



Dissertação

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

## ***Análise Energética e Ambiental em Estufas Agrícolas***

**Adelino dos Santos Nabais**

**Orientador:** Professor Doutor João Rafael da Costa Sanches Galvão, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

**Co-orientação:** Professora Doutora Rita Margarida Teixeira Ascenso, Professora da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria

Leiria, *setembro* de 2015





Dissertação

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

## ***Análise Energética e Ambiental em Estufas Agrícolas***

**Adelino dos Santos Nabais**

Leiria, *setembro* de 2015



## Dedicatória

**Este trabalho é dedicado à Filomena!**

Apesar do seu estado de saúde ser grave, nunca deixou de me apoiar e incentivar. A sua companhia foi essencial no decorrer deste longo percurso.

Para Ela o meu amor e carinho serão eternos!!



Como bem disse Henry Ford, “*em todas as áreas de atividade existem mais pessoas que desistem do que pessoas que fracassam.*” O sucesso é questão de Coragem!

*Augusto Branco (Poeta e Escritor)*



## Agradecimentos

Este trabalho só foi possível, graças ao apoio de muitas pessoas, que das mais diversas formas me incentivaram ao longo desta caminhada. A todos, expresso o meu sincero reconhecimento e gratidão.

Aos meus orientadores, Professor Doutor João Rafael da Costa Sanches Galvão e Professora Doutora Rita Margarida Teixeira Ascenso, por toda a disponibilidade, simpatia, apoio técnico, competência e exemplo profissional.

Ao Professor Doutor João António Esteves Ramos, pelo apoio na cedência de equipamentos de medição e no aconselhamento nas áreas de climatização.

Ao Professor Doutor Paulo Brito do Instituto Politécnico de Portalegre, pela simpatia e disponibilidade, no apoio à realização de ensaios a biomassa, cujos resultados são fundamentais para definir questões relacionadas com a segurança.

A todos os Professores que, ao longo do curso contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao IPL, pela oportunidade que me deu em concretizar um sonho de longa data.

A todos os meus colegas de curso, que fizeram o favor de me brindar com a sua amizade e companhia.

Permitam-me uma palavra de enorme gratidão, aos meus colegas e amigos, João Serrenho e Susana Pires, pela amizade, companheirismo e pelos momentos de partilha.

O meu muito obrigado à GALP, pelo seu contributo no apoio logístico, sem o qual este trabalho seria mais difícil de concretizar.

À Adoraflor e em particular ao Eng.º Rui Aurélio, por ter consentido e colaborado, sempre de forma amável, para a realização deste trabalho nas estufas de que é proprietário.

À Agrotejo na pessoa do Eng.º Mário Antunes, por gentilmente me ter cedido os dados climáticos da zona de Alpiarça, e que em muito contribuíram para os cálculos energéticos.

A todos aqueles de quem me esqueci, e são certamente muitos, o meu muito obrigado.

Por último, à minha família, pelo tempo de presença e companhia que lhes roubei, para poder concretizar esta aventura.

A todos Vós,

**Muito obrigado!**



## Resumo

Os principais custos associados a culturas produzidas em estufas estão relacionados com a energia e o ambiente. Ressalta assim, a preocupação crescente atribuída a estas duas componentes, pelo impacto que representam na imagem e na competitividade destas empresas. Esta condição é ainda mais relevante, quando falamos de floricultura, cuja produção se rege por superiores exigências em climatização e por conseguinte, em maiores consumos energéticos e impacto ambiental. Estes pressupostos induzem os empresários do setor, a realizar os seus investimentos, em zonas com climas mais moderados, cientes de que, esta circunstância deprecia os encargos associados à produção e sustentabilidade.

Em termos construtivos é prática corrente em Portugal, a opção pelo modelo de estufa “tipo túnel”, de média tecnologia, objetivamente, para redução do investimento.

As estufas selecionadas para a realização desta tese localizam-se no Ribatejo, em Alpiarça e protegem uma área de 24.104m<sup>2</sup>. A cultura principal é o crisântemo, de entre várias espécies, sendo comercializado em exclusivo, no mercado nacional. O sistema de aquecimento é composto por uma caldeira com uma potência nominal de 2.000kW, cuja energia primária é a biomassa sólida, complementado por quatro circuitos em tubagem de polietileno, para circulação de água a 40°C. A gestão dos vários parâmetros, relativos ao ambiente interno é assegurada, por sensores instalados nas estufas e em boa parte pela ventilação natural.

Com este trabalho avaliaram-se os padrões construtivos desta estrutura, assim como, consumos de energia elétrica, poder calorífico dos combustíveis, combustão da caldeira, emissões gasosas e ambiente no interior das estufas.

Após avaliação das condições de funcionamento propõem-se um conjunto de medidas de melhoria, combustível a utilizar na caldeira, das condições de armazenagem da biomassa, isolamento térmico de tubagens, elementos construtivos e equipamentos de inércia térmica, que no seu conjunto constituem, um superior desempenho energético e ambiental desta estrutura.

Também se propôs a instalação de um sistema fotovoltaico em regime de autoconsumo, com o objetivo de contribuir para a eficiência energética e ambiental, neste tipo de produções agrícolas. Complementarmente a estas ações realizou-se um estudo económico da viabilidade dos investimentos.

**Palavras - chave:** Energia, Ambiente, Eficiência, Climatização, Aquecimento, Radiação Solar.



## Abstract

The main costs associated with crops produced in greenhouses are related to energy and environment. There's a growing concern attributed to these two components because of the impact that they represent for the image and competitiveness of these enterprises. This condition is even more relevant when we talk about floriculture, production of which is governed by higher heating and cooling requirements and therefore in greater energy consumption and environmental impact. These assumptions induce entrepreneurs of the sector to hold their investments in areas with more moderate climates, aware that this condition depreciates the charges associated with the production and sustainability.

In terms of construction is common practice in Portugal to opt for the greenhouse model "tunnel type", of medium technology, objectively, to reduce investment.

The selected greenhouses to carry out this thesis are located in the Ribatejo, in Alpiarça and protect an area of 24.104m<sup>2</sup>. The main crop is the chrysanthemum, among several species, being marketed exclusively in the domestic market. The heating system consists of a boiler with a nominal output of 2.000kW whose primary energy is solid biomass, complemented by four circuits in polyethylene pipes for circulating water at 40 ° C. The management of the various parameters relating to the internal environment is ensured by sensors installed in the greenhouses and a lot of natural ventilation.

This study evaluated the constructive patterns of this structure, as well as electricity consumption, heating value of the fuel, boiler combustion, exhaust emissions and environment inside the greenhouses.

After evaluation of the operating conditions it's proposed a set of improvement measures on the fuel used in the boiler, on biomass storage conditions, on heat insulation of pipes, on building elements and on thermal inertia equipment, which together constitute superior energetic and environmental performance of this structure.

It's also proposed the installation of a photovoltaic system on self-consumption regime, aiming to contribute to energetic and environmental efficiency in this type of agricultural production. In addition to these actions it took place an economic study of the viability of investments.

**Keywords:** Energy, Environment, Efficiency, Climate Control, Heating, Solar Radiation.



# Índice

Dedicatória .....	i
Agradecimentos .....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
Índice .....	xi
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xvii
Lista de Siglas.....	xvii
Capítulo 1- Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	2
1.2 Motivação e Objetivos .....	3
1.3 Organização da Tese .....	4
Capítulo 2 - Energia, Ambiente e Política Energética .....	5
2.1 Contextualização .....	5
2.2 Política Energética.....	6
2.3 Fontes Energéticas: Fóssil e Renovável .....	7
2.4 O Efeito de Estufa .....	25
Capítulo 3 - Estufas Agrícolas .....	29
3.1 Principais Componentes.....	29
3.2 Necessidades Energéticas .....	38
3.4 Tecnologias de Climatização .....	44
Capítulo 4 - Caso de Estudo e Variáveis Energéticas .....	49
4.1 Localização e Descrição.....	49
4.2 Produção e Levantamento das Tecnologias .....	52
4.3 Metodologia Energética .....	56
4.4 Análise de Resultados .....	61
4.5 Necessidades de Climatização.....	72
4.6 Pegada de Carbono .....	74
Capítulo 5 - Propostas e Modelo Energético .....	81
5.1 Desenvolvimento do Modelo Energético.....	81
5.2 Seleção do Combustível.....	83
5.3 Auto Produção de Energia.....	88
5.4 Central Térmica e Isolamentos .....	93
5.5 Condições de Segurança da Biomassa .....	96

Capítulo 6 - Conclusões e Futuros Desenvolvimentos.....	101
6.1 Conclusões.....	101
6.2 Futuros Desenvolvimentos .....	104
Bibliografia .....	107
Anexo A .....	117
Anexo B .....	119
Anexo C .....	121
Anexo D .....	123
Anexo E .....	125
Anexo F.....	127
Anexo G .....	129

## Lista de Figuras

Figura 1 Potência instalada de fontes de energia renovável em Portugal.....	8
Figura 2 Distintos tipos de biomassa.....	9
Figura 3 Biomassa, ciclo típico do carbono.....	10
Figura 4 Recursos de biomassa e vias de energia.....	11
Figura 5 Efeito do conteúdo de humidade no poder calorífico.....	14
Figura 6 Etapas da combustão da biomassa.....	16
Figura 7 Potência solar para diferentes atmosferas.....	18
Figura 8 Componentes da radiação solar.....	18
Figura 9 Áreas de conversão da energia solar.....	19
Figura 10 Princípio de funcionamento de um painel solar térmico.....	19
Figura 11 Componentes de um sistema solar térmico.....	20
Figura 12 Sistemas solares passivos e ativos.....	21
Figura 13 Fluxos de energia num coletor solar térmico.....	21
Figura 14 Sistemas fotovoltaicos.....	23
Figura 15 Células fotovoltaicas.....	23
Figura 16 Curva I-V.....	24
Figura 17 Curva de máxima potência MPP.....	24
Figura 18 Fontes de emissão de GEE na EU.....	26
Figura 19 Projeção das emissões de GEE (cenário 2013-2020).....	26
Figura 20 Emissões de GEE-Projeções até 2050.....	27
Figura 21 Tipos de estufas.....	30
Figura 22 Plásticos de cobertura.....	32
Figura 23 Imagens de plásticos com e sem condensação.....	33
Figura 24 Transmissão de luz em função da orientação das estufas.....	34
Figura 25 Radiação e ângulo de inclinação das estufas.....	35
Figura 26 Taxa de renovação de ar em função do número de naves.....	36
Figura 27 Ventilação e distância entre estufas.....	36
Figura 28 Fluxo de ar e distância entre estufas.....	37
Figura 29 Representação esquemática da energia recebida por uma estufa.....	41
Figura 30 Balanço de energia numa estufa.....	42
Figura 31 Tipos de queimadores.....	47
Figura 32 Zonas climáticas.....	49
Figura 33 Localização das estufas analisadas.....	50
Figura 34 Implantação das estufas.....	51
Figura 35 Dimensões e estrutura dos túneis.....	51

Figura 36 Distribuição dos canteiros.....	52
Figura 37 Distribuição do sistema de aquecimento ambiente .....	53
Figura 38 Distribuição da tubagem de aquecimento nos canteiros .....	53
Figura 39 Componentes da central térmica .....	54
Figura 40 Composição geral da caldeira .....	54
Figura 41 Humidade do combustível e rendimento da caldeira .....	55
Figura 42 Cortinas térmicas .....	56
Figura 43 Recolha de consumos: analisador e quadro elétrico .....	57
Figura 44 Recolha de dados .....	57
Figura 45 Análise à combustão .....	58
Figura 46 Análise às emissões gasosas.....	59
Figura 47 Medição do caudal de água aquecida .....	60
Figura 48 Biomassa sólida .....	60
Figura 49 Necessidades de potência elétrica .....	61
Figura 50 Consumos de energia elétrica .....	62
Figura 51 Desagregação de consumos .....	62
Figura 52 Distribuição dos consumos pelos períodos horários .....	63
Figura 53 Média de consumos mensais .....	63
Figura 54 Valores de humidade, coeficiente de transmissão térmica e de temperatura.....	64
Figura 55 Valores de humidade, coeficiente de transmissão térmica e de temperatura.....	65
Figura 56 Medições de CO <sub>2</sub> , pressão atmosférica e temperatura interior .....	66
Figura 57 Gráfico DSC para a biomassa de <i>pellets</i> de bagaço de azeitona .....	69
Figura 58 Análise ao rendimento da caldeira.....	70
Figura 59 Valores de caudal de água de circulação na caldeira .....	70
Figura 60 Processo produtivo do crisântemo.....	76
Figura 61 Contribuição das atividades para as emissões (kgCO <sub>2</sub> e/atividade) .....	78
Figura 62 Percentagem das emissões (kgCO <sub>2</sub> e/atividade).....	78
Figura 63 Modelo energético e ambiental a propor e suas principais componentes .....	81
Figura 64 Armazenagem da biomassa .....	82
Figura 65 Relação entre MC e consumo de biomassa .....	84
Figura 66 Ponto de inversão de custos entre biomassas.....	84
Figura 67 <i>Kit</i> para câmara de combustão .....	85
Figura 68 Ligação dos <i>Buffers</i> .....	87
Figura 69 Localização dos módulos fotovoltaicos.....	88
Figura 70 Distribuição das <i>strings</i> pelo inversor .....	89
Figura 71 <i>Break Even</i> .....	90
Figura 72 Análise de sensibilidade .....	91

Figura 73 Custos por comercializador .....	92
Figura 74 Imagens termográficas .....	93
Figura 75 Entrada e saída de tubagem nas estufas .....	94
Figura 76 Isolamento de porta de acesso bloco 5 .....	95
Figura 77 Processos envolvidos na segurança da biomassa.....	97



## Lista de Tabelas

Tabela 1 Combustíveis típicos para projetos de biomassa .....	12
Tabela 2 Valores típicos de densidade, valor calorífico e densidade de energia .....	15
Tabela 3 Eficiência de conversão entre tecnologias .....	23
Tabela 4 Principais fatores para o desenho e construção de estufas .....	29
Tabela 5 Parâmetros essenciais para os materiais de cobertura.....	30
Tabela 6 Características dos materiais de cobertura.....	31
Tabela 7 Condições ideais de climatização.....	39
Tabela 8 Valores dos coeficientes utilizados nos modelos energéticos simplificados.....	44
Tabela 9 Tipologia das caldeiras a biomassa .....	47
Tabela 10 Irradiação solar global, temperatura ambiente e humidade.....	50
Tabela 11 Resultados da avaliação à combustão da caldeira .....	67
Tabela 12 Média dos resultados obtidos para as emissões gasosas.....	67
Tabela 13 Poder calorífico da biomassa utilizada .....	67
Tabela 14 Ensaio a biomassa de <i>pellets</i> de bagaço de azeitona.....	68
Tabela 15 Parâmetros da biomassa utilizada .....	71
Tabela 16 Parâmetros da biomassa <i>pellets</i> .....	71
Tabela 17 Dados comparativos .....	71
Tabela 18 Parâmetros para o cálculo das necessidades de climatização .....	72
Tabela 19 Necessidades de aquecimento.....	72
Tabela 20 Indicadores económicos .....	73
Tabela 21 Parâmetros para as necessidades de arrefecimento .....	74
Tabela 22 Fatores de conversão .....	75
Tabela 23 Atividades, quantidades e fatores de emissão.....	76
Tabela 24 Emissões em (kg CO <sub>2</sub> e/unidade) por parciais e totais .....	77
Tabela 25 Valores específicos das emissões de kgCO <sub>2</sub> e.....	79
Tabela 26 Tipos de armazenagem de <i>pellets</i> .....	83
Tabela 27 Resultados económico-financeiros .....	90



## Lista de Siglas

AC	<i>Alternating Current</i> (Corrente Alternada)
ACV	Análise Ciclo de Vida
AQS	Água Quente Sanitária
BSI	<i>British Standards Institution</i>
C	Cloro
CELE	Regime Europeu de Comércio de Licenças de Emissão de Gases com Efeito de Estufa
CFC	Clorofluorcarbono
CH <sub>4</sub>	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CO <sub>2</sub> e	Dióxido e Carbono equivalente
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CSP	<i>Concentrating Solar Power</i>
CV	<i>Calorific Value</i>
D.L.	Decreto-Lei
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua)
DEE	Diretiva Eficiência Energética
DIN	<i>Direct Normal Irradiation</i>
EE	Eficiência Energética
ER	Energias Renováveis
FF	Fator de Forma
FIT	<i>Feed in Tariff</i>
G	Irradiância incidente
GCV	<i>Gross Calorific Value</i>
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GJ	Giga Joule
GN	Gás Natural
GPL	Gases de Petróleo Liquefeito
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
H	Hidrogénio
H <sub>2</sub> S	Ácido Sulfídrico
ha	hectare
HR	Humidade Relativa
I	Corrente elétrica

$I_{cc}$	Corrente de curto-circuito
$I_D$	Corrente Unidirecional
IEA	Agência Internacional de Energia
$I_{MP}$	Corrente de Máxima Potência
$I_{mpp}$	<i>Corrent maximum power point</i>
$I_O$	Corrente Inversa de Saturação
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IR	Infravermelho ou <i>Infrared</i>
IV	Infravermelho
K	Potássio
$K_B$	Constante de <i>Boltzmann</i>
kgep	Kilograma equivalente de petróleo
LCOE	<i>Levelized Cost of Energy</i>
m	Fator de idealidade
MA	Medidas Adicionais
MC	<i>Moisture Contet (Teor de humidade)</i>
Mdb	<i>Moisture dry bassis (Conteúdo da mistura em base seca)</i>
ME	Medidas Existentes
MPP	<i>Maximum Power Point</i>
Mwb	<i>Moisture wet basis (Conteúdo da mistura em base húmida)</i>
MWh	Mega What hora
N	Nitrogénio
$N_2O$	Óxido Nitroso
NCV	<i>Net Calorific Value</i>
NOx	Óxido de Azoto
$O_2$	Oxigénio
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
$P_{DC}$	Potência ( <i>Direct Current</i> )
PIB	Produto Interno Bruto
$P_p$	Potência de pico
ppm	Parte por milhão
PRIA	<i>Payback com atualização do capital</i>
PTN	Pressão e Temperatura Normais
PTS	Partículas
PV	Sistema Fotovoltaico ( <i>Photovoltaic System</i> )
q	Carga elétrica do eletrão

QAI	Qualidade do Ar Interior
ROI	Retorno do Investimento
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
S	Enxofre
Si-c	Silício cristalino
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre
S <sub>p</sub>	Superfície de cobertura (m <sup>2</sup> )
Ss	Superfície de solo da estufa (m <sup>2</sup> )
t <sub>e</sub>	Temperatura exterior em °C
T <sub>e</sub>	Temperatura exterior em °C ou °K
tep	Tonelada equivalente de petróleo
t <sub>i</sub>	Temperatura interior em °C
Ti	Temperatura Interior em °C ou °K
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
Ton/ton	Tonelada
U	Coeficiente de transmissão térmica
UE	União Europeia
UV	Ultravioleta
V	Tensão
VAL	Valor Atualizado Líquido
VLE	Valor Limite de Emissão
V <sub>MP</sub>	Tensão de Máxima Potência
V <sub>mpp</sub>	<i>Voltage maximum power point</i>
V <sub>o</sub>	Volume (m <sup>3</sup> )
vpm	Volume por milhão
VT	Potencial Térmico
Z	Taxa de renovação de ar (m <sup>3</sup> /s)
η	Rendimento da caldeira



## Capítulo 1- Introdução

Neste capítulo é feito um breve resumo, sobre os conceitos de energia e o ambiente e relevados alguns detalhes que os promovem na atualidade. Também é feito o enquadramento do trabalho e os seus pressupostos. Por último são apresentados os objetivos que se pretendem alcançar e as etapas que constituem a estrutura da tese.

O início do século XXI tem sido marcado por uma significativa alteração na forma como pensamos e gerimos a energia. Os desafios que nos são colocados para respondermos à crescente procura são globais e não poderão ser proporcionados, sem uma preocupação crescente com a sustentabilidade<sup>1</sup> [1]. Alguns dos objetivos das políticas de eficiência energética (EE) dos países membros da União Europeia (EU) são: a redução dos gases de efeito de estufa (GEE); melhorar a segurança no aprovisionamento; promover a competitividade assim como a redução das importações de energia.

Em termos energéticos, a Europa é altamente dependente em relação ao exterior, uma vez que possui poucas reservas, sendo mesmo o maior importador a nível mundial [2]. A Diretiva Eficiência Energética (DEE) impõe medidas, que são juridicamente vinculativas no sentido de uma maior eficiência na utilização da energia, nomeadamente, ao nível dos sistemas de climatização, transformação, transporte e distribuição de energia, formação e informação e com significativa importância para as auditorias energéticas [3]. Um dos meios possíveis para se alcançar este objetivo está na utilização de tecnologias cada vez mais eficientes e na alteração de processos e hábitos de consumo, associados a uma mudança cultural dos cidadãos.

Em termos tecnológicos existe um considerável potencial de crescimento, em toda a cadeia energética, que permite melhorias significativas na eficiência, englobando todo o processo desde a extração da energia primária, até à utilização final nos equipamentos [1].

Não obstante os esforços, a energia consumida mundialmente, não está a ficar mais limpa, pois as economias emergentes estão ainda muito dependentes dos combustíveis fósseis para a geração de energia, o que representa uma forte ameaça, para se alcançarem baixas emissões de carbono no presente e no futuro.

Em muitos países, a implementação da produção de energia por fontes renováveis conduz em alcançar-se a meta 2Ds, que tem por objetivo alcançar em 2050, uma redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e limitar o aumento da temperatura média em 2°C se o crescimento da competitividade das economias for robusto a curto prazo e o contributo político seja adequado em atingir este desidrato.

---

<sup>1</sup> É a capacidade de usar os recursos naturais devolvendo-os ao planeta, através de práticas e técnicas concebidas com essa finalidade.

Estima-se que as Energias Renováveis (ER) dominem a geração de energia elétrica e que por via deste recurso energético, esta represente 57% da produção global [4].

Associando a este tipo de produção de energia o conceito de EE, os sistemas de climatização devem utilizar tecnologias, que resultem em baixas ou mesmo nulas emissões de CO<sub>2</sub>.

Atendendo a que a procura da energia tem tido um incremento considerável, incluindo na atividade agrícola, devido à introdução de culturas de alto rendimento, os produtores estão cada vez mais sensibilizados para, os elevados custos das energias fósseis e às suas emissões poluentes. Como resultado, muitos empresários do setor estão a procurar alternativas, com recurso às ER, procurando satisfazer as suas necessidades energéticas, a menores custos económicos e ambientais.

As ER e a EE têm permanecido como questões dominantes em termos energéticos, no entanto, esta questão não é somente impulsionada por políticas climáticas, mas também, como um contributo para uma oferta diversificada e segura de fontes de energias alternativas [5].

## 1.1 Enquadramento

Uma das produções agrícolas mais intensivas é a que recorre ao crescimento das plantas em ambientes interiores como estufas, com o intuito de aumentar a rotatividade e a rentabilidade das culturas. É intensa em vários aspetos: produz todo o ano; tem consumo de energia elevado e necessita de meios financeiros adequados.

Com o objetivo de reduzir os custos associados a estes sistemas, a inovação tecnológica tem contribuído, decisivamente, com melhores técnicas construtivas, materiais com melhor isolamento, iluminação mais eficiente, climatização com recurso a ER, aumento da eficiência, com o contributo de sistemas de automação e controlo. No entanto, uma situação problemática coloca-se no período de inverno, quando é necessário adicionar calor e luz ao processo produtivo [6].

O atual custo da energia tem contribuído para que somente as produções, com valor acrescentado, recorram a sistemas de climatização auxiliares. Todavia a utilização de sistemas de aquecimento de baixo custo é de primordial importância para que, uma estufa proporcione condições climáticas ideais, durante o período de inverno.

As várias alternativas aos métodos de aquecimento convencionais são: sistemas de bombas de calor; caldeiras a biomassa; cogeração e que por vezes podem ser complementados com energia solar [7].

Para aumentar a produção das culturas, a temperatura interior (Ti) deve ser mantida entre os 14°C e os 27°C, dependendo das espécies que se pretendem desenvolver, da localização da estufa e do processo construtivo. Muitos dos equipamentos atuais usam o

gás natural, o gás de petróleo liquefeito (GPL) e o gasóleo, mas são energias primárias não renováveis e que produzem GEE. Além dos impactos ambientais associados a estes combustíveis, a flutuação e o aumento previsível do preço, torna os custos operacionais subjacentes à produção em estufa, bastante instáveis e imprevisíveis. Consequentemente, esta indústria deve procurar alternativas energéticas, que dissolvam as preocupações financeiras e ambientais, com a utilização das energias tradicionais. Adicionalmente, as ER contribuem neste setor, para influenciar a tomada de decisão dos produtores, mantendo o custo da energia sob controlo [8].

Entre 65 a 85% do total da energia consumida numa estufa é para o aquecimento, o restante é gasto em eletricidade e transportes, o que numa indústria com margens de lucro em declínio e um desejo acentuado numa produção sustentável, maior ênfase deve ser colocada na EE e ambiental [9].

O recurso a energia primária e renovável como a biomassa para gerar calor é neste setor uma possível alternativa e um contributo para a redução dos combustíveis fossilizados. A biomassa é considerada uma energia de carbono neutro, dado que, a quantidade de carbono libertado durante a combustão completa é igual à quantidade de carbono durante o processo de fotossíntese. Embora a instalação de equipamentos a biomassa esteja em crescendo, existem preocupações relacionadas com a disponibilidade no mercado e custos financeiros futuros. O previsível aumento da procura terá como consequência, um aumento do preço da biomassa. Os custos associados à aquisição de caldeiras a biomassa são superiores aos custos de caldeiras, para queima de combustíveis fósseis. Neste contexto, a instalação e manutenção de um equipamento a biomassa deverá ter em consideração, as questões técnicas, operacionais, económicas e ambientais, quando ocorrem novos investimentos [10].

## **1.2 Motivação e Objetivos**

Atualmente na agricultura moderna e sobretudo na produção em estruturas de estufas, além das necessidades de energia solar, água e mão-de-obra é também grande consumidora de energia artificial (combustíveis fósseis ou de origem renovável).

O estudo do ciclo de energia de um agro-sistema é importante para se determinar e avaliar, a eficiência da conversão de cada uma das fontes de energia referidas [11].

As condições de implementação e produção intensiva em estufa conduzem à necessidade de se conhecerem previamente, os parâmetros construtivos, os materiais a utilizar, os processos, o meio envolvente, a espécie a produzir e o clima local onde se pretende instalar este tipo de cultura agrícola.

Estes indicadores são para estimar a produção e a definição de custos de exploração e ainda o sucesso do investimento.

Este trabalho tem como objetivo geral, o levantamento das tecnologias de climatização existentes neste setor agrícola, as alternativas e meios disponíveis, por forma a selecionar as opções indicadas para a produção da espécie pretendida.

Realizar uma auditoria energética que inclui trabalho de campo, como recolha de variáveis ao nível da climatização, da energia consumida nas várias estruturas da estufa e os meios utilizados, do ambiente no interior das estufas e das emissões gasosas inerentes à produção de calor, tendo como fonte primária a energia a biomassa.

Esta recolha de dados energéticos tem como objetivo, um maior conhecimento sobre o modelo de produção em estufas, para a tomada de decisões ao nível da EE, ambiental e da sustentabilidade.

Preende-se ainda com este estudo, contribuir para uma melhor utilização dos recursos disponíveis, melhorar procedimentos relacionados com a armazenagem da biomassa, a operação do sistema de climatização, em suma: alterar hábitos, com o objetivo de levar à discussão dos vários intervenientes no setor, a melhores práticas energéticas e ambientais.

