 25°C. A energia libertada pela condensação do fluido transportador de energia é usada para aquecer a água [24].

A estrutura deste tipo de coletores encontra-se representada na figura 2.21.

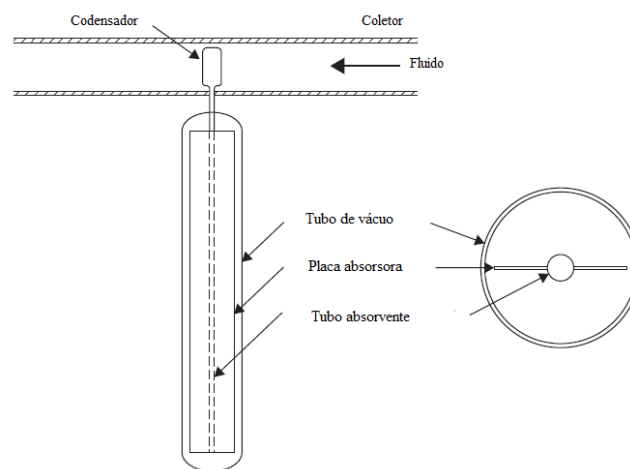


Figura 2.21 Funcionamento dos coletores tubo de vácuo [adaptado de 24]

As instalações de coletores solares térmicos são dimensionadas a partir das necessidades energéticas do sítio onde se integram e da disponibilidade da fonte energética. O armazenamento de energia através da sua variante térmica é o mais fácil e rentável na medida em que não são necessários investimentos avultados para o conseguir. Assim, e tendo em conta que a maior parte da água quente é produzida em períodos de não

consumo, é necessário um correto armazenamento que suprima ou que seja um apoio para a supressão das necessidades térmicas.

Os reservatórios utilizados podem ser de diferentes modelos, podendo ter permutadores incorporados, como serpentinas ou camisa. A transferência de calor também se pode fazer externamente ao depósito. No entanto, podem existir limitações espaciais ou de custo de investimento que não permitam essa opção.

Na escolha do acumulador é importante verificar o isolamento térmico, como poliuretano ou lã de rocha, e a relação superfície volume que deverá ser baixa para que as perdas de energia sejam as menores possíveis. O reservatório deve ser longo e estreito de forma a possibilitar uma boa estratificação de temperatura. No caso de ser só para acumulação de calor é usual a utilização de apenas uma serpentina. Quando há exigência de uma determinada temperatura é normal que se usem serpentinas associadas a outra fonte de calor. Para a maior parte das instalações de AQS, a água quente tem uma gama de valores de temperatura exigida, ou seja, além de terem como fonte de calor o fluido do coletor solar, estão também equipados com outra fonte alternativa de energia. A alimentação de energia do coletor solar para o reservatório está sempre dependente da irradiação solar. Supondo um dia em que esta variável tem um valor baixo, a água armazenada no tanque não está à temperatura exigida, sendo necessário a utilização de uma fonte de energia alternativa, como uma caldeira, por exemplo. A serpentina responsável por fazer a troca entre a água da caldeira e a água do reservatório deverá estar a uma cota superior à serpentina que transfere o calor proveniente do coletor solar, de forma a que os diferenciais de temperatura sejam menores e o gasto da caldeira seja também menor. Desta forma, o reservatório deverá ser projetado a partir da cota em que se situa a primeira serpentina.

Os sistemas de produção de AQS devem estar equipados com mecanismos de proteção. Existem períodos do ano em que a quantidade de radiação disponível é elevada e as necessidades térmicas não o são. Nesses períodos, o fluido do circuito primário pode sofrer evaporação e uma consequente expansão. Este fenómeno físico pode resultar em danos para o equipamento e acessórios na medida em que o volume ocupado pelo vapor é centenas de vezes superior ao ocupado pelo líquido e a velocidade da transformação do estado líquido ao gasoso é muito rápida quando comparada com a velocidade de resposta dos equipamentos de proteção. Desta forma, o sistema de produção de AQS deverá ter sistemas de dissipação de energia para garantir a sua proteção.

2.3 Fornecimento de Energia Elétrica

O fornecimento de energia elétrica é feito pelo comercializador da mesma. A forma como é contabilizado e faturado está dependente de diversas variáveis que serão, de forma geral, explicitadas no presente capítulo.

A provisão de energia elétrica é feita num determinado nível de tensão. Desta forma, são vários os níveis de tensão disponibilizados, nomeadamente:

- Baixa Tensão Normal (BTN)
- Baixa Tensão Especial (BTE)
- Média Tensão (MT)
- Alta Tensão (AT)
- Muito Alta Tensão (MAT)

Além do nível de tensão, a instalação é também caracterizada por um nível de potência contratada, que é ajustado à necessidade de energia do ponto de entrega. Este parâmetro está também relacionado com o nível de tensão, na medida em baixa tensão normal a potência contratada encontra-se escalonada e é igual ou inferior a 41,4 kVA. A partir desta, o fornecimento já se realiza em níveis de tensão superior onde a potência contratada é determinada pelo maior resultado obtido de duas formas distintas:

- Pela máxima potência registada em intervalos de tempo de 15 minutos.
- Pela metade da potência instalada.

Os consumos de energia elétrica podem ser distribuídos por diversos períodos que têm em conta os hábitos dos consumidores. Definem-se como horas de ponta, cheias, vazio e super-vazio, sendo as horas de ponta e de super-vazio os períodos onde ocorrem, na teoria, uma maior e menor ocupação da rede de distribuição, respetivamente. A distribuição é então feita de acordo com estes períodos e com o nível de tensão, na medida em que o número de períodos horários não é o mesmo para todas as tensões disponíveis. Representa-se na tabela 2.1 o explicitado anteriormente.

Tabela 2.1 Dados relativos aos períodos de consumo em função do nível de tensão [25].

Níveis de Tensão	Nº de Períodos Horários	Horas de Ponta	Horas de Cheias	Horas de Vazio Normal	Horas de Super Vazio
MAT	4	✓	✓	✓	✓
AT	4	✓	✓	✓	✓
MT	4	✓	✓	✓	✓
BTE	4	✓	✓	✓	✓
BTN tri-horária	3	✓	✓		✓
BTN bi-horária	2		✓		✓
BTN simples	1			✓	

A forma como o consumo de eletricidade se distribui aos longo das 24 horas e dos 7 dias da semana corresponde ao ciclo horário. Estão disponíveis 3 ciclos horários:

- Ciclo diário - caracteriza-se por uma definição, duração e distribuição, dos períodos horários igual para todos os dias da semana, não fazendo distinção entre os dias úteis e os fins-de-semana, nem para períodos de Verão e Inverno.
- Ciclo Semanal - caracteriza-se por uma definição dos períodos horários em três categorias – dias úteis, sábados e domingos. Inclui ainda a distinção dos dois períodos de Hora Legal (Verão e Inverno).
- Ciclo Semanal Opcional – semelhante ao ciclo semanal, mas com distribuição diferente do número de horas por período.

De notar ainda que para níveis de tensão em MAT, AT e MT, os feriados são iguais aos domingos. A distribuição das horas por dia nos diversos ciclos pode ser encontrada na tabela A.2, presente no anexo A [25].

3 Metodologia de criação do algoritmo

Para se poder avaliar a melhor tecnologia energética, de entre as analisadas, para o caso apresentado ao algoritmo, é necessário tratar toda a informação disponível e a partir daí tomar decisões tendo como objetivo o uso racional da energia produzida, sem descurar o fator económico.

3.1 Árvore de decisão

Como escrito anteriormente, o objetivo da dissertação foi a criação de um algoritmo que possibilitasse, com base na árvore de decisão representada na figura 3.1, a indicação de diferentes tecnologias de produção de energia térmica e/ou elétrica, conforme o caso, passíveis de substituírem ou complementarem uma outra já existente. Para que possa ser tratado, o caso analisado terá de obedecer a 2 pressupostos, nomeadamente:

- Que estejam disponíveis os consumos elétricos e/ou térmicos de doze meses consecutivos, em kWh
- Que a instalação elétrica analisada seja alimentada em BTE ou MT.

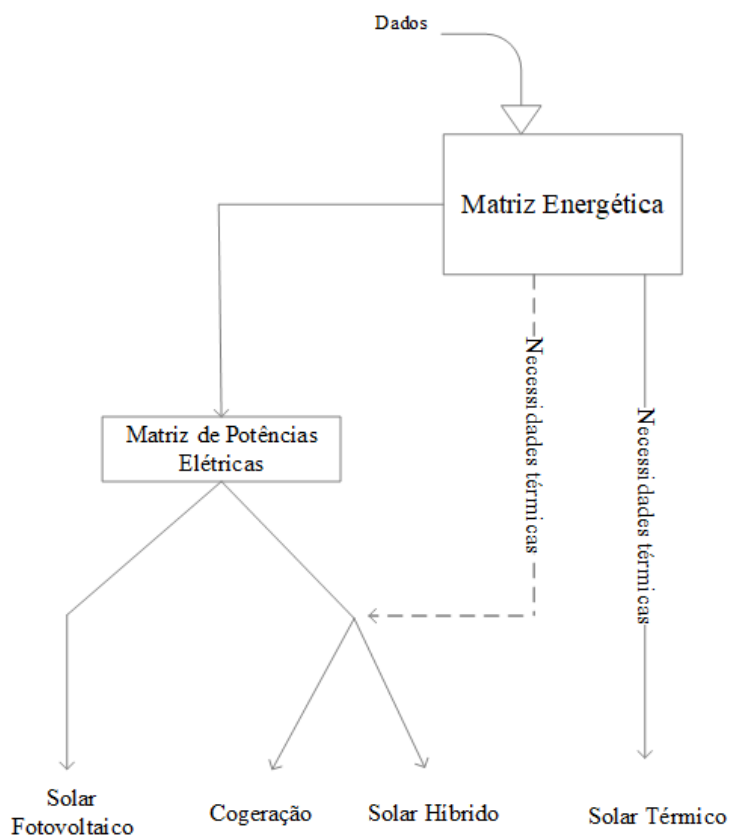


Figura 3.1 Árvore de decisão.

O procedimento é iniciado com o preenchimento da matriz energética, onde são inseridos dados necessários ao dimensionamento e sobre os quais atuam algoritmos, diferentes para cada tecnologia, que possibilitam, através de critérios impostos e das limitações das mesmas, o dimensionamento automático de acordo com os dados introduzidos. No caso das tecnologias do solar fotovoltaico, híbrido e cogeração, os respetivos algoritmos atuam sobre uma matriz de potências elétricas, mais à frente explicitada. No entanto, para os dois últimos é necessária, durante o dimensionamento, a utilização das necessidades térmicas. Já o dimensionamento da tecnologia solar térmica faz-se unicamente por via das necessidades térmicas.

A análise das quantidades de energia utilizadas ou produzidas pelas diferentes tecnologias faz-se tendo em conta os limites definidos na figura 3.2. Assim, não se contabilizam perdas na conversão, armazenamento e distribuição da energia, por exemplo, na medida em que estes se encontram fora da fronteira definida. No final, é apresentado um quadro onde se comparam, a nível técnico e económico, as diferentes soluções que constituem alternativas ou complementos às tecnologias atualmente utilizadas.

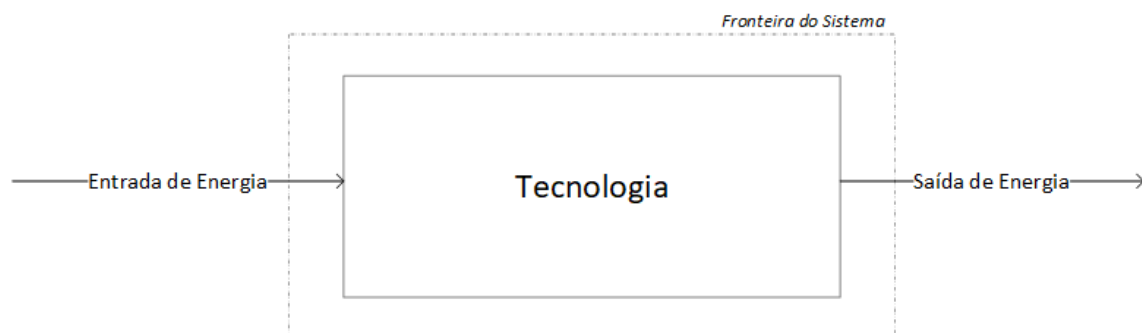


Figura 3.2 Representação dos limites do sistema analisado.

3.1.1 Matriz Energética

Como referido, o dimensionamento automático de qualquer uma das tecnologias parte sempre da matriz energética, onde são introduzidos, entre outros elementos, dados correspondentes a um ano de consumos. Note-se que esta é a única etapa do procedimento em que é necessária a introdução de dados. Os elementos a preencher podem-se dividir nos que dizem respeito às necessidades elétricas e às térmicas e a maior parte deles tem por base as faturas dos respetivos consumos.

Ao nível das necessidades elétricas são preenchidos os seguintes elementos:

- Ciclo horário – o ciclo de fornecimento de eletricidade pode-se encontrar nas respetivas faturas e é relevante na medida que define o tempo por período. Os ciclos disponíveis são: semanal, semanal opcional e diário e devem ser introduzidos no formato “ciclo diário”, por exemplo.
- Período de consumo – para cada um dos doze meses é necessário introduzir o início e o fim do período de consumo. Considera-se como mês de consumo aquele que corresponde à data de final de consumo. De forma automática, através da função 3.1, o algoritmo devolve o mês por extenso, condição necessária para etapas posteriores. O período de consumo é relevante porque, juntamente com o ciclo vigente, define os tempos de consumo e permite o cálculo posterior de potências médias.
- Consumos elétricos mensais – os consumos elétricos devem ser introduzidos em kWh e distribuídos pelos diferentes períodos, que são eles: ponta, cheia, vazio e super-vazio.
- Tarifas – devem ser preenchidas as tarifas de energia ativa relativas aos períodos acima referidos, de forma a que se possa realizar uma posterior avaliação económica do investimento. De notar que as tarifas em horas de ponta devem ter em conta o custo de potência de horas de ponta na medida em que este é passível de ser diminuído pela substituição ou complemento da tecnologia exigente. O cálculo desta tarifa pode ser conseguido pelo somatório dos custos anuais relativos à energia ativa gasta em pontas com o custo anual da potência de horas de ponta a dividir pela energia gasta no espaço de um ano.

=MINÚSCULAS (TEXTO (Data; "MMMM"))	Função 3.1
------------------------------------	------------

A função 3.1 integra as funções *MINÚSCULAS* e *TEXTO* de forma a que o valor seja devolvido em letras minúsculas e que a data seja convertida em texto, respetivamente. Na função *TEXTO* é necessário definir o formato, neste caso definido como “MMMM” de forma a que o texto seja devolvido por extenso.

Já ao nível das necessidades térmicas são preenchidos os seguintes elementos:

- Período de consumo – para cada um dos doze meses é necessário introduzir o início e o fim do período de consumo de combustível usado para a produção de energia térmica. Os meses de consumo terão de ser os mesmos que os dos consumos elétricos. Assim, indexam-se os meses determinados anteriormente pela função 3.1.
- Consumos mensais de combustível – os consumos de combustível usado para a produção térmica deverão ser introduzidos em kWh.
- Tarifa térmica – é introduzida a tarifa referente ao combustível usado para a produção térmica.
- Rendimento do Equipamento – é necessário introduzir o rendimento de produção térmica, ou seja, a percentagem de energia que é introduzida no atual sistema e que dá origem a energia que é efetivamente debitada.

Além dos dados associados especificamente a um tipo de necessidades é necessário introduzir o local sobre o qual o estudo versa, na medida em que há tecnologias que utilizam radiação solar que, como visto na secção 2 do capítulo 2, está associada a um local. Com o objetivo de simplificar o dimensionamento, os locais disponíveis no algoritmo são as cidades do Porto e Lisboa que são representativos do centro norte e centro sul do país, respetivamente. Assim, na matriz energética deverá ser preenchida uma destas duas localidades e a escolha é feita com base na proximidade.

3.1.2 Matriz de potências elétricas

Todas as tecnologias analisadas na presente dissertação são dimensionadas a partir da matriz energética. No entanto, algumas exigem a conversão dos valores de energia elétrica em valores de potência. Assim, é necessário, para um correto dimensionamento, que esta transformação seja feita.

A potência é definida como a energia sobre um período de tempo. Assim, para se determinarem as potências médias terão de ser considerados tempo de utilização da energia.

A introdução dos consumos elétricos na matriz é feita, como visto, dividida por períodos. Desta forma, para se calcularem as potências elétricas médias nos diferentes períodos foram divididas as energias presentes na matriz energética pelo número de horas do respetivo período de gasto. As horas mensais em cada período são calculadas pelo produto do número de dias de consumo pelas horas de cada período em cada dia, que dependem do ciclo vigente, do dia da semana e se o mês se enquadra no horário legal de verão ou inverno.

Em termos de algoritmo, primeiramente introduziram-se numa tabela, o número de horas diárias em cada período de cada dia, nomeadamente, dias úteis, sábados e domingos, representadas na tabela A.2 do anexo A. Esta introdução foi feita com recurso à função 3.2 de forma a que o valor apresentado nas células dependesse do ciclo preenchido na matriz energética.

=SE ("Ciclo Semanal"; N°_horas; SE ("Ciclo Semanal Opcional"; N°_horas; SE ("Ciclo Diário"; N°_horas)))	Função 3.2
---	------------

Uma vez que a distribuição de horas por período depende do tipo de dias (úteis, sábados e domingos), para se calcularem o número de horas mensais em cada período é necessário determinar quantos dias úteis, sábados e domingos se contabilizam entre as datas introduzidas na matriz energética. A função *DIA.SEMANA* devolve o dia da semana que corresponde a uma data. Por predefinição, o dia é fornecido como um número inteiro, que se situa entre 1, Domingo, e 7, Sábado. Assim, foi usada a função 3.3 que permite somar o número de dias pedido entre as datas introduzidas na matriz, onde Data1 e Data2 são as datas de início e fim de consumo de energia elétrica, respetivamente.

=SOMARPRODUTO (-- (DIA.SEMANA(LIN(INDIRETO(Data1&":"&'Data2))) = DiaPretendido))	Função 3.3
--	------------

Uma vez que é necessário contabilizar o número de sábados, domingos e dias úteis, usou-se a função anterior para contabilizar o número de sábados e domingos, sendo que o número de dias úteis foi determinado pela diferença entre o número de dias de consumo e o somatório de sábados e domingos. O número de dias de consumo pode ser determinado de duas formas distintas. Se a data final de consumo de um determinado mês

for a mesma que a data de início do próximo mês de consumo, a quantidade de dias é determinada pela diferença entre as datas. No entanto, se a data de final do mês for o dia antes ao início do período seguinte, o número de dias é dado pela diferença das datas de consumo mais um dia.

Neste ponto, é já possível calcular as potências médias de cada período de cada mês que são resultado da divisão das respectivas energias pelos tempos atrás explicitados. Por exemplo, quando se pretende calcular a potência média de horas de cheia no mês de janeiro, é usado o valor de energia gasta neste período que se divide pelo número total de horas de cheia do mês de janeiro, resultado do somatório das horas de cheia em dias úteis, sábados e domingos.