### **1.3 Organização da Tese**

Esta tese tem uma estrutura sequencial, com o objetivo de facilitar a leitura e interpretação. Deste modelo de escrita resultou a seguinte sucessão de capítulos:

No primeiro capítulo faz-se a introdução do trabalho, o seu enquadramento e definem-se os objetivos a alcançar;

No segundo capítulo é feita a caracterização energética, suas políticas, alternativas existentes e preocupações ambientais;

O terceiro capítulo descreve e caracteriza as estufas agrícolas, tecnologias aplicadas e as práticas produtivas;

O quarto capítulo consiste numa caracterização de um caso de estudo - estufa de floricultura;

No quinto capítulo apresenta-se um novo modelo energético, para este tipo de empresa;

No sexto capítulo são realizadas as conclusões e propostos os desenvolvimentos futuros;

Por fim, termina-se esta tese com a bibliografia e os anexos.

## Capítulo 2 - Energia, Ambiente e Política Energética

O principal conteúdo deste capítulo consiste no enquadramento dos termos de energia, ambiente e políticas seguidas, devido ao facto de a opinião pública mundial associar a utilização de combustíveis fósseis a questões como: as alterações climáticas, efeito de estufa, poluição do ar e da água, chuvas ácidas, depleção de recursos entre outros.

É um facto que hoje em dia, na sua generalidade, os governos de muitos países estão conscientes da necessidade de uma utilização mais racional dos recursos energéticos. Atualmente, qualquer debate sobre energia, menciona como fator primordial a poupança e a EE e releva-o como sendo de extrema importância a sua implementação. Mais do que nunca, a ênfase está na flexibilidade energética, na procura de soluções ambientalmente mais eficientes e economicamente sustentáveis.

### 2.1 Contextualização

Os combustíveis fósseis representam cerca de 82% do consumo energético primário a nível mundial. Não obstante as preocupações crescentes, as emissões de CO<sub>2</sub> no ano de 2011, alcançaram um valor record de 31,3\*10<sup>9</sup> toneladas (ton) o que representou um incremento de 2,7%, relativamente, ao ano de 2010 [12].

O aumento está associado às alterações climáticas que continuam a exercer uma forte pressão para o desenvolvimento contínuo de novas tecnologias, com recurso a ER e a uma maior eficiência no uso da energia.

A Agência Internacional de Energia (IEA) definiu na sua versão mais recente de *Tracking Clean Energy Progress 2014*, três cenários (6D<sub>S</sub>, 4D<sub>S</sub> e 2D<sub>S</sub>) que detalham as trajetórias de redução das emissões de CO<sub>2</sub> até 2050, tendo por base, o aumento da procura energética, assim como, na introdução de novas políticas e tecnologias de EE. O Cenário ideal é sem dúvida o 2D<sub>S</sub>, uma vez que incorpora a implementação de diversas tecnologias de EE e uma maior participação das fontes de ER, com o objetivo de alcançar em 2050, uma redução de cerca de 50% das emissões de CO<sub>2</sub>, relativamente, aos valores de 2009. Espera-se com esta perspetiva, que o aumento da temperatura média do planeta, não seja superior a 2°C [13].

De acordo com a IEA (ETP 2014), no pressuposto de se alcançar o cenário 2D<sub>S</sub>, a produção de eletricidade será de 65% através das renováveis, e somente 35% através dos combustíveis fósseis [14].

Espera-se que a energia primária tenha um incremento na procura, de cerca de 35% entre 2013-2035, com um crescimento médio de 1,4% ao ano, devido sobretudo ao setor residencial, agrícola e de serviços, maior o crescimento nos países não pertencentes à OCDE. O crescimento da China terá uma desaceleração, sendo compensado pelo

crescimento previsível da Índia. É expectável um aumento do consumo de todos os combustíveis, sendo que as ER terão um crescimento mais acentuado cerca de 6,4%.

Ao nível dos transportes a injeção direta, sistema *Stop-start*, o *downsizing* dos motores, a maior penetração dos híbridos, *plug-in*, assim como a crescente procura dos veículos elétricos - *battery electric vehicles* BEVs, contribuirão no seu todo, para uma redução significativa no consumo de combustíveis fósseis e nas emissões de GEE [15].

Em termos construtivos a renovação profunda dos sistemas de energia durante a remodelação das edificações, com o aumento significativo da taxa anual de renovações (a, pelo menos, 2%). Perseguir objetivos de construção de energia zero para todas as novas construções, o que exige um esforço significativo no presente. Implementar códigos de construção que promovam a utilização de materiais mais eficientes energeticamente, com o objetivo de reduzir o aquecimento, o arrefecimento e a procura de energia para iluminação. Desenvolver a capacidade, para que as economias emergentes promovam condutas de construção e desenvolvimento, em conformidade com o descrito, assim como, prosseguir e alargar, sempre que possível, o recurso a medidas de eficiência energética. Desenvolvimento de normas e modelos mais eficientes, que promovam a absorção de energia e desenvolver medidas que restrinjam a procura crescente desta fonte são medidas que, globalmente contribuem para a redução do consumo energético [13].

## 2.2 Política Energética

A Comissão Europeia adaptou em 2007, uma estratégia para a energia e alterações climáticas, com metas ambiciosas para o período de 2020. Das metas propostas destaca-se a redução de 20% dos GEE, relativamente aos níveis de 1990. Adicionalmente, propõe um objetivo de ER de 20% até 2020, em relação ao consumo total de energia da EU.

Uma quota mínima de 10% a atingir por todos os estados membros, para a quota-parte dos biocombustíveis no consumo total de gasóleo e gasolina nos transportes até 2020, assim como, 20% de redução no consumo de energia primária, em relação à projeção do consumo para 2020 [16].

Ainda no âmbito da política Europeia foi estabelecido para Portugal, um objetivo geral de redução do consumo de energia primária de 25% e um objetivo específico para a administração pública de 30%. Na utilização de ER proveniente de fontes endógenas são objetivos para 2020, que 31% do consumo final de energia e 10% da energia consumida nos transportes, sejam alcançados ao mais baixo custo para a economia. Paralelamente, Portugal deve reduzir a dependência energética e garantir a segurança do abastecimento, recorrendo a um *mix* energético equilibrado.

Em termos ambientais, Portugal tem de limitar até 2020 os GEE, nos setores não cobertos pelo Regime Europeu de Comércio de Licenças de Emissão dos Gases com Efeito de Estufa (CELE) em 1%, relativamente, aos valores de 2005 [17].

Para o cumprimento das metas acordadas, a política energética nacional assenta no essencial em dois pilares, a racionalização económica e a sustentabilidade. Alicerça-se em medidas de EE, na utilização de energia proveniente de fontes endógenas renováveis e na necessidade de reduzir custos [18].

## **2.3 Fontes Energéticas: Fóssil e Renovável**

As fontes energéticas designadas de energia primária são todas aquelas que se encontram disponíveis na natureza (petróleo, gás natural, carvão, hídrica, eólica, das marés, biomassa, geotérmica, solar entre outras).

Neste estágio, esta energia é expressa, normalmente, em massa equivalentes de petróleo, daí serem usuais as seguintes designações tonelada equivalente de petróleo (tep), quilograma equivalente de petróleo (kgep). Alguns dos tipos de energia primária podem ser disponibilizados, diretamente ao utilizador final, sendo exemplos o gás natural, a lenha enquanto biomassa e até a energia solar em aplicações diretas. Os vários tipos de energia mencionados dividem-se em não renováveis (combustíveis fósseis) e renováveis (biomassa, solar, eólica, geotérmica, hídrica e ondas e marés).

### **- Combustíveis fósseis**

Os combustíveis fósseis são aqueles que derivam da composição de seres vivos animais e vegetais ao longo de milhares de anos. São recursos limitados, entre os quais se destacam, o petróleo, o gás natural (GN) e o carvão. O petróleo é uma composição de hidrocarbonetos, podendo conter também enxofre, nitrogénio, oxigénio e alguns metais. O GN é basicamente composto por metano ( $\text{CH}_4$ ) e outros hidrocarbonetos leves. O carvão resulta da decomposição de matéria orgânica de origem vegetal. Não obstante a importância destes combustíveis no desenvolvimento das sociedades com a contribuição na geração de energia, o facto é que, devido à sua utilização em grande escala estes têm contribuído para o aumento da poluição do meio ambiente, uma vez que resultam da decomposição de matéria orgânica, a qual contém enxofre, originando chuvas ácidas. Paralelamente, a combustão destes combustíveis e dos seus derivados, entre os quais se destacam a gasolina e gasóleo, liberta ainda, outros poluentes, nomeadamente o  $\text{CO}_2$ , com significativo contributo no chamado efeito de estufa devido à emissão de GEE e consequentes alterações climáticas. Apesar de constituírem um recurso energético não renovável, o facto é que as reservas mundiais são enormes, e diariamente somos confrontados com notícias sobre novas descobertas. Os altos preços dos combustíveis fósseis têm permitido aos

produtores explorar depósitos que a preços baixos não eram economicamente atrativos (areias petrolíferas no Canadá e óleo de xisto nos Estados Unidos). A inovação tecnológica é outra das razões pelas quais, novas descobertas são, frequentemente, referenciadas recorrendo a novos métodos e sensores para a extração de petróleo e gás [19]. O facto é que, o desenvolvimento de novos processos de extração tem impactos ambientais mais graves, do que a extração pelos processos convencionais, emitindo maiores concentrações de CO<sub>2</sub> para a atmosfera [20].

### - Energias renováveis

As ER são aquelas em que, independentemente da sua utilização, não é possível estabelecer um período temporal para o seu esgotamento. Nestas se incluem todas aquelas que são extraídas do vento, do sol, das marés, dos rios (hídrica) e do subsolo (geotérmica). Neste trabalho por falta de espaço apresentam-se apenas as energias da biomassa e solar, por serem as ER com maior representação no caso de estudo. A opção por incentivar a utilização de ER em Portugal contribui para a redução da intensidade energética, do produto interno bruto (PIB), para a redução de emissões, para o desenvolvimento tecnológico e criação de emprego e não menos importantes, ganhos de eficiência económica com a menor importação de combustíveis fósseis [21]. As ER representavam no final de 2012, cerca de 19% do consumo mundial de energia final. Em 2013 as ER tiveram um declínio no apoio político em alguns países europeus, assim como nos Estados Unidos [22].

Em Portugal, a potência instalada de fontes de ER no final de 2014 para a produção de energia elétrica era de 11.691 MW e encontra-se distribuída conforme o indicado na **(Erro! Auto-referência de marcador inválida.)** [23].

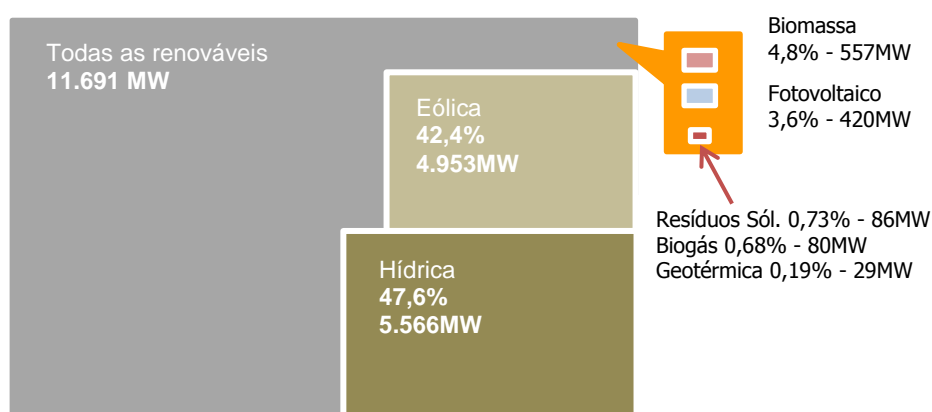


Figura 1 Potência instalada de fontes de energia renovável em Portugal (Baseado em: [23])

À medida que as tecnologias e a indústria das ER vão ficando mais maduras, enfrentam-se novos e diferentes desafios. A nível Europeu muitos Países têm reduzido e até anulado, o apoio financeiro *Feed in Tariff* (FIT), a taxas que superam a redução dos custos com a aquisição de tecnologia. Para a tomada destas decisões contribuíram em muito, a crise

económica e o excesso de capacidade instalada de eletricidade. Portugal aboliu o sistema FIT para novos projetos, ou exige contrapartidas como no caso das eólicas, para prolongar por mais cinco a sete anos este sistema.

Alguns países têm ajustado as suas políticas como resposta á evolução do mercado, diminuição dos custos e a perceção de práticas comerciais desleais. Outros reduziram os apoios em resultado de orçamentos mais apertados e em consonância com a opinião pública, que culpa as ER pelo aumento dos custos da energia.

Não obstante estes *handicaps*, desejavelmente, muitos países estão fornecendo orientações, para aumentar a participação de ER em sistemas energéticos existentes como é o caso de Portugal.

### 2.3.1 Energia da Biomassa

De uma forma generalista podemos definir biomassa, como todo o combustível quer seja sólido, líquido ou gasoso, não fóssil, composto por matéria vegetal ou animal, ou produzida pela mesma, a partir de processos químicos ou físicos, suscetível de ser utilizada em aplicações energéticas. De outro modo podemos considerar biomassa, como todo o material vegetal, derivado da reação entre o CO<sub>2</sub> no ar, água e luz solar, via fotossíntese, para produzir hidratos de carbono, que formam os blocos que compõem a biomassa [24].

A disponibilidade da biomassa está muito dependente da localização, do clima e época e pode classificar-se segundo os diferentes tipos de proveniência (Figura 2).

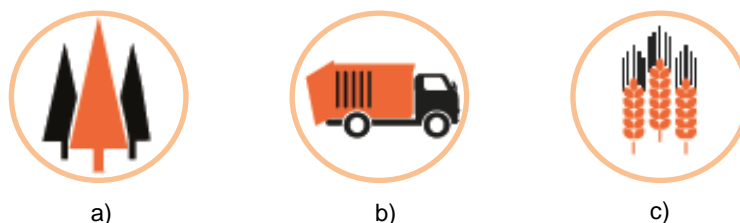


Figura 2 Distintos tipos de biomassa: a) Natural; b) Residual; c) Produzida [25]

**Biomassa natural:** aquela que deriva da natureza de forma espontânea, na qual se incluem as madeiras florestais:

**Biomassa residual:** incluem-se todas as matérias-primas que se geram, fruto das atividades de produção, transformação e consumo. Nestas se incluem os resíduos agrícolas herbáceos, lenhosos, resíduos industriais agroalimentares, resíduos florestais, gerados nas indústrias de transformação de madeira, da pecuária, águas residuais e resíduos sólidos urbanos (RSU);

**Biomassa produzida:** toda aquela que é cultivada com a finalidade de obter biomassa transformável em combustível.

A principal vantagem da utilização da biomassa é um balanço neutro em emissões de  $\text{CO}_2$ , dado que, ao queimar a biomassa para se obter energia, liberta-se  $\text{CO}_2$  para a atmosfera, no entanto deve considerar-se que durante o crescimento da matéria orgânica vegetal é absorvido  $\text{CO}_2$ . Desta forma, o ciclo é fechado e o nível de  $\text{CO}_2$  para a atmosfera mantém-se constante, pelo que, a energia da biomassa, não contribui para as alterações climáticas (Figura 3).

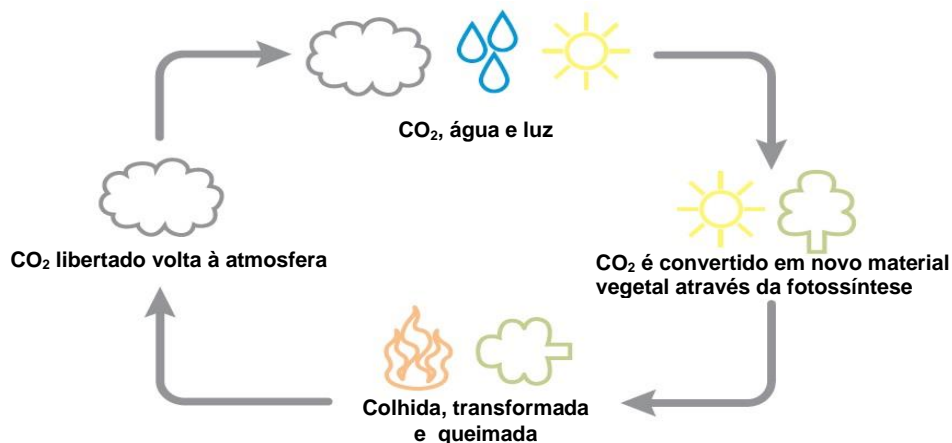


Figura 3 Biomassa, ciclo típico do carbono [29]

Existe consenso geral entre as partes interessadas, de que o carbono emitido através da combustão da biomassa foi e será novamente isolado da atmosfera, se para a quantidade de biomassa utilizada, for possível associar o crescimento de uma cultura ou de uma floresta sustentável (sistema de gestão). No entanto existe uma preocupação, sobre o tempo de desfasamento entre a libertação do carbono através da combustão e o seu sequestro por via do crescimento da planta.

O desequilíbrio temporal é relevante, especialmente, para sistemas de biomassa florestal, que comportam ciclos de rotação relativamente longos, reduzindo assim, o seu potencial para baixar os GEE no médio e longo prazo. Até à data, a maioria dos trabalhos científicos têm-se centrado, em determinar o “retorno do carbono”, os resultados variam consoante a modelagem e o enquadramento.

Em geral, a utilização de resíduos de árvores (limpeza, desbaste de árvores de pequeno porte) ou tratamento de madeira (aparas, retalhos e serradura), implica períodos de retorno mais curtos do que, a utilização de troncos de grande diâmetro, sobretudo a partir de plantas de crescimento lento ou de florestas de baixa produção. Por outro lado, não existe consenso entre a comunidade científica, em torno do qual, a duração do retorno do carbono será aceitável [25].

Face ao que hoje é conhecido, outra grande vantagem da utilização da biomassa é o facto de ser produzida e consumida localmente, contribuindo para o desenvolvimento das

economias regionais. Uma vez que é consumida localmente, reduzem-se as distâncias com transportes, logo contribui para a redução de emissões e poupanças energéticas.

A biomassa apresenta-se assim, como uma energia primária, com significativa versatilidade, dado que permite diferentes conversões energéticas, assim como o seu uso final, sobre diversas formas: calor, produção de eletricidade e biocombustíveis quer sejam líquidos, sólidos ou gasosos [26].

Nos últimos anos tem existindo um redobrado interesse, pela utilização da biomassa como fonte de energia existindo diversas razões para que assim suceda:

- A evolução tecnológica (aplicação da biomassa com menor custo e maior eficiência);
- Produção de excedentes de alimentos, e a elevada procura por energia, resultou em terrenos livres para a produção de culturas energéticas;
- A potencial ameaça das alterações climáticas devido às emissões de GEE, tornou-se num importante estímulo à procura de ER;
- Por último, a biomassa é uma fonte de energia endógena, disponível na maioria dos países, a sua aplicação pode diversificar o fornecimento de combustível em muitas situações, e como já referido, contribui para o desenvolvimento das economias locais [24].

Os *drivers* referidos contribuem assim, para o aumento mundial da procura para a geração de calor, eletricidade e produção de biocombustíveis líquidos e gasosos. No entanto, cerca de 60% da biomassa utilizada para a produção de energia, continua a ter o formato tradicional: madeira, carvão (derivado da madeira) e resíduos (Figura 4).

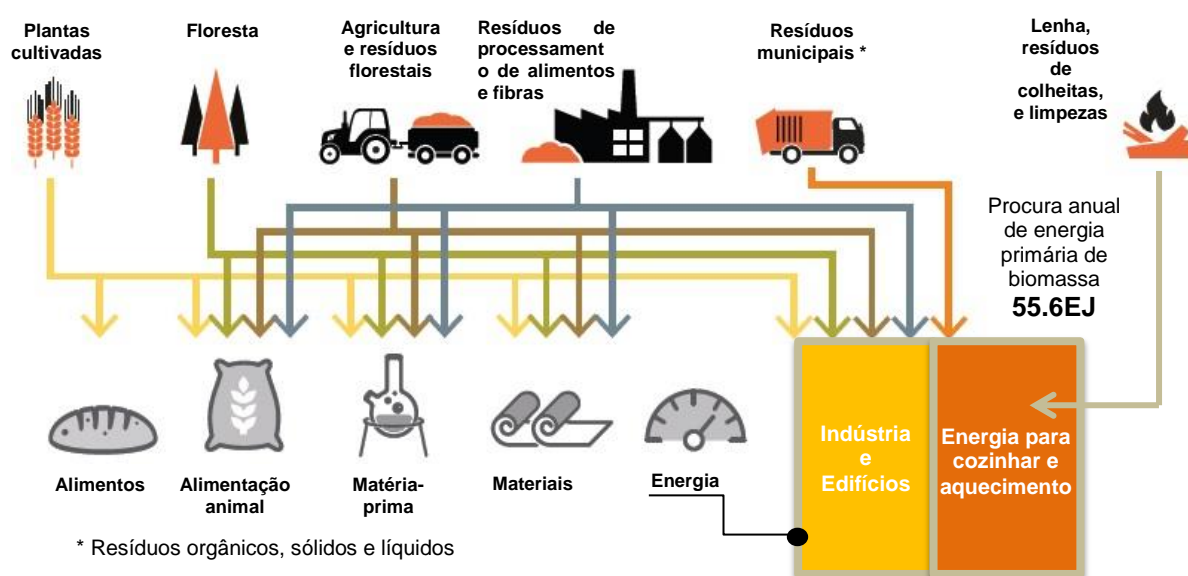


Figura 4 Recursos de biomassa e vias de energia [25]

## - Tipos de biomassa

A maioria dos materiais da biomassa em bruto exige, alguma forma de processamento antes que se tornem combustíveis. Estes processos podem variar desde cortes simples e secagem, para processos mais elaborados, como é o caso da peletização.

O método de processamento que a matéria-prima sofre é importante, já que, daqui resulta a sua aplicação e utilidade como combustível para ser utilizado em determinado projeto.

Existem fundamentalmente seis tipos de biomassa, para alimentação de equipamentos de conversão de energia a saber: lenha, estilha, briquetes, *pellets*, cascas e caroços de frutos e biomassa florestal residual. A sua origem, transformação e principal utilização descreve-se na (Tabela 1).

Tabela 1 Combustíveis típicos para projetos de biomassa [27]

Tipo de biomassa	Origem	Utilização
Lenha	Sobro, azinho, oliveira, eucalipto, pinho e outras espécies existentes em cada localização.	Em caldeiras de carga manual, lareiras abertas, recuperadores de calor, fornos de padaria, estufas e fornos de cerâmica.
Estilha	Podas de formação, limpezas, pinho e eucalipto.	Vocacionada para equipamentos de queima com alimentação automática.
Briquetes	Produzidos através da compactação de material lenhoso previamente triturado e seco.	Vocacionados para utilização em salamandras, recuperadores de calor e fogões tradicionais.
<i>Pellets</i>	Produzidos através da compactação de material lenhoso por um processo de extrusão previamente triturado e seco.	Utilização em estufas e caldeiras com alimentação automática.
Cascas e caroços de frutos	Obtidos no processo industrial de descasque e processamento de frutos secos (amêndoa, pinhão e caroço de azeitona).	Para utilização em caldeiras de alimentação automática.
Biomassa florestal residual	Proveniência de variadas origens constituídos por uma heterogeneidade de materiais obtidos de diversas operações de limpezas florestais.	Vocacionada para grandes sistemas de queima, como as grandes centrais de cogeração e produção de energia elétrica.

## - Composição química

A biomassa vegetal engloba três componentes principais: a celulose, hemicelulose e lignina, em conjunto com um variado número de elementos vestigiais. Os três constituintes principais são: estruturas complexas de carbono, hidrogénio e oxigénio. As proporções destes constituintes diferem entre espécies de árvores, tal como os índices de outros sub-tipos dentro de cada constituinte: Enxofre (Z); Nitrogénio (N); Cloro (C) e Potássio (K).

Uma aproximação representativa da composição da madeira, ignorando oligoelementos é a seguinte: carbono: 49%; oxigénio: 45% e hidrogénio: 6% (valores relativos a peso) [28].

### Humidade

Os combustíveis de biomassa possuem uma gama de características que afetam o seu desempenho, assim como o tipo de equipamento a selecionar. A biomassa é higroscópica, o que significa que absorve água. O teor de humidade é altamente variável e depende da

localização, do tipo de biomassa e da estação do ano. O conteúdo de humidade é expressa numa base seca ou húmida. Base seca ( $Mdb^2$ ) é um rácio entre o peso da água e o peso seco da biomassa. Base húmida ( $Mwb^3$ ) é a razão entre o peso da água para o peso húmido da biomassa. Os dois teores de humidade estão assim relacionados [28]:

$$Mwb = \frac{Mdb}{(1 + Mdb)} \quad Mdb = \frac{Mwb}{(1 - Mwb)} \quad (1)$$

A humidade é expressa como percentagem ou medida numa base “seca ou húmida”, os fornecedores de madeira, normalmente utilizam o método base húmida, porque dá uma indicação mais clara do conteúdo de água.

O cálculo base húmida exprime o teor de humidade ou *Moisture Content*<sup>4</sup> (MC) como uma percentagem da massa do material. Na fórmula a seguir “massa seca” reporta-se à massa da biomassa, considerando que toda a humidade foi expulsa.

Base húmida:

$$MC = \left( \frac{Mw - Md}{Mw} \right) * 100 \% \quad (2)$$

Base seca:

$$MC = \left( \frac{Mw - Md}{Md} \right) * 100 \% \quad (3)$$

Em que: (Mw) mistura húmida (*Moisture wet*), (Md) mistura seca (*Moisture dry*).

Um MC mais elevado, implica um poder calorífico inferior, dado que cada unidade de massa de combustível contém menos biomassa seca, que é a parte do combustível que realmente sofre combustão, para liberar calor. O efeito é mais visível para a maioria dos sistemas de aquecimento a biomassa, onde o vapor de água nos produtos de combustão não pode ser condensado. Isto sucede, porque a humidade no combustível também tem de ser vaporizada antes da combustão, e para que isso ocorra é necessária energia que não é recuperada [29].

Os valores do poder calorífico em (MJ/kg e kWh/kg) da biomassa em função do (MC) indicam-se na (Figura 5). Verifica-se que a biomassa seca tem uma capacidade de energia superior, relativamente à biomassa molhada.

<sup>2</sup> Conteúdo da mistura em base seca (*Moisture dry basis*)

<sup>3</sup> Conteúdo da mistura em base húmida (*Moisture wet basis*)

<sup>4</sup> Designação em Inglês. Mantem-se a sigla MC, por ser a designação original do autor

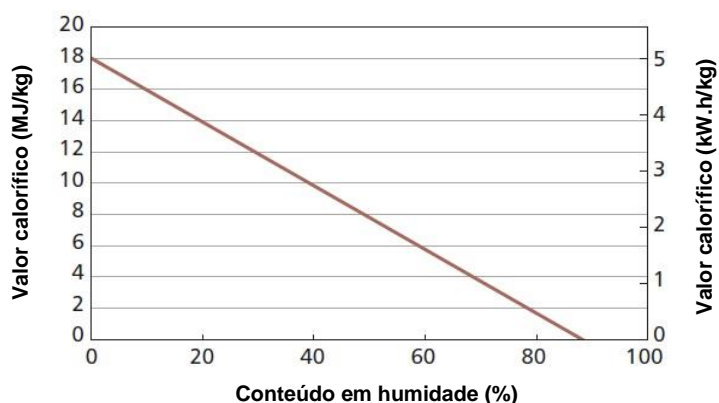


Figura 5 Efeito do conteúdo de humidade no poder calorífico [29]

### Poder calorífico

Esta é uma das principais características da biomassa; indica o potencial de aquecimento é uma medida do conteúdo energético.

É definida como a quantidade de calor libertado a partir de uma unidade específica de combustível, considerando a sua combustão completa.

Os valores caloríficos da biomassa CVs são convencionalmente, expressos em (MJ/kg). O valor calorífico de um combustível deve ser expresso, quer como *Gross Calorific Value* (GCV) também conhecido como poder calorífico superior (PCS) ou *Higher Heating Value* (HHV), ou como *Net Calorific Value* – (NCV) também conhecido como poder calorífico inferior (PCI) ou *Low Heating Value* (LHV). O NCV é a quantidade de calor emitido pela combustão completa de uma unidade de combustível, quando o vapor de água produzido permanece na forma de vapor e o calor de vaporização não é recuperado.

Em geral, o NCV é mais amplamente utilizado, do que o GCV, dado que, na generalidade das aplicações, o calor de vaporização não é recuperado.

O poder calorífico superior GCV é a quantidade de calor libertado pela combustão completa de uma unidade de combustível, quando o vapor de água produzido é condensado, e o calor de vaporização é recuperado.

A água condensa-se ao fazer cair os produtos da combustão (gases de combustão), abaixo dos 100°C.

Esta situação não é geralmente aplicada à biomassa, pelo facto de a combustão dos gases não poder ser arrefecida abaixo de 130 °C logo, o vapor de água não pode ser condensado.

Note-se que (para a madeira) o GCV é geralmente 6 - 7% mais elevado do que o NCV.

O fator determinante do valor calorífico do material da biomassa é o conteúdo de humidade inerente MC. O MC do material pode variar desde 5-8% para *pellets* de madeira, 35% para biomassa protegida e até 65% para a madeira recentemente cortada. Como já anteriormente referido, quanto maior for o MC, menor será a energia contida no combustível.

Para o cálculo do poder calorífico inferior PCI ou NCV, recorre-se em geral à expressão (4) [29].

$$PCI = [PCI_{seco} * (1 - MC)] - (2,442 * MC) \quad (4)$$

Sendo: PCI do combustível seco em (MJ/kg), MC em (%) e 2,442<sup>5</sup> em (MJ/kg).

### Densidade aparente

A densidade aparente é a massa das partículas, dividida pelo volume que ocupam. Quanto maior for a densidade, maior a massa de combustível existente num determinado volume.

A densidade aparente, ao contrário de densidade, não é intrínseca a um material, por exemplo: o mesmo pedaço de madeira pode ter valores de densidade diferentes, caso seja transformado em troncos, *pellets* ou estilha.

O teor de humidade também afeta a densidade aparente, dado que, as partículas têm uma massa superior, mas não ocupam mais espaço. Este é um ponto importante, porque, os combustíveis com maiores conteúdos de humidade possuem grandes massas, mas possuem baixa densidade energética. A biomassa com maior conteúdo de humidade possui menor densidade de energia, logo, o volume de combustível necessário para uma dada quantidade de calor tem de ser maior.

A densidade de energia deriva da densidade de massa de um combustível e é uma medida da energia contida numa unidade de combustível sendo, convencionalmente, expressa em MJ/m<sup>3</sup>. Esta é uma variável muito importante já que, nos ajuda a entender a taxa de consumo de combustível, o volume necessário para a armazenagem entre outras (Tabela 2). A densidade de energia pode assim determinar-se [29]:

$$Densidade\ energética = CV * densidade\ aparente \quad (5)$$

Sendo: densidade energética em (MJ/m<sup>3</sup>), CV em (MJ/kg) e densidade aparente (kg/m<sup>3</sup>).

Tabela 2 Valores típicos de densidade, valor calorífico e densidade de energia [29]

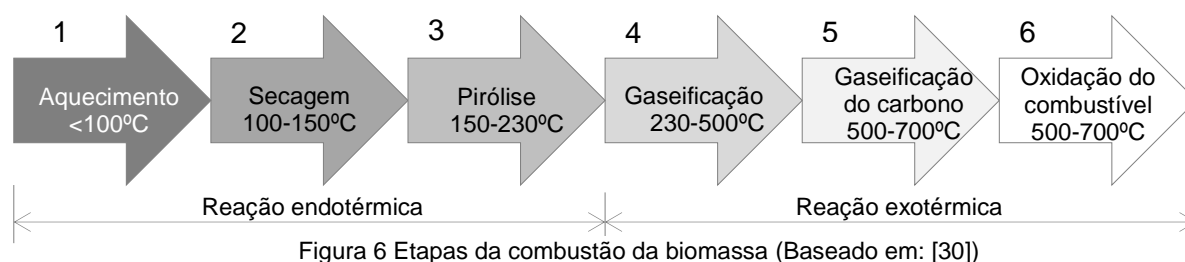
Biomassa	NCV (MJ/kg)	CV (kWh/kg)	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )		Densidade de energia (MJ/m <sup>3</sup> )		Densidade de energia (kWh/m <sup>3</sup> )	
			Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
Estilha	12,5	3,5	200	250	2.500	3.125	694	868
Toros de madeira	14,6	4,1	350	500	5.110	7.300	1.419	2.028
Madeira seca em estufa	18,6	5,2	400	600	7.440	11.160	2.067	3.100
<i>Pellets</i> de madeira	17	4,7	600	700	10.200	11.900	2.833	3.306

<sup>5</sup> Energia necessária por cada (kg) de água evaporada

## Combustão

A combustão ou queima da biomassa é uma complexa sequência de reações exotérmicas, entre as reações químicas do combustível e um oxidante.

A combustão da biomassa acontece em distintas fases sobrepostas (semelhantes a outros combustíveis sólidos), a extensão e natureza são diferentes para cada tipo de combustível de biomassa (Figura 6).



**Fase 1:** Aquecimento do combustível até 100°C, normalmente, os combustíveis sólidos são armazenados a temperaturas entre 0 e 25°C. Antes de as reações serem iniciadas o combustível tem de ser aquecido, por este motivo, a câmara de combustão deve estar quente através do calor libertado pelos materiais refratários. As caldeiras de grande porte, concebidas para queimar pedaços de madeira, substancialmente molhada possuem maiores quantidades de revestimentos refratários. Quanto maior for a quantidade do revestimento refratário, menos sensível a caldeira será a alterações na procura de calor, e maior será o calor residual que terá de ser dissipado, quando a caldeira é desligada;

**Fase 2:** Secagem do combustível (100-150°C) a vaporização de água contida no combustível ocorre nesta fase;

**Fase 3:** Ocorre a decomposição pirolítica dos componentes de madeira é quando os componentes de cadeia longa dos combustíveis sólidos são divididos, em compostos de cadeia curta. Os produtos da pirólise são alcatrões líquidos, gases, tais como: o monóxido de carbono e hidrocarbonetos gasosos. A decomposição pirolítica da madeira não requer qualquer oxigénio;

**Fase 4:** Gaseificação do combustível livre de água, a decomposição térmica do combustível seco sob a influência de oxigénio começa no ponto de inflamação de cerca de 230 °C, em que a gaseificação tem lugar. O oxigénio fornecido pelo ar primário produz calor suficiente em reação com os produtos gasosos da pirólise;

**Fase 5:** Ocorre a gaseificação do carvão sólido e é gerado monóxido de carbono (CO) sob o efeito do dióxido de carbono, o vapor de água e oxigénio. A gaseificação do carvão sólido é uma reação exotérmica, produzindo calor e luz, que ambos podem ser vistos como uma chama visível;

**Fase 6:** Ocorre a oxidação de todos os gases combustíveis produzidos pelas etapas dos processos anteriores e representa o fim da reação de combustão do combustível sólido. A maior parte da energia é produzida nesta fase, quando os gases combustíveis, principalmente uma mistura de CO e hidrogénio (H) são queimados a alguma distância a partir da grelha, a uma temperatura elevada, enquanto se mantém a gama de temperaturas nas fases 1, 2 e 3, para converter os materiais sólidos em energia.

A combustão limpa e completa da mistura de gás é realizada sob a influência do ar secundário.

As fases 1-3 são reações (de absorção de calor) endotérmicas, ocorrem em qualquer fogo e prepararam o combustível para a oxidação. Uma vez que o ponto de inflamação foi atingido, aproximadamente a 230°C, as reações (produtoras de calor), exotérmicas têm início com a entrada de oxigénio [30].

### 2.3.2 Energia Solar

Portugal tem ante si, um elevado potencial para o desenvolvimento da energia solar, com uma média entre 2.200 e 3.000 horas de sol por ano [31]. A pouca nebulosidade, a baixa humidade ambiental, o clima seco e a incidência dos raios solares fazem com que, o nosso país obtenha invejáveis valores de radiação direta. Ainda assim existem evidentes diferenças, que se encontram refletidas pelas zonas climáticas de referência, dividindo-se o país em três zonas de inverno (I1, I2 e I3) e em três zonas de verão (V1, V2 e V3) [32].

Segundo a forma de recolha da energia solar podemos obter energia térmica mediante captadores solares térmicos, ou transforma-la em eletricidade utilizando em geral módulos fotovoltaicos. Os processos são distintos, nada tendo de comum entre si, nem quanto às tecnologias nem quanto às aplicações [33].

A luz solar pode dar origem a combustíveis químicos, através da fotossíntese natural ou artificial, calor para utilização direta ou conversão em eletricidade e diretamente, excitando eletrões numa célula fotovoltaica [34].

Em Portugal, a energia elétrica renovável representava no final de 2013 cerca de 58,3% do total da eletricidade consumida, no entanto, a energia elétrica produzida através do solar contabilizava à data menos de 1%, o que revela um potencial de crescimento para esta fonte energética [35].

Neste contexto apresentam-se as duas tecnologias de captação de energia solar, pela importância destas, como energias renováveis e pela multiplicidade de aplicações que vêm adquirindo no panorama nacional.

O potencial de recurso solar global é no mundo de 5,6GJ ou seja 1,6MWh/m<sup>2</sup>/ano, sendo o mais alto recurso solar na região do Mar Vermelho, incluindo o Egipto e Arabia Saudita.

Estima-se que a energia solar tenha sido responsável pelo consumo de 0,1% da energia primária em termos mundiais no ano de 2007, tendo aumentado substancialmente, nos últimos anos [36]. Na Europa, este recurso varia significativamente, em função da latitude: nos países do sul (Portugal, Espanha e Itália), a irradiação solar anual chega a ser o dobro da média disponibilizada nos países do norte da Europa (Noruega, Suécia e Dinamarca). Em Portugal considerando uma orientação ótima, atingem-se valores de irradiação que variam entre 1.700kWh/m<sup>2</sup>, no norte e 2.000kWh/m<sup>2</sup>, no sul. A potência solar incidente por unidade de área, designada de irradiância incidente (G) é no máximo de 1.000W/m<sup>2</sup>, considerando as condições de referência (STD<sup>6</sup>) (Figura 7) [34].

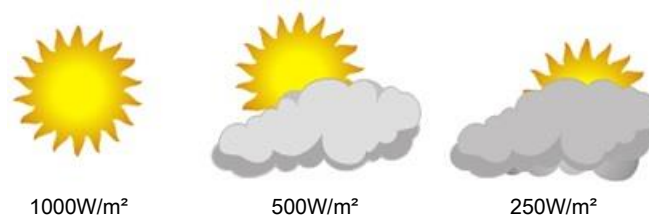


Figura 7 Potência solar para diferentes atmosferas [37]

A radiação solar incidente (ou irradiância global) é definida pela soma de três componentes (Figura 8 a e b):

- **Radiação direta:** (diretamente do sol), esta componente é nula se o sol estiver coberto por nuvens ou por obstáculos;
- **Irradiação difusa:** corresponde à radiação proveniente de toda a atmosfera, com exceção da radiação direta. Esta energia dispersa pela atmosfera e direcionada para a superfície da terra, pode chegar a 50% da radiação global recebida, quando o Sol está baixo no horizonte, e 100% para um céu completamente encoberto [37];
- **Radiação refletida:** correspondendo à radiação refletida a partir do ambiente externo, em particular dos solos e nuvens. O coeficiente de reflexão é chamado "albedo" (Figura 8 b).

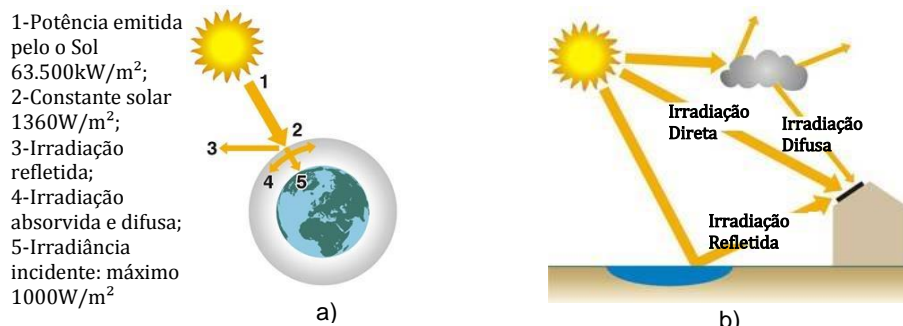


Figura 8 Componentes da radiação solar a) e b) [37]

<sup>6</sup> Standart Test Conditions

A soma das três componentes representa a radiação global, com a potência de 1.000W/m<sup>2</sup>, como já referido anteriormente.

Os modelos de conversão da energia solar dividem-se nas seguintes áreas de utilização:

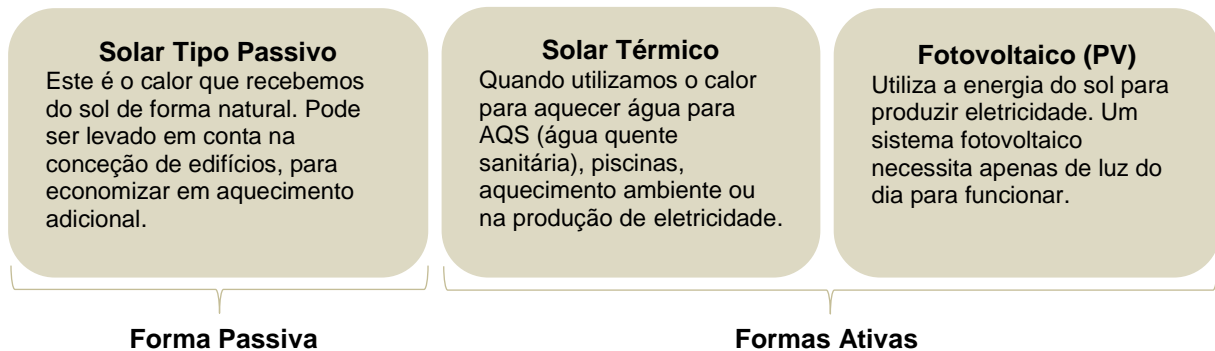


Figura 9 Áreas de conversão da energia solar (Fonte: O autor)

### - Solar térmico

A energia solar térmica é uma fonte de calor extremamente prática e económica, que se baseia em tecnologia que não depende de recursos energéticos escassos e não renováveis. A conversão térmica da energia solar consiste na absorção de radiação numa superfície absorvedora, e na transferência desta energia sob a forma de calor, para o elemento que irá receber esta energia útil (Figura 10 a). Em termos gerais, a energia solar térmica aproveita a radiação solar para aquecer um fluido, normalmente água ou ar (Figura 10 b).

A capacidade de transformar os raios solares em calor é precisamente, o princípio elementar em que se baseia esta fonte de ER. A quantidade de radiação solar absorvida é determinante, para a quantidade de energia útil obtida e depende das características da superfície.

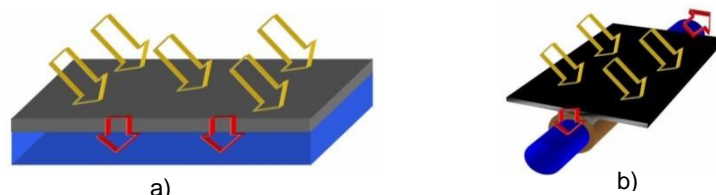


Figura 10 Princípio de funcionamento de um painel solar térmico: a) absorção de radiação; b) captação de energia útil e transferência para circuito hidráulico [38]

O princípio de funcionamento de um sistema solar térmico é basicamente, um sistema de transferência de energia (campo de coletores) e um tanque de armazenagem de água quente, tal como indicado na (Figura 11). A parte principal do sistema é o campo de coletores, que absorve radiação solar e converte-la em calor. Este calor é absorvido por um fluido de transferência de calor, que passa através dos coletores.

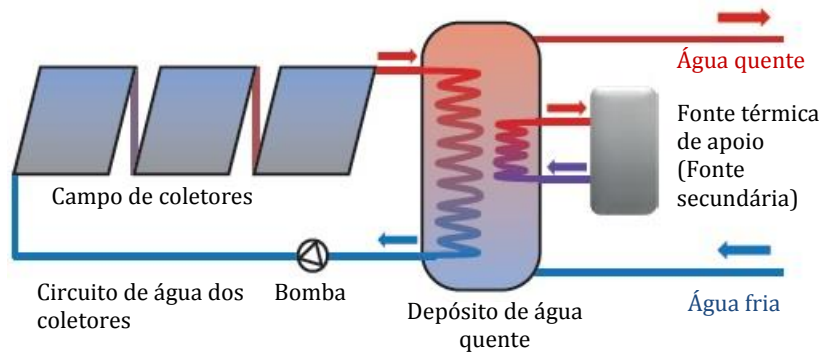


Figura 11 Componentes de um sistema solar térmico [39]

O calor pode ser armazenado ou utilizado diretamente. A quantidade da água quente produzida depende do tipo e tamanho do campo de coletores solares, do tamanho do depósito de armazenagem da água, da quantidade de radiação solar disponível no local e do padrão de procura de água quente [39].

Existem várias maneiras de classificar os sistemas solares térmicos:

- **Sistema direto ou circuito aberto:** quando o fluido usado na aplicação é o mesmo que é aquecido no coletor;
- **Sistema indireto ou fechado:** quando o fluido aquecido no coletor vai para um permutador de calor para aquecer o fluido a utilizar.

Uma outra forma de classificar os sistemas é pela forma como fluido de transferência de calor é transportado:

- **Passiva:** baseiam-se em processos físicos básicos em que não são necessárias bombas. Estes sistemas utilizam convecção natural para transportar o fluido do coletor para a armazenagem, isto sucede, porque a densidade do fluido cai quando a temperatura aumenta, de tal modo, que o fluido se eleva do fundo para o topo do coletor (termo-sifão). A vantagem destes sistemas é que, não requerem qualquer bomba ou controlador, o que os torna muito fiáveis e duráveis. No entanto, dependendo da qualidade das águas usadas, os tubos podem ser obstruídos, o que reduz, consideravelmente a taxa de fluxo (Figura 12 a);
- **Ativa:** por circulação forçada, utilizam uma bomba. São sistemas como os da (Figura 11) e (Figura 12 b), requerem bombas que forcem o fluido a circular do campo de coletores para o tanque de armazenagem e restante circuito. Estes sistemas são normalmente, mais caros do que os passivos. No entanto têm a vantagem, de se poderem ajustar as taxas de fluxo com mais facilidade [39].

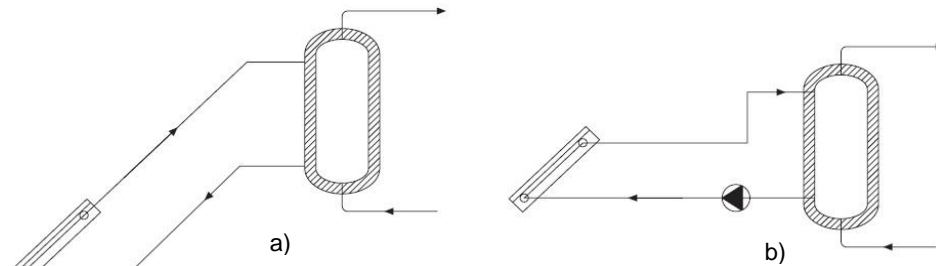


Figura 12 Sistemas solares passivos em a) e ativos b) [33]

### Coletor solar térmico

O coletor determina quão eficientemente a irradiação incidente é aproveitada. É normalmente constituído, por uma superfície negra, chamada absorvente, e uma tampa transparente. O absorvente é capaz de absorver a maior parte da energia incidente a partir do sol ( $Q_{sun}$ ) aumentando a sua temperatura, e transferindo o calor para um fluido que nele circula [39]. Este componente deve ter baixa emissividade (tratamento da chapa metálica com pintura preto-baço ou revestimento seletivo), absorvidade distinta para pequenos e grandes comprimentos de onda.

Nem toda a energia incidente pode ser utilizada, uma vez que existem perdas, como ilustrado na (Figura 13).

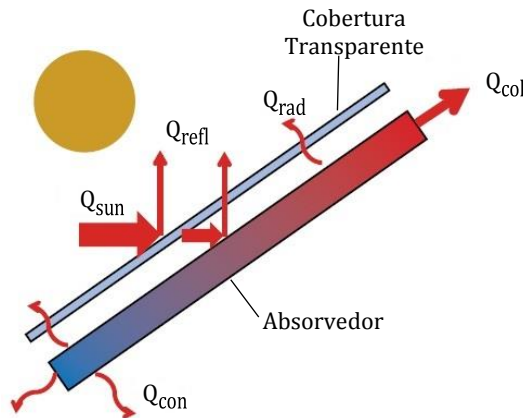


Figura 13 Fluxos de energia num coletor solar térmico [39]

Uma parte ( $Q_{refl}$ ) é perdido como reflexão, outras perdas estão relacionadas com a troca de calor com o ar circundante, pelo mecanismo de convecção, ( $Q_{conv}$ ) e por radiação a partir do absorvedor ( $Q_{rad}$ ). Quando fazemos o balanço energético de todas estas energias, encontramos para ( $Q_{col}$ ) o calor que pode ser transferido pelo coletor [39]:

$$Q_{col} = Q_{sun} - Q_{refl} - Q_{conv} - Q_{rad} \quad (6)$$

A eficiência do coletor depende então de dois fatores: a quantidade de irradiação solar convertida em calor pelo absorvedor e as perdas resultantes da envolvente. Para reduzir as perdas, o isolamento da envolvente é um fator importante, especialmente, quando a diferença de temperatura entre o absorvedor e o ambiente é elevada.

### - Energia solar fotovoltaica

A energia fotovoltaica é uma valiosa fonte de energia, renovável, inesgotável e não poluente. Uma célula fotovoltaica converte instantaneamente, a energia solar recebida em energia elétrica, pelo que uma célula sem incidência de irradiação se comporta como um componente passivo.

Tradicionalmente, o desenvolvimento dos sistemas conversores de energia fotovoltaica têm-se processado com base no silício cristalino. As células fotovoltaicas são constituídas por um material semicondutor (silício), ao qual se adiciona uma substância designada “dopante”, por forma a criar o meio adequado ao efeito fotovoltaico, isto é, conversão direta da potência associada à irradiação solar em potência elétrica (*Direct Current, DC*) ou corrente contínua. O efeito fotovoltaico consiste na geração de uma diferença de potencial na junção de dois materiais diferentes, em resposta à radiação eletromagnética.

O efeito fotovoltaico está intimamente relacionado com o efeito fotoelétrico, onde eletrões são emitidos a partir de um material que absorve luz, com uma frequência acima de um material-dependente designada de frequência limite. Em 1905, *Albert Einstein* descobriu que este efeito podia ser explicado assumindo que a luz consistia em energia quântica bem definida (fotões), sendo a energia de um fotão dada pela equação (7) [39]:

$$E = h\nu \quad (7)$$

Sendo  $h$  a constante de *Planck* e  $\nu$  a frequência da luz.

No anexo A dá-se uma explicação sobre o comportamento da célula fotovoltaica e como se processa o efeito fotovoltaico.

A célula é o elemento mais pequeno do sistema fotovoltaico (PV), gerando tipicamente potências elétricas DC da ordem de 1,5W, (correspondendo a uma tensão de 0,5V e uma corrente de 3A (Figura 14 a). Para a obtenção de potências superiores, as células são ligadas em série ou paralelo, formando módulos (tipicamente com potências DC da ordem dos 250W), (Figura 14 b), a agregação destes módulos origina uma *string*<sup>7</sup> (Figura 14 c). Para ligar os painéis à rede elétrica (*Alternating Current, AC*) ou corrente alterna, é necessário um equipamento de interface, isto é, um conversor DC/AC (inversor) [34].

---

<sup>7</sup> Conjunto de vários módulos

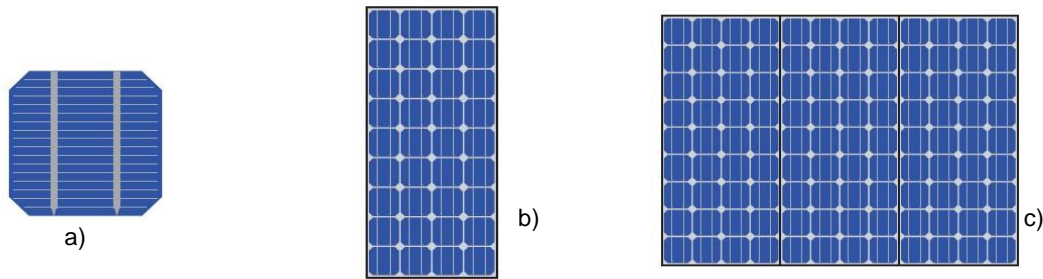


Figura 14 Sistemas fotovoltaicos: a) Célula; b) Módulo; c) String [39]

### Ligação das células

As células podem ligar-se em série ou em paralelo. Numa ligação em série, as tensões (V) somam-se. Já a corrente de uma série de células é igual à corrente gerada por uma única célula. Se ligarmos duas células em série, as tensões adicionam-se ao mesmo tempo que a corrente permanece a mesma. Na ligação em paralelo, a tensão é a mesma ao longo de todas as células, enquanto as correntes das células se somam (Figura 15 a, b e c).

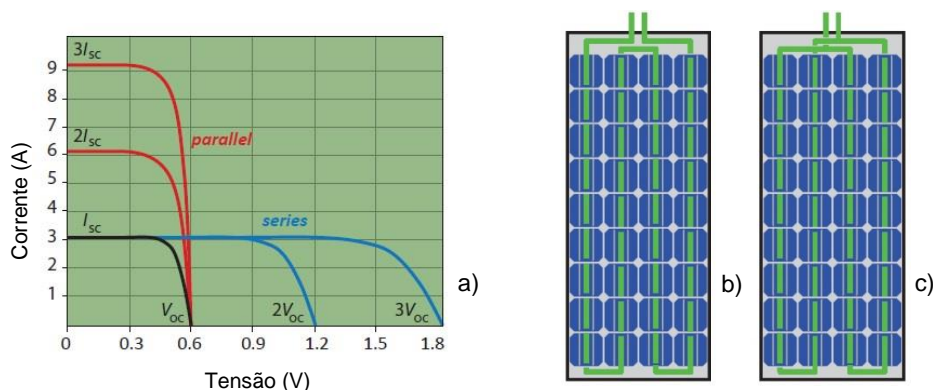


Figura 15 Células fotovoltaicas: a) Curvas I-V com células ligadas em série e em paralelo; b) Módulo com células ligadas em série; c) Módulo com células ligadas em paralelo [39]

Existem duas grandes tecnologias para a produção de células fotovoltaicas: o silício cristalino que representa a maioria da produção e uma tecnologia mais recente que é o filme fino mas que está em crescendo.

Além das diferenças estéticas a diferença óbvia entre tecnologias diz respeito à eficiência de conversão conforme indicado na (Tabela 3).

Tabela 3 Eficiência de conversão entre tecnologias [40]

Tecnologia	Eficiência
Silício mono-cristalino	12,5-15%
Silício poli-cristalino	11-14%
Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio (CIGS)	10-13%
Telureto de Cádmio (CdTe)	9-12%
Silício amorfo (Si-a)	5-7%

Outro aspeto muito importante no desempenho de um PV é o coeficiente de temperatura, especialmente em climas quentes, uma vez que o desempenho da célula diminui à medida que a temperatura aumenta. O comportamento de uma célula fotovoltaica é caracterizada por uma curva I-V, esta curva está dependente da temperatura e da irradiação, isto é: um aumento da irradiação, aumenta a corrente e ligeiramente a tensão, já uma subida da temperatura diminui a tensão (Figura 16 a e b) [41].