Para que o cálculo da potência aconteça de forma automatizada no software Excel, é necessário dispor o raciocínio anteriormente explicitado numa função. É de notar que se deve ter em atenção se o mês para o qual se estão a calcular as potências pertence ao horário legal de inverno ou de verão. Assim, se o mês lido na matriz energética pela função 3.4 indicar meses entre setembro e fevereiro, o somatório de horas é feito com as horas do horário legal de inverno. Nos restantes meses, procede-se de igual forma apenas com a diferença do somatório se efetuar com as horas do horário legal de verão.

$=SE(OU(Mês="janeiro"; Mês="fevereiro"; Mês="setembro"; Mês="outubro"; Mês="novembro"; Mês="dezembro");(Energia) / (Horas_Inverno) ;(Energia) / (Horas_Verão))$	<p>Função 3.4</p>
---	-------------------

Desta forma, determina-se, de forma automática, a matriz de potências para todos os períodos de consumo introduzidos na matriz energética.

3.1.3 Quadro Comparativo

As comparações entre os resultados das diferentes tecnologias apresentam-se num quadro segundo os critérios:

- Cobertura térmica anual
- Cobertura elétrica anual

- Custo de Investimento
- Tempo de Retorno do Investimento
- Valor Atual Líquido
- Taxa Interna de Rentabilidade

A análise económica é feita numa base anual e tendo em conta a fronteira indicada na figura 3.2, sendo que as entradas e saídas de energia são agora convertidas em linguagem financeira, ou seja, euros, e dão origem, respetivamente, a custos e proveitos operacionais anuais, que no seu conjunto fazem o saldo operacional. Os custos operacionais contemplam, por exemplo, o custo da energia consumida e/ou os custos de manutenção do equipamento. Os custos de investimento são também incluídos na análise económica e desta forma podem-se calcular indicadores que permitem avaliar a viabilidade económica do projeto. São eles:

- Tempo de retorno do investimento (PBP) – corresponde à quantidade de tempo, em anos, que o investimento demora a ser recuperado.
- Valor atual líquido (VAL) – soma dos resultados operacionais durante a vida útil de um projeto atualizadas para o momento presente. A taxa considerada foi de 4%. Considerou-se um tempo de vida de 25 anos.
- Taxa interna de Rentabilidade (TIR) – taxa que mede a rentabilidade do projeto durante o seu tempo de vida.

Tanto o VAL como a TIR são calculados, no software Excel, através das funções *VAL* e *TIR*, respetivamente. Na primeira, é introduzida a taxa pretendida e os resultados acumulados nos diversos anos. Na TIR são apenas introduzidos os resultados acumulados. Estes calculam-se a partir dos custos de investimento ao quais se somam, nos diversos anos, o saldo operacional.

3.2 Cogeração

O presente capítulo destina-se à explicitação do algoritmo de dimensionamento automático, criado no software Excel, que tem como objetivo a verificação da possibilidade de complementar ou substituir por uma cogeração, a tecnologia usada para a obtenção de energia térmica e elétrica, e, se existir essa possibilidade, a indicar e avaliar a cogeração escolhida.

Como escrito na revisão bibliográfica, a produção simultânea de calor e eletricidade pode ser feita através de diversas formas. Para o presente algoritmo foram considerados motores de combustão a gás natural que tem por base o ciclo Otto. De forma à sua escolha ser possível, foi necessária a criação de uma base de dados no software Excel que dispõe de uma listagem de parte das unidades comercializadas pela empresa e os seus parâmetros técnicos, nomeadamente:

- potências de produção, térmica e elétrica, e consumos de combustível em função da carga de operação.
- custos de investimento e manutenção
- correlações que permitem determinar os *inputs* e *outputs* energéticos em função da carga de operação.

As unidades de cogeração presentes no algoritmo foram escolhidas tendo em conta a sua potência e eficiência elétrica e os parâmetros acima referidos podem ser encontrados, para cada cogeração, na tabela C.1. No entanto, antes de se iniciar a explicitação do dimensionamento é importante referir os pressupostos sobre os quais assenta, nomeadamente:

- Possibilidade de alimentação do motor a gás natural e injeção de energia elétrica na rede pública.
- Instalação com capacidade para armazenar água a temperaturas que rondem os 65°C de forma a que diminua o risco de contaminação por organismos patogénicos, por exemplo legionella, e simultaneamente não ponha em causa a segurança do próprio sistema devido à formação de vapor.
- Média das três menores potências elétricas dos períodos de pontas e cheias igual ou superior a 20 kW.
- Tempo de operação de, pelo menos, 50% das horas mensais, em, pelo menos 11 dos 12 meses analisados.

Nos seguintes capítulos é, então, demonstrado o processo de escolha automática desta tecnologia em função das necessidades apresentadas.

3.2.1 Potência elétrica

Por norma, o consumo elétrico da maioria das instalações dá-se em períodos de ponta e de cheia, ou seja, é nestes períodos que há maior necessidade de energia elétrica. Além de mais, os custos por unidade de energia são sempre mais elevados nestes períodos quando comparados com os custos em vazio e super-vazio. No caso dos períodos de ponta, a energia é até taxada de duas formas diferentes: pelo preço por unidade de energia e pela potência de horas de ponta.

Assim, e pelas razões atrás explicitadas, definiu-se que o dimensionamento se iniciaria pela vertente elétrica e que a potência elétrica teórica da cogeração, definida por A, seria a média dos 3 valores mais baixos das potências em períodos de ponta e de cheia de todos os meses em análise, de forma a haver o menor excedente de energia possível e por consequência a maximizar os proveitos económicos nestes períodos.

Definida a potência elétrica teórica, o algoritmo procura na base de dados, automaticamente e entre as potências elétricas de todas as cogerações disponíveis, o valor mais próximo a A. A procura é feita usando a função *PROC* que devolve o valor mais próximo por defeito de forma a não haver excedente de produção elétrica. Os cogeradores disponíveis têm uma potência de produção elétrica mínima de 20 kW, correspondente à cogeração *G-box 20*. Assim, e tendo em conta que devem operar à carga máxima de forma a apresentarem melhores rendimentos, integra-se a função *PROC* numa função *SE* por forma a que se a potência definida como A for igual ou superior a 20 kW, o valor devolvido será o mais próximo por defeito, sendo este definido como potência elétrica da cogeração e pela letra B. Se porventura A for inferior a 20 kW, é devolvida uma mensagem referindo que não existem cogerações para a potência requerida, terminando nesta etapa o dimensionamento e consequentemente excluindo esta tecnologia. A explicitação anteriormente escrita pode ser representada pelo esquema da figura 3.3.

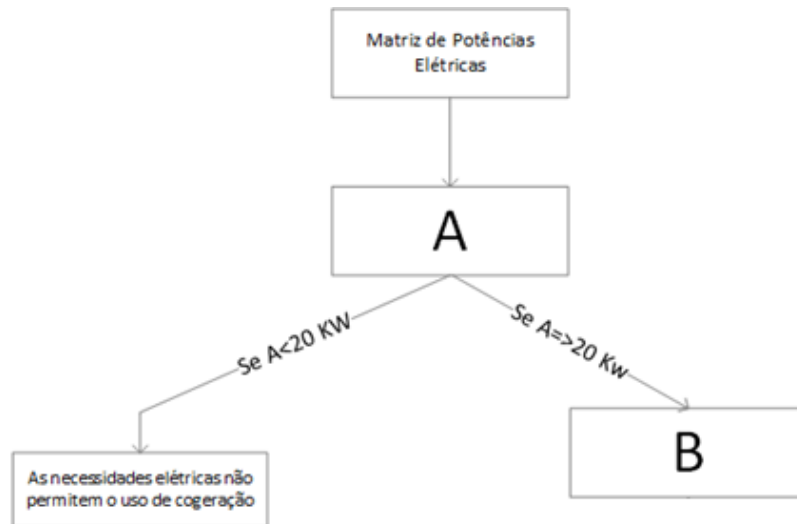


Figura 3.3 Representação esquemática da determinação de B.

Na função 3.5 é demonstrada a integração de comandos que traduz o raciocínio acima explicitado.

=SE(A>=20; PROC (A; Tabela_PotE);"As necessidades elétricas não viabilizam a cogeração")	Função 3.5
--	------------

Após se determinar B, ou seja, a potência elétrica da cogeração escolhida, é necessário determinar a razão de potências. Esta é calculada, para cada período de cada mês, dividindo a potência média consumida no respectivo período pela potência elétrica da cogeração, B. É então feita uma análise desse quociente e o valor obtido vai permitir concluir se a cogeração se encontrará em funcionamento no respectivo período. Assim:

- Se a razão de potências for superior a 1 aparecerá, no mapa de cargas, o valor 1 que indica que o cogerador se irá encontrar, no respectivo período, a operar à carga máxima.
- Se a razão de potências se encontrar entre 0,5 e 1, inclusive, aparecerá, no mapa de cargas o valor do quociente calculado, indicando que a cogeração operará, no respectivo período, à carga indicada pelo quociente. Por exemplo, se o quociente indicar 0,6 então o cogerador operará a 60% da carga máxima.
- Se a razão de potências for inferior a 0,5 aparecerá, no mapa de cargas, o valor 0 indicando que o cogerador não se encontrará em funcionamento no respectivo

período. O valor de 0,5 é definido pelo fabricante na medida em que o cogedor não tem capacidade de modelação para operar abaixo de 50% da carga.

O raciocínio atrás demonstrado pode-se traduzir pela função 3.6 que foi inserida para todos os períodos de todos os meses em análise, no software Excel.

=SE(Pot_Período>B;1; SE (Pot_Período<B/2;0; Pot_Período/B))	Função 3.6
---	------------

Como referido anteriormente, o quadro de razões de potência além de indicar o nível de carga do cogedor indica também se o mesmo se encontra ou não em funcionamento. Desta forma, é possível transpô-lo para horas de funcionamento e conseqüentemente determinar produções elétricas e térmicas. A transposição é feita através da função 3.7 que integra os comandos *SE* e *OU* na medida em que é necessário ter em conta se o mês analisado pertence ao horário legal de inverno ou verão e se no mapa de cargas há a indicação de operação da cogeração. Assim, para qualquer período, se no mapa de cargas estiver indicado um número igual ou superior a 0,5, a determinação de horas de funcionamento nesse mesmo período é feita pelo produto dos dias de funcionamento pelas respetivas horas diárias em cada período. Tomando como exemplo o caso das horas de cheias no mês de janeiro, se o mapa de cargas indicar um valor igual ou superior 0,5, o valor das horas de funcionamento é determinado pela soma do produto do número de dias uteis, sábados e domingos pelas respetivas horas em cheias. Tem-se também em conta que o mês de janeiro pertence ao horário legal de Inverno.

=SE (OU (Mês="Janeiro"; Mês="Fevereiro"; Mês="Setembro"; Mês="Outubro"; Mês="Novembro"; Mês="Dezembro"); SE(Carga_operação>=0,5;(Dias_uteis*Horas_uteis+Sábados*Horas_sábados+Domingos*Horas_domingos);0); SE(Carga_operação>=0,5;(Dias_uteis*Horas_uteis+Sábados*Horas_sábados+Domingos*Horas_domingos);0))	Função 3.7
--	------------

Como referido anteriormente, a partir das horas de funcionamento é possível determinar a produção elétrica e térmica da cogeração. Contudo, antes de se determinar a primeira, é determinada a segunda, que servirá de validação à escolha da cogeração pela vertente elétrica.

3.2.2 Potência térmica

A cogeração selecionada pela vertente elétrica apresenta uma potência de produção térmica que é característica do respetivo motor escolhido. A energia térmica produzida em cada período é dada pelo produto do número de horas de funcionamento pela potência térmica média debitada. Por sua vez, esta depende essencialmente da carga de operação do motor. Deste modo, para o cálculo da energia térmica produzida, é necessária a determinação de correlações entre a carga de operação e a potência térmica produzida, por sua vez encontradas na tabela C.1 do anexo C. As fichas técnicas proporcionam dados que permitem a construção de correlações do tipo:

$$\text{Potência térmica} = m_{\text{térmico}} * x + b_{\text{térmico}} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde:

- $m_{\text{térmico}}$ - Declive térmico
- $b_{\text{térmico}}$ – Ordenada na origem térmica
- x – Carga de operação, fornecida pelo quadro de razão de potências.

Assim, a produção térmica produzida em cada período de cada mês pode ser dada por:

$$\begin{aligned} \text{Produção térmica}_{\text{período}} &= \\ &= n^{\text{o}} \text{ horas}_{\text{período}} * (m_{\text{térmico}} * x_{\text{período}} + b_{\text{térmico}}) \end{aligned} \quad (\text{Equação 3.2})$$

No entanto, para que haja automatização da matriz, os valores correspondentes ao $m_{\text{térmico}}$ e ao $b_{\text{térmico}}$ são encontrados na base de dados e chamados à expressão indicada, definida como função 3.8, através do comando PROCV que procura o nome da cogeração determinada pela vertente elétrica e devolve as constantes atrás referidas. As outras variáveis chamadas à função são o número de horas de funcionamento e a carga de operação em cada período.

$= (\text{Carga_operação} * \text{PROCV (Cogeração; Tabela_m térmicos)} + \text{PROCV (Cogeração; Tabela_b térmicos)}) * \text{Tempo_funcionamento}$	Função 3.8
--	------------

3.2.3 Validação da cogeração

Tendo-se obtido a produção térmica em cada período, ou seja, pontas, cheias, vazio e super vazio, é necessária a validação da cogeração obtida, como referido anteriormente. A validação é feita pela vertente térmica, comparando, para cada mês, as necessidades térmicas com a produção térmica da cogeração escolhida inicialmente, que sua vez é a soma da energia térmica produzida nos diferentes períodos do respetivo mês. A referida comparação é feita subtraindo, para cada mês, a produção térmica às necessidades. Se o valor obtido for nulo ou positivo, é significativo que no mês em análise não existe excesso de produção e, por isso, não há existência de qualquer limitação. Se, porventura, a diferença explicitada resultar num valor negativo, existe produção em excesso e, desta forma, terá de ser ajustada. Tendo em conta que a carga a que o motor opera é definida pela vertente elétrica, a diminuição da produção térmica terá de ser feita por via de uma diminuição do número de horas de operação. Desta forma, a energia em excesso de um determinado mês terá de ser convertida num tempo de operação que será reduzido no tempo total anteriormente determinado. Assim, calculando a percentagem de energia em excesso é possível fazer uma redução ao tempo de operação na mesma proporção. Esta etapa só é possível uma vez que a potência de produção é definida pela vertente elétrica o que faz com que uma diminuição da energia produzida seja proporcional ao tempo na mesma razão.

Determinada, para todos os meses, a redução do tempo de operação é possível realizar uma avaliação global, de forma a que se valide, ou não, a cogeração anteriormente determinada.

Assim, existem três condições que são inseridas no algoritmo de forma a poder validar a escolha feita pela vertente elétrica:

- Se, no máximo, um dos meses apresentar uma redução de tempo igual ou superior a 50%, ou seja, se operar, garantidamente, em 11 meses nos períodos de pontas e cheias, a cogeração encontra-se validada.

- Se a cogeração anteriormente determinada for a *G-box 20* e, em pelo menos dois meses, a redução de tempo for igual ou superior a 50%, a tecnologia não pode ser usada para o caso em análise porque não cumpre o pressuposto de operar em pelo menos 50% do tempo em 11 meses e não é possível seleccionar uma cogeração com menor potência térmica.
- Se a cogeração anteriormente determinada não for a *G-box 20* e se, em pelo menos dois meses a redução de tempo de operação for superior a 50% terá de ser dimensionada um novo motor.

Nesta última situação, para se proceder à escolha da cogeração pela vertente térmica, fator que é agora limitante, é feita a determinação de uma potência térmica teórica, *C*, que se procura entre as potências térmicas de todas as cogerações através da função *PROCV* e devolve o valor mais próximo por defeito. Se mesmo assim, a potência térmica teórica for abaixo do mínimo, então é devolvida a mensagem “As necessidades térmicas não viabilizam a cogeração”.

Para se determinar *C*, é necessário calcular a potência térmica associada a cada mês. Para o efeito, dividem-se as necessidades energéticas do mês pelo seu número total de horas, tendo em conta o interesse de o motor operar ininterruptamente. Após se determinarem as referidas potências, seleccionam-se as 3 menores e calculada a sua média. Nesta, aplica-se um fator de 25%, por excesso, para minimizar o efeito que algum mês atípico por defeito pode ter no dimensionamento. Note-se ainda para o facto de, se porventura, existir alguma potência nula, o cálculo de *C* não a tem em conta.

Desta forma, as condições anteriormente apresentadas são introduzidas no software Excel através da função 3.9 que as engloba e que devolve o nome da cogeração escolhida tendo agora como critério a vertente térmica.

<code>=SE(nº_reduções_50% <=1;Cogeração_validada;SE(E(Cogeração="G-box 20"; nº_reduções_50% >=1); "As necessidades térmicas não viabilizam a cogeração"; SE(E(nº_reduções_50% >1;C >=44);PROCV(C; Tabela_PotT);"As necessidades térmicas não viabilizam a cogeração"))</code>	Função 3.9
--	------------

Se a cogeração determinada pela vertente elétrica se encontrar validada é apenas necessário determinar a redução de tempo de funcionamento. Tendo em conta que os maiores proveitos económicos de uma cogeração ocorrem em períodos de pontas e cheias,

a redução de tempo anteriormente referida inicia-se pelo período de super-vazio, onde os custos evitados são menores. Desta forma, esta é feita de forma gradual e consecutiva pelos diversos períodos. Se à partida a cogeração não se encontrar validada, é necessário proceder à repetição de etapas de dimensionamento, nomeadamente determinar o mapa de cargas e as horas de funcionamento para todos os períodos do ano, agora com a nova cogeração dimensionada a partir da potência térmica teórica, C .

Para se determinar o mapa de cargas, é necessário obter-se a potência elétrica da cogeração agora escolhida pela vertente térmica, definida por D , sendo que, para o efeito, é usado o comando PROCV que lê o nome da cogeração escolhida pela vertente térmica e devolve a respetiva potência elétrica, através da base de dados.

Repetem-se, então, os procedimentos acima explicitados para o cálculo do quadro de potências e das horas de operação que possibilitam a determinação da produção térmica pelo mesmo método acima indicado. No entanto, as constantes $m_{térmico}$ e $b_{térmico}$ são diferentes porque dependem exclusivamente da cogeração escolhida.

Deste modo, comparando, novamente e para cada mês, as necessidades com a produção térmica calcula-se a redução de tempo, se aplicável.

No algoritmo, e como resposta final, se qualquer uma das necessidades elétricas ou térmicas não permitirem a instalação da cogeração, é devolvida a mensagem “Não é possível a instalação da cogeração”. Se ambas permitirem é devolvido o nome da cogeração validada, como demonstrado na função 3.10.

<pre>=SE (OU (As necessidades elétricas não viabilizam a cogeração"; "As necessidades térmicas não viabilizam a cogeração");"Não é possível a instalação da cogeração"; SE (nº_reduções_50% >1;"As necessidades térmicas não viabilizam a cogeração"; Cogeração_validada))</pre>	<p>Função 3.10</p>
---	--------------------

Para se determinarem os *inputs* e *outputs* energéticos da cogeração validada é necessário multiplicar a potências consumidas e debitadas em cada período pelo respetivo tempo de operação, respetivamente.

Deste modo, tanto para o cálculo do combustível alimentado como da energia elétrica produzida é necessária a determinação de correlações lineares que as relacionam com a carga de operação. Para a obtenção de tais correlações foram consultadas as fichas

técnicas de cada cogeração e foram retirados dados que permitiram a construção de correlações lineares do tipo:

$$\text{Potência elétrica} = m_{elétrico} * x + b_{elétrico} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Onde:

- $m_{elétrico}$ - Declive elétrico
- $b_{elétrico}$ - Ordenada na origem elétrica
- x - Carga de operação, dada pelo quadro de razão de potências.

E,

$$\text{Consumo combustível horário} = m_{consumo} * x + b_{consumo} \quad (\text{Equação 3.4})$$

Onde:

- $m_{consumo}$ - Declive de consumo
- $b_{consumo}$ - Ordenada na origem de consumo
- x - Carga de operação, dada pelo quadro de razão de potências.

Deste modo, tanto a energia elétrica produzida como o consumo de combustível podem ser calculados, para cada período de cada mês, pela multiplicação do resultado das expressões anteriores pelas respectivas horas de produção de cada período, de igual forma ao explicitado anteriormente para o caso da produção térmica.

O diagrama geral que representa o algoritmo usado na escolha da cogeração mais indicada para o caso analisado encontra-se representado na figura 3.4.

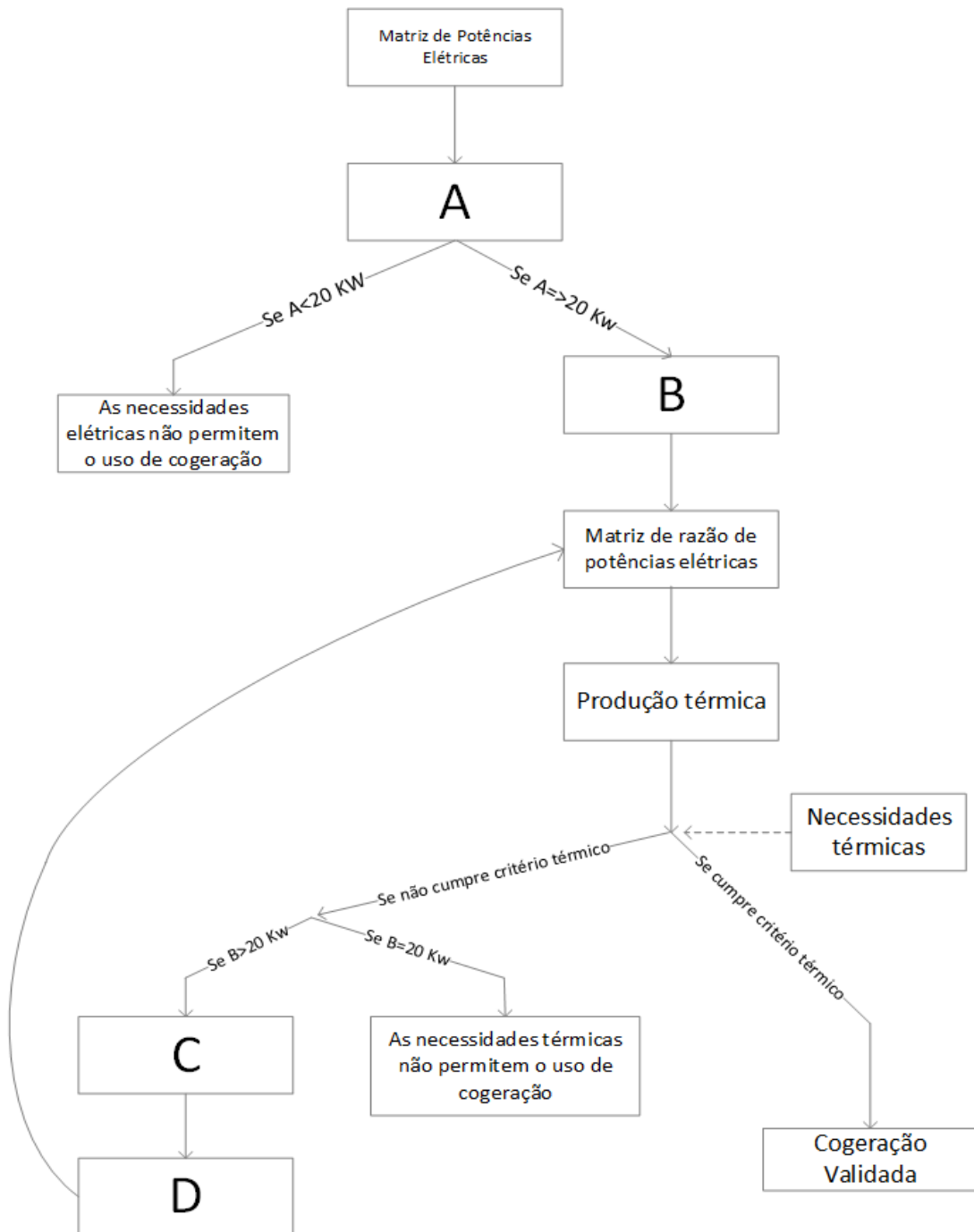


Figura 3.4 Representação esquemática do algoritmo usado para a escolha da cogeração.

3.2.4 Avaliação económica

De forma a ser realizada uma avaliação económica segundo os parâmetros atrás referidos, é necessário converter os resultados anteriormente determinados em euros. Para o efeito, determinam-se custos e proveitos operacionais anuais, que no seu conjunto constituem o saldo operacional, e os custos de investimento.

Os custos operacionais são constituídos por dois termos, sendo eles o custo do combustível e o custo da manutenção.

O custo do combustível alimentado à cogeração é calculado realizando o somatório de todos os consumos nos diversos períodos durante o ano, sendo o resultado multiplicado pela tarifa do combustível introduzida na matriz energética.

O custo de manutenção tem uma base horária, é diferente para cada cogeração e engloba dois elementos: manutenção preventiva e revisão geral. A manutenção preventiva diz respeito, por exemplo, a custos de substituição de filtros e do óleo de lubrificação. A revisão geral representa os custos futuros aquando uma revisão geral que se efetua por volta das 65 000 horas de funcionamento. Assim, na base de dados encontram-se inseridos os custos de manutenção associados a todas as cogerações disponíveis ao dimensionamento. O custo de manutenção anual é então determinado pela multiplicação do número de horas de funcionamento anual pelo custo de manutenção horário que é selecionado automaticamente através da função *PROCV*.

Os proveitos operacionais devem ser encarados como custos evitados, seja com a eletricidade ou com a energia térmica e são calculados de forma exata na medida em que estão disponíveis os outputs em cada período de cada mês. Desta forma, o output cada período de cada mês é multiplicado pela respetiva tarifa sendo depois realizado o somatório de todos os termos obtendo-se assim o custo anual evitado. A produção térmica, considerada como proveito operacional, é também um custo evitado e pode ser calculado pela multiplicação da energia térmica produzida anualmente pela tarifa térmica evitada. A tarifa térmica evitada pode-se definir como a tarifa usada para a produção térmica do equipamento existente a dividir pelo rendimento do mesmo.

O saldo operacional anual é calculado pela diferença entre os proveitos e os custos operacionais e servirá para se determinarem parâmetros de caracterização do

investimento como o tempo de retorno do investimento, o valor atual líquido e a taxa interna de rentabilidade.

O custo de investimento é apenas um custo aproximado da aquisição e instalação da solução nas instalações existentes. Este custo é chamado à folha de cálculo através da função *PROCV* que procura na base de dados o nome da cogeração validada e devolve o respetivo custo de investimento.

3.3 Solar Híbrido

O presente capítulo destina-se à explicitação do algoritmo de dimensionamento automático de uma instalação de painéis híbridos, criado no software Excel, que tem como objetivo a análise da possibilidade de substituir ou complementar os processos usados para a obtenção de energia térmica e elétrica.

Antes da explicitação do algoritmo é importante definir os pressupostos, além dos já definidos, sobre os quais assenta a análise, nomeadamente:

- Ausência de sombreamento no local de instalação.
- Painéis Híbridos com inclinação de 35° em relação à superfície e orientados a sul.
- Instalação analisada com capacidade para armazenar água a temperaturas que rondem os 65°C de forma a que diminua o risco de contaminação por organismos patogénicos, por exemplo legionella, e simultaneamente não ponha em causa a segurança do próprio sistema devido à formação de vapor.
- Capacidade de injeção de energia elétrica na rede pública.
- Instalação com ausência de necessidades térmicas em dois meses, no máximo.

Tendo já os pressupostos definidos, é também importante referir as especificações do painel em análise, representadas na tabela 3.1. De referir que este foi o painel escolhido na medida em que não existem muitas soluções semelhantes no mercado e é o comercializado pela entidade onde foi realizada a dissertação.

Tabela 3.1 Características técnicas do painel híbrido utilizado no algoritmo.

Material das células	Silício mono-cristalino
Área de abertura	1,88 m ²
Potência elétrica	350 W
V _{mpp}	39,18 V
I _{mpp}	8,98 A
V _{oc}	48,82 V
I _{sc}	9,73 A
NOCT	45°C
δV _{oc}	-0,33% / °C
δI _{sc}	0,06% / °C
δP _{max}	-0,41% / °C
Rendimento ótico	0,7
α ₁	5,98 W/ (m ² . K)
α ₂	0,00 W/ (m ² . K)

Iniciando a explicitação do algoritmo, pode afirmar-se, de forma geral, que este determina, a partir da matriz de potências elétricas e da matriz energética, o número de painéis que visam satisfazer as necessidades elétricas, N_E , e térmicas, N_T , em cada mês, respetivamente. Seguidamente, esse número de painéis é reduzido a uma única hipótese, N . Se for igual a zero a substituição não deverá ser equacionada. Se for superior, terá de ser validada segundo dois critérios que adiante se definem. Na figura 3.5 apresenta-se o esquema inicial do mesmo.

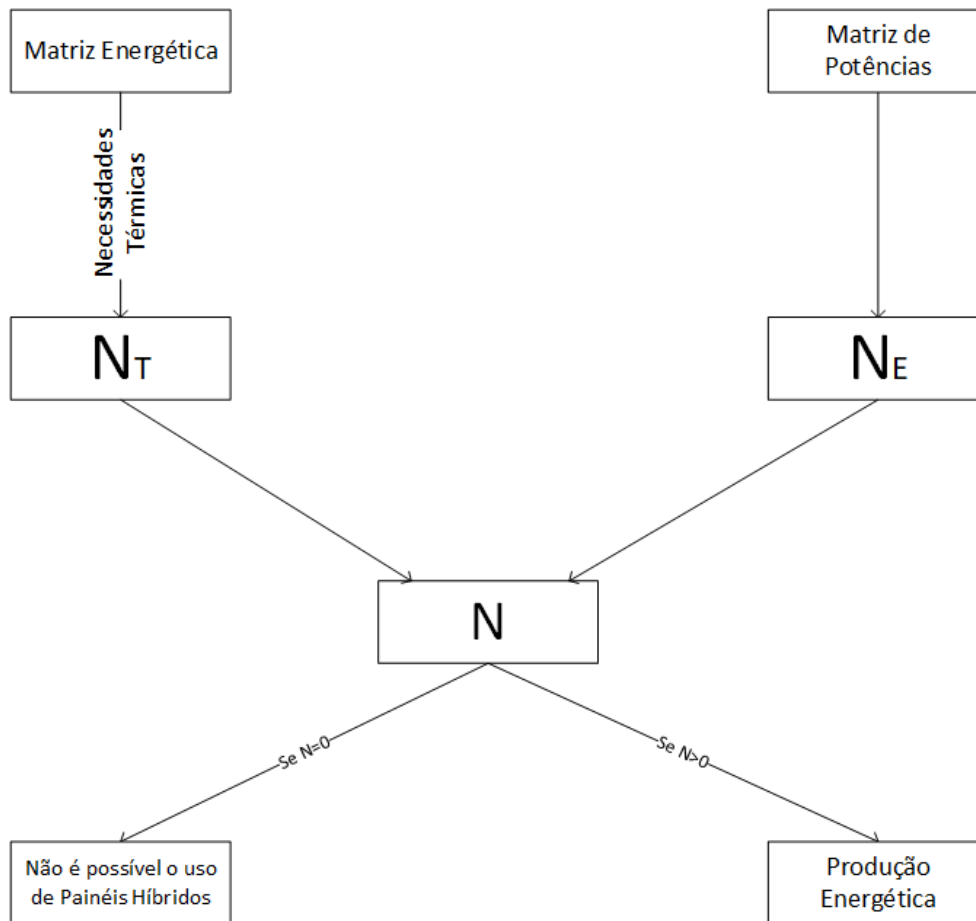


Figura 3.5 Representação esquemática da etapa inicial de dimensionamento da tecnologia solar híbrido.

Para o uso do algoritmo, foi necessária a criação de uma base de dados no software Excel. O dimensionamento de uma instalação solar implica que se possuam dados sobre a radiação solar no local de análise, na medida em que a intensidade da radiação varia consoante o mesmo. Deste modo, o dimensionamento está dependente do sítio escolhido e, como referido na secção 1 do capítulo 3, na presente dissertação selecionaram-se apenas dois locais de Portugal continental: Porto e Lisboa.

Um painel, seja ele fotovoltaico ou térmico, pode ser analisado segundo uma série de características técnicas como as explicitadas na revisão bibliográfica, sendo que todas elas contribuem para o seu desempenho. Assim, para se calcular a produção de energia de um determinado painel num determinado local devem-se considerar essas características. Normalmente, de forma a ter em conta todas as variáveis, a produção energética é determinada em simuladores que relacionam a disponibilidade solar e as condições climáticas com o desempenho do painel, tornando o dimensionamento mais fácil e preciso. Por isso, com vista a ter em conta todas as variáveis referidas utilizou-se o

SCE.ER – Dados e cálculos para o aproveitamento de Energias Renováveis em Edifícios. Esta ferramenta é disponibilizada pela Direção Geral da Energia e Geologia que indica ser este o software a usar para estimar a energia produzida por sistemas solares térmicos ou fotovoltaicos. A versão utilizada foi a 1.7.0 que data de 10 de janeiro de 2020 e com ela estimaram-se as produções mensais com base nas características técnicas do equipamento apresentado, representadas na tabela 3.2.

Tabela 3.2 Produção térmica e elétrica mensal para os locais em análise.

	Produção elétrica mensal (kWh)		Produção térmica mensal (kWh)	
	Porto	Lisboa	Porto	Lisboa
Janeiro	29	36	77	101
Fevereiro	37	29	99	109
Março	52	53	145	148
Abril	57	58	165	165
Maio	62	62	170	170
Junho	66	65	180	178
Julho	68	68	199	203
Agosto	65	64	204	203
Setembro	57	57	177	183
Outubro	43	46	126	140
Novembro	32	37	91	111
Dezembro	22	28	60	80

A partir desses dados e utilizando o respetivo número de dias mensais determinaram-se para cada mês e localidade, as quantidades médias de energia térmica e elétrica produzidas diariamente, representadas na tabela 3.3. É importante obter a produção média diária uma vez que o número introduzido de dias de consumo pode não corresponder ao período exato de um mês.

Tabela 3.3 Produção térmica e elétrica média diária para os locais em análise.

	Produção elétrica diária (kWh)		Produção térmica diária (kWh)	
	Porto	Lisboa	Porto	Lisboa
Janeiro	0,94	1,16	2,48	3,26
Fevereiro	1,32	1,04	3,54	3,89
Março	1,68	1,71	4,68	4,77
Abril	1,90	1,93	5,50	5,50
Maio	2,00	2,00	5,48	5,48
Junho	2,20	2,17	6,00	5,93
Julho	2,19	2,19	6,42	6,55

Tabela 3.3 Produção térmica e elétrica média diária para os locais em análise (continuação).

	Produção elétrica diária (kWh)		Produção térmica diária (kWh)	
	Porto	Lisboa	Porto	Lisboa
Agosto	2,10	2,06	6,58	6,55
Setembro	1,90	1,90	5,90	6,10
Outubro	1,39	1,48	4,06	4,52
Novembro	1,07	1,23	3,03	3,70
Dezembro	0,71	0,90	1,94	2,58

Além da energia produzida diariamente em cada local e mês, determinou-se um fator de correção que relaciona as horas de sol com as horas de ponta e cheia e que será usado na determinação das necessidades elétricas nos períodos de luz solar. Os períodos de luz solar só coincidem com períodos de ponta e de cheia. Desta forma, sabendo o número de horas de luz solar, a hora de nascer do sol e o intervalo horário que comporta os períodos de ponta e cheias, calcula-se, para cada mês e através da equação 3.5, um fator de correção que permite transformar, de forma aproximada, a energia gasta em pontas e cheias em energia gasta em períodos solares.

$$F_{sol_mês} = \frac{H_{sol_pontas_cheias_mês}}{H_{pontas_cheias_mês}} \quad (\text{Equação 3.5})$$

Em que:

- $H_{sol_pontas_cheias_mês}$ – Horas de sol diárias em períodos de ponta e cheias.
- $H_{pontas_cheias_mês}$ – Horas diárias em período de pontas e cheias

Em primeiro lugar, calcula-se, para cada mês, o número de horas de sol em períodos de ponta e cheias. Para o efeito usam-se os dados presentes nas tabelas B.1 e B.2 do anexo B, e o tempo por dia nos respetivos períodos, presentes na tabela A.2. Desta forma, verificam-se, para cada mês e para cada ciclo horário, o número de horas comum entre horas solares e os referidos períodos. Usando como exemplo o mês de março no ciclo diário verifica-se que o período de ponta e cheias ocorre entre as 8 e as 22h. Por sua vez, em março, o dia nasce às 6:45 e o período de luz solar tem a duração de 12 horas. A

interceção destes dois períodos resulta no número de horas diárias em pontas e cheias e que têm exposição solar, ou seja, 10:45h. Na tabela 3.4 encontram-se representados os restantes valores para os diversos meses e ciclos.

Tabela 3.4 Número de horas de sol em períodos de ponta e cheia nos diversos meses em função dos diferentes ciclos de consumo de energia.

	Ciclo Diário	Ciclo Semanal	Ciclo Semanal Opcional
Janeiro	9,25	9,5	9,5
Fevereiro	10	10,5	10,5
Março	10,45	11,75	11,25
Abril	12,5	13,5	13
Maio	12,75	13,75	13,25
Junho	13	14	13,5
Julho	12,75	13,75	13,25
Agosto	12,25	13,25	12,75
Setembro	11,75	12,5	12,25
Outubro	10,5	11	11
Novembro	9,25	10	9,75
Dezembro	9,25	9,5	9,5

Em segundo lugar, calcula-se o somatório de horas diárias em períodos de ponta e cheias, que dependem do ciclo e do mês. Desta forma, a partir da equação 3.5, obtém-se os fatores de correção presentes na tabela 3.5.