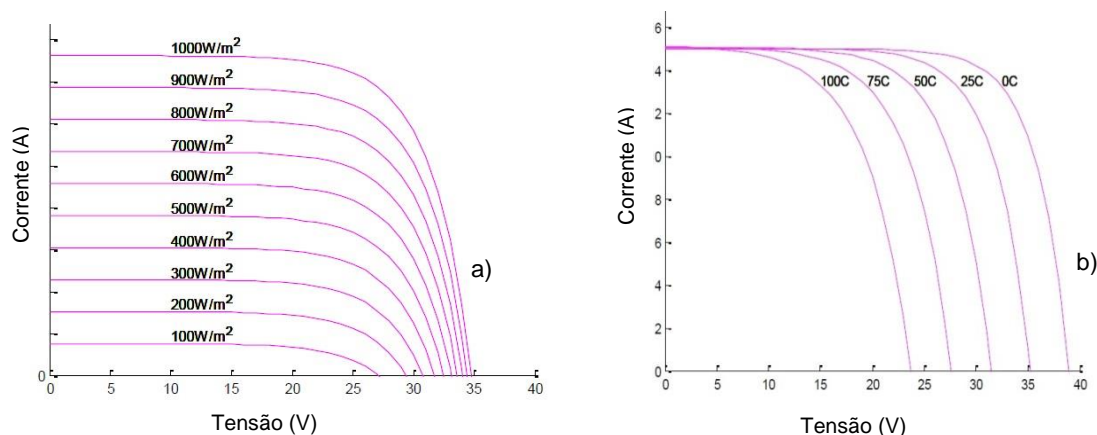


Figura 16 Curva I-V: a) várias irradiações e temperatura constante; b) várias temperaturas e irradiação constante [41]

Para uma dada temperatura e irradiação o ponto de operação corresponde a um único par (I, V) que se encontra na curva I-V, a saída de energia deste ponto é dada pela equação (8) [39]:

$$P = I * V \tag{8}$$

O ponto de funcionamento (I, V) corresponde a um ponto na curva de potência (P-V), conforme a (Figura 17).

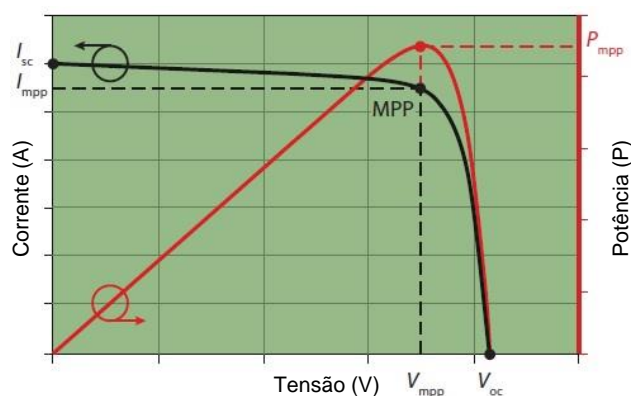


Figura 17 Curva de máxima potência MPP [39]

Para gerar a maior potência a uma determinada irradiação e temperatura, o ponto da operação corresponde ao valor máximo da curva P-V e é, vulgarmente designado de ponto

de potência máxima (MPP). Como se pode constatar pela (Figura 17), a forma mais simples de obrigar o PV a funcionar no MPP é forçar a tensão a ser  $V_{mpp}$ , e a corrente a ser  $I_{mpp}$ , no entanto nem sempre estes parâmetros são fáceis de alcançar, dado que, como se viu anteriormente, o MPP depende em muito das condições ambientais.

Ao conjunto formado por diversos módulos e respetivos equipamentos de interface com a rede AC, designa-se como já referido por PV. A potência solar incidente por unidade de área representa-se aqui por  $G$  ( $W/m^2$ ), a energia incidente por unidade de área, designa-se por irradiação solar e representa-se por  $H_i$  ( $kWh/m^2$ ). A energia elétrica DC, à saída dos painéis representa-se por  $E_{DC}$ , e a energia elétrica AC, entregue à rede representa-se por  $E_{AC}$ , as respetivas potências são  $P_{DC}$  e  $P_{AC}$ .

Define-se por potência de pico  $P_P$  como a potência máxima DC nas condições de referência STC, isto é: irradiação incidente  $G=1.000W/m^2$  e temperatura da célula  $\theta_c=25^\circ C$ . A potência de pico mede-se em  $W_p$ , e o  $\eta$  do painel PV nas condições de referência é calculado de acordo com a equação (9), em que  $A$  é a área recetora [34].

$$\eta = \frac{P_p}{AG} \quad (9)$$

## 2.4 O Efeito de Estufa

Os GEE provenientes da atividade humana são um parâmetro muito significativo, com responsabilidades nas alterações climáticas desde meados do século XX. A emissão de GEE na atmosfera é influenciada, por diversos fatores: a atividade económica, a população, o uso da terra e da tecnologia, assim como os padrões de consumo atuais [42].

Os principais GEE são o ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ) e os gases fluorados dos quais se destacam (HFCs, PFCs,  $SF_6$  e  $NF_3$ ). O  $CO_2$  é o GEE comumente mais produzido pela atividade humana, e responsável por 64% do aquecimento global, sendo a concentração na atmosfera superior em 40%, relativamente ao começo da industrialização [43].

A contribuição para a emissão de GEE na UE em função dos setores de atividade está repartida conforme indicado na (Figura 18) [44]. A atividade económica e o desenvolvimento dos países está intimamente, relacionada com a emissão de GEE, dado que é impossível viver sem energia. O clima será mais ou menos alterado, consoante o ser humano conseguir ou não alterar as emissões de poluentes gasosos, dado que, diferentes concentrações de GEE corresponderão no futuro a diferentes temperaturas [45].

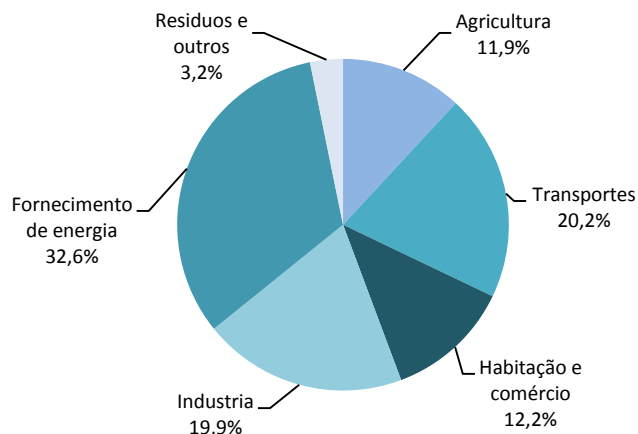


Figura 18 Fontes de emissão de GEE na EU [44]

As iniciativas como o Protocolo de Quioto, Comissão Europeia Energia 2020 e Roteiro 2050 são indicadores de que a UE está empenhada, em tornar-se uma economia de baixo carbono. Os objetivos fixados para 2020 são ambiciosos, mas vinculativos para garantir que são alcançados. Na (Figura 19) indicam-se as projeções se forem tomadas medidas adicionais (MA) ou somente com as medidas existentes (ME).

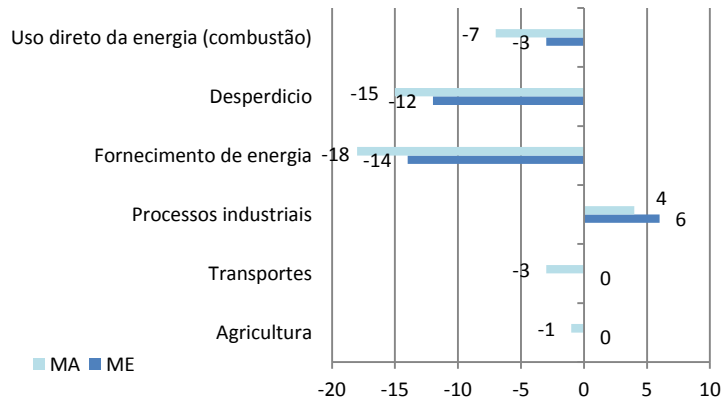
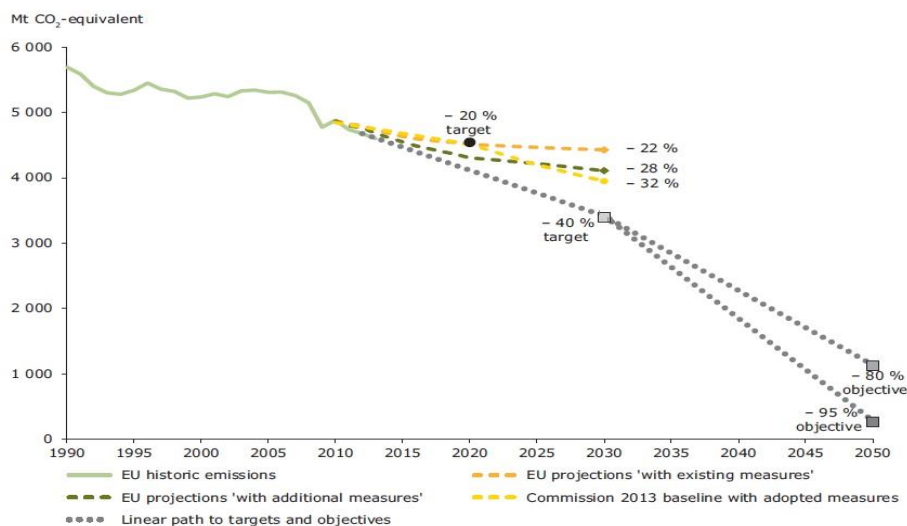


Figura 19 Projeção das emissões de GEE (cenário 2013-2020) [44]

Em outubro de 2014 a UE reforçou o compromisso de tornar a economia e a energia mais competitiva, segura e sustentável, adotando o clima 2030.

O compromisso acordado entre os vários estados membros define que até 2030, as emissões de GEE no interior da UE devem ser reduzidas pelo menos 40%, relativamente, ao nível de 1990. Adicionalmente, os objetivos para 2030 foram alterados para ajustar as quotas de ER e da EE em pelo menos 27% e a longo prazo até 2050, reduzir as emissões de GEE até 80-95%, abaixo dos níveis de 1990 [43].

Para que os objetivos estimados na UE sejam uma realidade, esta definiu várias ações a serem implementadas por todos os estados membros focando-se, essencialmente, no aumento das ER, na EE, na alteração de hábitos e culturas, formação e informação (Figura 20).



Entre as medidas em curso destacam-se as seguintes:

- Sistema de Comércio de Emissões da UE;
- As metas para os países membros a limitar ou reduzir as suas emissões de GEE, provenientes de sectores não-domésticos, abrangidos pelo RCLE-UE, como a agricultura, os transportes (com exceção da aviação), edifícios e resíduos;
- As metas nacionais para as ER, para assegurar que a UE obtém pelo menos 20% da sua energia, proveniente de fontes renováveis até 2020;
- Normas para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> nos automóveis novos e medidas para combater as emissões de veículos pesados;
- Ações para controlar as emissões dos gases fluorados industriais, que são poderosos GEE;
- Normas, rotulagem e legislação para melhorar a eficiência energética, incluindo nos edifícios;
- Redução de emissões, por via das energias renováveis e metas de eficiência energética para 2030, como definido no quadro de política do clima e energia para 2030 [43].

Assim, na área de agricultura, nomeadamente em produção massiva em estufa é importante analisar, quer a eficiência energética, quer a sustentabilidade ambiental e económica.



## Capítulo 3 - Estufas Agrícolas

Neste capítulo faz-se uma descrição genérica sobre a construção e exploração de estufas agrícolas, tendo como objetivo entender as condições ideais de produção. O clima em ambientes protegidos pode ser quantificado em relação às condições externas, às propriedades físicas das estufas e equipamentos associados. O desenvolvimento das plantas é influenciado pelo clima onde os processos de fotossíntese, respiração, divisão celular, tomada de nutrientes e água são modificados, principalmente pela temperatura, défice de pressão de vapor, luz e CO<sub>2</sub>. O metabolismo das plantas é afetado pela temperatura, pelo que, temperaturas extremas quer sejam baixas ou altas afetam a sua produção.

Neste contexto, para se alcançarem os parâmetros ideais de humidade e temperatura é necessário, recorrer a técnicas de condicionamento ambiental, como a ventilação e o aquecimento, com recurso a importantes quantidades de energia solar e “artificial”.

### 3.1 Principais Componentes

As estufas agrícolas podem ser construídas em vidro, acrílico *polymethyl methacrylate* (PMMA)<sup>8</sup>, polietileno, policarbonato e plástico, sendo os mais utilizados nomeadamente no sul da Europa/mediterrâneo o filme de polietileno e de folhas multicamadas de policarbonato [46] [47]. Hoje em dia, estas infraestruturas estão repletas de tecnologia, que controla automaticamente a climatização, a humidade, a iluminação, os fertilizantes, o CO<sub>2</sub> e ventilação. Indicam-se na (Tabela 4) os principais fatores para o desenho<sup>9</sup> e construção de uma estufa:

Tabela 4 Principais fatores para o desenho e construção de estufas [47]

Requisitos das plantas a produzir
Clima local
Dimensão do mercado
Disponibilidade de mão-de-obra especializada
Infraestruturas de apoio
Legislação aplicável à produção
Disponibilidade de capital e economia

Referem-se na (Tabela 5) os principais parâmetros a que devem obedecer os materiais de cobertura de uma estufa:

<sup>8</sup> Polímero altamente resistente e transparente, com excelente resistência à radiação UV e intempéries.

<sup>9</sup> O desenho de uma estufa depende das expectativas, das necessidades e da experiência do produtor.

Tabela 5 Parâmetros essenciais para os materiais de cobertura [47]

Transmissão de luz e a difusão
Resistência
Resistência térmica e perda de calor
Comportamento relativo à condensação
Sensibilidade ao envelhecimento (temperatura, UV e produtos químicos)
Tamanho
Custo

No sul da Europa existem na generalidade três tipos de estufas com a configuração indicada na (Figura 21 a, b e c).

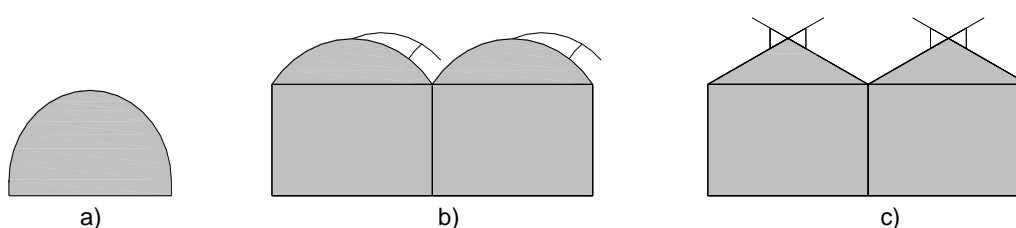


Figura 21 Tipos de estufas, a) modelo circular, b) tipo túnel, c) de duas águas (Fonte: O autor)

A opção por cada uma das configurações está relacionada com o investimento/disponibilidade económica, assim como a produtividade esperada para cada cultivo, assim temos [48]:

- Tipo a) - estufa circular, designada de baixa tecnologia, tem um potencial de colheita bastante limitado e pouco controlo sobre doenças e pragas. É uma estrutura relativamente económica e de fácil construção, não possui paredes verticais e o controlo da ventilação é pouco eficaz. Em termos ambientais possui pouca eficácia, tendo como única vantagem o investimento inicial. Em Portugal esta estrutura está limitada à produção de hortícolas;
- Tipo b) – estufa tipo túnel, possui média tecnologia, em termos industriais é a estrutura mais utilizada, sobretudo ao nível da floricultura. Já possui paredes verticais, com mais de dois metros, sendo a altura total inferior a 5,50m. Estufa de nível médio, sendo o material de cobertura em geral, composto por filme de plástico (polietileno), simples ou duplo. Oferece uma relação custo/ produtividade razoável e representa uma boa opção económica e ambiental para os industriais do setor. Esta estrutura já comporta diversos sistemas de automação, o que permite um controlo ambiental e de gestão de doenças e pragas. É normal encontrar-se este tipo de estrutura, englobando vários tuneis (multi-tunnel), cujo principal objetivo é reduzir

perdas de calor, logo economia de energia<sup>10</sup>. Apresentam substancial economia de escala e de produção, relativamente aos tuneis individuais. Por outro lado, são tipicamente mais robustas, logo tendem a suportar melhor as tempestades e ventos fortes resultando em danos materiais inferiores;

- Tipo c) – estufa de duas águas, são as de mais elevado nível tecnológico, possuem maior altura, cerca de oito metros acima do nível do solo. Estrutura de elevada tecnologia, possui ventilação no telhado e aberturas ao nível das paredes laterais. O revestimento pode ser filme de plástico (simples ou duplo), policarbonato laminado ou vidro. Estas estufas oferecem superiores oportunidades de produtividade, sustentabilidade económica e ambiental [48].

### - Estruturas

Como referido anteriormente, as estufas existentes em Portugal e no caso em estudo, são maioritariamente multi-tunel, sendo a estrutura em aço galvanizado e a cobertura do teto e paredes em filme de plástico (simples ou duplo). Estas estufas têm uma boa ventilação, possuem janelas zenitais<sup>11</sup> e em alguns casos, janelas nas paredes laterais. São estanques e podem climatizar-se com relativa facilidade [49].

Existem no entanto outros materiais de cobertura cujas características e dados técnicos se expõem na (Tabela 6).

Tabela 6 Características dos materiais de cobertura (Baseado em: [50])

Material	Transmissão de luz (%)	Valor de U <sup>12</sup>	Transmissão térmica (%) <sup>13</sup>	Vida útil (anos)	Inflamável
Vidro					
Simples	88-93	1,1	3	>25	não
Duplo	75-80	0,7	<3	> 25	não
Acrílico					
Simples	90	1,13	<5	> 30	médio
Duplo	84	0,49-0,56	<3	> 30	médio
Policarbonato					
Simples	90	1,1	<3	10-15	baixo
Duplo (6-10mm) <sup>14</sup>	78-82	0,53-0,63	<3	10-20	baixo
Triplo (8-16mm)	74-76	0,42-0,53	<3	10-20	baixo
Filme de Polietileno					
Simples	87	1,2	50	3-4	sim
Duplo	78	0,7	50	3-4	sim
Duplo, com IR <sup>15</sup>	78	0,5	<20	3-4	sim

<sup>10</sup> Têm menos área de superfície de parede em relação à área do piso, logo são mais eficiente em termos energéticos [47].

<sup>11</sup> Janelas existentes na cobertura;

<sup>12</sup> Coeficiente global de transmissão de calor, expresso em W/ (m<sup>2</sup> ° C), quanto menor o valor de U menor são as perdas de calor através de um dado material;

<sup>13</sup> Refere-se à quantidade de radiação infravermelha (calor) que viaja através do material de e para fora da estufa;

<sup>14</sup> Espessura do material;

<sup>15</sup> Infravermelho.

A condensação nas estufas tipo túnel acumula-se na parte superior, devido ao contacto com a superfície fria da cobertura, sendo neste caso prejudicial, uma vez que reduz a transmissão de luz. Alguns estudos têm revelado perdas de 20% para a radiação incidente e para ângulos superiores a 15°, por outro lado, a condensação pode cair sobre as plantas, originando o desenvolvimento de doenças fúngicas [46]. Em estufas construídas com duas camadas de película de plástico flexível, a condensação é formada entre as duas camadas, o que origina a formação de algas. Neste caso, a condensação deve ser evitada recorrendo à insuflação de ar externo [47].

### - Plásticos de cobertura

Em Portugal as estufas são maioritariamente revestidas a plástico. Este deve ser selecionado, segundo critérios de boas propriedades óticas e mecânicas, além do clima a que vai estar exposto e da sua localização [51]. É de todo aconselhável, que um plástico de qualidade tenha boa transmissividade solar, de tal modo que o pó não adira à superfície. Deve ser facilmente lavável, opaco à radiação de onda larga para reduzir as perdas de calor durante a noite [52].

Os plásticos utilizados em estufas são compostos por polímeros (componentes básicos) e aditivos, comportam propriedades como a absorção/reflexão infravermelha (UV) e (IR), assim como a difusão da luz.

A espessura dos filmes de plástico utilizado nestas infraestruturas varia de 80 a 200 µm, a largura chega aos 20m. Atualmente, os filmes monocapa ou multicapa são de utilização generalizada, sendo os de multicapa os mais comercializados. A vida útil dos filmes varia substancialmente e depende em muito dos foto-aditivos incorporados, da localização geográfica e da exposição a tratamentos com pesticidas [53].

Existem vários tipos de filme entre os quais se destacam:

- **Filmes claros e filmes difusores:** em zonas de céus claros e de elevada radiação direta, esta pode provocar queimaduras nas folhas das plantas, nomeadamente, em dias de calor. Para colmatar este inconveniente, desenvolveram-se novos materiais que aumentam a percentagem de radiação difusa protegendo desta forma as culturas, (Figura 22 a e b).

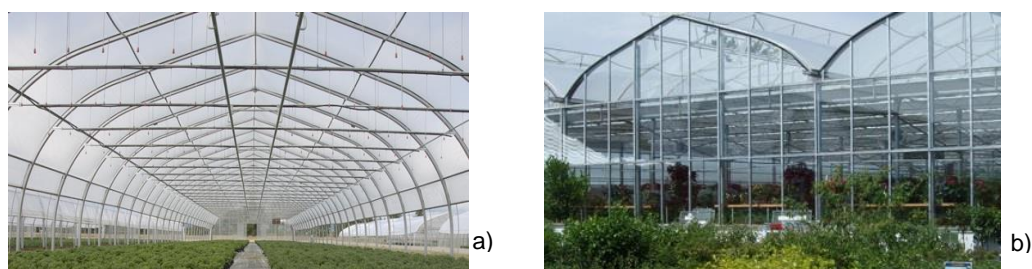


Figura 22 Plásticos de cobertura: a) Estufa com plástico difusor; b) Estufa com plástico claro [54]

A radiação é difusa quando se desvia mais de  $2,5^\circ$  da radiação incidente (direta). As normas ISO 13468-2 e ASTM D 1003 avaliam a transmissão luminosa dos filmes plásticos, tanto para a radiação global como para a difusa. Um filme considera-se difusor quando a sua turbidez<sup>16</sup> é  $\geq 30\%$  para espessuras entre 70 a  $150\mu\text{m}$ , e  $\geq 35\%$  para espessuras iguais ou superiores a  $150\mu\text{m}$ . Em zonas de climas com pouca nebulosidade, alta irradiação e escassez de chuva, recomenda-se o emprego de filmes difusores, dado que a transmissão de luz não é excessivamente limitante e evitam sombras no interior da estufa, assim como queimaduras nas plantas. Em climas com humidade devem aplicar-se filmes claros, já que neste caso, o fator limitante é a transmissão de luz [52].

- **Filmes antipó:** A maioria dos polímeros são maus condutores de eletricidade, pelo que tendem a acumular eletricidade estática, quando em contacto entre superfícies ou por fricções originadas pelo vento. A maioria dos filmes plásticos atrai na sua superfície partículas de pó. Com o objetivo de reduzir a eletricidade estática, incorporam-se no seu interior, aditivos que aumentam a condutividade elétrica [52].

Atualmente estão a ser introduzidos no mercado, materiais de cobertura com propriedades auto limpáveis, mediante a modificação do ângulo de contacto da água com a superfície.

- **Filmes anti-gota:** O vapor de água condensa-se na parte interior do filme, formando pequenas gotas em estado líquido, e que afetam negativamente a transmissão de luz. Como já referido, alguns estudos constataram a perda de transmissão em cerca de 20% para ângulos de radiação incidente superiores a  $15^\circ$ . A perda de radiação varia consoante o tamanho da gota, dado que gotas maiores reduzem menos a transmissão que as gotas de tamanho menor [55].

Os aditivos anti-gota modificam a tensão superficial da água, eliminam as gotas e formam no seu lugar uma delgada capa de água (Figura 23 a e b).

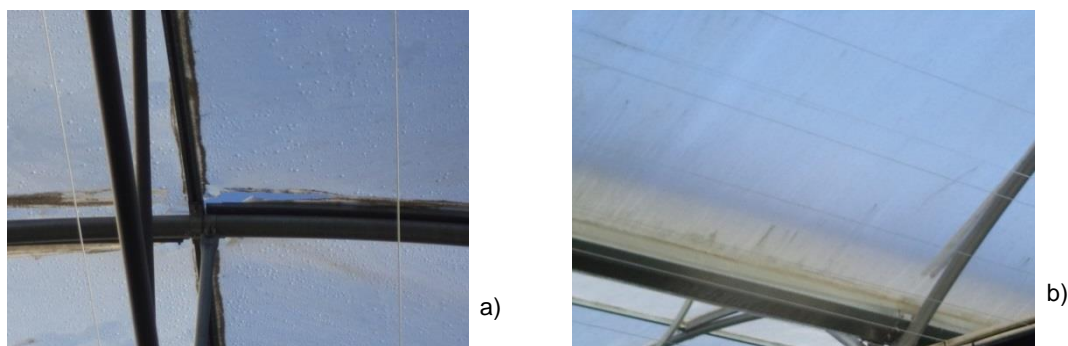


Figura 23 Imagens de plásticos com e sem condensação: a) Com condensação; b) Sem condensação (Fonte: O autor)

<sup>16</sup> Percentagem de radiação difusa existente na radiação global

À esquerda, cobertura com formação de gotas e à direita cobertura com isenção de gotas. Um dos problemas que ainda persiste é o facto dos aditivos anti-gota emigrarem para a superfície do plástico e são levados pela chuva ou condensação, pelo que as propriedades se perdem antes de terminar a vida útil do plástico [52].

- **Materiais que bloqueiam os infravermelhos próximos (NIR)**<sup>17</sup>: Só aproximadamente metade da energia em forma de radiação solar, que penetra na estufa o faz num intervalo de comprimento de onda útil para a fotossíntese (PAR)<sup>18</sup>.

### - Transmissão de luz

Para a transmissão de luz numa estufa, intervêm vários fatores entre os quais se destacam: as características do material da cobertura, a inclinação da cobertura, os elementos opacos da estrutura (material da estrutura) e a sua orientação.

Compararam-se diversas inclinações da cobertura desde 11° até 45°, tendo-se concluído que as estufas simétricas entre 25° e 30° assumem um ótimo compromisso entre a transmissão de luz e o seu custo construtivo, conforme a (Figura 24) [55].

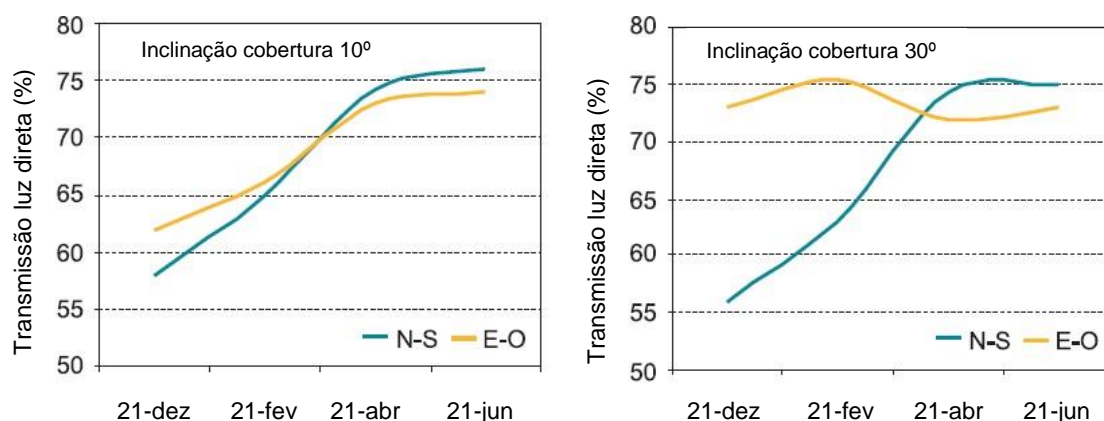


Figura 24 Transmissão de luz em função da orientação das estufas (N-S: Norte/Sul; E-O: Este/Oeste) [49]

Podemos constatar que no período de inverno, a orientação (E-O), é a que capta maior transmissão de luz, independentemente da orientação da estufa. No entanto, os canteiros de cultivo devem estar com orientação N-S, para que as plantas se desenvolvam regularmente [49].