Tabela 3.5 Fatores correccionais para os diferentes meses e ciclos de fornecimento.

	Ciclo diário	Ciclo Semanal	Ciclo Semanal Opcional
Janeiro	0,66	0,54	0,56
Fevereiro	0,71	0,59	0,62
Março	0,77	0,60	0,66
Abril	0,89	0,74	0,76
Maio	0,91	0,75	0,78
Junho	0,93	0,76	0,79
Julho	0,91	0,75	0,78

Tabela 3.5 Fatores correccionais para os diferentes meses e ciclos de fornecimento (continuação)

	Ciclo diário	Ciclo Semanal	Ciclo Semanal Opcional
Agosto	0,88	0,72	0,75
Setembro	0,84	0,69	0,72
Outubro	0,75	0,62	0,65
Novembro	0,66	0,54	0,57
Dezembro	0,66	0,54	0,56

De referir que, no presente cálculo, são feitas aproximações na medida em que só se consideram dias uteis e as horas relativas aos períodos solares são também valores aproximados. É importante também referir que os dados solares são relativos à cidade de Coimbra, uma vez que se situa entre as localidades analisadas na dissertação.

Desta forma, pela multiplicação da energia elétrica gasta em períodos de pontas e cheias pelo respetivo fator, calculam-se as necessidades energéticas em períodos de sol para o respetivo mês. A função 3.11 foi a usada para proceder a este cálculo. A função SOMA realiza o somatório da energia de pontas e cheias do respetivo mês e a função PROCV lê o mês em análise e devolve o respetivo fator de correção.

=SOMA (EnergiaPontasCheias) *PROCV (Mês; TabelaFatoresC)	Função 3.11
--	-------------

3.3.1 Energia Elétrica - Determinação de N_E

Começando pela vertente elétrica, é feito, a partir da matriz de potências elétricas e para cada mês, o cálculo da potência média nos períodos de pontas e cheias, definida por $P_{média_mês}$, na medida em que as horas de luz solar só coincidem com estes períodos. Tendo em conta que o número de horas de ponta é diferente do número de horas de cheia é necessário que o cálculo de $P_{média}$ seja feito através de uma média ponderada, de acordo com a equação 3.6.

$$P_{média_mês} = \frac{h_p_mês}{(h_p+h_c)_mês} * P_{ponta_mês} + \frac{h_c_mês}{(h_p+h_c)_mês} * P_{cheia_mês} \quad (\text{Equação 3.6})$$

Em que:

- $h_{p_mês}$ – Horas diárias em período de pontas do respectivo mês.
- $h_{c_mês}$ – Horas diárias em período de cheias do respectivo mês.
- $P_{ponta_mês}$ – Potência média do período de pontas do respectivo mês.
- $P_{cheia_mês}$ – Potência média do período de cheia do respectivo mês.

Sabendo que o número de horas em cada período depende do ciclo e do mês em análise, a função que determina $P_{média_mês}$ deve ter isso em conta e desta forma estar indexada às referidas variáveis. Assim, usando os dados da tabela A.2, determina-se o valor pretendido através da função 3.12.

<pre>=SE (OU (Mês="janeiro"; Mês="fevereiro"; Mês="setembro"; Mês="outubro"; Mês="novembro"; Mês="dezembro");(PotênciaPonta*HorasPontaI/(HorasPontaI+Horas CheiaI)+('PotênciaCheia*HorasCheiaI/(HorasCheiaI+HorasPontaI))); (PotênciaPonta*HorasPontaV/(HorasPontaV+HorasCheiaV)+('Potênci aCheia*HorasCheiaV/(HorasCheiaV+HorasPontaV))))</pre>	<p>Função 3.12</p>
--	--------------------

Em linguagem corrente a função pode-se traduzir por: se o mês em análise for um dos meses do horário legal de inverno, a $P_{média}$ do mês a analisar calcula-se com as horas de ponta e cheia de inverno. Se o mês a analisar pertencer ao horário legal de verão, $P_{média}$ calcula-se a partir das horas de ponta e cheia de verão. De notar que neste cálculo é feita uma simplificação na medida em que são apenas consideradas horas em dias uteis e ainda que estas se encontram indexadas, no software Excel, ao ciclo.

Depois de se calcularem os valores de $P_{média}$ correspondentes a cada mês, determina-se, através da equação 3.7, o respectivo número de painéis que seria indicado instalar pela vertente elétrica nesse período, definido por N_E .

$$N_E = \frac{P_{média_mês}}{Potência\ Elétrica\ max} \quad (\text{Equação 3.7})$$

O número de painéis em cada mês é calculado dividindo $P_{média_mês}$ pela potência elétrica máxima do painel em análise. Esta é determinada em condições de teste e submetendo os painéis a uma irradiação de 1000 W/m². Na prática, é altamente improvável que se alcance este nível na superfície do painel. Além disso, mesmo que se verificasse, e seria nos meses de maior radiação, a temperatura do painel seria superior à temperatura de teste e a sua eficiência por consequência diminuiria. Tendo em conta que nos pressupostos do dimensionamento não se considerou existir acumulação de energia elétrica, a determinação do número de painéis é então feita com a potencia máxima do painel, de forma a não haver excedente produtivo e por consequência a rentabilizar o investimento no menor tempo possível. Determina-se assim, pela vertente elétrica, o número indicado de painéis para cada mês, garantindo que não se verifica excesso de produção em nenhum dos meses independentemente da disponibilidade de irradiação.

3.3.2 Energia Térmica – Determinação de N_T

O cálculo do número de painéis feito pela vertente térmica é iniciado pela determinação da energia das necessidades térmicas. Partindo da matriz energética inicial multiplica-se a energia consumida em cada mês pelo rendimento da tecnologia atualmente utilizada. Desta forma, obtidas as necessidades térmicas mensais, a determinação do número de painéis, definido por N_T é conseguida através da equação 3.8.

$$N_T = \frac{\text{Necessidades Térmicas } mês}{\text{Dias consumo}_{mês} * \text{Energia térmica diária } mês} \quad (\text{Equação 3.8})$$

A determinação de N_E é feita pela potência, uma vez que a energia elétrica produzida só dá cobertura aos períodos em que há radiação solar. No entanto, a energia térmica é relativamente fácil de acumular não sendo assim necessária a produção e gasto simultâneo. No software Excel, para determinar o número de painéis que se ajusta a cada mês é usada a função 3.13.

<pre>=SE (Local introduzido = Porto; ARRED.DEFEITO.MAT (NecessidadeTérmica_Mês/ PROCV (Mês; 'Tabela_EnergiaT_Porto') * Dias consumo mês); ARRED.DEFEITO.MAT (NecessidadeTérmica_Mês / (PROCV (Mês; 'Tabela_EnergiaT_Lisboa') * Dias consumo mês))</pre>	Função 3.13
---	-------------

3.3.3 Determinação de N

Após se determinarem, separadamente, o número de painéis indicado para cada mês, é necessário determinar a quantidade de painéis a instalar, tendo em conta que, na prática, esta não é mensalmente variável.

Desta forma, seleciona-se, através da função 3.14, o menor número de painéis obtido para cada mês, garantido assim que a produção de energia não ultrapassa as necessidades.

<pre>=SE ($N_E > N_T$; N_T; N_E)</pre>	Função 3.14
--	-------------

Esta função, significa que se o número de painéis dimensionado pela vertente elétrica for maior que o número dimensionado pela térmica, o número escolhido deverá ser o da vertente térmica. Se essa condição não se verificar, deverá ser escolhido o número resultante do dimensionamento elétrico.

Embora se tenham reduzido o número de painéis para metade, é necessário chegar a um único número, N, que depois sofrerá um processo de validação. A redução do número faz-se por via da função 3.15 que determina, de forma arredondada e por defeito, o número de painéis pela média dos 3 menores números obtidos nos meses em análise. São apenas selecionados os 3 menores números na medida em que a determinação não deve ser feita tendo em conta o valor de um único mês, dado que este pode representar um mês atípico por defeito.

<pre>=ARRED.PARA. BAIXO ((SOMA (MENOR (Nº_Paineis; {1;2;3}))) /3;0)</pre>	Função 3.15
---	-------------

Determinado o número de painéis indicado para os consumos introduzidos, N, é necessário proceder á sua validação.

3.3.4 Validação de N

Neste caso, como referido nos pressupostos do dimensionamento, é apenas possível acumular energia térmica. Enquanto que o excesso de energia elétrica produzida pode ser imediatamente introduzido na rede, se o excesso de energia térmica não for corretamente dissipado poderá por em causa a segurança do sistema de produção. Desta forma, devem-se definir critérios que diminuam ao máximo o risco de sobre dimensionamento, na medida em que, ao contrário da cogeração, por exemplo, os painéis híbridos não têm capacidade de se moldar às necessidades. Os critérios de validação são dois:

1º Critério: a cobertura total não deve ser superior a 110%, entendendo-se por cobertura a percentagem de energia produzida em relação às necessidades. Este limite é indicado pela marca fornecedora dos painéis no seu software de dimensionamento. Tendo em conta que este critério atua só sobre a produção total de energia, é necessário, pela razão atrás explicitada, definir um outro critério de validação destinado especificamente à produção térmica.

2ª Critério: a produção térmica poderá ser, no máximo, 15% superior às necessidades. Assume-se este valor como um fator limite de forma a que a água, que se pode encontrar armazenada a temperaturas que rondam os 65°C, não corra o risco de formar vapor e colocar em causa a segurança do sistema.

É então necessário verificar se o número de painéis determinados anteriormente cumpre os critérios estabelecidos e, se não cumprir, fazer uma nova determinação.

Para se determinarem as coberturas térmicas e totais, é necessário, antes de mais, que se determinem as produções energéticas proporcionadas pelo número de painéis anteriormente calculado. Como referido, as quantidades de energia produzidas dependem significativamente da radiação disponível e do local da instalação, devendo-se ter em conta as duas variáveis. Assim, a produção elétrica para cada mês pode ser determinada através da equação 3.9 e transcrita para o software Excel, tendo em conta as variáveis atrás definidas, pela função 3.16.

$$\begin{aligned}
 & \textit{Produção elétrica} = \\
 & = N * \textit{Dias consumo}_{\textit{mês}} * \textit{Energia elétrica diária}_{\textit{mês}}
 \end{aligned}
 \tag{Equação 3.9}$$

=SE (Local="Porto"; N°_Paineis*Dias consumo mês*PROCV (Mês; 'Tabela_EnergiaE_Porto'); N°_Paineis*Dias consumo mês*PROCV (Mês; 'Tabela_EnergiaE_Lisboa'))	Função 3.16
--	-------------

Do mesmo modo para a produção térmica, calculada pela equação 3.10 e transcrita pela função 3.17:

$$\begin{aligned} & \textit{Produção térmica} = \\ & = N * \textit{Dias consumo}_{\textit{mês}} * \textit{Energia térmica diária}_{\textit{mês}} \end{aligned} \quad (\text{Equação 3.10})$$

=SE (Local="Porto"; N°_Paineis*Dias consumo mês*PROCV (Mês; 'Tabela_EnergiaT_Porto'); N°_Paineis*Dias consumo mês*PROCV (Mês; 'Tabela_EnergiaT_Lisboa'))	Função 3.17
--	-------------

Tanto para uma como para outra, ambas as funções podem ser traduzidas para linguagem corrente da seguinte forma: se o local de produção for o Porto, a energia produzida é calculada pela multiplicação do número de painéis pelos dias de consumo e pela energia, térmica ou elétrica, produzida diariamente no Porto, dada pela tabela 3.3. Se o local de produção for Lisboa, a energia produzida é calculada de forma semelhante, no entanto com a energia produzida diariamente associada a Lisboa, também dada pela tabela 3.3.

Já a produção total é definida como a soma, para cada mês, das duas parcelas anteriormente explicitadas.

Depois de se determinarem a produção térmica, elétrica e total podem-se determinar as respectivas coberturas, dividindo as produções de cada mês pelas respectivas necessidades. De notar que para o caso da cobertura elétrica e total, as necessidades elétricas consideradas são apenas as que ocorrem em período de luz solar, ou seja, terá de ser utilizado o fator de correção.

Após se determinarem os *outputs* energéticos e as respectivas coberturas, é possível validar o número de painéis através dos critérios definidos. Para o efeito, foi determinado para cada mês o número de painéis máximo que obedece a cada critério. Se o número obtido

para um determinado mês for superior a N, mantém-se o número original. Por outro lado, se o número que obedece ao referido critério é menor que o número de painéis original significa que o determinado inicialmente não cumpria a exigência e é então substituído.

O critério 1 define que a cobertura total em cada mês não deverá ser superior a 110%. Desta forma, para determinar o número de painéis que em cada mês obedece ao referido critério, definido por NPainéis1, utiliza-se a equação 3.11.

$$NPainéis1_{mês} = \frac{Necessidades\ Totais_{mês} * 1.1}{Dias\ consumo_{mês} * Energia\ total\ diária_{mês}} \quad (\text{Equação 3.11})$$

Onde,

- $Necessidades\ Totais_{mês}$ – Soma das necessidades térmicas com as necessidades elétricas em períodos de sol do respetivo mês.
- $Energia\ total\ diária_{mês}$ – Soma das energias térmica e elétrica produzidas diariamente do respetivo mês.
- $Dias\ consumo_{mês}$ – Período de consumo no respetivo mês.

O raciocínio acima indicado foi traduzido para o software Excel através da função 3.18. Tendo em conta que a energia produzida diariamente depende da localização, a função terá de ter um elemento de condição de forma a que o resultado dependa da localização introduzida.

<pre>=SE(E(CoberturaTotal>110%;'Local="Porto"); ARRED.PARA.BAIXO(((Necessidades Totais)*1,1)/(Dias consumo mês*PROCV(Mês; 'Energia_total_Porto'))); SE(E(Cobertura>110%;'Local="Lisboa"); ARRED.PARA.BAIXO(((Necessidades Totais)*1,1)/(Dias consumo mês*PROCV(Mês; 'Energia_total_Lisboa')));Número Determinado Anteriormente);</pre>	Função 3.18
--	-------------

O critério 2 define que a produção térmica de cada mês deverá ser, no máximo, 15% superior às necessidades, ou seja, a cobertura deverá ser no máximo de 115%. Desta

forma, para determinar o número de painéis que em cada mês obedece ao referido critério, definido por $NPainéis2$, utiliza-se a equação 3.12.

$$NPainéis2_{mês} = \frac{Necessidades\ Térmicas_{mês} * 1.15}{Dias\ consumo_{mês} * Energia\ térmica\ diária_{mês}} \quad (\text{Equação 3.12})$$

Onde,

- $Necessidades\ Térmicas_{mês}$ - Necessidades térmicas do respetivo mês.
- $Energia\ térmica\ diária_{mês}$ - Energia térmica produzida diariamente no respetivo mês.
- $Dias\ consumo_{mês}$ - Período de consumo no respetivo mês.

Em termos do software Excel, a lógica é demonstrada pela função 3.19.

<pre>=SE(E(Cobertura Térmica>115%;'Local="Porto"); ARRED.PARA.BAIXO(((Necessidades Térmicas)*1,15)/(Dias consumo mês*PROCV(Mês; "Tabela_EnergiaT_Porto")));SE(E(Cobertura térmica>110%;'Local="Lisboa"); ARRED.PARA.BAIXO(((Necessidades Térmicas)*1,15)/(*Dias consumo mês*PROCV(Mês; 'Tabela_EnergiaT_Lisboa')));Número Determinado Anteriormente);</pre>	<p>Função 3.19</p>
---	--------------------

Tendo em conta que para cada mês se obtém um número de painéis que obedeça a cada um dos critérios, é necessário definir um único número passível de ser validado. Assim, define-se o número validado como sendo o menor número diferente de 0 presente nas 24 hipóteses, definido como N_V . O raciocínio atrás explicito pode ser transcrito para o software Excel pela função 3.20 e representado esquematicamente pela figura 3.6, e que tem também em conta o pressuposto de existirem necessidades térmicas em pelo menos 10 meses

=SE(Número_de_0>2;0; MENOR (24 hipóteses; Número_de_0+1)	Função 3.20
--	-------------

Se N_V apresentar o mesmo valor que N , então mantêm-se a determinação feita anteriormente, se não o novo número determinado é N_V .

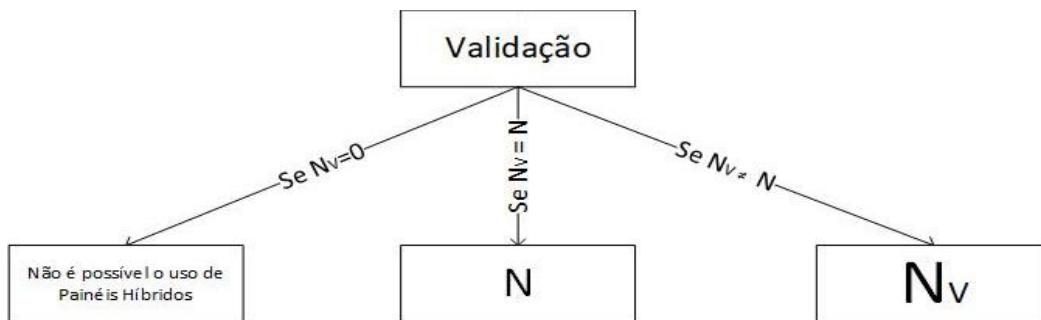


Figura 3.6 Representação esquemática da validação do número de painéis híbridos.

Apresenta-se agora o esquema completo e que corresponde às etapas descritas anteriormente.

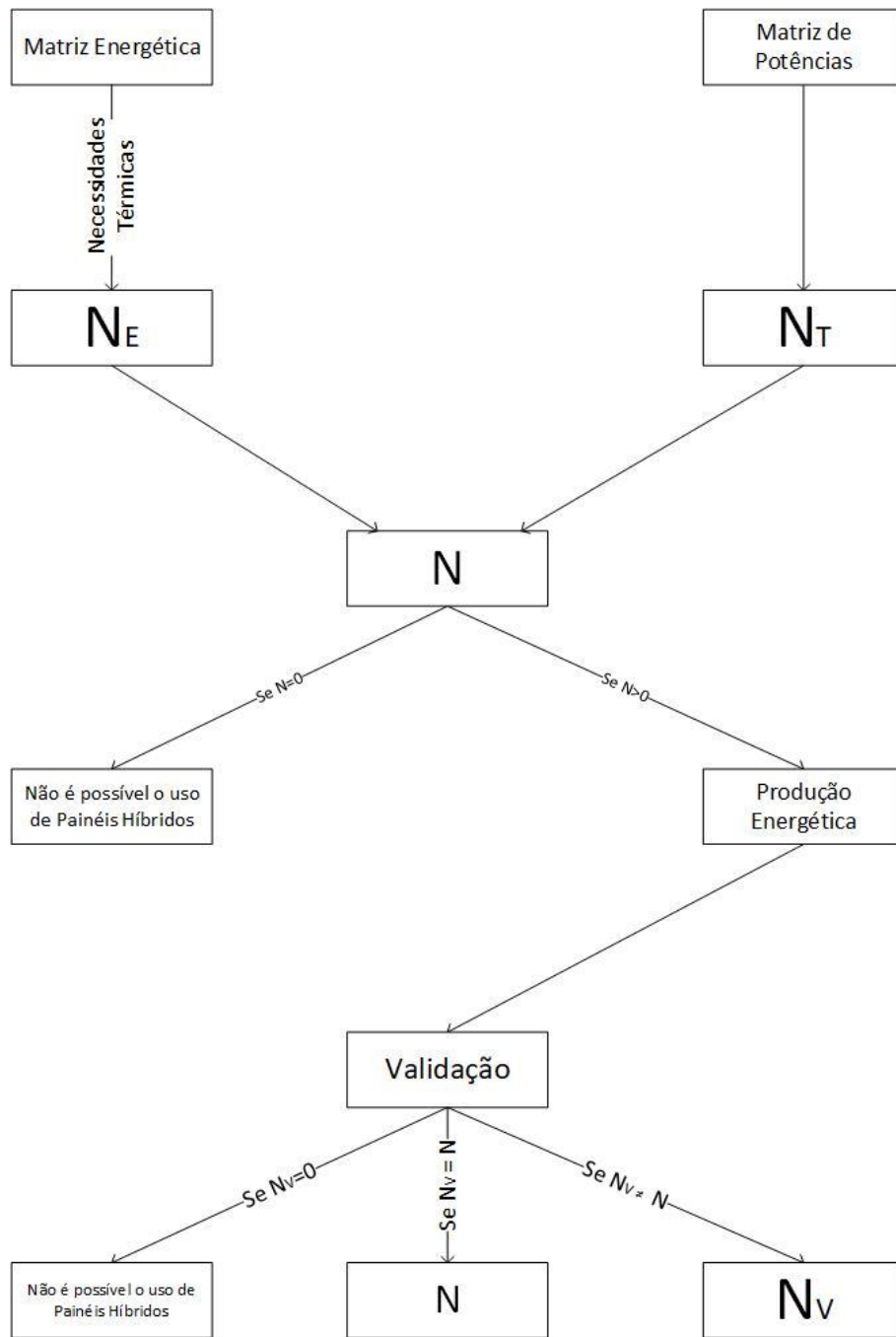


Figura 3.7 Esquema representativo da determinação do número de painéis solares híbridos.

3.3.5 Avaliação económica

Após se validar o número de painéis, procede-se à avaliação económica do investimento.

Os custos operacionais que se associam a este tipo de tecnologia são custos de manutenção. Estes têm o valor de 12 € numa base anual e por painel e correspondem a

duas visitas anuais à instalação nas quais é feita uma limpeza e revisão dos seus elementos. Neste caso específico é necessário inspecionar a parte hidráulica e elétrica.

Os proveitos operacionais são determinados pela multiplicação da produção térmica e elétrica consumida pelas respectivas taxas. A produção energética de cada mês em análise é determinada pelas funções 3.16 e 3.17, tendo em conta que a multiplicação se faz agora pelo número de painéis validados. A tarifa térmica é calculada pelo quociente entre a tarifa do combustível atualmente usado e o rendimento do produtor térmico a substituir ou complementar. Já a tarifa elétrica é determinada por uma média das tarifas de pontas e de cheias, na medida em que será nestes períodos em que haverá cobertura elétrica. Só pode ser considerada como proveito operacional a energia que é efetivamente consumida. Para o efeito, de forma a impor essa condição usam-se as coberturas, agora calculadas com o número validado de painéis. Se a cobertura de um determinado mês for igual ou inferior a 100%, o proveito operacional desse mês é calculado multiplicando a energia produzida pela respetiva tarifa, seja ela térmica ou elétrica. Se por sua vez for superior a 100%, o proveito operacional é calculado pelo produto das necessidades pela respetiva tarifa. No software Excel, o cálculo é efetuado através da função 3.21.

=SE (Cobertura <=100%; Produção*Tarifa; Necessidades*Tarifa)	Função 3.21
--	-------------

Quanto aos custos de investimento existe apenas uma rubrica, onde se tem em conta o custo dos painéis e da sua instalação. O valor definido é de 820 € e é unitário, ou seja, para se obter o custo de um parque de painéis híbridos e da sua instalação é necessário multiplicar pelo número de unidades. Este tem em conta o custo da bancada de painéis e dos equipamentos que se associam às partes elétrica e hidráulica. Com vista a proteger a instalação do excesso de produção, no custo da instalação está também incluído a instalação de um sistema de segurança.

O cálculo dos resultados acumulados inicia com o custo de investimento ao qual se somam, em cada ano, o resultado operacional, podendo obter assim os valores do valor atualizado líquido e taxa interna

3.4 Solar Fotovoltaico

3.4.1 Introdução

O presente capítulo destina-se à explicitação do algoritmo de dimensionamento de instalações de produção de energia fotovoltaica, criado no Software Excel, que tem como objetivo a análise da possibilidade de complementar a obtenção de energia elétrica. De uma forma geral, e como representado na figura 3.8, o número de painéis é determinado a partir da matriz de potências elétricas. Antes da explicitação do algoritmo é importante definir os pressupostos, além dos já definidos, sobre os quais assenta a análise, nomeadamente:

- Ausência de sombreamento da instalação.
- Painéis fotovoltaicos com inclinação de 35° em relação à superfície da terra e orientados a sul
- Capacidade de injeção de energia elétrica na rede pública.

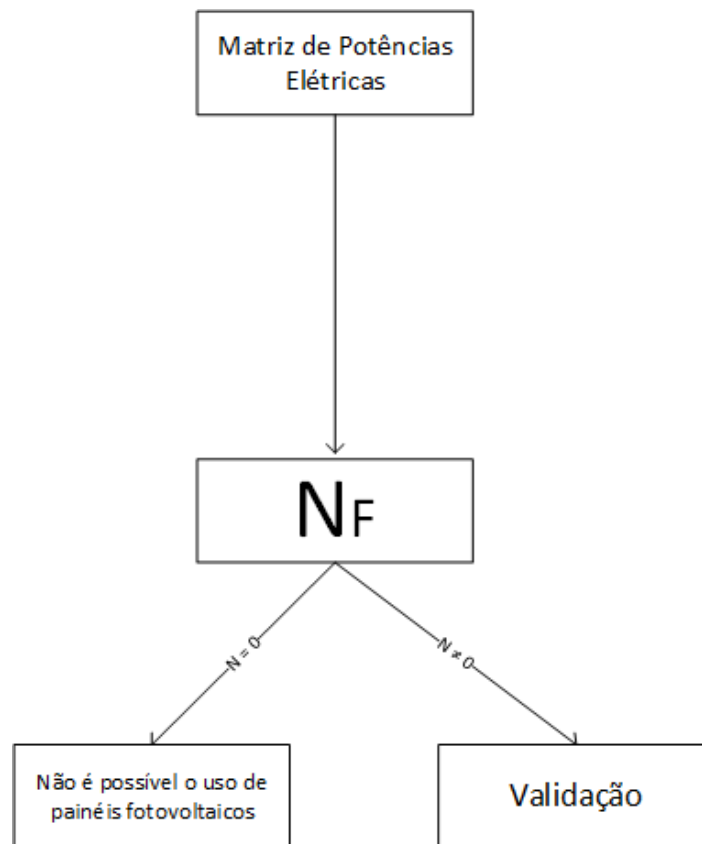


Figura 3.8 Diagrama representativo da determinação do número de painéis fotovoltaicos.

Ao contrário das restantes tecnologias analisadas na dissertação, aqui não existe uma etapa de validação, porque ainda que haja excesso de produção este não põe em risco a segurança de todo o sistema.

O uso do algoritmo implica a criação de uma base de dados onde se incluem elementos indispensáveis ao dimensionamento, como os fatores correccionais e a produção diária de um painel para os diversos meses e para as duas localidades analisadas. Como escrito anteriormente, a produção solar depende da radiação solar e por isso da localidade. No entanto, depende também das características do próprio painel que influenciam significativamente o seu desempenho. A quantidade de painéis existentes no mercado é elevada e por isso, para a presente dissertação, considerou-se apenas um painel que se constitui como uma opção de nível médio, podendo, desta forma, servir de referência para análises qualitativas dos resultados.

A determinação da quantidade de energia produzida tornar-se-ia difícil e imprecisa sem o uso de um simulador. Assim, usou-se novamente o SCE.ER, disponibilizado pela Direção Geral de Energia e Geologia, para estimar as quantidades mensais.

Assim, depois de um estudo de mercado e por forma a representar a opção fotovoltaica de nível médio, foram introduzidos no SCE.ER as características técnicas demonstradas na tabela 3.6.

Tabela 3.6 Características técnicas do painel fotovoltaico utilizado no algoritmo.

Característica	Valor
Área	1,94 m ²
Potência	300W
Material das Células	Silício-monocristalino
Voc	44,62 V
Vmp	37,62 V
Imp	7,98 A
Isc	8,56 A
NOCT	47 °C
δVoc	-0,35% / °C
δIsc	0,06% / °C
δPmax	-0,4% / °C

A partir dos dados técnicos introduzidos e do local selecionado no software, que define a disponibilidade de radiação e as condições atmosféricas, obtiveram-se os valores mensais de produção, para Porto e Lisboa, representados na tabela 3.7.

Tabela 3.7 Produção elétrica mensal para os locais em análise.

Produção elétrica mensal (kWh)		
	Porto	Lisboa
Janeiro	25	31
Fevereiro	32	33
Março	45	45
Abril	49	50
Maio	53	53
Junho	57	56
Julho	58	58
Agosto	56	55
Setembro	49	50
Outubro	37	40
Novembro	28	32
Dezembro	19	25

A partir destes, foi calculada a produção diária média associada a cada mês, dividindo os valores acima representados pelo respetivo número de dias do mês. Assim, na base de dados encontram-se presentes os dados que se referem à produção média diária, representada na tabela 3.8.

Tabela 3.8 Produção média diária de energia elétrica para os locais em análise.

Produção elétrica média diária (kWh)		
	Porto	Lisboa
Janeiro	0,81	1,00
Fevereiro	1,14	1,18
Março	1,45	1,45
Abril	1,63	1,67
Maio	1,71	1,71
Junho	1,90	1,87
Julho	1,87	1,87
Agosto	1,81	1,77
Setembro	1,63	1,67
Outubro	1,19	1,29
Novembro	0,93	1,07
Dezembro	0,61	0,81

3.4.2 Determinação de N_F

A partir do momento que se possuem dados sobre a produção elétrica é possível realizar o dimensionamento. No caso dos painéis fotovoltaicos, como visto na figura 3.8, o dimensionamento inicia-se a partir da matriz de potências elétricas. A potência elétrica correspondente a cada mês é determinada de forma igual à explicitada no dimensionamento dos painéis híbridos, ou seja, através de uma média ponderada entre as potências de pontas e cheias, sendo novamente definida como $P_{média_mês}$.

Após se estimar $P_{média_mês}$, é possível determinar o número de painéis fotovoltaicos que lhe corresponde, através da equação 3.13.

$$N_{F_mês} = \frac{P_{média_mês}}{Potência\ Elétrica\ max} \quad (\text{Equação 3.13})$$

Após se determinar o número indicado de painéis para cada mês, é necessário estabelecer apenas uma solução. Assim, definiu-se que o número de painéis fotovoltaicos, N_F , seria a média dos três menores números, por forma a que o excedente de produção elétrica fosse o menor possível. Assim, para se obter esse valor no software Excel, usou-se a função 3.22. Se a determinação de N_F fosse feita escolhendo apenas uma das soluções, haveria o risco de representar uma situação atípica. Mesmo determinando N_F através da média dos três menores números, se existir uma grande disparidade de valores entre as potências dos respetivos meses pode haver um excesso de produção significativo em algum desses 3 meses. No entanto, é compensatório na medida em que nos restantes meses do ano não ocorrerá produção em excesso.

=ARRED.PARA. BAIXO ((SOMA (MENOR (Nº_Paineis; {1;2;3}))) /3;0)
--

Função 3.22

3.4.3 Avaliação económica

Após se determinar o número de painéis fotovoltaicos, procede-se à avaliação económica do investimento.

Os custos operacionais relativos a este tipo de tecnologia são custos de manutenção. Estes apresentam o valor de 10 € numa base anual e por painel e correspondem a duas visitas anuais à instalação nas quais é feita uma limpeza e revisão dos seus elementos.

Para se calcularem os proveitos operacionais é necessária a determinação da produção elétrica de cada mês em análise. Esta é calculada, pela equação 3.14, que se integra no software Excel pela função 3.23, e que pode ser lida como: se o local escolhido for a cidade do Porto, a energia calculada é o resultado do produto do número de painéis pelo número de dias de consumo e pela energia elétrica produzida diariamente no respetivo mês. Se o local introduzido não for o Porto, ou seja, se for a cidade de Lisboa, o cálculo procede-se da mesma forma, no entanto com valores de energia associados a esta cidade.

$$\begin{aligned} \text{Produção elétrica} = \\ = N_F * \text{Dias consumo}_{\text{mês}} * \text{Energia elétrica diária}_{\text{mês}} \end{aligned} \quad (\text{Equação 3.14})$$

=SE (Local="Porto"; N°_Paineis*Dias consumo mês*PROCV (Mês; 'Tabela_EnergiaE_Porto'); N°_Paineis*Dias consumo mês*PROCV (Mês; 'Tabela_EnergiaE_Lisboa'))	Função 3.23
--	-------------

Após se calcular a produção energética associada a cada mês, é necessário verificar se toda essa produção é consumida e se assim pode ser considerada como poupança. Para o efeito, calcula-se a cobertura mensal através da divisão da produção pelas necessidades de energia elétrica em períodos de sol, utilizando novamente o fator de correção. Se a cobertura for igual ou inferior a 100 %, a poupança mensal é calculada pela multiplicação da produção elétrica pela tarifa. Pelo contrário, se a cobertura for superior a 100%, a poupança mensal é calculada multiplicando as necessidades elétricas pela tarifa, uma vez que a restante energia produzida é injetada na rede e não gera mais valia. De notar que a tarifa elétrica é determinada por uma média das tarifas de ponta e cheias, na medida em que será nestes períodos em que haverá cobertura energética. O raciocínio atrás explicitado é transcrito para o software Excel através da função 3.24.

=SE (Cobertura <=100%; Produção*Tarifa; Necessidades*Tarifa)	Função 3.24
--	-------------

Nos custos de investimento, define-se que o custo por painel é de 450 € e engloba o custo da bancada de painéis, de equipamentos auxiliares e da montagem. Assim para se determinar o custo total da instalação é necessário multiplicar o valor definido por N_F . São também determinados os resultados acumulados para que se possam calcular os indicadores referidos na introdução ao dimensionamento.

3.5 Solar Térmico

O presente capítulo destina-se à explicitação do algoritmo de dimensionamento de instalações de produção de energia térmica através de painéis solares térmicos, criado no Software Excel, para a substituir ou complementar a solução atualmente existente. De uma forma geral, e como representado na figura 3.9, o número de painéis é determinado a partir das necessidades térmicas sendo posteriormente validado.

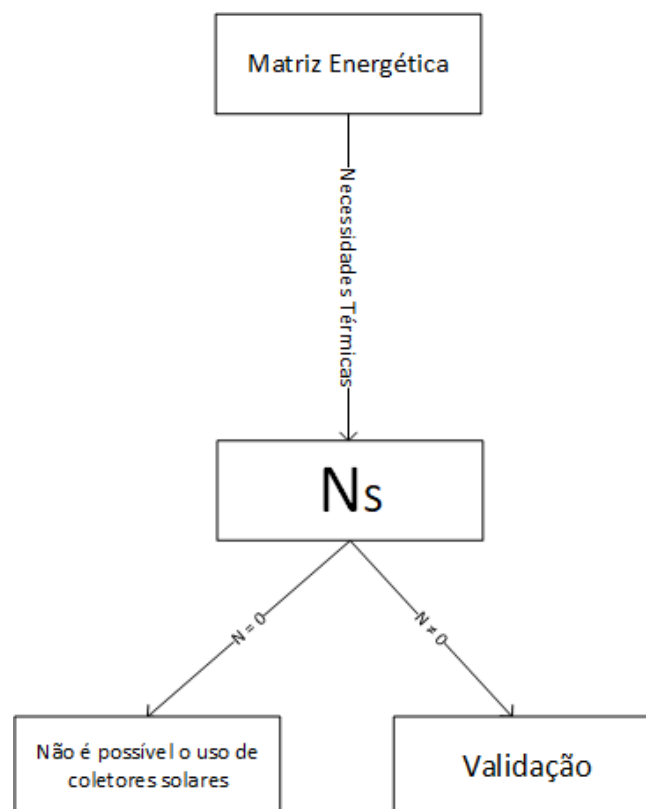


Figura 3.9 Representação esquemática da determinação do número de coletores solares térmicos

Antes da explicitação do algoritmo é importante definir os pressupostos sobre os quais assentam a análise, nomeadamente:

- Ausência de sombreamento da instalação.
- Painéis solares térmicos com inclinação de 35° em relação à superfície terrestre e orientados a sul
- A instalação analisada com capacidade para armazenar água a temperaturas que rondem os 65°C, de forma a que diminua o risco de contaminação por organismos patogénicos, por exemplo legionella, e simultaneamente não ponha em causa a segurança do próprio sistema devido à formação de vapor.
- Instalação com ausência de necessidades térmicas em dois meses, no máximo.

De forma semelhante às restantes tecnologias de produção de energia analisadas na dissertação, o dimensionamento através do algoritmo criado está associado a uma base de dados, onde, neste caso, se encontra a produção energética média diária de um painel para os diversos meses e para as duas localidades analisadas. A produção de um painel solar térmico, à semelhança de um fotovoltaico, depende essencialmente do próprio painel e das condições climáticas. Deste modo, e pelas mesmas razões evocadas no dimensionamento de instalações fotovoltaicas, definiu-se que a presente análise deve ser feita a partir de um painel que, de entre vários presentes no mercado, se constitui de nível médio de acordo com os parâmetros característicos indicados e representados na tabela 3.9.

Tabela 3.9 Características técnicas do painel fotovoltaico utilizado no algoritmo.

Características	Valor
Rendimento ótico	0,761
Área de abertura	2 m ²
α_1	3,6 W/m ² . K
α_2	0,014 W/m ² . K
Modificador ângulo de incidência	0,96

Com vista a facilitar o dimensionamento e a usar a mesma matriz das tecnologias anteriores, usou-se novamente o SCE.ER, disponibilizado pela Direção Geral de Energia e Geologia, para estimar as quantidades mensais, representadas na tabela 3.10, tendo sempre em conta as características do painel e o local selecionado.

Tabela 3.10 Produção térmica mensal para os locais em análise.

Produção térmica mensal (kWh)		
	Porto	Lisboa
Janeiro	98	127
Fevereiro	125	135
Março	180	183
Abril	202	202
Maio	209	208
Junho	218	216
Julho	238	243
Agosto	246	244
Setembro	213	220
Outubro	156	171
Novembro	114	137
Dezembro	76	101

Os consumos de energia destinados à produção térmica introduzidos na matriz energética podem não se ter realizado no espaço exato de um mês, não se devendo, por essa razão, dimensionar uma instalação através dos valores presentes na tabela anterior. Desta forma, é imperativo que se calcule a produção térmica média diária de cada mês, dividindo os valores apresentados na tabela 3.10 pelo número de dias do respetivo mês, resultando nos dados presentes na tabela 3.11.