Foi realizado um estudo sobre a radiação direta e difusa em estufas agrícolas, com diferentes materiais e cores de cobertura, tendo concluído que, a radiação difusa (muito importante para o desenvolvimento das culturas), aumentava em todas as amostras realizadas, na medida em que aumentava o ângulo de incidência [56].

<sup>17</sup> Radiação solar infravermelha

<sup>18</sup> Radiação fotossinteticamente ativa

A percentagem de radiação que entra numa estufa, depende do ângulo de incidência, relativamente à inclinação da cobertura e que este está relacionado com a localização das estufas, conforme indicado na (Figura 25 a e b).

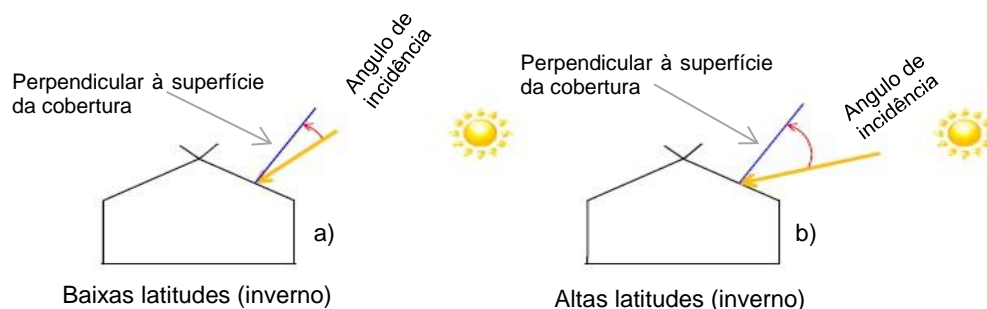


Figura 25 Radiação e ângulo de inclinação das estufas: a) Baixas latitudes; b) Altas latitudes [47]

As estufas devem estar orientadas na direção N-S, para latitudes abaixo de  $40^\circ$ , dado que proporcionam melhor distribuição de luz, e na direção E-O, para latitudes acima de  $40^\circ$  para maximizar a intensidade de luz [47].

### - Ventilação

A ventilação natural em estufas agrícolas, independentemente do cultivo em curso é sem dúvida de fácil aplicação, prático, económico e disponível para o agricultor poder atuar sobre o clima da infraestrutura. A ventilação natural afeta o conteúdo de energia, vapor de água e gases fundamentais como é o caso do  $\text{CO}_2$ . Por outro lado é também muito importante, na evacuação pontual de gases de combustão de equipamentos de queima direta, utilizados no aquecimento e também, devido a tratamentos fitossanitários. A ventilação natural é pois, o mecanismo que se estabelece, devido ao intercâmbio entre o ar interior (geralmente mais quente e húmido) e o ar exterior (em geral mais frio e seco), devido à diferença de pressão gerada pela abertura das janelas. A diferença de pressão referida, que determina que o ar entre ou saia é provocada por duas forças motoras e importantes: a força da gravidade originada por diferença na densidade do ar, provocada pela diferença da temperatura (efeito térmico) e também devido à interferência do vento exterior, que gera um campo de pressões sobre a estrutura [47]. O efeito térmico é importante já que, a estufa pode ter troca de ar com o exterior, mesmo com ausência de vento.

As estufas requerem uma boa ventilação e transmissão de luz. A ausência de ambientes naturalmente bem ventilados, pode ser ultrapassada recorrendo à adaptação de sistemas de ventilação artificiais [46].

Num estudo realizado concluiu-se, que a taxa de renovação de ar numa estufa diminui, em função do número de naves (túneis) que a compõem (Figura 26). Isto resulta do facto, do acréscimo de naves, implicar o aumento do volume da estufa, mantendo-se inalterado o número de janelas laterais, logo a superfície de ventilação é a mesma [57].

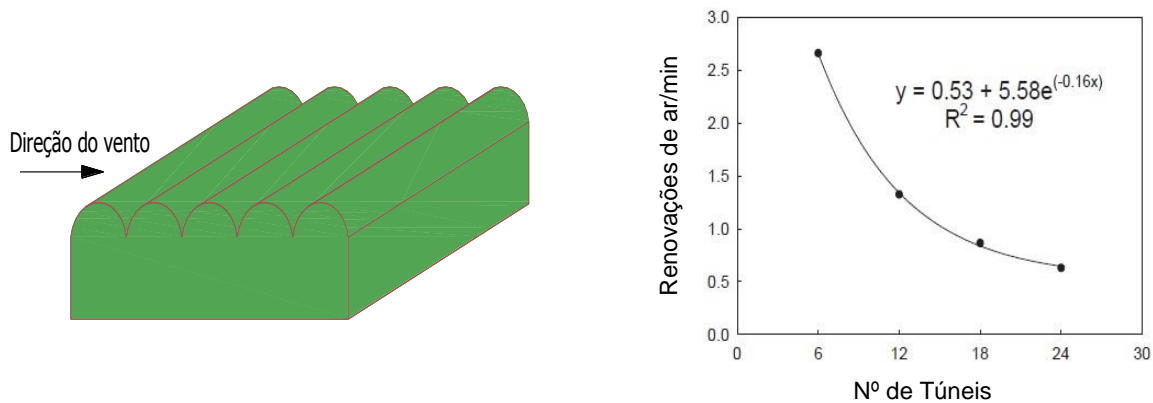


Figura 26 Taxa de renovação de ar em função do número de naves [57]

Os autores utilizaram a seguinte expressão para calcular a taxa de renovação de ar nas estufas estudadas:

$$VR = \frac{\dot{m}}{\rho_{air} * V_o} * 60 \quad (10)$$

Em que: VR é a taxa de renovação de ar ( $AE \text{ min}^{-1}$ );  $\dot{m}$  o caudal mássico ( $kg \text{ s}^{-1}$ );  $\rho_{air}$  a densidade do ar ( $kg \text{ m}^{-3}$ ) e  $V_o$  o volume da estufa ( $m^3$ ).

Atualmente, as estufas quer sejam do tipo túnel ou do tipo duas águas, possuem janelas zenitais e laterais para melhorar a ventilação, sendo que as laterais são substancialmente, mais eficazes para ventos nulos ou moderados [58].

Não obstante a eficácia das janelas laterais, alguns agricultores são reticentes em optar pela sua abertura, para evitar danos nas plantações, ou mesmo diminuir a incidência de pragas. Para evitar situações desagradáveis, muitas estruturas desta natureza recorrem à incorporação de defletores que direcionam o ar e protegem os cultivos [49].

#### - Distância entre estufas

A distância entre estufas tem primordial importância no que à ventilação diz respeito, já que a estufa que recebe primeiro o vento atua como tela sobre as restantes. O campo com as velocidades do ar no exterior e interior das estufas está representado na (Figura 27).

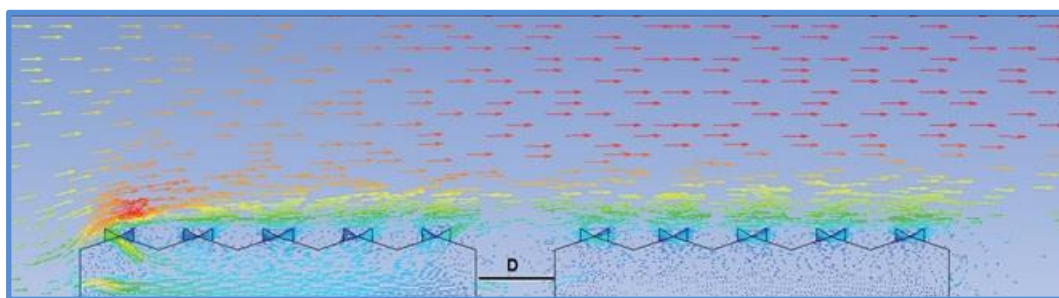


Figura 27 Ventilação e distância entre estufas [49]

As zonas de cor vermelha são as de maior velocidade e as azuis no lado oposto, com menor velocidade. O vento circula da esquerda para a direita e chega à segunda estufa como uma espécie de sombra, tendo como consequência a débil ventilação desta estufa.

Estudos realizados recentemente, em estufas multi-tunel demonstraram que para velocidades de vento de 3m/s, o fluxo de ar que afeta a estufa da direita vai variando em função da distância D, como se pode verificar na (Figura 28). Os estudos realizados constataam que quando a distância é pequena, cerca de 4m, o fluxo de ar que chega à segunda estufa é de 0,8kg/s [49].

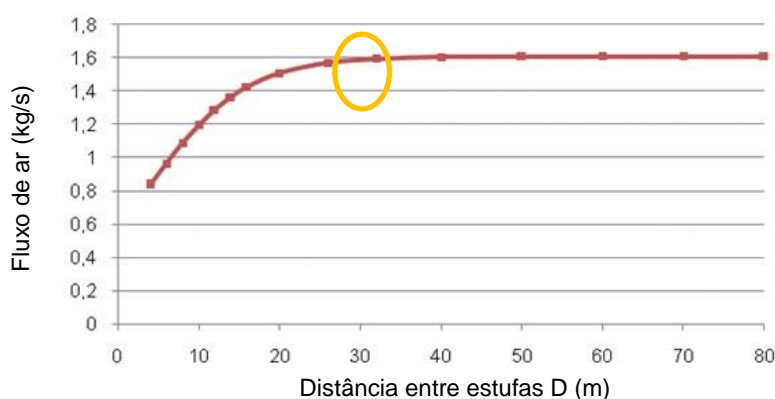


Figura 28 Fluxo de ar e distância entre estufas [49]

À medida que aumenta a distância, aumenta a ventilação, até chegar a uma distância de cerca de 30m, para que seja de 1,6kg/s, sendo o dobro do fluxo para uma distância de 4m. A partir de 30m de afastamento, não são perceptíveis variações do valor de fluxo, pelo que esta será a distância ideal entre estufas.

### - Gestão de CO<sub>2</sub> em estufas

Na maioria das estufas em funcionamento o CO<sub>2</sub>, absorvido pela fotossíntese das plantas é fornecido do exterior através das janelas. É sabido que a produção aumenta com a concentração de dióxido de carbono e com temperatura (média). Desta forma, a gestão da ventilação implica um compromisso entre assegurar a entrada de CO<sub>2</sub> e manter uma adequada temperatura no interior da estufa.

O crescimento e a produção vegetal estão na dependência do processo fotossintético. Durante este processo, a energia da luz é utilizada para formar carboidratos a partir do CO<sub>2</sub>, absorvido do ar e da água presente no tecido vegetal. A velocidade com que se formam os carboidratos está dependente, sobretudo, da quantidade de luz e da concentração de CO<sub>2</sub>. Em ambientes de estufa semifechados, sem injeção de CO<sub>2</sub>, o dióxido de carbono absorvido deve ser repostado pelo dióxido de carbono que entra pelas janelas vindo do exterior, equações: (11) (12) (13) [59] [52].

$$A_{net}^{19} = g_v(C_{CO_2}^{out} - C_{CO_2}^{in}) \quad (\text{mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}) \quad (11)$$

Em que:  $g_v$  é o volume das renovações de ar por unidade de superfície da estufa, ( $\text{m}^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) e que fica ( $\text{m s}^{-1}$ ) e  $C$  a concentração de  $\text{CO}_2$  em ( $\text{mg m}^{-3}$ ) exterior e interior respetivamente. Sem fontes adicionais de  $\text{CO}_2$  e existindo assimilação, a concentração na estufa deve ser inferior à existente no exterior, isso verifica-se quando modificamos a equação anterior como se segue.

$$C_{CO_2}^{in} = C_{CO_2}^{out} - \frac{A_{net}}{g_v} \quad (\text{mg m}^{-3}) \quad (12)$$

Expressando a equação anterior em unidades comuns na gestão de estufas e dado que o volume  $n$  de renovações por hora, expressa trocar numa hora tantos metros cúbicos como a altura média  $h$  da estufa  $n=3600^{20}g_v/h$  deste modo dado que  $1\text{vpm}=2\text{mg.m}^{-3}$  fica:

$$CO_2^{in} = CO_2^{out} - \frac{1800}{h} \frac{A_{net}}{n} \quad (\text{vpm}) \quad (13)$$

### 3.2 Necessidades Energéticas

A necessidade de energia numa estufa depende da relação, entre as condições climáticas exteriores e as necessidades ambientais das produções no seu interior. O controlo ambiental melhora o conforto das plantas, o que permite alcançar valores ideais de temperatura e humidade, otimizando a produção.

Os produtores de flores ou plantas ornamentais utilizam técnicas construtivas e de controlo climático bastante eficientes, devido à elevada sensibilidade da sua produção às condições ambientais. Atendendo às características produtivas do setor hortícola, o controlo ambiental e as exigências construtivas são menores, relativamente, às culturas de plantas ornamentais. Em geral, as espécies hortícolas não são tão sensíveis a variações de temperatura e humidade, quanto as flores ou plantas ornamentais. Em termos construtivos, o material utilizado na cobertura é um dos principais fatores, que influencia as necessidades de aquecimento ou arrefecimento das plantas.

Para o cálculo das necessidades de climatização, intervêm tanto as condições climáticas a que a estufa está exposta, como as condições climáticas que é necessário manter no interior, para um correto desenvolvimento das plantas.

Os principais dados climáticos que caracterizam o clima local de uma determinada zona são:

---

<sup>19</sup> Assimilação de  $\text{CO}_2$

<sup>20</sup> Constante ( $\text{mg.m}^{-3}$ ).

- Intensidade máxima de radiação solar;
- Temperatura e humidade;
- Direção e velocidade média do vento

A temperatura exterior é o principal parâmetro, que determina de forma direta, as necessidades energéticas de uma estufa.

A temperatura do ar, a humidade, e as condições ambientais que se devem manter no interior de uma estufa, dependem do tipo de cultura que se pretende desenvolver no seu interior, do nível de conforto desejado e do seu estado de crescimento. Para cada espécie existem variados cultivares, com valores de referência para os parâmetros de temperatura, humidade e de CO<sub>2</sub> distintos entre si. Na (Tabela 7) indicam-se valores médios de quatro famílias de plantas, para os parâmetros referidos e para períodos de inverno. Para as restantes épocas do ano, correspondem valores diferentes, já que as condições ambientais externas se alteram.

Tabela 7 Condições ideais de climatização [60]; [61]; [62]; [63]

Espécie	Temperatura (°C)		Humidade relativa (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	
	Dia	Noite		Ideal	Tóxica
Rosa	17 - 25	15 - 16	70 - 75	1.000-1.500	2.500-3.000
Cravo	20 - 24	12 -14	60 - 70	1.000-1.500	2.000-2.500
Crisântemo	19 - 24	12 - 18	80 - 90	350<1.500	1.500-3.000
Gerbera	19 - 22	14 - 16	70 - 85	600-800	Máx. 900

As necessidades energéticas dependem fundamentalmente, da diferença da temperatura interior ( $t_i$ ) exterior ( $t_e$ ) que se deseja manter.

Além da temperatura do ar é necessário manter, um adequado regime higrométrico para evitar o *stress* hídrico, provocado quando o valor desce demasiado, ou quando a condensação de água sobre as plantas é excessiva.

### 3.2.1 Balanço de Energia

Existem muitas tendências de modelização de processos de transferência de energia e de massa de uma estufa, cada autor aplica variáveis mais ou menos aproximadas daquilo que são os modelos tradicionais. Da literatura consultada conclui-se que os modelos existentes foram desenvolvidos por vários autores entre os anos 70 e 90. Uns apoiam-se numa descrição detalhada, outros abordam o problema associando a estufa a um volume de controlo, delimitado por fronteiras com ou sem uma realidade física. A vantagem destes modelos é a simplicidade e a relativa facilidade de identificar os poucos parâmetros, permitindo assim avaliar rapidamente e de forma global, o comportamento energético de uma estufa [64]; [65]; [7]; [66]; [67].

Este é o modelo aplicado ao caso em estudo, pela dificuldade em conseguir parâmetros concretos sobre o comportamento das plantas ao longo do seu desenvolvimento (área foliar,

coeficiente de cultivo, evapotranspiração, entre outros), como é o caso do modelo aplicado por [68]; [69]; [70]; [71].

Existem alguns modelos que fazem uma analogia entre uma estufa e um coletor solar, no entanto existem algumas diferenças, desde logo, num coletor solar toda a energia captada é utilizada em forma de calor sensível, para aquecer um fluido em contacto com o elemento absorvente, enquanto numa estufa uma parte importante da energia solar que absorvem as plantas e o solo transforma-se em calor latente, através do processo de evapotranspiração das plantas [72].

Estas diferenças de comportamento entre os dois sistemas implicam que numa estufa, os processos de evaporação do solo e de transpiração das plantas, diminuem a quantidade de energia sensível, potencialmente disponível para aquecer o ar da estufa, dado que, o processo de evapotranspiração representa uma perda de energia.

### - Energia solar captada por uma estufa

Debaixo de uma estufa é importante conhecer o comportamento da energia solar captada assim, se considerarmos uma estufa com um coeficiente  $\xi$  de captação de energia solar, o total desta energia representa-se pela seguinte equação [64]:

$$\Phi_{sc} = \xi G_0 \quad (14)$$

Sendo  $\phi_{sc}$  repartido por três componentes:  $\phi_c$  energia sensível que se transfere por convecção ao ar da estufa;  $\phi_{cd}$  energia sensível que se transfere por condução à massa térmica do solo, e  $\phi_{lsv}$  energia sensível que se transforma em calor latente pelos processos de evaporação e transpiração, sendo  $G_0$  a radiação solar.

As perdas com  $\phi_{cd}$  são, normalmente, desprezíveis dado que, quando um cultivo está desenvolvido, chega ao solo um valor muito baixo de radiação solar, logo a energia total captada será [64]:

$$\xi G_0 = \Phi_c + \Phi_{lsv} \quad (15)$$

A energia captada em calor sensível é a que vai contribuir para aquecer o ar da estufa, logo, o que interessa é avaliar a energia sensível útil tendo em conta o que representa a perda através do processo de evapotranspiração  $\phi_{lsv}$  [64]:

$$\Phi_c = \xi G_0 - \Phi_{lsv} \quad (16)$$

Tendo em conta estas perdas, o ganho da energia neta  $\Delta\phi$  ( $W.m^{-2}$ ), tem de ser igual à energia captada  $\Phi_c$  menos as perdas energéticas que se podem avaliar de forma empírica como o produto de um coeficiente global  $K$  pela diferença das temperaturas internas e externas ( $T_i - T_e$ ), pelo que fica [64]:

$$\Delta\phi = (\xi G_0 - \Phi_{lsv}) - K(T_i - T_e) \quad (17)$$

Para que se possa calcular a energia neta  $\Delta\Phi$  temos de conhecer o valor de  $K$  e o fluxo de evapotranspiração. Se considerarmos por aproximação que o fluxo de evapotranspiração representa uma fração  $b$  da carga solar [64]:

$$\Phi_{lsv} = \xi b G_0 \quad (18)$$

Deduzindo a equação (17) o ganho de energia fica assim representado:

$$\Delta\Phi = \xi(1 - b)G_0 - K(T_i - T_e) \quad (19)$$

O valor de  $b$  varia entre (0,4 e 0,6) em função do tipo de cultivo e do seu desenvolvimento foliar, o valor de  $\xi$  é da ordem de (0,6 a 0,7) [64].

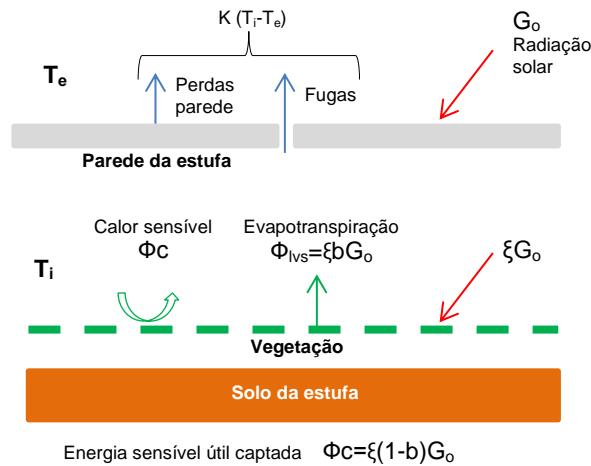


Figura 29 Representação esquemática da energia recebida por uma estufa (Baseado em: [64])

O coeficiente  $K$  resulta de um coeficiente de perdas térmicas através da parede da estufa  $h_p$  ( $W.m^{-2}_{parede}K^{-1}$ ) e do coeficiente de perdas por fugas ou ventilação  $h_{fv}$  ( $W.m^{-2}_{solo}K^{-1}$ ).

Pode expressar-se em função da taxa de renovação de ar  $Z$  ( $s^{-1}$ ) da seguinte forma [64]:

$$K = \frac{S_p}{S_s} h_p + h_{fv} \quad (20)$$

Sendo  $S_p$  a superfície da parede da cobertura em ( $m^2$ ) e  $S_s$  a superfície do solo ( $m^2$ ).

$$h_{fv} = \rho C_p \frac{V_o}{S_s} Z \quad (21)$$

Substituindo  $h_{fv}$  na equação (20) o coeficiente  $K$  fica assim representado:

$$K = \frac{S_p}{S_s} h_p + \rho C_p \frac{V_o}{S_s} Z \quad (22)$$

O valor de  $Z$  nas equações (21) e (22) calcula-se segundo a seguinte equação:

$$Z = 0,1 + 0,289 * u \quad h^{-1} \quad (23)$$

Sendo  $u$  a velocidade do vento ( $m.s^{-1}$ )

### - Balanço de energia para o volume de ar

Segundo o primeiro princípio da termodinâmica, a energia ganha por um sistema equilibra-se com a energia perdida pelo mesmo. Cada autor considera uma série de componentes

desprezando outros, uma forma de escrever a equação do balanço energético em estufas está representada na (Figura 30), e descreve um modelo simplificado, considerando a estufa como um volume de controlo (volume de ar) delimitado pela cobertura (inclui paredes e teto) e a massa térmica.

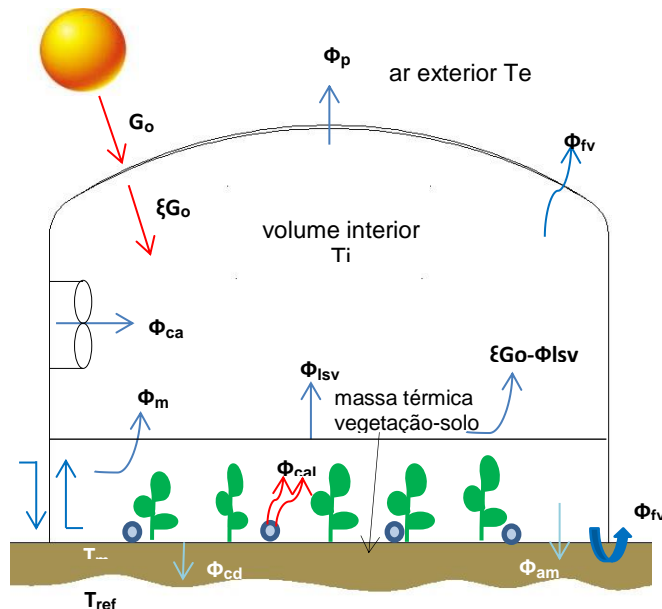


Figura 30 Balanço de energia numa estufa (Baseado em: [64])

A parede da cobertura: representa a superfície da estufa onde se verificam as perdas por condução, convecção e por radiação com a envolvente. As suas propriedades óticas (coeficiente de transmissão e absorção entre outros), na gama de longitudes de onda curta (solar) e larga (radiação infravermelha) supõem-se conhecidas.

A sua capacidade de armazenamento térmico considera-se desprezível. A taxa de renovação de ar  $Z$  associada à infraestrutura da parede depende das fugas, causadas por defeitos de estanquicidade e uma percentagem devido ao sistema de ventilação.

A massa térmica: está associada ao conjunto vegetação-solo e representa a única superfície da estufa capaz de absorver ou restituir energia. A fração de energia solar que absorve a massa térmica considera-se conhecida, uma vez que é igual à fração que esta transforma em calor latente [64].

Com este enfoque, o balanço energético de uma estufa pode-se abordar com um número limitado de variáveis e de parâmetros de entrada. Desta forma, as equações do balanço de energia para uma estufa com uma superfície de solo  $S_s$  ( $m^2$ ) e para uma superfície de parede  $S_p$  ( $m^2$ ) estabelecem-se para o volume de ar interior e para a massa térmica (conjunto de solo e vegetação) (Figura 30).

Assim, se considerarmos uma estufa com uma temperatura  $T_i$  a variação de energia interna do volume de ar,  $V_o$  ( $m^3$ ) deve compensar as contribuições energéticas que recebe menos as perdas.

$$\rho C_p \frac{V_o}{S_s} \frac{dT_i}{dt} = \Phi_{cal} + \Phi_c - (\Phi_p + \Phi_{fv}) + \Phi_m \quad (24)$$

Considerando  $t$  como o tempo em (s),  $\rho$  a densidade do ar ( $kg.m^{-3}$ ),  $C_p$  o calor específico do ar ( $J.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$ ),  $\Phi_{cal}$  a contribuição do sistema de climatização (aquecimento ou arrefecimento) ( $W.m^{-2}$ ),  $\Phi_c$  representa a energia sensível útil ou disponível, para aquecer o ar da estufa quando não existe sistema de climatização ( $W.m^{-2}$ ),  $\Phi_p$  e  $\Phi_{fv}$  são as perdas de energia através da parede e por meio de fugas respetivamente em ( $W.m^{-2}$ ) estes termos podem expressar-se em função do coeficientes de intercâmbio  $h$  ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ ) e do gradiente de temperatura do ar interior  $T_i$  e do ar exterior  $T_e$  conforme as equações (25) e (26)

$$\Phi_p = \frac{S_p}{S_s} h_p (T_i - T_e) \quad (25)$$

$$\Phi_{fv} = h_{fv} (T_i - T_e) \quad (26)$$

O termo  $\Phi_m$  representa a energia que se troca por convecção entre a massa térmica (solo e vegetação) e o ar interior, e pode calcular-se como nos casos anteriores, através do coeficiente de intercâmbio  $h_m$  e do gradiente de temperatura entre a massa térmica,  $T_m$  e o ar interior, de acordo com a seguinte expressão:

$$\Phi_m = h_m (T_m - T_i) \quad (27)$$

Este termo pode ser uma contribuição ou uma perda: de noite sendo a temperatura da massa térmica superior à do ar ( $T_m > T_i$ ) representa um ganho, de dia representa uma perda dado que ( $T_m < T_i$ ).

Substituindo na equação (24), os termos por cada uma das expressões anteriores, o balanço de energia para o volume de ar fica [64]:

$$\frac{V_o}{S_s} \rho C_p \frac{dT_i}{dt} = \Phi_{cal} + \xi G_o (1 - b) - \left( \frac{S_p}{S_s} h_p + \rho C_p \frac{V_o}{S_s} Z \right) * (T_i - T_e) + h_m (T_m - T_i) \quad (28)$$

### - Balanço de energia para a massa térmica

Para a massa térmica considerando uma temperatura  $T_m$  a variação da energia interna da estufa pode calcular-se pela seguinte equação [64]:

$$C_{Tm} \frac{dT_m}{dt} = \Phi_{am} - \Phi_m \pm \Phi_{cd} \quad (29)$$

Em que se considera  $C_{Tm}$  como a capacidade térmica da massa térmica ( $J.m^{-2}.K^{-1}$ )

$\Phi_{am}$  é a fração de energia solar captada ou absorvida pela massa térmica, com um coeficiente de absorção  $\alpha_{am}$ :

$$\Phi_{am} = \alpha_{am}\xi G_0 \quad (30)$$

O fluxo por condução ao solo ( $\Phi_{cd}$ ) pode ser calculado de acordo com a seguinte equação [64]:

$$\Phi_{cd} = -k_s \left( \frac{T_m - T_{ref}}{Z_{ref}} \right) \quad (31)$$

Sendo  $k_s$  a condutividade do solo ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )

Substituindo a equação (29) pelos termos das equações (30) e (31) o balanço de energia para a massa térmica fica assim escrito [64]:

$$C_{Tm} \frac{dT_m}{dt} = \alpha_{am}\xi G_0 - h_m(T_m - T_i) - k_s \left( \frac{T_m - T_{ref}}{Z_{ref}} \right) \quad (32)$$

Tabela 8 Valores dos coeficientes utilizados nos modelos energéticos simplificados (Baseado em: [64])

Coefficiente de captação de energia solar	$\xi = 0,6-0,7$
Absorção da radiação solar pela massa térmica	
- Vegetal pouco desenvolvido	$\alpha_{am} = 0,10-0,15$
- Solo com cobertura de polietileno	$\alpha_{am} = 0,05$
Coefficiente de intercâmbio	$h_m = 4-5 W.m^{-2}.K^{-1}$
Condutividade do solo	$K_s = 1,0 - 1,5 W.m^{-1}.K^{-1}$
Capacidade calorífica da massa térmica	$C_{Tm} = 0,1-0,3 MJ.m^{-2}.K^{-1}$
Coefficiente global de perdas térmicas (polietileno térmico)	$h_p = 6,7-8 W.m^{-2}.K^{-1}$
Fluxo de evapotranspiração	$b = 0,4-0,6$

### 3.4 Tecnologias de Climatização

O aquecimento de estufas pode realizar-se recorrendo a diversas tecnologias, que vão desde, simples aquecedores portáteis, caldeiras de aquecimento de água utilizando tubos distribuídos, assim como geradores de ar quente. Independentemente da tecnologia utilizada, a eficiência do equipamento selecionado é de extrema importância tendo em vista, a redução dos consumos energéticos necessários à obtenção de um boa climatização.

Das tecnologias disponíveis, o aquecimento com recurso a caldeiras é aquele que tem representado maiores desenvolvimentos no que à eficiência diz respeito, porventura tirando partido da última geração destes equipamentos, designados de condensação.

Mais recentemente surgiram acessórios, que aumentam a eficiência das caldeiras tais como: condensadores e economizadores que permitem recuperar a energia térmica dissipada, normalmente, pela chaminé e que resultam em eficiências até 96% independentemente, do combustível (gás natural, GPL, gasóleo, fuelóleo/nafta e biomassa).

#### - Equipamentos de produção de calor

A eficácia de um sistema de aquecimento de uma estufa depende: da quantidade de calor fornecido, de uma adequada temperatura e de uma correta distribuição. Daqui resulta, a importância de um adequado desenho e dimensionamento, para uma boa uniformização e

nível de temperatura. Uma má opção nestes parâmetros pode ter consequências desastrosas no crescimento e desenvolvimento das plantas, no aumento de enfermidades devido a zonas húmidas com baixa temperatura e condensação sobre as plantas e em última instância, a morte destas em caso de geada [73].

Um sistema de aquecimento bem dimensionado deve satisfazer os seguintes requisitos: ter capacidade de resposta adequada, qualquer que seja a temperatura exterior a temperatura interior deve manter-se constante, distribuir corretamente a temperatura pela zona de crescimento das plantas, permitir diferentes níveis de temperatura (dia e noite), ser fiável e de fácil manuseamento e manutenção, ser automático, viável do ponto de vista económico e utilizar um combustível de fácil administração [73].

Os sistemas de aquecimento segundo utilizem uma ou várias formas de transferir o calor (convecção, condução e radiação) distinguem-se da seguinte forma:

**Sistemas de aquecimento por convecção:** são os sistemas em que o elemento condutor é o ar, possuindo pouca inércia térmica, proporcionam um aumento rápido da temperatura do ar, mas o arrefecimento é de igual modo rápido quando deixam de atuar. Geram importantes gradientes térmicos e perdas de calor sobre o cultivo. Estes sistemas utilizam como equipamentos aerotermos e geradores de ar quente de combustão direta e indireta sendo os últimos os mais utilizados.

**Sistemas de aquecimento por condução:** são sistemas que proporcionam uma temperatura adequada na zona radicular<sup>21</sup>. Aquecem o solo com recurso a tubagem onde circula água a baixa temperatura, sendo os tubos normalmente colocadas debaixo do substrato.

**Sistemas de aquecimento por convecção e radiação:** Neste sistema a transferência de calor processa-se através de tubagem, aérea ou disposta em redor do cultivo, por onde circula água quente a alta (até 90°C) ou baixa temperatura (30°C-50°C) em função do material utilizado na tubagem (metal ou plástico). Tanto os sistemas de aquecimento por condução como de convecção e radiação utilizam como equipamento de produção de calor, caldeiras de aquecimento de água.

#### - Geradores de ar quente

Estes equipamentos utilizam normalmente como carburante, o gás ou gasóleo. Os geradores de combustão indireta separam os gases da combustão, expulsando-os para o exterior introduzindo apenas ar quente na estufa. Dado que parte do calor é expulso por via dos gases da combustão, o rendimento destas máquinas anda entre 80 a 90%. Já nos geradores por combustão direta, tanto o ar quente como os gases de combustão são incorporados na estufa, sendo o rendimento neste caso de 100%. Adicionalmente, com a

---

<sup>21</sup> Referente à raiz das plantas

introdução dos gases da combustão na estufa existe um aporte de CO<sub>2</sub> o que pode ser vantajoso, para o desenvolvimento das plantas. Neste caso deve existir um cuidado adicional, por causa dos elementos tóxicos resultantes da combustão, para evitar problemas sobre as pessoas e plantas, devendo utilizar-se, preferencialmente, como combustível o GPL<sup>22</sup> ou o gás natural [74].

### 3.4.1 Tipologia dos Equipamentos a Biomassa

As caldeiras utilizadas no aquecimento de estufas são equipamentos de produção de água quente, normalmente até 90°C.

Hoje em dia existe no mercado uma vasta gama de equipamentos, dependendo a sua seleção de diversos fatores, ente os quais se destacam: custos de aquisição e de manutenção, do espaço disponível, das condições para a sua implantação, da garantia da temperatura pretendida e não menos importante do combustível a utilizar. Por questões de espaço neste trabalho e por questões ambientais e económicas faz-se uma referência às caldeiras de funcionamento a biomassa.

As caldeiras a biomassa têm hoje em dia, uma significativa representação no panorama energético mundial e também em Portugal. A sua utilização está centrada sobretudo na produção de água quente, quer para utilização em climatização, quer para aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS).

As características de um moderno sistema de aquecimento a biomassa incluem: alta eficiência (80-90%), baixas emissões, operação totalmente automatizada (ignição e paragem, alimentação do combustível, remoção de cinzas e limpeza do permutador de calor e da chaminé).

Os atuais sistemas utilizam duas fases de combustão, com o objetivo de uma queima o mais completa possível (combustão primária e combustão secundária).

A combustão primária realiza-se na grelha é onde ocorre a secagem do combustível e a combustão sólida, aqui os gases voláteis são libertados e queimados na combustão secundária. O processo da queima em duas fases resulta numa combustão completa e numa baixa emissão de partículas em suspensão, devido a hidrocarbonetos não queimados nos gases de combustão.

O material particulado com este sistema é sobretudo inorgânico, o que não sucede com tecnologias inferiores [75]. Por sua vez, as caldeiras de funcionamento a combustível de biomassa podem classificar-se de acordo com a (Tabela 9).

---

<sup>22</sup> Gases de petróleo liquefeitos

Tabela 9 Tipologia das caldeiras a biomassa (Baseado em: [76])

Caldeiras de lenha
Caldeiras de <i>pellets</i> centralizadas
Caldeiras de estilha
Caldeiras mistas

As caldeiras de alimentação a lenha queimam troncos de madeira, o fogo de baixa temperatura produz uma primeira combustão libertando gases inflamáveis. Estes gases queimam-se posteriormente, numa segunda combustão e numa câmara cerâmica. Os gases resultantes passam depois em trocadores de calor e baixam a sua temperatura para  $\pm 200^{\circ}\text{C}$  antes de saírem pela chaminé. Nas caldeiras a *pellets* podem usar-se todos os tipos de queimadores, utilizam-se sobretudo para potências pequenas e médias.

As caldeiras de estilha adaptam-se a cargas de (30-100%), são reguladas por dispositivos eletrónicos que atuam sobre a ignição, a limpeza é completamente automática, a gama de potências vai de (35kW a vários MW). Estas caldeiras não são rentáveis para o uso doméstico, devido aos custos de aquisição e ao armazenamento da estilha.

As caldeiras mistas queimam todo o tipo de combustível: lenha, estilha ou serrim, são similares às caldeiras de lenha, mas com alimentação adaptada a cada tipo de combustível. Para a queima do combustível nestas caldeiras existem, fundamentalmente, quatro tipos de queimadores, que variam em função da orientação de alimentação, na (Figura 31 a e b) apresentam-se dois destes tipos de queima [76].

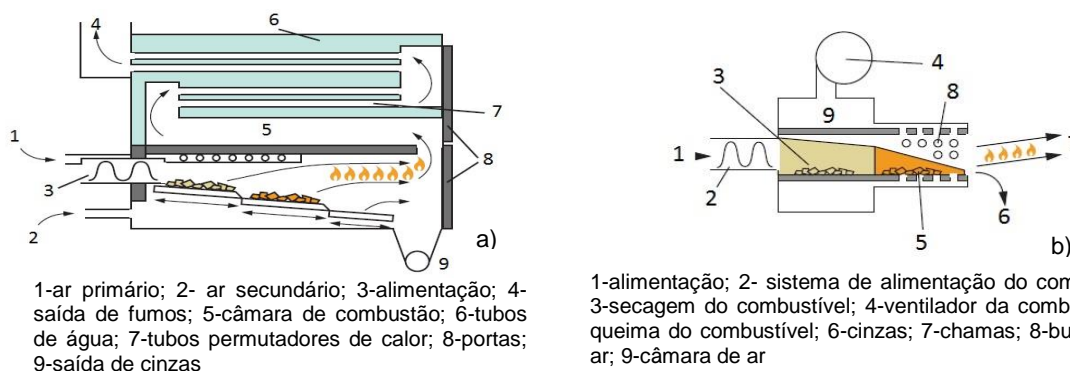


Figura 31 Tipos de queimadores: a) de carga lateral; b) de carga horizontal [75]

**Queimadores de orientação horizontal:** a câmara de combustão ou é equipada com uma grelha ou com uma placa de queimador sendo o combustível introduzido na horizontal. Durante a queima o combustível é empurrado ou movido para a grelha ou placa do queimador.

**Queimadores de alimentação inferior:** o combustível é alimentado para a parte inferior da câmara de combustão. São queimadores mais adequados para a queima de combustíveis com baixo teor em cinzas tais como: estilhas ou *pellets* de madeira com baixo teor de humidade.

**Queimadores de carga lateral ou grelha em movimento (*stepped grate*):** projetados para caldeiras maiores e com elevada percentagem de humidade do combustível, o sistema de alimentação e a câmara de fogo são separados para evitar o retorno da chama. As cinzas são removidas mecanicamente ou manualmente, com a retirada da grelha [75].

**Queimadores de alimentação superior:** o combustível é orientado para o leito de combustão por meio de um transportador, o que separa as zonas de armazenamento da combustão evitando assim, o retorno de chama. A queda do combustível no leito de combustão gera uma queima instável, o que produz muita poeira e inqueimados, relativamente aos outros sistemas [76].

## Capítulo 4 - Caso de Estudo e Variáveis Energéticas

Neste capítulo realiza-se uma caracterização ao caso em estudo e por observação dos parâmetros construtivos das estufas, dos recursos tecnológicos e humanos, consegue-se neste ambiente protegido, uma produção sustentável ao menor custo. Foi com este propósito, que o presente trabalho foi desenvolvido, tendo como objetivo contribuir com soluções energéticas e ambientais, que permitam em ambas as componentes assegurar ganhos de eficiência.

### 4.1 Localização e Descrição

As estufas onde foram realizados os ensaios e o levantamento dos dados que permitiram a realização da tese, localizam-se no distrito de Santarém, concelho de Alpiarça a  $39^{\circ} 15' 11.72''$  de latitude N, de  $8^{\circ} 33' 39.77''$  de longitude O e a uma altitude de 56m.

O atual Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, 2006) divide o País em três zonas climáticas de Inverno ( $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ) e três zonas climáticas de Verão ( $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ ). A localização das estufas está inserida na zona climática de inverno ( $I_1$ ) e na zona climática de verão ( $V_3$ ) (Figura 32). O mesmo Regulamento define como 5,7 meses a duração da estação de aquecimento e uma temperatura exterior para projeto de verão de  $35^{\circ}\text{C}$ , sendo a amplitude térmica de  $15^{\circ}\text{C}$ .

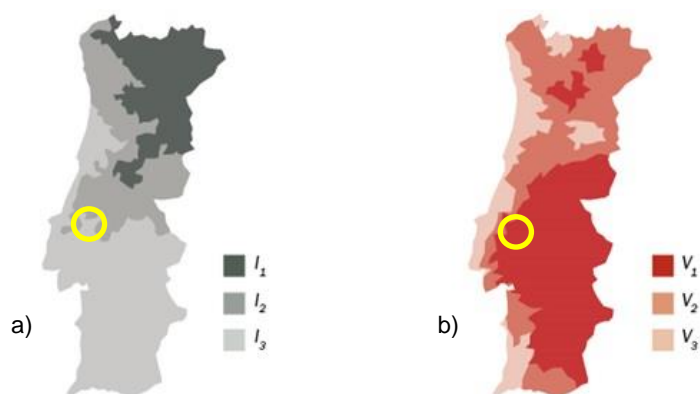


Figura 32 Zonas climáticas [77]

A localização geográfica encontra-se indicada na (Figura 33), perto da Vila de Alpiarça, num terreno com uma área total de  $98.200\text{m}^2$ . No local não existem outras habitações além da pertencente ao proprietário, pelo que a atividade desenvolvida, não influencia terceiros quer em termos de produção agrícola, outras atividades económicas ou prejudicial para a saúde do ser humano.



Figura 33 Localização das estufas analisadas [78]

De acordo com os dados fornecidos pela Agrotejo, a climatologia média mensal para Alpiarça no ano de 2014 registou os valores indicados na (Tabela 10). Os valores foram calculados considerando as médias diárias para a irradiação solar, temperatura, humidade relativa e ponto de orvalho [79].

Tabela 10 Irradiação solar global, temperatura ambiente e humidade (Baseado em: [79])

Meses	Irradiação solar global (W/m <sup>2</sup> )	Temperatura ambiente (°C)			Humidade relativa (%)	Ponto de orvalho médio (°C)
		Mínima	Máxima	Amplitude térmica		
Janeiro	222	2,33	14,9	12,57	89,23	9,06
Fevereiro	270	4,6	14,75	10,15	92,18	9,15
Março	359	6,01	20,27	14,26	83,21	8,56
Abril	416	10,17	21,30	11,13	87,37	12,50
Maio	540	10,82	25,60	14,78	70,22	10,98
Junho	544	13,38	26,97	13,59	75,45	14,15
Julho	567	14,34	29,15	14,81	76,74	15,95
Agosto	572	14,31	29,59	15,28	74,22	15,48
Setembro	397	15,66	26,83	11,17	86,84	17,62
Outubro	290	13,59	25,43	11,84	86,83	15,75
Novembro	170	9,97	17,78	7,81	94,07	12,41
Dezembro	230	3,14	15,02	11,88	84,47	5,30

Estes valores são globalmente, idênticos aos indicados pelo *Atlas Climático Digital de la Península Ibérica*, para o caso da irradiação e temperatura, já relativamente à humidade, esta ferramenta não possui qualquer registo de indicadores [80]. O complexo de estufas e respetivos edifícios de apoio estão distribuídos de acordo com a (Figura 34). As estufas são do tipo multi-túnel, de teto curvo e paredes retas. São compostas por cinco blocos, com um total de 27 túneis, com comprimentos variáveis entre (75 a 145m), sendo a largura de 8,00m nos blocos (um, quatro e cinco) e de 9,60m nos blocos (dois e três).

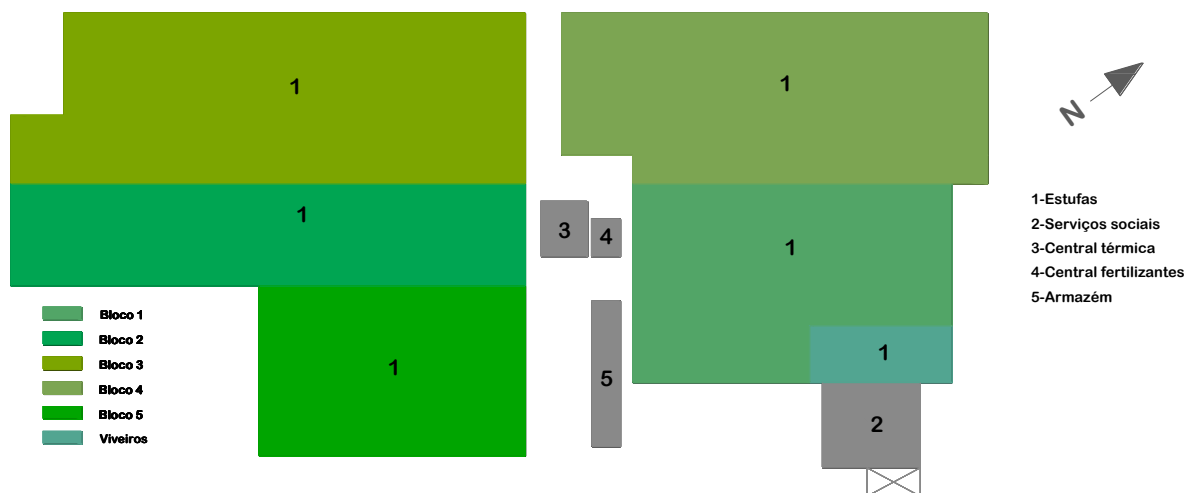


Figura 34 Implantação das estufas (Fonte: O autor)

A altura é em média de 5,60m de cumeeira e 4,00m de pé direito (zona de cultivo), conforme indicado na (Figura 35). A área total produtiva é de 24.104m<sup>2</sup>.

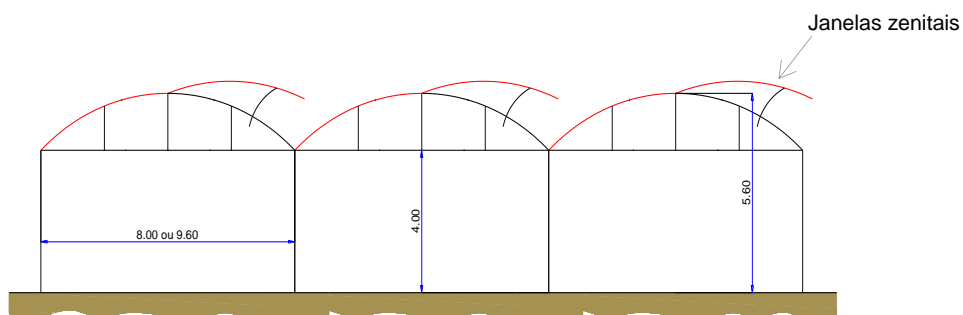


Figura 35 Dimensões e estrutura dos túneis (Baseado em: [69])

A estrutura é em aço galvanizado, suportada por pilares laterais, com espaçamento de 5,00m. O material de cobertura (teto, paredes laterais) é composto por uma película de plástico tricapa, com espessura de 200µm, tratamento anti UV, transmissão luminosa de 92%, difusão de luz de 14% e termicidade<sup>23</sup> de 86% [81]. Todos os túneis dispõem de janelas zenitais para circulação/renovação de ar, com abertura de  $\frac{1}{2}$  arco, situadas na cumeeira para uma saída mais eficaz do ar quente. Não existem janelas laterais, nem qualquer sistema de ventilação mecânica.

Para controlo da luminosidade e temperatura, as estufas estão equipadas com cortinas térmicas e opacas, do tipo XLS obscura A/A+B/B<sup>24</sup>, colocadas horizontalmente, a uma altura de 3,5m, relativamente ao nível do solo [82].

<sup>23</sup> Capacidade térmica de manter-se aquecido, ou gelado

<sup>24</sup> Referências atribuídas pelo fornecedor

## 4.2 Produção e Levantamento das Tecnologias

O crisântemo é a planta produzida no seu interior sendo utilizada como flor de corte, através de uma grande variedade de espécies, tamanhos e cores. É uma espécie da família da *Asteraceae* sp., género *Dendranthema* [83].

A produção do crisântemo é feita em canteiros, com largura aproximada de 1,35m e espaçados de 0,30m para passagem de pessoas, conforme se indica na (Figura 36 a e b). A disposição dos canteiros é longitudinal na sua globalidade e a quantidade de canteiros por túnel depende da sua largura. A disposição em a) é utilizada nos blocos dois e três e a disposição em b) nos restantes blocos (um, quatro e cinco).

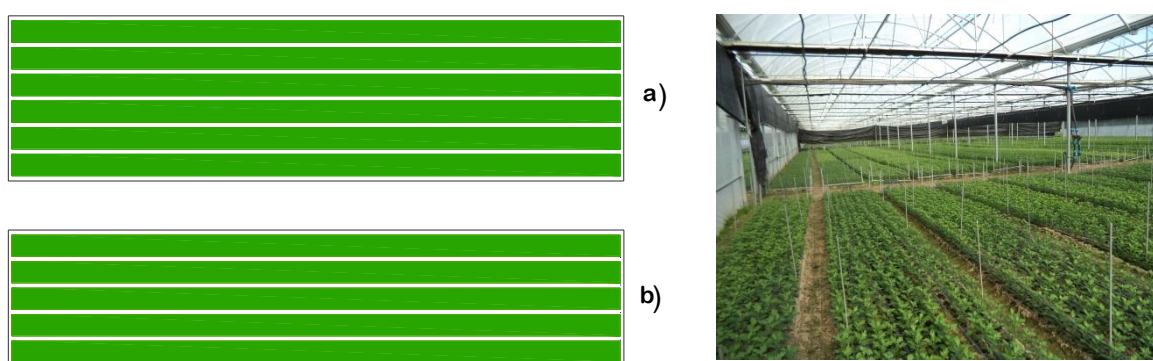


Figura 36 Distribuição dos canteiros em a) e b) (Fonte: O autor)

Os cultivares são plantados em substrato de terreno arenoso e o seu desenvolvimento é fruto da utilização de diversas tecnologias, que criam as condições ambientais ideais, para a produção em alto rendimento.

Ao nível do solo existem equipamentos que distribuem a água para rega e os fertilizantes nas doses indicadas para cada túnel, em função da fase de desenvolvimento das plantas que cada um comporta. Os níveis de humidade são repostos por nebulização aérea.

Como já referido, a ventilação natural é feita ao nível da cobertura, por janelas zenitais existentes ao longo de cada túnel, com abertura Este/Oeste, conforme indicado na (Figura 35). Verifica-se a ausência de janelas laterais, sistemas de ventilação mecânica ou enriquecimento de CO<sub>2</sub>.

### - Aquecimento ambiente

O aquecimento ambiente é feito com recurso a quatro circuitos de água quente, divididos pelos cinco blocos que compõem a totalidade das estufas, um dos circuitos abastece em simultâneo os blocos dois e cinco.

A distribuição de água quente faz-se de acordo com o indicado na (Figura 37), a uma temperatura de cerca de 40°C na ida e ≈30°C no retorno. A tubagem de distribuição é em

polietileno marca Alfatubo SDR 17-S8, referência Alfa Hidro, com diâmetros compreendidos entre 32mm na zona de aquecimento junto das plantas, e de 63, 75, 90, 110, 125 e 140mm, na distribuição aos diversos blocos [84].

A temperatura ambiente para uma boa climatização das plantas no período de inverno deverá situar-se entre os 12°C-18°C período noturno, 19°C-24°C período diurno e temperatura do solo com valores idênticos. A humidade diurna deverá ser  $\leq 80\%$  e a noturna  $\leq 90\%$ , os valores para o CO<sub>2</sub> deverão situar-se entre 350-1.500ppm [85]; [86]; [87]; [88].

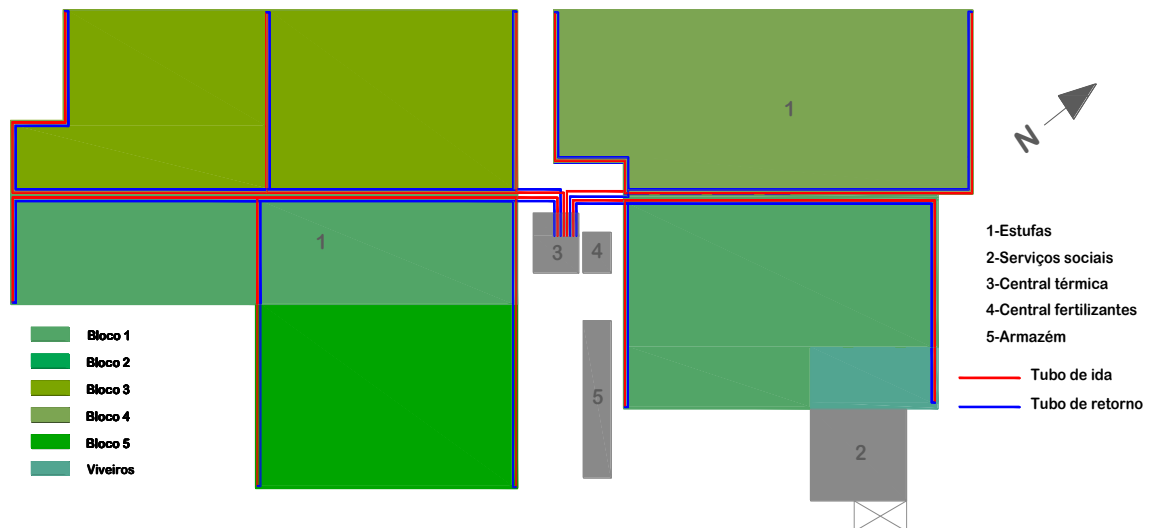


Figura 37 Distribuição do sistema de aquecimento ambiente (Fonte: O autor)

A tubagem de aquecimento ambiente junto das plantas está distribuída como indicado na (Figura 38), um circuito de aquecimento junto das raízes e outro ao nível do crescimento das plantas, variando a altura em função da maturação destas. Esta tubagem é assente numa rede metálica de malha quadrada, suportada por uma estrutura tubular.

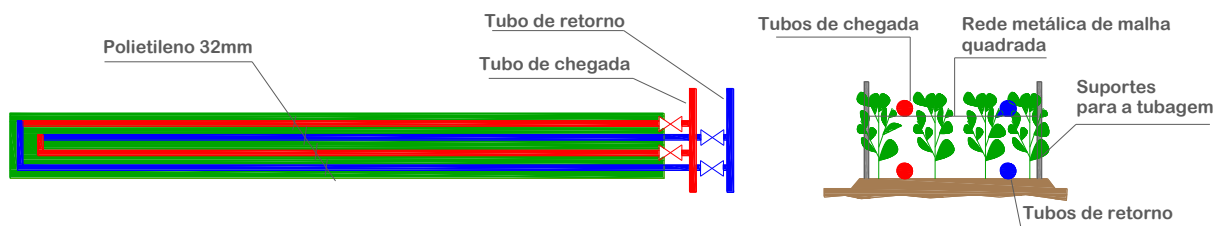


Figura 38 Distribuição da tubagem de aquecimento nos canteiros (Fonte: O autor)

O controlo da temperatura é feito em cada bloco, por termostatos existentes e que comandam válvulas elétricas instaladas nos circuitos à saída da central térmica.