Tabela 3.11 Produção média diária de energia térmica para os locais em análise.

Produção térmica média diária (kWh)		
	Porto	Lisboa
Janeiro	3,16	4,10
Fevereiro	4,46	4,82
Março	5,81	5,90
Abril	6,73	6,73
Maio	6,74	6,71
Junho	7,27	7,20
Julho	7,68	7,84
Agosto	7,94	7,87
Setembro	7,10	7,33
Outubro	5,03	5,52
Novembro	3,80	4,57
Dezembro	2,45	3,26

3.5.1 Determinação de N_S

Tendo-se obtido os dados relativos à produção energética do painel apresentado, é então possível realizar o dimensionamento, que se inicia a partir dos consumos de energia associada à produção térmica. Sabendo que a presente análise é feita tendo em conta a fronteira definida na introdução ao dimensionamento, os consumos energéticos de cada mês são multiplicados pelo rendimento do sistema atual de forma a que se possam obter as necessidades térmicas mensais. Estas, por sua vez, através da equação 3.15, ditam o número de painéis que seria necessário em cada mês para suprir a totalidade das necessidades térmicas.

$$N_{S_mês} = \frac{\text{Necessidades Térmicas } m\acute{e}s}{\text{Dias consumo}_{m\acute{e}s} * \text{Energia térmica diária } m\acute{e}s} \quad (\text{Equação 3.15})$$

A transcrição da equação 3.15 para o software Excel é feita de acordo com a função 3.25. No entanto, há que destacar que é necessário incluir o local de produção na medida em que a energia térmica produzida diariamente depende desse local. A função pode ser traduzida para linguagem corrente de forma igual à que calcula a produção elétrica, apenas com a diferença que neste caso a energia produzida diariamente é a térmica.

<code>=SE (Local introduzido = Porto; ARRED.DEFEITO.MAT (NecessidadeTérmica_Mês/ (PROCV (Mês; 'Tabela_EnergiaT_Porto') * Dias consumo mês); ARRED.DEFEITO.MAT (NecessidadeTérmica_Mês/ (PROCV (Mês; 'Tabela_EnergiaT_Lisboa') * Dias consumo mês))</code>	Função 3.25
---	-------------

Tendo em conta que a quantidade mensal de painéis instalados não é mensalmente variável, existe a necessidade de determinar um único número de painéis a instalar, N_S . Deste modo, definiu-se que o número de coletores solares é dado pela média, arredondada por defeito, dos 3 menores números, de forma a que o excedente de produção seja o menor possível e que o número de painéis não fosse determinado por um único resultado que poderia ser atípico por defeito. Para o efeito, foi usada, no software Excel, a função 3.26.

<code>=ARRED.PARA. BAIXO ((SOMA (MENOR (Nº_Paineis; {1;2;3}))) /3;0)</code>	Função 3.26
---	-------------

O valor de N_S dita a necessidade de validação. Se N_S for superior a zero significa que terá de ser validado. No entanto, se for nulo não é possível o uso de tecnologia solar térmica.

Nos pressupostos da análise, indica-se a possibilidade de armazenamento de energia térmica. No entanto, se a produção térmica for excessivamente superior ao consumo pode colocar em causa a segurança do sistema. Assim define-se, de forma semelhante ao estabelecido na secção 3 do capítulo 3, que em qualquer mês a produção poderá ser no máximo 15% superior às necessidades, sendo este o critério de validação. Para o aplicar, é necessário determinar a produção mensal de energia térmica, que se consegue a partir da equação 3.16 e que se integra na função 3.27. A produção mensal é determinada pelo produto de N_S pelo número de dias de consumo e pela energia produzida em média em cada dia. Tendo em conta que este último elemento depende do local de produção, a função terá de dispor de um elemento de condição de forma a que a produção dependa do local introduzido na matriz energética. Se o local for Porto, a função usa os dados de energia relativos a esta cidade. Se não for, os dados são relativos a Lisboa.

$$\begin{aligned} \text{Produção térmica} &= \\ &= N_S * \text{Dias consumo}_{\text{mês}} * \text{Energia térmica diária}_{\text{mês}} \end{aligned} \quad (\text{Equação 3.16})$$

=SE (Local="Porto"; N°_Paineis*Dias consumo mês*PROCV (Mês; 'Tabela_EnergiaT_Porto'); N°_Paineis*Dias consumo mês*PROCV (Mês; 'Tabela_EnergiaT_Lisboa'))	Função 3.27
--	-------------

3.5.2 Validação de N_S

Após se determinar a produção térmica associada a cada mês, calculam-se as respetivas coberturas energéticas, dividindo a quantidade de energia produzida pelas necessidades energéticas. Determinada a cobertura mensal dos meses em análise é então possível realizar a validação do número de painéis anteriormente determinados, N_S , ou então uma nova determinação que cumpra o critério imposto, como representado na figura 3.10.

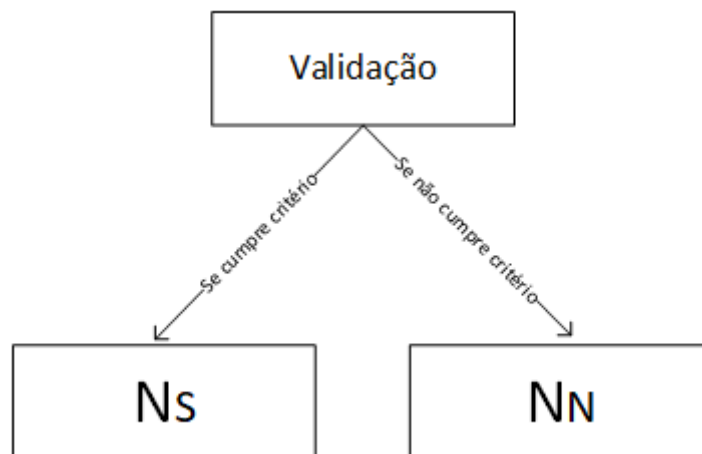


Figura 3.10 Esquema da etapa de validação da instalação de coletores solares térmicos.

Desta forma, determina-se, para cada mês e pela equação 3.17, o número de painéis que satisfaz o critério. Se este número for superior a N_S , o resultado para o mês será N_S . Se for inferior, o resultado será um novo número definido como N_N . Todo o raciocínio acima explicito pode ser traduzido para o software Excel através da função 3.28, quem tem novamente em conta que a determinação de um novo de painéis depende da localização.

$$N_N = \frac{Necessidades\ Térmicas_{mês} * 1.15}{Dias\ consumo_{mês} * Energia\ térmica\ diária_{mês}} \quad \text{(Equação 3.17)}$$

<pre> =SE(E(Cobertura >115%;'Local="Porto");ARRED.PARA.BAIXO(((Necessidades Térmicas)*1,15)/(Dias consumo mês*PROCV(Mês; "Tabela_EnergiaT_Porto")));SE(E(Cobertura>110%;'Local="Lisboa"); ARRED.PARA.BAIXO(((Necessidades Térmicas)*1,1)/(*Dias consumo mês*PROCV(Mês; "Tabela_EnergiaT_Lisboa')));Número Determinado Anteriormente); </pre>	Função 3.28
--	-------------

Tendo em conta que, para cada mês, se manteve o número anteriormente definido ou se determinou um novo número, é necessário reduzir a validação a apenas uma solução. Desta forma, definiu-se que o número validado seria o menor dos números presentes na tabela de validação, garantindo assim que todos os meses cumprem o critério imposto.

3.5.3 Avaliação económica

Após a validação do número de coletores solares, procede-se à avaliação económica do investimento.

Os custos operacionais relativos a este tipo de tecnologia são custos de manutenção. Estes apresentam o valor de 10 € numa base anual e por painel e correspondem a duas visitas anuais à instalação nas quais é feita uma limpeza e revisão dos seus elementos.

Os proveitos operacionais são determinados pela multiplicação da quantidade de energia consumida pelo respetivo custo unitário, que neste caso é dado pela divisão da tarifa pelo rendimento do sistema de produção atual. Para o efeito, e à semelhança do realizado noutras tecnologias, usa-se a cobertura como elemento de condição, como demonstrado na função 3.29. Se a cobertura de um dado mês for igual ou inferior a 100%, o proveito operacional desse mesmo mês é calculado pelo produto da produção pela tarifa térmica. No entanto, se a cobertura se revelar superior a 100%, o proveito operacional é dado pelo produto das necessidades térmicas pela tarifa. De referir ainda que produção térmica de cada mês em análise é calculada no software Excel por uma função semelhante à 3.27, apenas com diferença do produto se realizar agora pelo número de painéis validados.

=SE (Cobertura <=100%; Produção*Tarifa; Necessidades*Tarifa)	Função 3.29
--	-------------

Nos custos de investimento, define-se que o custo por painel é de 550 € e engloba o custo da bancada de painéis, de equipamentos auxiliares e da montagem. Assim para se determinar o custo total da instalação é necessário multiplicar o valor definido pelo número validado de painéis. São também determinados os resultados acumulados para que se possam calcular os indicadores referidos na introdução ao dimensionamento.

4 Aplicação do algoritmo a caso prático

No presente capítulo será demonstrada a aplicação do algoritmo atrás explicitado a um caso prático que cumpre os pressupostos anteriormente definidos.

4.1 Descrição do caso

Como referido anteriormente, para se demonstrar a aplicação e a funcionalidade do algoritmo criado, foram utilizados dados de um caso prático que corresponde a um hotel situado no distrito do Porto. Este possui uma classificação de quatro estrelas, cerca de centena e meia de quartos e dispõe de um spa com piscina de água aquecida. Os dados energéticos apresentados são referentes ao ano de 2019.

As necessidades elétricas do referido hotel são suprimidas através da rede de eletricidade e o seu fornecimento efetua-se em média tensão e em ciclo semanal. Os consumos elétricos anuais nos respetivos períodos de consumo apresentam-se na tabela 4.1.

Tabela 4.1 Consumos elétricos anuais nos respetivos períodos.

Período consumo		Consumo Elétrico (kWh)			
Início	Fim	Ponta	Cheias	Vazio	Super Vazio
10/12/2018	10/01/2019	7253	17202	13715	5919
10/01/2019	10/02/2019	7391	18417	13634	6223
10/02/2019	10/03/2019	6524	15352	10198	4866
10/03/2019	10/04/2019	6136	17885	10663	5388
10/04/2019	10/05/2019	4122	18540	15217	5863
10/05/2019	10/06/2019	4189	19742	14227	6212
10/06/2019	10/07/2019	4521	19900	12084	5386
10/07/2019	10/08/2019	5606	23748	12423	5756
10/08/2019	10/09/2019	5410	21024	13548	5588
10/09/2019	10/10/2019	4659	20128	11604	5473
10/10/2019	10/11/2019	4926	17138	12976	4851
10/11/2019	10/12/2019	7746	18490	11697	5515

De forma a conseguir realizar-se a avaliação económica, são necessárias as tarifas associadas a cada período de consumo, apresentadas na tabela 4.2. De notar que a tarifa das horas de ponta inclui a componente da potência das horas de ponta, passível de ser reduzida pela instalação de parte das tecnologias apresentadas na dissertação.

Tabela 4.2 Tarifas associadas a cada período de consumo.

Período	Tarifa (€/kWh)
Ponta	0,1925 €
Cheias	0,1173 €
Vazio	0,0770 €
Super Vazio	0,0698 €

As necessidades térmicas da instalação correspondem ao aquecimento de água através de uma caldeira a gás natural com um rendimento de 80%, à data. Na tabela 4.3 apresenta-se o consumo de combustível admitido na caldeira para os meses de consumo determinados pelos dados da tabela 4.1. Refere-se ainda que a tarifa de gás natural é de 0,0325€ por kWh.

Tabela 4.3 Consumo de combustível para os meses em análise.

Mês	Período consumo		Consumo Combustível (kWh)
	Início	Fim	
janeiro	01/01/2019	31/01/2019	68781
fevereiro	01/02/2019	28/02/2019	46306
março	01/03/2019	31/03/2019	45586
abril	01/04/2019	30/04/2019	38492
maio	01/05/2019	31/05/2019	37316
junho	01/06/2019	30/06/2019	38447
julho	01/07/2019	31/07/2019	39450
agosto	01/08/2019	31/08/2019	39464
setembro	01/09/2019	30/09/2019	37328
outubro	01/10/2019	31/10/2019	37493
novembro	01/11/2019	30/11/2019	42363
dezembro	01/12/2019	31/12/2019	54326

O layout da matriz energética encontra-se representado nas figuras D.1 e D.2 do anexo D, que se associam ao preenchimento dos dados da vertente elétrica e térmica, respetivamente.

4.2 Resultados

4.2.1 Cogeração

Depois de preenchidos os dados necessários, o algoritmo realiza o dimensionamento das tecnologias de produção de energia tendo em conta a árvore de decisão representada na figura 3.1 e todos os processos e critérios explicitados nos capítulos anteriores. No entanto, antes de mais, é determinada a matriz de potências, representada na figura D.3.

Na escolha de melhor cogeração disponível para o caso, foi determinada a potência elétrica teórica necessária, $A = 46,9$ kW, e procurado, na base de dados, o valor mais próximo, por defeito, $B = 20$ kW. O layout de determinação destas constantes também se encontra representada na figura D.3, tal como a escolha da cogeração determinada pela vertente elétrica. O valor de B é consideravelmente inferior ao de A, ou seja, para o caso em análise, nos períodos de ponta e cheias, pelo menos, a cogeração vai operar à carga máxima resultando numa melhor eficiência e num menor PBP.

Seguidamente, através da produção térmica, foi feita a validação da cogeração inicialmente definida, representada na figura D.4. No presente caso, a produção térmica, dada pelo mapa de cargas e pelas horas de funcionamento, cumpre o primeiro critério estabelecido, ou seja, não há uma redução de tempo superior a 50% em pelo menos dois meses. No entanto, verifica-se que em alguns dos meses há produção excessiva de energia térmica e, desta forma, haverá uma redução do tempo de operação nesses mesmos meses. Essa redução permite a validação e assim, considera-se que a G-box 20 se encontra validada, podendo ser sujeita a avaliação económica. Para o efeito é apenas necessário determinar o consumo de combustível e a produção elétrica, tendo em conta que a produção térmica já se encontra disponível. É também necessário ter, em conta nestas determinações, a redução de tempo de operação exigida pelo excesso de energia térmica.

A partir deste momento, tendo já os *inputs* e *outputs* proporcionados pela cogeração selecionada e os custos de manutenção e investimento associados à mesma é possível realizar a sua avaliação económica. O layout da mesma é representado na figura D.5. De notar que o custo evitado por unidade de energia é uma média ponderada dada pelo valor da produção em cada período analisado. Já a tarifa térmica, como explicado anteriormente, é dada pelo quociente da tarifa pelo rendimento da caldeira, no presente caso.

4.2.2 Solar Híbrido

Como demonstrado no diagrama geral, o dimensionamento de uma instalação de painéis híbridos faz-se a partir da matriz de potências elétricas e das necessidades térmicas, sendo posteriormente validado o número de painéis obtido. De igual forma ao explicitado nas secções 3.1 e 3.2 do capítulo 3, determinaram-se, separadamente e para cada mês, o número de painéis híbridos que satisfariam as necessidades térmicas e elétricas, como demonstrado na figura D.6. Assim, é calculado, para cada mês, o número de painéis indicado e conseqüentemente o valor de N , que para o caso é de 158 painéis. A nível térmico verifica-se que o número de painéis calculado nos meses de verão é substancialmente inferior ao dos restantes meses, uma vez que as necessidades são menores e a produção é maior. Na vertente elétrica, o número de painéis determinado é praticamente constante ao longo do ano. Estes dois pormenores, demonstrados na figura D.7, levam a concluir que N é altamente limitado pela produção térmica nos meses de verão.

Apesar de N se encontrar determinado, é necessária a sua validação, que se faz por via dos dois critérios explicitados. Deste modo, como demonstrado pela figura D.8, é verificado, para cada mês e segundo cada critério, que N se encontra validado. Para o caso apresentado, N cumpre os critérios impostos e assim determinaram-se os resultados operacionais associados à tecnologia em causa e que por sua vez deram origem à avaliação económica, apresentada na figura D.9.

4.2.3 Solar fotovoltaico

O dimensionamento da instalação fotovoltaica inicia a partir da determinação do número de painéis indicados a cada mês em análise. A partir destes é calculado N_F que para o caso resulta em 189 painéis. O layout representativo encontra-se na figura D.10, onde se verifica que o número de painéis indicado para os diferentes meses do ano não sofre variações significativas.

Tendo em conta que nesta tecnologia não existe capacidade de acumular energia, não é necessária validação. Assim, como demonstrado na figura D.11, determinam-se os outputs mensais.

Com o *output* anual e os custos associados a este tipo de tecnologia realiza-se a avaliação económica, representada na figura D.12.

4.2.4 Solar Térmico

À semelhança da tecnologia anterior, o dimensionamento da instalação solar térmica inicia a partir do cálculo do número indicado de painéis para cada mês em análise. A partir destes é calculado N_S , com o valor de 133 painéis, como demonstrado na figura D.13. Verifica-se, de igual forma ao aferido na secção 2.2 do capítulo 4, a grande disparidade entre o número de painéis determinado para os meses de verão e os restantes meses.

Tendo em conta que o armazenamento de energia térmica pressupõe validação, esta é demonstrada na figura D.14. No caso apresentado, o número painéis anteriormente determinado cumpre o critério de validação em todos os meses e considera-se assim validado.

Para se realizar a avaliação económica, demonstrada na figura D.16, é determinada a produção térmica e respetivas coberturas para os meses em análise, representadas na figura D.15. Pela análise desta, verifica-se que no mês de agosto a produção é superior às necessidades e por isso cobertura é superior a 100%. No entanto é inferior aos 115% definidos pelo critério e por isso não é fator que limita o dimensionamento, afetando apenas a avaliação económica na medida em que existe energia produzida que não gera mais valia económica.

4.2.5 Comparação de resultados

Os resultados obtidos pela utilização da ferramenta criada encontram-se representados na figura 4.1, que é também demonstrativa do layout de apresentação.

	Tecnologia			
	Cogeração	Solar Híbrido	Solar Fotovoltaico	Solar Térmico
Cobertura Elétrica Total	32,9%	18,1%	18,7%	-
Cobertura Térmica	89,1%	63,7%	-	65,7%
Custo Investimento	55 000,00 €	129 560,00 €	85 050,00 €	73 150,00 €
PBP	5,34	5,57	6,55	7,40
VAL (25 anos)	1 015 523,72 €	2 196 987,66 €	1 000 739,60 €	611 064,33 €
TIR (4% a 25 anos)	17%	16%	13%	11%

Figura 4.1 Quadro comparativo de resultados.

Os resultados obtidos podem ser analisados segundo duas visões distintas: técnica e económica.

Na vertente técnica, quando se comparam as diferentes tecnologias, verifica-se que cogeração se destaca das restantes quanto às coberturas energéticas. Este resultado era expectável uma vez que foi dimensionada para operar ininterruptamente, enquanto que as restantes tecnologias estão limitadas pelo funcionamento em horário solar.