### - Central térmica

A centra térmica (Figura 39) é composta por uma caldeira, dois *buffers*<sup>25</sup> de acumulação (30.000 litros cada) e dois coletores com quatro circuitos de distribuição de ida e outros

<sup>25</sup> Depósitos de inércia, que servem de apoio à caldeira em consumos de ponta elevados

tantos de retorno. A caldeira utiliza como combustível a biomassa sólida (lenha de oliveira e pinho), assim como *pellets* de bagaço de azeitona ou de caroço de azeitona.

A caldeira instalada é da marca *Alessandro Termomecânica*, modelo 2000, série CSA, ano de fabrico 2012, potência 2.355kW e nominal de 2.000kW, temperatura máxima de funcionamento de 90°C, conteúdo em água de 5.650L, pressão de 3bar e potência elétrica

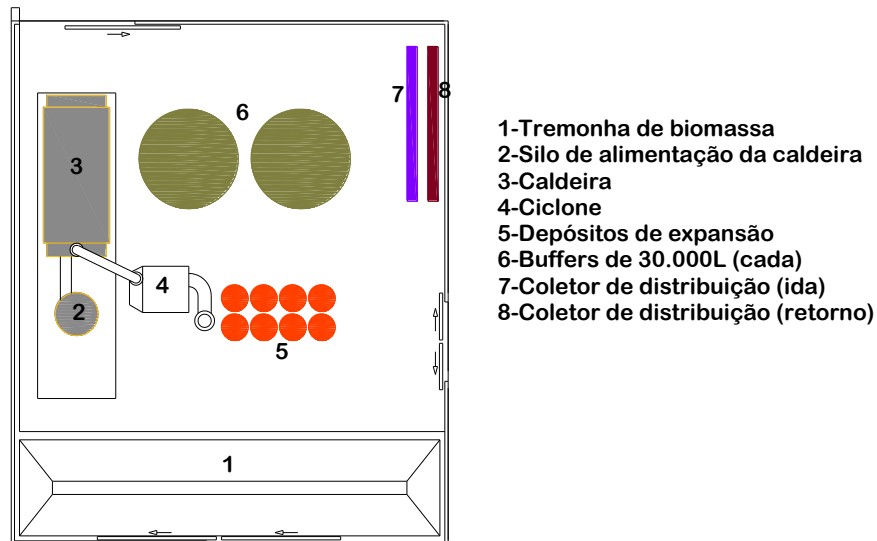


Figura 39 Componentes da central térmica (Fonte: O autor)

de 5,2kW (Figura 40). É de chama vertical, com tomada de ar primário em baixo e secundário a um nível superior.

Na utilização da biomassa - lenha ver (Tabela 1) como combustível, o carregamento é feito manualmente, sendo neste caso de combustão rápida e sem controlo, forte no início, e depois muito fraca.

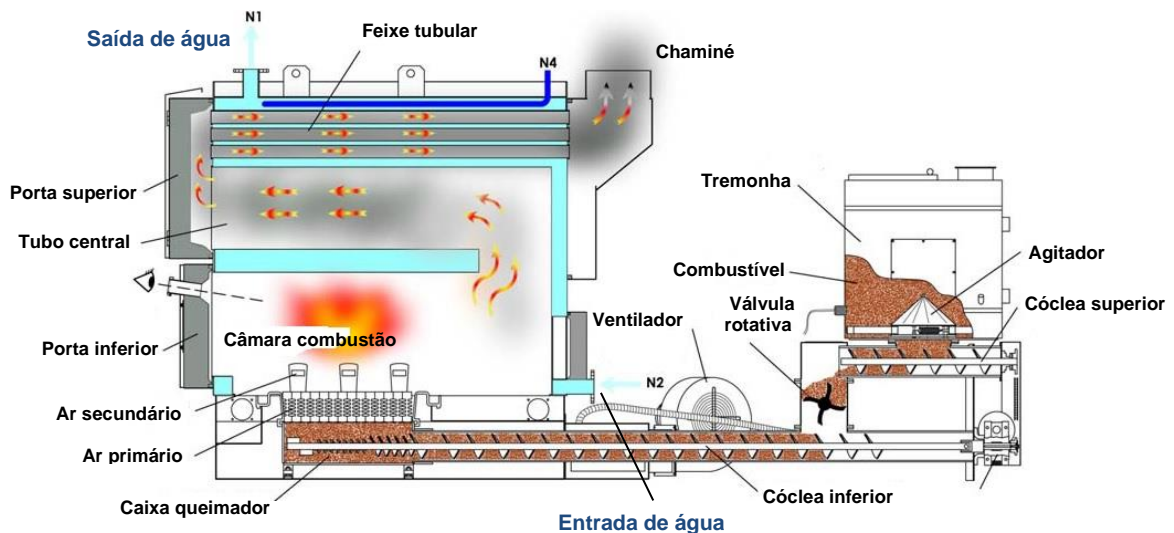


Figura 40 Composição geral da caldeira [89]

De acordo com informações contidas no catálogo técnico, esta caldeira está preparada para consumir os seguintes combustíveis de biomassa sólida:

- *Pellets* de madeira;
- Cascas de noz, amêndoa;
- Caroço esmagado de azeitona, pêssego, damasco e outros semelhantes;
- Estilha e restos de carpintaria com comprimento de 3cm, largura 2cm e espessura 1cm;
- Serradura.

Os dados técnicos referem que a potência nominal é garantida, desde que sejam cumpridos os requisitos de humidade relativa do combustível (abaixo de 30%), para biomassa com valores de humidade superiores, a potência baixa drasticamente, conforme indicado na (Figura 41).

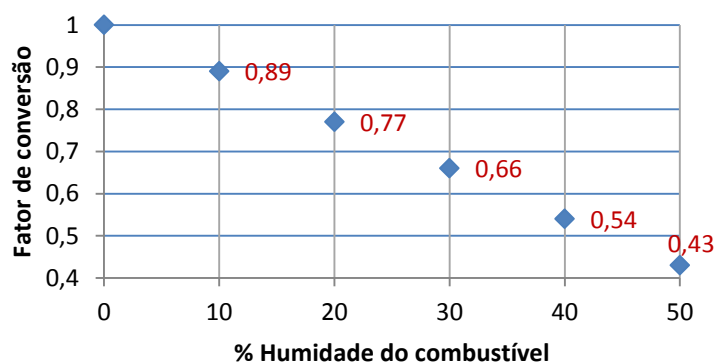


Figura 41 Humidade do combustível e rendimento da caldeira [89]

A caldeira está equipada com um sistema de alimentação automático, por parafuso sem-fim, garantindo uma combustão estável, separador de cinzas multiciclónico, ventilador de tiragem forçada, separador de cinzas composto por uma bateria de vários ciclones, dispostos em filas paralelas colocadas em escada. Tem ainda, um extrator de cinzas da câmara de combustão que permite remover cerca de 60% das cinzas resultantes da operação [89].

#### - Cortinas térmicas

O material de cobertura (entenda-se telhado e paredes) das estufas são normalmente, claros para permitir a entrada dos raios solares, com significativos ganhos energéticos e de desenvolvimento das plantas. Os materiais claros são pobres em isolamento. Para minimizar as perdas de calor noturno (inverno) as estufas estão dotadas de cortinas térmicas móveis, quer na cobertura quer nas paredes (Figura 42 a e b). Estas cortinas têm uma dupla utilização, já que proporcionam sombreamento quando a luz solar é excessiva, sobretudo nos períodos de maior radiação e evitam a queda de gotas nas plantas, devido à condensação.



Figura 42 Cortinas térmicas: a) Cortinas horizontais e verticais interiores; b) Cortinas verticais nas paredes exteriores; c) Esquema com isolamento total (Fonte: O autor)

No caso em estudo e dado tratar-se da produção de crisântemos, as cortinas térmicas têm ainda uma terceira função que é o de evitar que as plantas estejam expostas a demasiada luz em certos períodos do seu desenvolvimento, uma vez que é uma planta de dias curtos. Alguns autores referem que a utilização de cortinas térmicas eleva a temperatura noturna 2 a 3 °C, sem aquecimento e pode economizar entre 30 a 40% de energia com aquecimento [90]. A cortina térmica instalada nas estufas como já referido é do tipo obscura FB A+B, com as seguintes características: elevado nível de sombreamento para luz direta e difusa, economia de energia e retardante ao fogo [46]; [91].

### 4.3 Metodologia Energética

A metodologia seguida engloba parcialmente, os procedimentos de uma auditoria energética e consiste na recolha de dados sobre as várias variáveis energéticas deste processo produtivo. Depois de trabalhados informaticamente permitem tirar conclusões sobre o modo de operação do sistema no seu todo. Indicam-se a seguir os procedimentos seguidos para a recolha dos dados relativos aos parâmetros que se pretendem avaliar.

#### - Recolha de consumos de eletricidade

Após visitas de estudo a duas estufas em Salvaterra de Magos e Alpiarça, optou-se por esta última, pelo facto de utilizar energias renováveis, para aquecimento das estufas. Tendo realizado o primeiro trabalho de recolha de dados no dia 20 de dezembro de 2014, com a instalação de dois analisadores de energia. Instalou-se um na central térmica, de 20 a 25 de dezembro de 2014, para análise dos consumos elétricos nos circuitos de alimentação do aquecimento ambiente das estufas e na circulação entre a caldeira e os *Buffers*, por se considerar serem estes os equipamentos com consumo mais representativo. Colocou-se outro, na alimentação às câmaras frigoríficas (Figura 43), de 20 de dezembro de 2014 a 3 de janeiro de 2015. Posteriormente foi colocado um analisador no quadro geral para análise aos consumos globais de energia, para posterior desagregação e análise do perfil de distribuição ao longo do dia. Nas situações referidas, os analisadores foram programados

para registarem as leituras com intervalos de 15 minutos, sendo os dados, posteriormente descarregados em computador para serem estatisticamente trabalhados.



Figura 43 Recolha de consumos: analisador e quadro elétrico (Fonte: O autor)

### - Dados climáticos

Os dados climáticos, temperatura exterior, interior das estufas, humidade relativa,  $\text{CO}_2$ , pressão atmosférica, temperatura da cobertura das estufas, cálculo do valor de  $U^{26}$  do plástico de cobertura, temperatura do solo, das plantas e velocidade do vento foram recolhidos com recurso a dois equipamentos multifunções, com memória para 10.000 registos e *software* (Figura 44 a, b e c).

Para a medição da temperatura exterior recorreu-se a uma sonda por transmissão rádio colocada no exterior da estufa, a uma altura de cerca de 2m, para nivelamento com o equipamento multifunções, como aconselhado pelo fabricante. Simultaneamente foi medido o valor de  $U$ , temperatura da cobertura  $T_w$  e temperatura interior  $T_i$  por uma sonda de transmitância térmica (Figura 44 b). A temperatura superior da estufa foi medida à altura desta (cerca de 5m) conforme indicado na (Figura 44 c).



Figura 44 Recolha de dados: a) Medição da temperatura interior; b) Medição do valor de  $U$ ; c) Medição da temperatura do teto (Fonte: O autor)

<sup>26</sup> Coeficiente de transmissão térmica

Para a análise do CO<sub>2</sub>, da humidade relativa, pressão absoluta e da temperatura interior colocou-se uma sonda QAI<sup>27</sup>, junto das plantas e ao nível destas conforme a (Figura 44 a).

Para a medição da temperatura do solo registaram-se medições, a profundidades de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,50 m, com a sonda de imersão/penetração.

Mediu-se a velocidade do vento no interior da estufa, a uma altura aproximada de 2 m, com a sonda de medição de molinete, diâmetro 60mm. Ambos os equipamentos foram programados, para efetuar registos a cada 15 minutos e obtiveram-se medições nos dias 7, 12, e 13 de fevereiro e nos dias 27 e 28 de março de 2015, com leituras de dia completo.

#### - Análises à combustão e emissões gasosas

Para avaliar as condições de funcionamento da caldeira realizaram-se medições no dia 12 de fevereiro de 2015, aos seguintes parâmetros: temperatura ambiente (°C); temperatura dos gases de exaustão (°C); O<sub>2</sub> (%); CO (ppm); CO<sub>2</sub> (%); NO<sub>x</sub> (mgm<sup>3</sup>); NO<sub>x</sub> (ppm); NO (ppm) e rendimento da caldeira ( $\eta$ ) em (%). Para o efeito realizou-se uma perfuração na chaminé, com diâmetro de 12mm para colocação da sonda, conforme se indica na (Figura 45 a).

O equipamento disponibilizado para a leitura e registo está indicado na (Figura 45 b). Para a recolha dos dados, acoplou-se uma sonda modular para leitura dos gases de combustão.

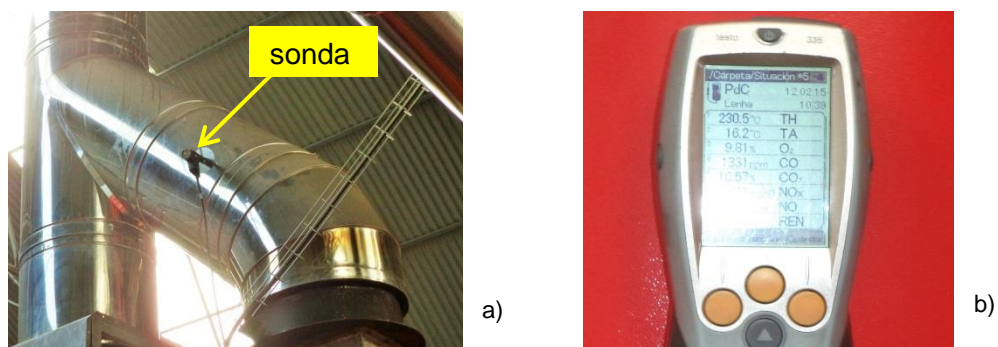


Figura 45 Análise à combustão: a) Sonda; b) Aparelho de medição (Fonte: O autor)

As medições às emissões gasosas realizaram-se no dia 20 de março de 2015, com a caldeira a funcionar a biomassa de madeira de pinho.

Para que estas medições fossem possíveis foi necessário instalar uma flange na chaminé, com toma para colocação da sonda para a recolha das amostras, (Figura 46 a). Esta sonda possui um filtro cerâmico de 2 $\mu$ m, tubo de aspiração para diversos comprimentos, admite temperaturas de gases até 600°C, necessita de um período de aquecimento de cerca de 30min.

<sup>27</sup> Qualidade do ar interior

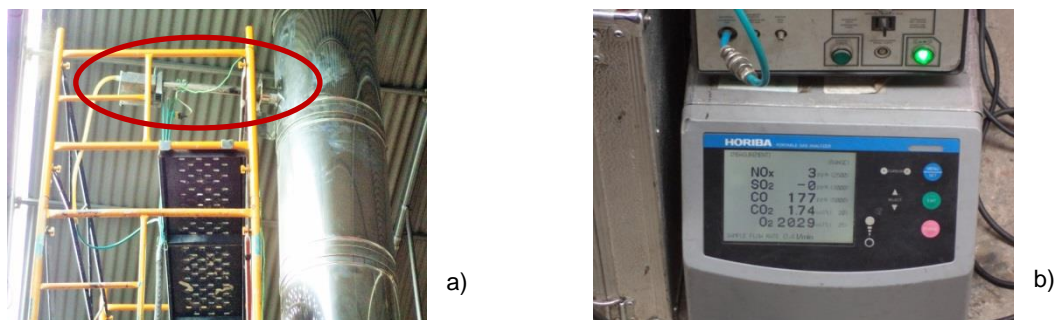


Figura 46 Análise às emissões gasosas: a) Sonda; b) Aparelho de medição (Fonte: O autor)

O analisador utilizado permite a monitorização em tempo real e em contínuo das emissões gasosas. É um analisador portátil, fiável que permite medir  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ , com tempo de resposta entre 10 a 30 s. A temperatura ambiente não deve ultrapassar os  $40^\circ\text{C}$  e a humidade deve ser inferior a 85%. Para a amostragem as partículas devem ser  $<0,1\text{g}/\text{Nm}^3$  e a pressão deverá ser  $\pm 0,98\text{kPa}$  ( $\pm 100\text{mm H}_2\text{O}$ ). O conjunto completou-se com o sistema portátil de recolha de pré acondicionamento das amostras. Este sistema é formado por uma unidade de arrefecimento para desumidificação do gás, com bomba de purga para condensados, bomba de aspiração das amostras, filtro de partículas, detetor de humidade e um caudalímetro com tecla de ajuste. Este equipamento está limitado a uma temperatura máxima de entrada de  $180^\circ\text{C}$ , a um caudal de amostra de  $0\text{-}150\text{NI}/\text{h}$ , a uma pressão absoluta de  $0,7\text{-}4\text{ bar}$ , com capacidade de arrefecimento de  $50\text{ kJ}/\text{h}$ , sendo a temperatura de funcionamento como já referido de  $5\text{-}40^\circ\text{C}$ .

#### - Análise ao rendimento da caldeira

Realizou-se no dia 28 de março de 2015, uma análise ao rendimento da caldeira tendo em vista os cálculos pelo método direto [92]:

$$\eta = \frac{P_u}{P_c} * 100 (\%) \quad (33)$$

Sendo  $P_u$  a energia útil, e  $P_c$  a energia do combustível.

Embora o  $\eta$  fosse calculado através da análise à combustão com a queima de madeira de pinho, considerou-se importante uma análise por outro método para comparar este combustível, com os *pellets* de bagaço de azeitona. Para a realização deste ensaio recorreu-se à pesagem da madeira e dos *pellets* a queimar, para cálculo do poder calorífico  $P_c$ , assim como à medição das temperaturas nos *buffers* e medição do caudal de água que circulou durante o período em avaliação, para cálculo da energia útil  $P_u$ . O caudal de água foi calculado com recurso a um caudalímetro por ultrassom, (Figura 47 a e b), uma vez que a instalação não possui nenhum sistema de medição para este parâmetro.

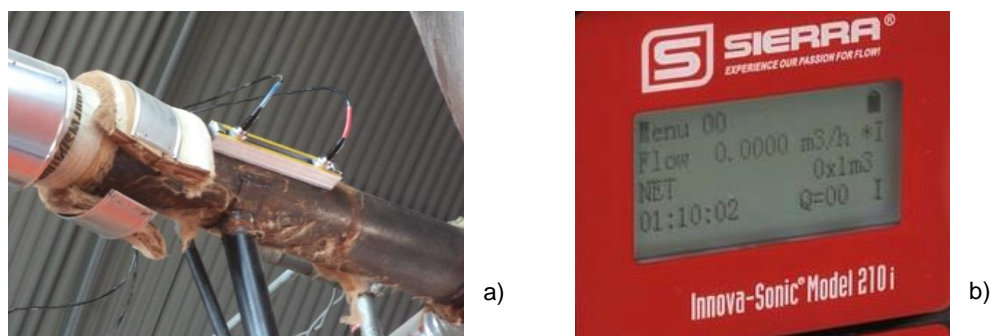


Figura 47 Medição do caudal de água aquecida: a) Caudalímetro; b) Aparelho de medição (Fonte: O autor)

O equipamento é composto de um transdutor colocado em paralelo com a tubagem com acoplamento por hímen, que recebe os dados e os transmite ao equipamento de armazenagem e registo. Para a colocação do transdutor foi necessário retirar o isolamento da tubagem para estabelecer contacto com o fluido, conforme (Figura 47 a). Parametrizou-se o equipamento, para fazer registo dos valores de caudal ( $m^3$ ) e de velocidade ( $m/s$ ), com intervalos de um minuto ao longo do período de medição. A instalação do transdutor seguiu as instruções do fabricante, tendo respeitado o sentido de escoamento do fluido e sua temperatura, assim como o diâmetro e características da tubagem onde foi instalado.

O equipamento possui *software* para ligação e transmissão de dados ao computador, para serem posteriormente trabalhados.

#### - Análise das cinzas, PC da biomassa e humidade

Para compreender a composição resultante da queima da biomassa fez-se uma análise em laboratório à composição das cinzas, através de ICP–AES tendo resultado em valores para os seguintes metais: Sb; As; Ba; Cd; Pb; Cu; Hg; Ni; Se; Zn; Mo; Be; Co; Sn e V.

Considerou-se essencial contabilizar a humidade e poder calorífico das biomassas sólidas (madeira de pinho e de oliveira) utilizadas na caldeira como combustível, para efeitos de tomada de decisão sobre a opção mais indicada a utilizar no futuro, (Figura 48 a e b).

Os ensaios para contabilizar o PCS e PCI foram realizados em laboratório, pelo método analítico ASTM D 240, para a biomassa de madeira de oliveira, de pinho e para os *pellets* de bagaço de azeitona, todas as amostras foram recolhidas no dia 26 de fevereiro de 2015.

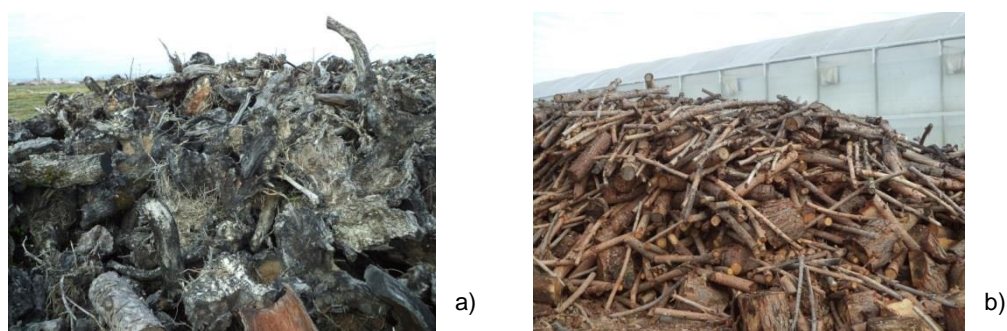


Figura 48 Biomassa sólida: a) Oliveira; b) Pinho (Fonte: O autor)

A humidade da madeira foi calculada pelo método de secagem em estufa, à temperatura de 105°C, durante quatro horas, repetindo este procedimento até que o peso terminasse estabilizado em duas medições consecutivas. Para o cálculo da humidade procedeu-se de acordo com a equação (2).

O Poder calorífico da biomassa em função da humidade foi calculado segundo a equação (4).

#### 4.4 Análise de Resultados

Apresentam-se de seguida os resultados das medições, cálculos e ensaios realizados e já descritos anteriormente. Mantem-se a mesma ordem sequencial para melhor compreensão e leitura dos dados.

##### - Consumo de energia elétrica e sua desagregação

A potência contratada é de 41,40kVA em baixa tensão normal (BTN) com tarifa de médias utilizações em 2014 (EDP) e Tri-horário em 2015 (Galp ON). A potência contratada corresponde às necessidades de pico para fazer face aos consumos dos equipamentos instalados e que no período analisado (7 a 14 de janeiro de 2015) apresentaram as necessidades de potência indicadas na (Figura 49).

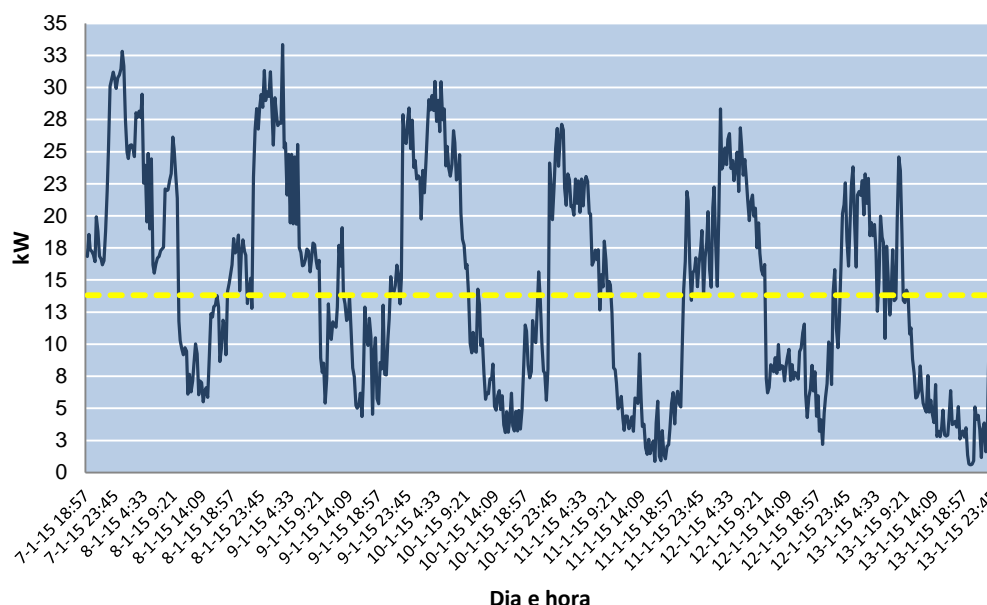


Figura 49 Necessidades de potência elétrica (Fonte: O autor)

Neste período a potência de pico foi de 33,35kW, no dia 9 de janeiro, às 3h e 15m. Numa análise aos dados recolhidos constata-se que as maiores necessidades de energia se verificam no período noturno devido às necessidades de aquecimento ambiente com o funcionamento das bombas circuladoras e da caldeira.

Da análise à (Figura 49), verifica-se uma grande amplitude de necessidades de potência ao longo do dia, desde 0,49 kW até aos 33,35 kW mencionados. A potência média no período analisado corresponde a 13,81 kW considerando um período de 24 horas.

A energia consumida no decorrer de um dia completo distribui-se conforme indicado na (Figura 50) (das 00h às 24h do dia 9 de janeiro), de acordo com o anteriormente referido, verifica-se um maior consumo nas primeiras horas do dia (fase noturna) reduzindo significativamente, durante o período diurno, o que está relacionado com o aumento da temperatura ambiente nesta fase do dia.

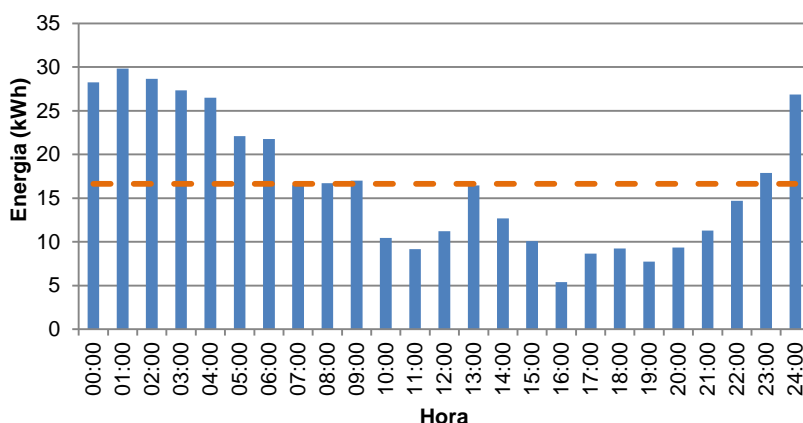


Figura 50 Consumos de energia elétrica (Fonte: O autor)

Os consumos mais significativos verificam-se na casa das máquinas com 50% dos consumos energéticos, seguido das câmaras de frio 31% e os restantes em iluminação, tomadas e motores para abertura das janelas zenitais 19%. A desagregação de consumos está afeta aos equipamentos conforme se indica na (Figura 51).