A potência eléctrica do módulo do coletor solar híbrido analisado é superior à do fotovoltaico. Apesar do número de coletores fotovoltaicos ser superior, existe ainda uma diferença de 1,4 kW na potência instalada, em detrimento dos híbridos. Analisando as coberturas, este fenómeno permite tirar duas conclusões:

- que apesar da potência instalada, dada pela multiplicação do número de painéis pela potência máxima unitária, dos híbridos ser inferior aos fotovoltaicos, a diferença de cobertura não é tão significativa, revelando uma maior eficiência desta tecnologia inovadora.
- que o fator térmico é limitante porque não permite que potência eléctrica instalada seja igual podendo assim haver uma conjugação entre as duas tecnologias.

Em relação à cobertura térmica, quando se comparam os coletores solares híbridos com os térmicos, verifica-se também que as coberturas são semelhantes. As áreas de absorção dos painéis são semelhantes. No entanto o número de coletores híbridos é superior aos coletores que se dedicam exclusivamente à parte térmica. Sabendo que o fator eléctrico não limitou o dimensionamento, esta diferença pode ser explicada pelo facto do rendimento ótico dos últimos ser superior ao dos primeiros e também pelas perdas térmicas serem inferiores.

Analisando os resultados pela vertente económica, destaca-se o facto do custo de investimento dos coletores híbridos ser cerca de 18% inferior à soma dos custos das restantes tecnologias solares e de, mesmo assim, proporcionar coberturas muito semelhantes. Juntando isso ao facto do custo de manutenção dos primeiros ser significativamente inferior, leva a que o VAL e a TIR dos primeiros sejam significativamente superior à soma dos restantes.

Quando se compara a cogeração com as restantes tecnologias, destaca-se o facto de os indicadores técnicos serem superiores e, mesmo assim, o custo de investimento ser o mais

baixo. As desvantagens desta tecnologia, quando comparada com as restantes estão relacionadas com o prejuízo ambiental e com o facto de os custos operacionais serem acrescidos devido ao combustível e aos custos de manutenção.

5 Conclusões

As conclusões relativas à presente dissertação incidem tanto a nível técnico como económico.

Em jeito de resumo, pode afirmar-se que a ferramenta criada cumpre o objetivo de apresentar aos utilizadores, de forma simples e geral, as tecnologias indicadas para os dados introduzidos. Além do mais, garante que são sempre dimensionadas com vista a que o excesso de energia seja nulo ou quase nulo resultando em melhores indicadores económicos e ambientais.

Numa vertente de mercado, e perante os pressupostos assumidos, o algoritmo leva também a concluir que é possível integrar as soluções inovadoras presentes na dissertação, nomeadamente a referida cogeração e os painéis solares híbridos, em instalações como hotéis, indústrias ou similares mostrando que existe um potencial de mercado enorme a este nível.

A nível técnico conclui-se que, de entre todas as tecnologias analisadas, a que garante maior flexibilidade é a cogeração. Apesar de se terem de conjugar as vertentes térmica e elétrica, é a única que não necessita de energia solar para o seu funcionamento. Os painéis híbridos, além das vantagens técnicas referidas ao longo da dissertação, conferem vantagens económicas sobre os térmicos e os fotovoltaicos, em conjunto, devido aos custos de manutenção e de investimento. Ainda que não fosse um objetivo da dissertação, é possível, a partir da ferramenta desenvolvida, avaliar o impacto da mudança do ciclo de fornecimento de energia elétrica nos resultados do investimento.

Por último, o caso prático é revelador das conclusões atrás explicitadas, sejam de natureza técnica ou económica, além de demonstrar que é possível realizar combinações entre tecnologias por forma à instalação poder ser o mais independente possível a nível energético.

Bibliografia

- [1] www.voltimum.pt/artigos/artigos-tecnicos/tecnologias-dos-sistemas - consultado a 17/07/2019
- [2] www.cogenportugal.com/docs/v/596/08100f_cogen_bol_cogeracao_2sem18.pdf - consultado a 17/07/2019
- [3] França, Ana. F. R. T. e Caseiro, Luís P. V. C., 2008, “Planeamento e Produção de Eletricidade – Cogeração e Trigeriação”. Acedido em www.marioloureiro.net
- [4] S.S. Brandão, Cogeração, Universidade de Coimbra, 2004.
- [5] Manual de apoio ao cogrador, COGEN Portugal.
- [6] Castro, Rui M. G., 2009, “Energias renováveis e produção descentralizada- Introdução à Cogeração”. Acedido em www.marioloureiro.net
- [7] Decreto de lei 23/2010, de 25 de março
- [8] Portaria 173/2016, de 21 de junho
- [9] GREENPRO. (2004). “Energia Fotovoltaica – Manual sobre tecnologias, projeto e instalação.”
- [10] GREENPRO. (2004). “Energia Solar Térmica – Manual sobre tecnologias, projeto e instalação.”
- [11] ZONDAG, H. (2008). Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 12(4), 891-959. doi: 10.1016/j.rser.2005.12.012
- [12] Photovoltaic Efficiency: The Temperature Effect – consultado em www.teachengineering.org/content/cub_/lessons/cub_pveff/Attachments/cub_pveff_lesson02_fundamentalsarticle_v6_tedl_dwc.pdf - consultado a 8/12/2019
- [13] Zondag, H., de Vries, D., van Helden, W., van Zolingen, R., & van Steenhoven, A. (2003). The yield of different combined PV-thermal collector designs. *Solar Energy*, 74(3), 253-269. doi: 10.1016/s0038-092x(03)00121-x
- [14] PVT systems with glazed PVT collectors – Abora – Advanced Solar Technology
- [15] www.damiasolar.com/apresentar/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/significado-dos-valores-vmp-voc-isc-e-imp_1 - consultado a 07/05/2020
- [16] www.portalsolar.com.br/folha-de-dados-do-painel-solar---o-que-voce-precisa-saber.html - consultado dia 07/05/2020
- [17] Global Status Report – Renewables 2019
- [18] www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0007273&contexto=bd&selTab=tab2 – consultado a 5/5/19

- [19] www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html - consultado dia 6/12/2019
- [20] Decreto de lei 153/2014, de 20 de Outubro – consultado a 23/4/2020
- [21] Ramlow, B., & Nusz, B. (2006). Solar Water Heating (1ª ed.). Gabriola Island, CAN: New Society Publishers.
- [22] RORIZ, Luis (2009): "Solar Térmico: Uso de paineis solares térmicos."
- [23] https://pt.made-in-china.com/co_jialefu/product_Heat-Pipe-Solar-Collector-Solar-Geyser-Vacuum-Tube-Solar-Pool-Heater_euurhgny.html - consultado a 9/12/2019
- [24] Kalogirou, S. (2014). Solar Energy Engineering (2ª ed.). Amsterdam: Elsevier, Academic Press.
- [25] www.galpenergia.com/PT/ProdutosServicos/Eletricidade-Gas_Natural - consultado a 5/5/2019
- [26] <https://www.timeanddate.com/astronomy/portugal> - consultado a 15/04/2020

Anexos

A. Dados relativos a períodos de consumo

Tabela A.1 Horários de consumo nos diferentes ciclos e em função do dia e horário legal [25].

Ciclo	Período	Inverno			Verão		
		Dia Útil	Sábado	Domingo	Dia Útil	Sábado	Domingo
Diário	Ponta	09:30-11:30 19:00-21:00	09:30-11:30 19:00-21:00	09:30-11:30 19:00-21:00	10:30-12:00 20:00-22:20	10:30-12:00 20:00-22:20	10:30-12:00 20:00-22:20
	Cheias	08:00-09:30 11:30-19:00 21:00-22:00	08:00-09:30 11:30-19:00 21:00-22:00	08:00-09:30 11:30-19:00 21:00-22:00	09:00-10:30 12:30-20:00 22:00-23:00	09:00-10:30 12:30-20:00 22:00-23:00	09:00-10:30 12:30-20:00 22:00-23:00
	Vazio normal	22:00-02:00 06:00-08:00	22:00-02:00 06:00-08:00	22:00-02:00 06:00-08:00	23:00-02:00 06:00-09:00	23:00-02:00 06:00-09:00	23:00-02:00 06:00-09:00
	Super vazio	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00
Semanal	Ponta	09:30-12:00 18:30-21:00	-	-	09:15-12:15	-	-
	Cheias	07:00-09:30 12:00-18:30 21:00-24:00	09:30-13:00 18:30-22:00	-	07:00-09:15 12:15-24:00	09:00-14:00 20:00-22:00	-
	Vazio normal	00:00-02:00 06:00-07:00	00:00-02:00 06:00-09:30 13:00-18:30 22:00-24:00	00:00-02:00 06:00-24:00	00:00-02:00 06:00-07:00	00:00-02:00 06:00-09:00 14:00-20:00 22:00-24:00	00:00-02:00 06:00-24:00
	Super vazio	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00

Tabela A.1 Horários de consumo nos diferentes ciclos e em função do dia e horário legal [25] (continuação).

Semanal. Opcional	Ponta	17:00-22:00	-	-	14:00-17:00	-	-
	Cheias	00:00-00:30 7:30-17:00 22:00-24:00	10:30-12:30 17:30-22:30	-	00:00-00:30 7:30-14:00 17:00-24:00	10:00-13:30 19:30-23:00	-
	Vazio normal	00:30-02:00 06:00-07:30	00:00-3:00 07:00-10:30 12:30-17:30 22:30-24:00	00:00-04:00 08:00-24:00	00:30-02:00 06:00-07:30	00:00-3:30 07:30-10:00 13:30-19:30 23:00-24:00	00:00-04:00 08:00-24:00
	Super vazio	02:00-06:00	03:00-07:00	04:00-08:00	02:00-06:00	03:30-07:30	04:00-08:00

Tabela A. 2 Horas de consumo por período para os diferentes ciclos, horários e dias [25].

Ciclo		Inverno			Verão		
		Dia Útil	Sábado	Domingo	Dia Útil	Sábado	Domingo
Diário	Ponta	4	4	4	4	4	4
	Cheias	10	10	10	10	10	10
	Vazio normal	6	6	6	6	6	6
	Super vazio	4	4	4	4	4	4
Semanal	Ponta	5	0	0	3	0	0
	Cheias	12	7	0	14	7	0
	Vazio normal	3	13	20	3	13	20
	Super vazio	4	4	4	4	4	4
Semanal Opcional	Ponta	5	0	0	3	0	0
	Cheias	12	7	0	14	7	0
	Vazio normal	3	13	20	3	13	20
	Super vazio	4	4	4	4	4	4

B. Dados relativos às horas solares

Tabela B.1 Número de horas de sol em cada dia por mês – Coimbra [26].

Dia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	9:22	10:08	11:17	12:39	13:54	14:50	14:59	14:17	13:05	11:46	10:28	9:32
2	9:22	10:11	11:19	12:42	13:56	14:51	14:58	14:15	13:02	11:44	10:26	9:30
3	9:23	10:13	11:22	12:44	13:59	14:52	14:58	14:13	13:00	11:41	10:24	9:29
4	9:24	10:15	11:24	12:47	14:01	14:53	14:57	14:10	12:57	11:39	10:21	9:28
5	9:25	10:17	11:27	12:49	14:03	14:54	14:56	14:08	12:54	11:36	10:19	9:27
6	9:26	10:20	11:30	12:52	14:05	14:55	14:55	14:06	12:52	11:33	10:17	9:26
7	9:27	10:22	11:32	12:55	14:07	14:56	14:54	14:04	12:49	11:31	10:15	9:25
8	9:28	10:24	11:35	12:57	14:09	14:57	14:53	14:02	12:47	11:28	10:12	9:24
9	9:29	10:27	11:38	13:00	14:12	14:57	14:52	14:00	12:44	11:26	10:10	9:23
10	9:30	10:29	11:40	13:02	14:14	14:58	14:51	13:58	12:42	11:23	10:08	9:22
11	9:32	10:31	11:43	13:05	14:16	14:59	14:50	13:55	12:39	11:20	10:06	9:22
12	9:33	10:34	11:46	13:08	14:18	14:59	14:49	13:53	12:36	11:18	10:04	9:21
13	9:34	10:36	11:48	13:10	14:20	15:00	14:48	13:51	12:34	11:15	10:02	9:20
14	9:36	10:39	11:51	13:13	14:22	15:00	14:47	13:49	12:31	11:13	10:00	9:20
15	9:37	10:41	11:54	13:15	14:23	15:01	14:45	13:46	12:28	11:10	9:58	9:19
16	9:39	10:43	11:56	13:18	14:25	15:01	14:44	13:44	12:26	11:08	9:56	9:19
17	9:40	10:46	11:59	13:20	14:27	15:01	14:42	13:42	12:23	11:05	9:54	9:19
18	9:42	10:48	12:02	13:23	14:29	15:02	14:41	13:39	12:21	11:02	9:52	9:18
19	9:43	10:51	12:04	13:25	14:31	15:02	14:40	13:37	12:18	11:00	9:50	9:18
20	9:45	10:53	12:07	13:28	14:32	15:02	14:38	13:34	12:15	10:57	9:48	9:18
21	9:47	10:56	12:10	13:30	14:34	15:02	14:36	13:32	12:13	10:55	9:47	9:18
22	9:49	10:59	12:12	13:33	14:36	15:02	14:35	13:30	12:10	10:52	9:45	9:18
23	9:50	11:01	12:15	13:35	14:37	15:02	14:33	13:27	12:08	10:50	9:43	9:18
24	9:52	11:04	12:18	13:38	14:39	15:02	14:31	13:25	12:05	10:47	9:42	9:18
25	9:54	11:06	12:20	13:40	14:40	15:01	14:30	13:22	12:02	10:45	9:40	9:18
26	9:56	11:09	12:23	13:42	14:42	15:01	14:28	13:20	12:00	10:43	9:39	9:19
27	9:58	11:11	12:26	13:45	14:43	15:01	14:26	13:17	11:57	10:40	9:37	9:19
28	10:00	11:14	12:28	13:47	14:45	15:00	14:24	13:15	11:54	10:38	9:36	9:19
29	10:02		12:31	13:49	14:46	15:00	14:22	13:12	11:52	10:35	9:34	9:20
30	10:04		12:34	13:52	14:47	14:59	14:20	13:10	11:49	10:33	9:33	9:20
31	10:06		12:36		14:49		14:19	13:07		10:31		9:21
Média	9:40	10:40	11:56	13:16	14:24	14:59	14:42	13:43	12:27	11:08	9:58	9:22
Valor assumido	09:30	10:30	12:00	13:30	14:30	15:00	14:30	13:30	12:30	11:00	10:00	09:30

Tabela B.2 Dados relativos à hora de nascer do sol em cada mês – Coimbra [26].

Dia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	7:56	7:43	7:08	7:19	6:34	6:07	6:08	6:32	7:01	7:30	7:03	7:37
2	7:56	7:42	7:07	7:17	6:33	6:07	6:09	6:33	7:02	7:31	7:04	7:38
3	7:57	7:41	7:05	7:16	6:32	6:06	6:09	6:34	7:03	7:32	7:05	7:39
4	7:57	7:40	7:04	7:14	6:31	6:06	6:10	6:35	7:04	7:33	7:06	7:40
5	7:57	7:39	7:02	7:12	6:30	6:06	6:11	6:36	7:05	7:34	7:08	7:41
6	7:57	7:38	7:01	7:11	6:28	6:05	6:11	6:37	7:06	7:35	7:09	7:42
7	7:57	7:37	6:59	7:09	6:27	6:05	6:12	6:38	7:07	7:36	7:10	7:42
8	7:56	7:36	6:57	7:08	6:26	6:05	6:12	6:38	7:08	7:37	7:11	7:43
9	7:56	7:35	6:56	7:06	6:25	6:05	6:13	6:39	7:09	7:38	7:12	7:44
10	7:56	7:34	6:54	7:04	6:24	6:05	6:14	6:40	7:10	7:39	7:13	7:45
11	7:56	7:33	6:53	7:03	6:23	6:04	6:14	6:41	7:11	7:40	7:15	7:46
12	7:56	7:31	6:51	7:01	6:22	6:04	6:15	6:42	7:12	7:41	7:16	7:47
13	7:55	7:30	6:50	7:00	6:21	6:04	6:16	6:43	7:13	7:42	7:17	7:47
14	7:55	7:29	6:48	6:58	6:20	6:04	6:17	6:44	7:14	7:43	7:18	7:48
15	7:55	7:28	6:46	6:57	6:19	6:04	6:17	6:45	7:15	7:44	7:19	7:49
16	7:54	7:26	6:45	6:55	6:18	6:04	6:18	6:46	7:16	7:45	7:20	7:50
17	7:54	7:25	6:43	6:54	6:17	6:04	6:19	6:47	7:17	7:46	7:21	7:50
18	7:53	7:24	6:42	6:52	6:16	6:05	6:20	6:48	7:18	7:48	7:23	7:51
19	7:53	7:22	6:40	6:51	6:15	6:05	6:20	6:49	7:18	7:49	7:24	7:52
20	7:52	7:21	6:38	6:49	6:15	6:05	6:21	6:50	7:19	7:50	7:25	7:52
21	7:52	7:20	6:37	6:48	6:14	6:05	6:22	6:51	7:20	7:51	7:26	7:53
22	7:51	7:18	6:35	6:47	6:13	6:05	6:23	6:52	7:21	7:52	7:27	7:53
23	7:50	7:17	6:33	6:45	6:12	6:05	6:24	6:53	7:22	7:53	7:28	7:54
24	7:50	7:16	6:32	6:44	6:12	6:06	6:25	6:54	7:23	7:54	7:29	7:54
25	7:49	7:14	6:30	6:42	6:11	6:06	6:26	6:55	7:24	7:55	7:30	7:54
26	7:48	7:13	6:28	6:41	6:10	6:06	6:26	6:56	7:25	7:56	7:31	7:55
27	7:48	7:11	6:27	6:40	6:10	6:07	6:27	6:57	7:26	6:57	7:33	7:55
28	7:47	7:10	6:25	6:38	6:09	6:07	6:28	6:58	7:27	6:58	7:34	7:55
29	7:46		6:24	6:37	6:09	6:08	6:29	6:59	7:28	7:00	7:35	7:56
30	7:45		6:22	6:36	6:08	6:08	6:30	7:00	7:29	7:01	7:36	7:56
31	7:44		7:20		6:08		6:31	7:00		7:02		7:56
Média	7:52	7:27	6:46	6:56	6:19	6:05	6:18	6:46	7:15	7:35	7:19	7:48
Valor assumido	07:45	07:30	06:45	07:00	06:15	06:00	06:15	06:45	07:15	07:30	07:15	07:45

C. Dados relativos às cogerações selecionadas.

Tabela C.1 Dados relativos às cogerações selecionadas.

Modelo	Input Energia (kW)	Output Elétrico (kW)	Output Térmico (kW)	m input (kW/carga)	b input (kW)	m elétrico (kW/carga)	b elétrico (kW)	m térmico (kW/carga)	b térmico (kW)	Custo investimento (€)	Custo manutenção (€/h)
G-box 20	62	20	44	52	10	20	0	30	14,17	55 000 €	0,73 €
G-box 50	145	50	87	106	38,8	50	0	60	30	90 000 €	1,48 €
Agenitor 404	260	100	112	216	43,7	100	0	86	26,17	150 000 €	2,77 €
Agenitor 406	597	250	260	544	53,7	250	0	228	32,33	280 000 €	3,90 €
Avus 500	1292	550	578	1190	105,5	550	0	508	72,33	425 000 €	6,58 €

D. Layout do algoritmo aplicado ao caso prático analisado

D.1 Matriz Energética

Matriz Energética						
Ciclo			Ciclo Semanal			
Mês	Período consumo		Consumo Elétrico KWh			
	Início	Fim	Pontas	Cheias	Vazio	Super Vazio
janeiro	10/12/2018	10/01/2019	7253	17202	13715	5919
fevereiro	10/01/2019	10/02/2019	7391	18417	13634	6223
março	10/02/2019	10/03/2019	6524	15352	10198	4866
abril	10/03/2019	10/04/2019	6136	17885	10663	5388
maio	10/04/2019	10/05/2019	4122	18540	15217	5863
junho	10/05/2019	10/06/2019	4189	19742	14227	6212
julho	10/06/2019	10/07/2019	4521	19900	12084	5386
agosto	10/07/2019	10/08/2019	5606	23748	12423	5756
setembro	10/08/2019	10/09/2019	5410	21024	13548	5588
outubro	10/09/2019	10/10/2019	4659	20128	11604	5473
novembro	10/10/2019	10/11/2019	4926	17138	12976	4851
dezembro	10/11/2019	10/12/2019	7746	18490	11697	5515
Total			68483	227566	151986	67040

Período	Tarifa (€/kwh)
Ponta	0,1925 €
Cheia	0,1173 €
Vazio	0,0770 €
SVazio	0,0698 €

Figura D.1 Layout da parte da matriz energética associada aos consumos elétricos.

Mês	Período consumo		Consumo Combustível Kwh
	Início	Fim	
janeiro	01/01/2019	31/01/2019	68781
fevereiro	01/02/2019	28/02/2019	46306
março	01/03/2019	31/03/2019	45586
abril	01/04/2019	30/04/2019	38492
maio	01/05/2019	31/05/2019	37316
junho	01/06/2019	30/06/2019	38447
julho	01/07/2019	31/07/2019	39450
agosto	01/08/2019	31/08/2019	39464
setembro	01/09/2019	30/09/2019	37328
outubro	01/10/2019	31/10/2019	37493
novembro	01/11/2019	30/11/2019	42363
dezembro	01/12/2019	31/12/2019	54326
Total			525352

	Rendimento equipamento produção térmica
Equipamento	80%
Tarifa térmica (€/Kwh)	0,0325 €
Local	Porto

Figura D. 2 Layout da parte da matriz energética associada aos consumos térmicos.

D.1 Cogeração

Mês	Matriz Potências (kW)			
	Ponta	Cheias	Vazio	Svazio
janeiro	63,1	56,6	68,2	47,7
fevereiro	70,4	64,2	59,8	50,2
março	114,5	52,2	48,8	43,4
abril	93,0	53,2	48,9	43,5
maio	62,5	55,2	76,9	48,9
junho	66,5	60,0	62,4	50,1
julho	68,5	59,2	61,0	44,9
agosto	84,9	69,2	58,9	46,4
setembro	51,5	73,3	59,4	45,1
outubro	42,4	68,9	58,6	45,6
novembro	46,9	59,7	56,9	39,1
dezembro	73,8	66,0	54,4	46,0

Potência Elétrica Necessária (A)	46,9
Potência Elétrica Cogeração (B)	20
Cogeração escolhida	G-box 20

Figura D. 3 Layout da matriz de potências, de A, B e da apresentação da cogeração inicialmente escolhida.

Exemplo de cálculo de A (média dos 3 valores mais baixos nos períodos de pontas e cheias):

$$A = \frac{51,5+42,4+46,9}{3} = 46,9 \text{ kW} \rightarrow \text{G-box 20} \rightarrow B = 20 \text{ kW}$$

No caso em questão, verifica-se que as potências presentes na matriz são superiores a B. Assim, selecionando, por exemplo, o mês de janeiro, conclui-se que a máquina irá operar todas as horas do mês à carga máxima, ou seja, o valor de x na equação característica da produção térmica é igual a 1.

Mês	Necessidades Térmicas (kWh)	Produção térmica (kWh) G-box 20	Diferença	Redução tempo	Redução tempo %
janeiro	55024,8	32860,0	22164,8	0,00	0%
fevereiro	37044,8	32860,0	4184,8	0,00	0%
março	36468,8	29680,0	6788,8	0,00	0%
abril	30793,6	32860,0	-2066,4	0,06	6%
maio	29852,8	31800,0	-1947,2	0,06	6%
junho	30757,6	32860,0	-2102,4	0,06	6%
julho	31560,0	31800,0	-240,0	0,01	1%
agosto	31571,2	32860,0	-1288,8	0,04	4%
setembro	29862,4	32860,0	-2997,6	0,09	9%
outubro	29994,4	31800,0	-1805,6	0,06	6%
novembro	33890,4	32860,0	1030,4	0,00	0%
dezembro	43460,8	31800,0	11660,8	0,00	0%
	420281,6				

Contar redução > 50%	0
----------------------	---

b) Validação

Cogeração Validada	G-box 20
--------------------	----------

Figura D. 4 Layout da validação térmica da cogeração.

Exemplo de cálculo para o mês de janeiro:

$$Necessidades\ térmicas = Consumo * \eta_{caldeira} = 68781 * 0,8 = 55024,8\ kWh$$

$$Produção\ térmica = Potência\ térmica * horas\ funcionamento = (m_{térmico} * x + b_{térmico}) * horas\ funcionamento = \\ = (30 * 1 + 14,16) * 744 = 32860\ kWh$$

Como a produção é inferior às necessidades térmicas não terá de existir, para o mês analisado, uma redução do tempo de operação da cogeração. No entanto, se o mês em análise fosse maio, teria de existir uma redução de 6% na energia produzida e, por consequência, no tempo. Essa redução é sempre feita a partir das horas onde a tarifa de energia é mais baixa. Note-se ainda para o facto da *G-box 20* cumprir o pressuposto de operar em pelo menos 50% do tempo em 11 dos 12 meses do ano e por isso se encontrar validada.

Estudo viabilidade economica cogeração				
Custos operacionais (ano)	Quantidade	Custo unitário		- 23 165 €
Custo do combustível	525 646	0,033 €	-	17 083 €
Custo manutenção (€/h)	8 322	0,731 €	-	6 081 €
Proveitos operacionais (ano)	Quantidade	Tarifa (€/kWh)		33 466 €
Produção eletricidade autoconsumo	169 563	0,108 €		18 254 €
Produção térmica autoconsumo	374 452	0,041 €		15 212 €
Saldo operacional (ano)				10 301,46 €
Investimento				55 000,00 €
Custo Investimento				55 000 €
Retorno simples do investimento (anos)				5,34
Valor atual Líquido				1 015 523,72 €
Taxa interna de rentabilidade (25 anos)				17%

Figura D.5 Estudo de viabilidade económica da cogeração selecionada.

D.2 Solar Híbrido

Mês	Potência Média Pontas e Cheias (kW)	Nº Painéis
janeiro	58,5	167
fevereiro	66,0	188
março	63,2	180
abril	60,2	172
maio	56,5	161
junho	61,2	174
julho	60,9	173
agosto	72,0	205
setembro	66,9	191
outubro	61,1	174
novembro	55,9	159
dezembro	68,3	195

Mês	Necessidades térmicas (kWh)	Nº Painéis
janeiro	55024,8	714
fevereiro	37044,8	337
março	36468,8	278
abril	30793,6	180
maio	29852,8	181
junho	30757,6	165
julho	31560,0	163
agosto	31571,2	154
setembro	29862,4	163
outubro	29994,4	245
novembro	33890,4	360
dezembro	43460,8	724

Figura D.6 Layout da determinação individual do número de painéis.

Exemplo de cálculo para o mês de janeiro:

$$N_E = \frac{P_{m\u00e9dia_janeiro}}{Pot\u00eancia\ El\u00e9trica\ max} = \frac{\frac{h_{p_janeiro}}{(h_p + h_c)_{janeiro}} * P_{ponta_janeiro} + \frac{h_{c_janeiro}}{(h_p + h_c)_{janeiro}} * P_{cheia_janeiro}}{Pot\u00eancia\ El\u00e9trica\ max} = \frac{\frac{5}{17} * 63,1 + \frac{12}{17} * 56,6}{0,35} = \frac{58,5}{0,35} \approx 167\ Pain\u00e9is$$

$$N_T = \frac{Necessidades\ T\u00e9rmicas\ janeiro}{Dias\ consumo_janeiro * Energia\ t\u00e9rmica\ di\u00e1ria\ janeiro} = \frac{55024,8}{31 * 2,48} \approx 714\ Pain\u00e9is$$

Mês	N
janeiro	167
fevereiro	188
março	180
abril	172
maio	161
junho	165
julho	163
agosto	154
setembro	163
outubro	174
novembro	159
dezembro	195

N	158
---	-----

Figura D. 7 Determinação de N.

Exemplo da determinação de N, dado pela média dos 3 menores números dos painéis idealmente determinados para cada mês em análise:

$$N = \frac{161 + 154 + 159}{3} \approx 158 \text{ Painéis}$$

Mês	Quadro de Validação	
	N (Critério 1)	N (Critério 2)
janeiro	158	158
fevereiro	158	158
março	158	158
abril	158	158
maio	158	158
junho	158	158
julho	158	158
agosto	158	158
setembro	158	158
outubro	158	158
novembro	158	158
dezembro	158	158

N validado	158
------------	-----

Figura D. 8 Quadro de validação e determinação do número validado de painéis.

Nesta etapa faz-se a validação do número de painéis determinado anteriormente através dos critérios já explicitados e que incluem uma margem de 10% para a cobertura total, critério 1, e de 15% para as necessidades térmicas, critério 2. Usando novamente como exemplo o mês de janeiro:

$$\begin{aligned}
NPainéis1_{janeiro} &= \frac{Necessidades\ Totais_{janeiro} * 1,1}{Dias\ consumo_{janeiro} * Energia\ total\ diária_{janeiro}} \\
&= \frac{(Necessidades\ térmicas + Necessidades\ elétricas\ em\ período\ solar) * 1,1}{Dias\ consumo_{janeiro} * Energia\ total\ diária_{janeiro}} \\
&= \frac{(Necessidades\ térmicas + (Energia\ Ponta\ e\ Cheias) * F_{sol_{janeiro}}) * 1,1}{Dias\ consumo_{janeiro} * Energia\ total\ diária_{janeiro}} = \\
&= \frac{(55024,8 + (7253 + 17202) * 0,54) * 1,1}{31 * (0,94 + 2,48)} \approx 707\ Painéis
\end{aligned}$$

$$NPainéis2_{janeiro} = \frac{Necessidades\ Térmica_{janeiro} * 1,15}{Dias\ consumo_{janeiro} * Energia\ térmica\ diária_{janeiro}} = \frac{55024,8 * 1,15}{31 * 2,48} = 823\ Painéis$$

O número limite de painéis indicados pelos critérios 1 e 2 para as necessidades apresentadas eram de 707 e 823, respectivamente. Como o valor anteriormente determinado é inferior para ambos os critérios, 158, é este o validado para este mês, porque tem também em conta os restantes meses do ano. É escolhido sempre o menor número das três hipóteses.

Como nos restantes meses os 158 são cumpridores de ambos os critérios, é este o número que e encontra validado.

Estudo viabilidade económica solar híbrido				
Custos operacionais (ano)	N	Custo unitário		- 1896€
Custo manutenção	158	12,00€		- 1896€
Proveitos operacionais (ano)	N	Tarifa (€/kWh)		25 156€
Produção eletricidade autoconsumo	93 286	0,155€		14 450€
Produção térmica autoconsumo	267 658	0,040€		10 706€
Saldo operacional (ano)				23 260,35€
Investimento	N	Custo unitário		129 560,00€
Custo Investimento	158	820,00€		129 560€
Retorno simples do investimento (anos)				5,57
Valor atual Líquido				2 196 987,66€
Taxa interna de rentabilidade (25 anos)				16%

Figura D. 9 Estudo de viabilidade económica da instalação de painéis híbridos.

D.3 Solar Fotovoltaico

Mês	Potência Média Pontas e Cheias (kWh)	Nº Paineis
janeiro	58,5	194
fevereiro	66,0	220
março	63,2	210
abril	60,2	200
maio	56,5	188
junho	61,2	203
julho	60,9	202
agosto	72,0	240
setembro	66,9	222
outubro	61,1	203
novembro	55,9	186
dezembro	68,3	227

NF	189
----	-----

Figura D.10 Determinação de NF

Exemplo de cálculo do número de painéis indicado para o mês de janeiro:

$$N_{F_Janeiro} = \frac{P_{m\u00e9dia_Janeiro}}{Pot\u00eancia\ El\u00e9trica_{max}} = \frac{58,5}{0,3} \approx 194 \text{ Pain\u00e9is}$$

Exemplo de cálculo de N_F , pelos 3 menores números de painéis nos meses analisados:

$$N_F = \frac{194 + 188 + 186}{3} \approx 189 \text{ Pain\u00e9is}$$

	Energia Eletrica Produzida (kWh)
janeiro	4725,0
fevereiro	6696,0
março	7681,9
abril	9569,7
maio	9693,9
junho	11132,1
julho	10608,4
agosto	10584,0
setembro	9569,7
outubro	6767,4
novembro	5468,4
dezembro	3591,0

Figura D.11 Layout da determinação da produção mensal de energia elétrica.

A partir do momento que se obtém o número de painéis fotovoltaicos validado, N_F , é este que se utiliza para o cálculo da energia elétrica produzida em todos os meses. Para o efeito, multiplica-se N_F pelo número de dias de consumo do mês em questão e pela energia produzida diariamente pelo referido painel no referido mês e local escolhido. Exemplifica-se agora o cálculo da energia elétrica produzida no mês de janeiro:

$$= N_F * Dias consumo_{janeiro} * Energia elétrica diária_{janeiro} = 189 * 31 * 0,81 = 4725 \text{ kWh}$$

Estudo viabilidade económica solar fotovoltaicos				
Custos operacionais (ano)	Quantidade	Custo unitário		- 1890€
Custo manutenção	189	10,00€		- 1890€
Proveitos operacionais (ano)	Quantidade	Tarifa (€/kWh)		14 884€
Produção eletricidade autoconsumo	96 088	0,155€		14 884€
Saldo operacional (ano)				12 993,96€
Investimento	Quantidade	Custo unitário		85 050,00€
Custo Investimento	189	450,00€		85 050€
Retorno simples do investimento (anos)				6,55
Valor atual Líquido				1000 739,60€
Taxa interna de rentabilidade (25 anos)				13%

Figura D. 12 Estudo de viabilidade económica da instalação de painéis fotovoltaicos.

D.4 Solar Térmico

Mês	Necessidades Térmicas (kWh)	Nº Painéis
janeiro	55024,8	561
fevereiro	37044,8	267
março	36468,8	224
abril	30793,6	147
maio	29852,8	147
junho	30757,6	136
julho	31560,0	137
agosto	31571,2	128
setembro	29862,4	135
outubro	29994,4	198
novembro	33890,4	287
dezembro	43460,8	571

Ns	133
----	-----

Figura D. 13 Layout da determinação de Ns.

O número de painéis térmicos indicado para cada mês é calculado dividindo as necessidades térmicas do mês em questão pela produção que cada painel proporciona no respectivo período de consumo. Assim, tem de se ter em conta a energia térmica produzida pelo painel no referido mês e local escolhido. Segue o exemplo de cálculo do número de painéis indicado para o mês de janeiro:

$$N_{S_mês} = \frac{\text{Necessidades Térmicas}_{janeiro}}{\text{Dias consumo}_{janeiro} * \text{Energia térmica diária}_{janeiro}} = \frac{55024,8}{31 * 3,16} \approx 561 \text{ Painéis}$$

Exemplo de cálculo para a determinação de N_S:

$$N_S = \frac{136 + 128 + 135}{3} = 133 \text{ Painéis}$$

Mês	Quadro validação (número de painéis)
janeiro	133
fevereiro	133
março	133
abril	133
maio	133
junho	133
julho	133
agosto	133
setembro	133
outubro	133
novembro	133
dezembro	133
Painéis Validados	133

Figura D. 14 Validação do número de painéis solares térmicos.

A validação do número de painéis é feita de forma semelhante à validação do número de painéis híbridos pelo critério número dois, ou seja, é calculado o número de painéis solares térmicos que cumprem o critério para que haja, no máximo, 15% de produção em excesso. Se, para um determinado mês, esse número for inferior ao número de painéis determinado na etapa anterior, então será esse o assumido para esse mês. No final, o número de painéis validados é o menor número presente nas 12 hipóteses, de forma a que se cumpra sempre o critério estabelecido.

	Energia térmica produzida (kWh)	Necessidades Térmicas (kWh)	Cobertura
janeiro	13034,0	55024,8	24%
fevereiro	18406,3	37044,8	50%
março	21623,2	36468,8	59%
abril	27761,5	30793,6	90%
maio	26900,3	29852,8	90%
junho	29960,5	30757,6	97%
julho	30632,9	31560,0	97%
agosto	32718,0	31571,2	104%
setembro	29273,3	29862,4	98%
outubro	20078,7	29994,4	67%
novembro	15667,4	33890,4	46%
dezembro	10108,0	43460,8	23%

Figura D. 15 Layout da determinação da energia térmica produzida e respectivas coberturas.

A energia térmica produzida é dada, para cada mês, pela multiplicação de N_S , que no caso são 133 painéis, pelos dias de consumo do referido mês e pela energia produzida pelo painel selecionado. Após se calcular a energia, compara-se com as necessidades térmicas do mês em análise através da cobertura, que corresponde ao quociente entre a primeira e a segunda. Dando como exemplo de cálculo o mês de janeiro:

$$\text{Produção térmica} = N_S * \text{Dias consumo}_{\text{mês}} * \text{Energia térmica diária}_{\text{mês}} = 133 * 31 * 3,16 \approx 13034 \text{ kWh}$$

$$\text{Cobertura térmica}_{\text{janeiro}} = \frac{13034}{55024,8} = 24\%$$

Estudo viabilidade económica coletores solares térmicos					
Custos operacionais (ano)		Quantidade	Custo unitário		- 1 330 €
Custo manutenção		133	10,001		- 13301
Proveitos operacionais (ano)		Quantidade	Tarifa (€/kWh)		11 219 €
Produção térmica autoconsumo		276 164	0,0411		112191
Saldo operacional (ano)					9 889,17 €
Investimento		Quantidade	Custo unitário		73 150,00 €
Custo Investimento		133	550,001		73 1501
Retorno simples do investimento (anos)					7,40
Valor atual Líquido					611 064,33 €
Taxa interna de rentabilidade (25 anos)					11%

Figura D. 16 Estudo de viabilidade económica da instalação de coletores solares térmicos.