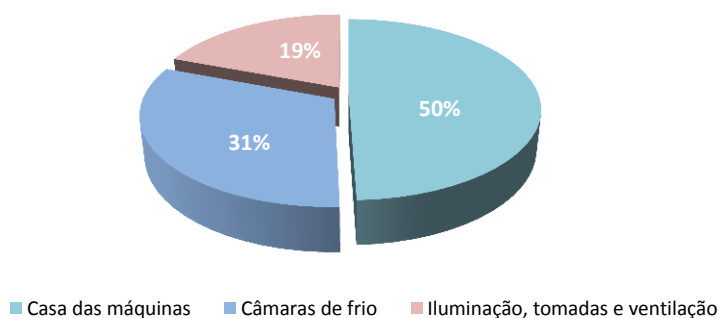


Figura 51 Desagregação de consumos (Fonte: O autor)

Como já referido, a instalação tem contratualizado neste momento uma tarifa BTN Tri-horário de 41,40kVA. A distribuição de consumos no ano de 2014 correspondeu às necessidades energéticas nos períodos horários de vazio, ponta e cheias, conforme indicado na (Figura 52). O maior consumo verifica-se no horário de vazio, logo seguido do

horário de cheias, o consumo em horas de ponta representa apenas 13% do total das necessidades.

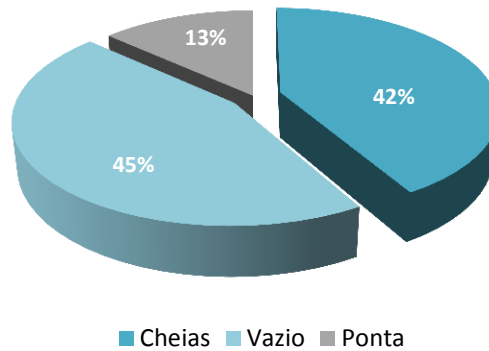


Figura 52 Distribuição dos consumos pelos períodos horários (Fonte: O autor)

Os consumos médios mensais distribuem-se ao longo do ano conforme indicado na (Figura 53), com predominância nos meses de inverno, relativamente ao restante período do ano, embora a diferença não seja significativa atendendo à necessidade de forte ventilação com a abertura frequente das janelas zenitais na época de temperaturas mais elevadas, assim como à maior exigência de energia nas câmaras de frio.

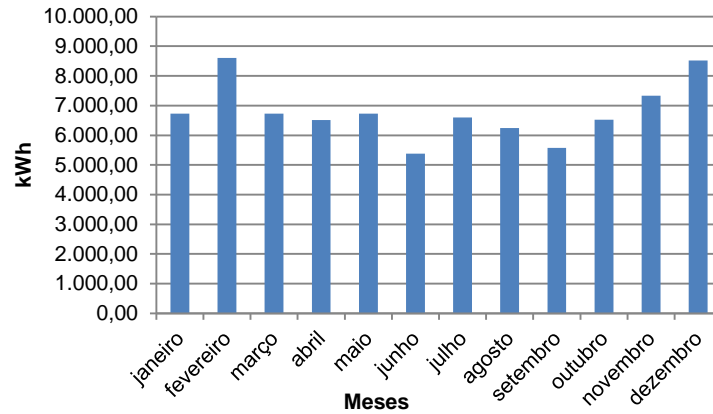


Figura 53 Média de consumos mensais (Fonte: O autor)

### - Dados ambientais

Analisaram-se os dados relativos à temperatura exterior e às condições climatéricas no interior das estufas, nomeadamente, humidade relativa, coeficiente de transmissão térmica U do plástico de cobertura, temperatura do plástico da cobertura e temperatura interior.

As medições realizaram-se nos dias 7, 12 e 13 do mês de fevereiro e nos dias 27 e 28 do mês de março, ambos referentes ao ano de 2015.

Os valores encontrados para os parâmetros referidos estão explanados na (Figura 54 a e b) e obtiveram-se valores semelhantes para o mesmo período do dia.

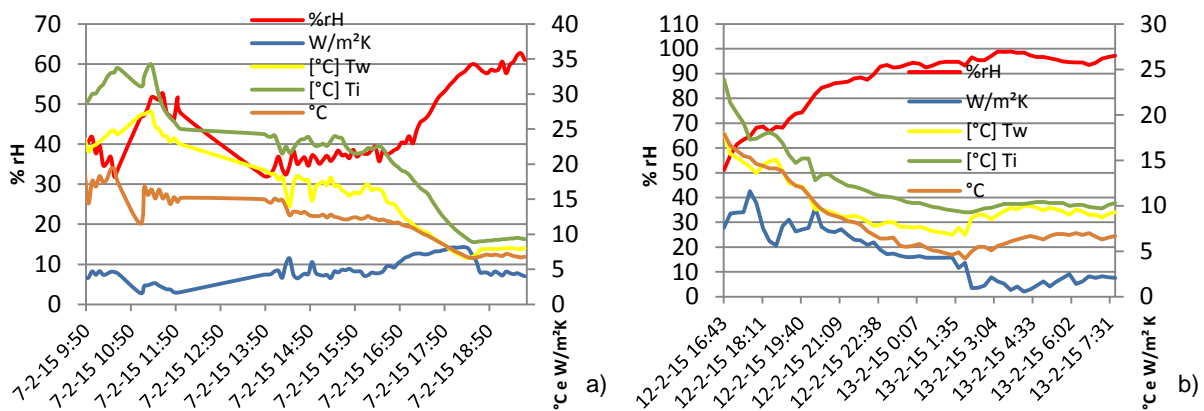


Figura 54 Valores de humidade, coeficiente de transmissão térmica e de temperatura: a) Dia 7 de fevereiro de 2015; b) Dias 12 e 13 de fevereiro de 2015 (Fonte: O autor)

Verifica-se que a humidade relativa é mais elevada na fase noturna chegando a aproximar-se dos 99% durante as primeiras horas da madrugada. O coeficiente de transmissão térmica do plástico da cobertura quer no gráfico a) quer no gráfico b) tem um comportamento em geral inferior a 10 W/m²K. De notar que o comportamento do plástico se aproxima mais dos valores de referência no período em que a temperatura ambiente é mais baixa o que reflete uma maior adequabilidade deste material ao período de inverno. A temperatura do plástico seguiu a mesma proporcionalidade que a temperatura ambiente, acompanhando a trajetória desta no decorrer das medições.

Optou-se por realizar nova medição nos dias 27 e 28 de março de 2015, com temperaturas ambientes mais elevadas para avaliar o comportamento da estufa, relativamente aos parâmetros anteriormente avaliados. Como era exetável, a humidade relativa desce, substancialmente, no período diurno com temperaturas exteriores/interiores mais elevadas. Comportamento semelhante tem o plástico da cobertura para o coeficiente de transmissão térmica U registando-se valores acima do descrito por [93] [94] [95] [96], chegando a registar valores de 48 W/m²K por volta das 19h do dia 27 e das 11,30h e 14,30h do dia 28, conforme (Figura 55). Nesta medição, a sonda foi colocada no ponto mais elevado da cobertura o que justifica a diferença de comportamento, relativamente às medições anteriores, em que a sonda foi sempre colocada nas paredes laterais da estufa. A instabilidade verificada no dia 28 entre as 11,30h e as 15,30h, com a temperatura exterior a ultrapassar a interior pode ser justificada com a proximidade da sonda exterior ao plástico da estufa.

Os restantes valores de temperatura seguem uma trajetória normal e com valores adequadas aos períodos horários em que se realizaram as medições.

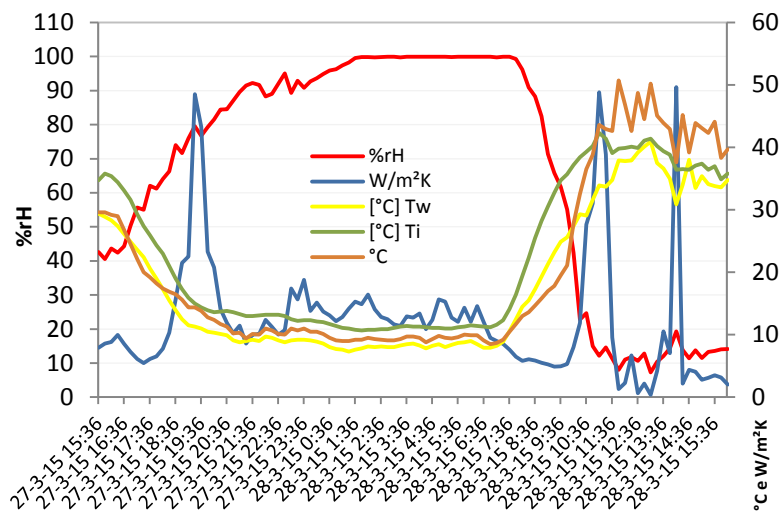


Figura 55 Valores de humidade, coeficiente de transmissão térmica e de temperatura (Fonte: O autor)

### - Medições de CO<sub>2</sub>, pressão atmosférica e temperatura interior

O carbono é o principal elemento da vida e constitui entre 40-50% de matéria seca nos organismos vivos, as plantas adquirem-no do ambiente sob a forma de CO<sub>2</sub>.

Na ausência de fornecimento artificial de CO<sub>2</sub> no interior da estufa, o gás absorvido no processo de fotossíntese vem do ambiente externo sendo conduzido através das aberturas das janelas. A concentração global na atmosfera em fevereiro de 2015 era de 400,23 ppm, superior em cerca de 2,4 ppm, relativamente, ao mesmo período do ano transato [97]. Isto pressupõe que a concentração no interior da estufa é inferior à concentração externa, uma vez que não existe fluxo de outra forma a não ser pelas janelas. Realizaram-se medições nas estufas ao nível das plantas e ligeiramente acima, cerca de 0,20m nos dias 12 de fevereiro e 27 e 28 de março de 2015 e obtiveram-se para o CO<sub>2</sub> concentrações de 355 ppm como valor mínimo, 490 ppm de média e máximo de 626 ppm para o dia 12 de fevereiro e de 313 ppm valor mínimo, 462 ppm de média e máximo de 625 ppm para os dias 27 e 28 de março, conforme indicado na (Figura 56).

De salientar que os valores mínimos se registaram no período diurno entre as 9,30 e 17 h, enquanto as máximas se registaram no período noturno entre as 2,30 e 3,30h. As concentrações de CO<sub>2</sub> são menores no período diurno devido ao consumo das plantas para a realização da fotossíntese e maiores no período noturno, devido à respiração destas e dos organismos vivos, que o libertam para a atmosfera [98].

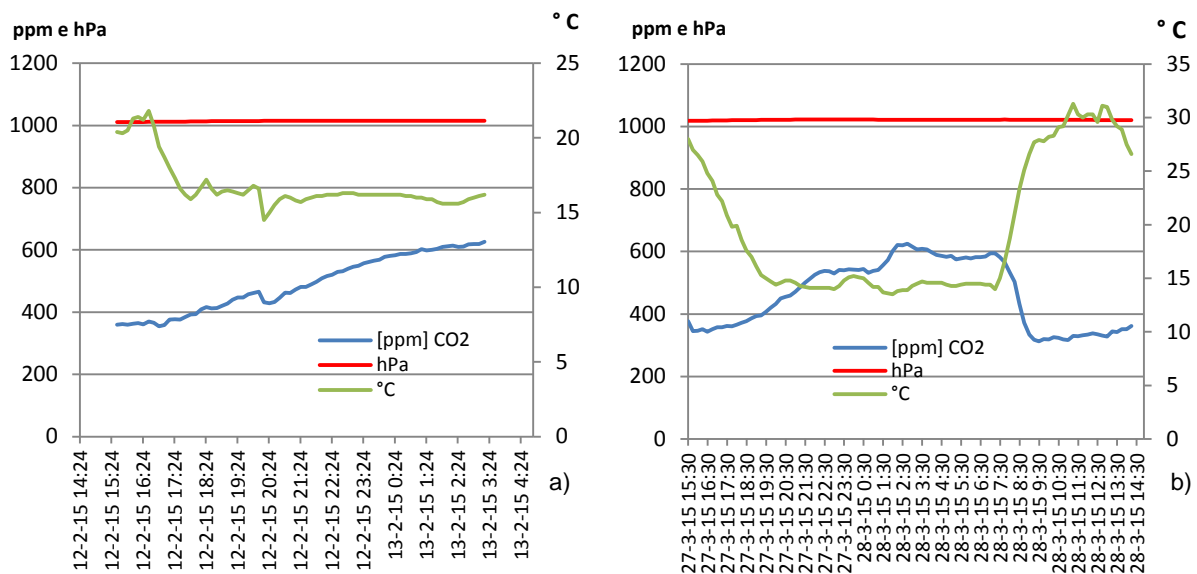


Figura 56 Medições de CO<sub>2</sub>: a) e b) Pressão atmosférica e temperatura interior (Fonte: O autor)

Os valores de CO<sub>2</sub> para a produção de crisântemos em estufa deverão situar-se entre os 700-900 ppm, a humidade relativa entre 80-90% e a temperatura deverá situar-se de dia entre 19-24°C e de noite entre 12-18°C [62]. Já para o NCPAH<sup>28</sup>, a temperatura ideal para a produção de crisântemos em estufa é de 12-24°C para o período diurno e de 15-16°C para a noite [85].

No caso da concentração de CO<sub>2</sub> os valores registados configuram quantidades inferiores ao desejável nos períodos diurnos, atingindo em média para o período noturno cerca de 600 ppm. Compensar a entrada de CO<sub>2</sub> através da ventilação nos períodos mais frios implica um *trade-off*<sup>29</sup> entre a entrada de dióxido de carbono para o interior da estufa e a manutenção da temperatura devido a esta decisão. Num estudo realizado em duas estufas localizadas no mediterrâneo, a redução da produção causada pela menor concentração de CO<sub>2</sub> é comparável à redução da produção, devido à temperatura inferior causada pela ventilação para compensar a entrada de CO<sub>2</sub>. No entanto compensar o efeito da depleção sai muito mais barato, do que compensar a perda por aquecimento [59].

### - Combustão e emissões gasosas

Os resultados à combustão da caldeira, assim como às emissões gasosas estão interligados, uma vez que um mau funcionamento da caldeira implica Valor Limite de Exposição (VLE) nas emissões desajustados.

As avaliações a estas duas componentes realizaram-se em dias diferentes, por não se conseguir disponibilidade em simultâneo dos equipamentos envolvidos.

<sup>28</sup> National Committee on Plastics Applications in Horticulture

<sup>29</sup> Tomada de decisão ou negociação

A primeira avaliação foi realizada à combustão da caldeira, no dia 12 de fevereiro de 2015, tendo-se registado os valores indicados na (Tabela 11).

Tabela 11 Resultados da avaliação à combustão da caldeira (Fonte: O autor)

Temperatura (°C)		O <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	NO <sub>x</sub> (mgm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (ppm)	NO (ppm)	η (%) Caldeira
Gás Combustão	Ambiente							
204,08	16,9	9,73	21.259	10,18	226,47	76,24	72,53	76,7

Já as amostras para avaliação das emissões gasosas realizaram-se no dia 20 de março de 2015. Estas datas foram as disponibilizadas pela gerência das estufas, dado que dependiam da existência de equipamentos de pesagem da madeira. Na (Tabela 12) indicam-se as médias resultantes das amostragens retidas para cada parâmetro. Os valores das amostragens estão registados no (Anexo B) [99].

Tabela 12 Média dos resultados obtidos para as emissões gasosas (Fonte: O autor)

Parâmetro	Concentração (mg/Nm <sup>3</sup> )	Concentração (mg/Nm <sup>3</sup> .11%O <sub>2</sub> )	Valor limite (mg/Nm <sup>3</sup> .11%O <sub>2</sub> )
CO	260 ± 5	194 ± 4	500
SO <sub>2</sub>	< 5,7	< 4,3	500
NO <sub>x</sub>	444 ± 27	332 ± 21	650
H <sub>2</sub> S	< 1,90	< 1,42	5
PTS	188 ± 5	141 ± 4	150
COV	337 ± 4	251 ± 4	200

Os resultados à combustão mostram uma temperatura dos gases na maioria das medições alta, assim como o CO registou valores elevados em determinadas medições. Os valores para o O<sub>2</sub> são também baixos em algumas medições, o que em certa medida está em concordância com as elevadas concentrações de CO.

Dos resultados obtidos às emissões gasosas, constata-se que o parâmetro PTS está muito próximo do VLE e o parâmetro, Composto Orgânico Volátil (COV) ultrapassa mesmo o VLE estipulado.

#### - Análises: poder calorífico da biomassa utilizada; parâmetros diversos e cinzas

As análises ao poder calorífico da biomassa de madeira de pinho e da madeira de oliveira foram realizados em laboratório [100] tendo-se obtido os valores indicados na (Tabela 13).

Tabela 13 Poder calorífico da biomassa utilizada (Fonte: O autor)

Tipo de Ensaio	Tipo de Biomassa			Método analítico
	Raiz de oliveira	Madeira de pinho	Pellets de bagaço de azeitona	
Perda a 105 °C	18% (m/m)	29% (m/m)	10% (m/m)	SWEWW 2540 B e ASTM D 95
PCS (MJ/kg)	16,75	17,17	18	ASTM D 240
PCI (MJ/kg)	16,33	16,33	18	ASTM D 240

Ao longo do trabalho constatou-se, que a biomassa de *peletts* de bagaço de azeitona existente em armazém desenvolvia combustão espontânea, perceptível visualmente. O processo de auto-aquecimento no interior da biomassa transporta a humidade para a superfície o que, normalmente é visível, através da emissão de fumo branco.

Estes materiais são geralmente porosos e geradores de calor metabólico, devido a reações desenvolvidas por três processos distintos: reações de crescimento microbiológico; reações químicas exotérmicas (oxidação química) e de produção de calor por processos físicos (absorção de humidade). Estes processos espontâneos podem atuar isoladamente, ou em combinação, onde o processo dominante está dependente das condições ambientais que se verificam em cada momento.

Embora o processo de auto-aquecimento seja um fenómeno bem reconhecido, o processo químico envolvido ainda não é bem compreendido, particularmente para a biomassa de *pellets*. Diferentes tipos de *pellets* têm comportamentos distintos quando se trata de auto-aquecimento durante a fase de armazenagem. Esta questão é tão preocupante, que estão em curso alguns projetos para tratamento do auto-aquecimento da biomassa, durante a fase da armazenagem nomeadamente: *Danish Research Project Luba-Large Scale* e *EU Project SafePellets* (segurança e qualidade de medidas de garantia ao longo da cadeia de abastecimento de *pellets*) da União Europeia [101].

Para se conhecer mais em pormenor este combustível, optou-se por realizar uma análise detalhada a vários parâmetros, assim como, uma análise DSC para se entender, a propensão deste combustível ao desenvolvimento de combustão espontânea. Esta análise foi realizada no laboratório do Instituto Politécnico de Portalegre [102] tendo-se obtido os valores constantes da (Tabela 14).

Tabela 14 Ensaio a biomassa de *pellets* de bagaço de azeitona (Baseado em: [102])

Parâmetros		Resultados	Método/Norma
Teor de Humidade		14,1%	Secagem a 105 °C
Teor de humidade		7,6%	Análise Termogravimétrica
Teor de Cinza		9,9%	Calcinação do resíduo a 550 °C
Teor de Voláteis		60,9%	Análise Termogravimétrica
PCS		17,9 (MJ/kg) base húmida	Calorimetria
PCI		16,3 (MJ/kg)	Método de cálculo
Teor de metais <sup>30</sup>	Si	49,2%	XRF (analisador de fluorescência de Raios X)
	N	1,6%	
	C	43,9%	
Análise elementar	H	5,7%	Analisador elementar
	S	n.d. <sup>31</sup>	
	O	Restante	
Outros Resultados			
Densidade Aparente		1.250 kg/m <sup>3</sup>	
Densidade a granel ( <i>Bulk Density</i> )		590 kg/m <sup>3</sup>	
Teor em Cloretos		3,5 g/kg	

<sup>30</sup> O teor de metais apresentado resulta de uma análise às cinzas

<sup>31</sup> Não detetado

Existem vários métodos para avaliar o potencial para o desenvolvimento de auto-ignição da biomassa. A maioria envolve métodos calorimétricos experimentais, a partir de parâmetros cinéticos como o calor de reação e a energia de ativação. Os métodos mais frequentemente utilizados são: análise termogravimétrica (TG)<sup>32</sup> e a análise por calorimetria diferencial de varrimento (DSC)<sup>33</sup> [103].

Optou-se por realizar o ensaio pelo método DSC, por disponibilidade de equipamento no laboratório onde se realizaram os ensaios a esta biomassa. Os valores medidos foram colocados numa folha Excel tendo resultado na curva DSC representada na (Figura 57).

Da curva podem verificar-se as reações endotérmicas e exotérmicas para as diferentes temperaturas, assim como o fluxo de calor resultante.

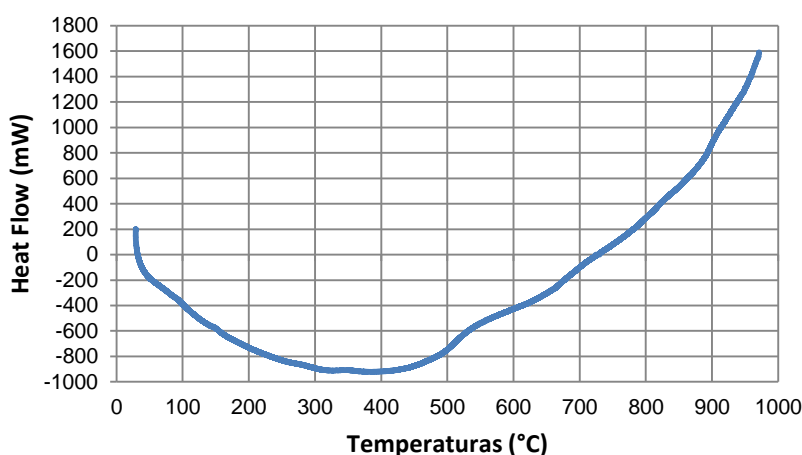


Figura 57 Gráfico DSC para a biomassa de *pellets* de bagaço de azeitona (Baseado em: [102])

Os resultados das análises, anteriormente indicados, assim como o resultado realizado às cinzas devido à queima das biomassas de madeira de pinho e de madeira de oliveira estão explanados no (Anexo C).

<sup>32</sup> *thermogravimetry analysis*

<sup>33</sup> *differential scanning calorimetric analysis*

### - Rendimento da caldeira

Como já referido, a análise ao  $\eta$  da caldeira realizou-se por dois métodos distintos (análise à combustão e método direto). A análise à combustão efetuou-se no dia 12 de fevereiro de 2015, e obtiveram-se nove registos com valores divergentes, de acordo com a (Tabela 11) e (Figura 58). O  $\eta$  médio retirado por esta leitura foi de 77%, o mínimo de 50% e o máximo registado foi de 92% numa única leitura. Para esta amplitude de  $\eta$  terá contribuído a grande

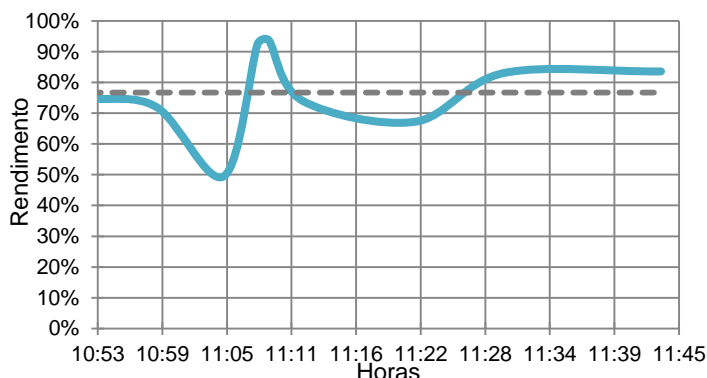


Figura 58 Análise ao rendimento da caldeira (Fonte: O autor)

oscilação que se verificou na carga da caldeira, devido à instabilidade na procura de energia térmica, que naquele dia ocorreu nas estufas. Para o cálculo do método direto realizaram-se medições no dia 28 de março de 2015, ao caudal de água e quantidade de madeira consumida, no período em análise (4 h e 55 min). Durante este período, elevou-se a temperatura da água dos *buffers* (60.000 L) de 22°C para 87°C. A leitura ao caudal de água

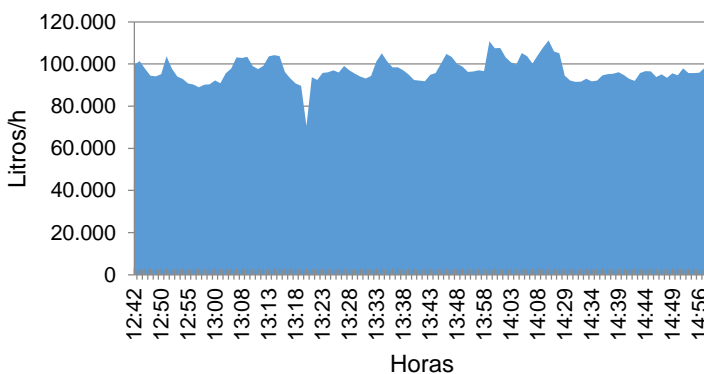


Figura 59 Valores de caudal de água de circulação na caldeira (Fonte: O autor)

registrou os valores indicados na (Figura 59) sendo a média de 95.098 L/hora, resultando numa necessidade de energia de 6.622 kWh.

Na (Tabela 15) indicam-se os restantes dados de entrada, o  $\eta$  obtido com a alimentação da caldeira a madeira de pinho, assim como o consumo de *pellets*<sup>34</sup>, considerando o mesmo

<sup>34</sup> *Pellets* de bagaço de azeitona

caudal de água, e um  $\eta$  da caldeira de 88%. Este valor é, facilmente atingível, uma vez que os dados técnicos disponibilizados pelo fabricante indicam para este combustível um  $\eta > 90\%$ .

Tabela 15 Parâmetros da biomassa utilizada (Fonte: O autor)

Tipo de Biomassa	Humidade (%)	PCI (MJ/kg)	Quantidade (kg)	Energia (kWh)	$\eta$ caldeira (%)
Madeira de pinho	40	10,2	3.410	10.508	63
<i>Pellets</i> de bagaço de azeitona	10	17,45	1.550	7.518	88

Os valores ao poder calorífico foram obtidos em ambos os combustíveis, através de ensaios laboratoriais, realizados no decorrer deste trabalho ver (Anexo C). Para o cálculo do PCI, considerou-se a humidade indicada na (Tabela 15) e recorreu-se à equação (4).

Complementarmente optou-se por realizar a 29 de março de 2015 dado existir disponibilidade de biomassa - *pellets* de bagaço de azeitona, uma nova avaliação ao  $\eta$  da caldeira, com alimentação deste combustível considerando os seguintes dados de partida: elevação da temperatura da água dos *buffers* de 26°C para 88,6°C e registo da quantidade de *pellets* consumidos para a elevação deste diferencial. Calculou-se a energia necessária em kWh, para o  $\Delta T$  referido, através da seguinte equação [104]:

$$Q = \dot{m} * c_p * \Delta T \quad (34)$$

Em que:

$Q$  energia total em (kWh),  $\dot{m}$  massa de água em (kg),  $c_p$  peso específico da água em (kJ/kg.°K) e  $\Delta T$  diferença da temperatura (K).

As necessidades energéticas para a elevação desta temperatura são de 4.256 kWh.

Com estes parâmetros resultaram os dados indicados na (Tabela 16).

Tabela 16 Parâmetros da biomassa *pellets* (Fonte: O autor)

Tipo de Biomassa	Humidade (%)	PCI (MJ/kg)	Quantidade (kg)	Energia (kWh)	$\eta$ caldeira (%)
<i>Pellets</i> de bagaço de azeitona	10	17,45	1.000	4.850	88

Adicionalmente, na (Tabela 17) apresentam-se outros indicadores importantes.

Tabela 17 Dados comparativos (Fonte: O autor)

Tipo de biomassa	Consumo (kg)	Custo/tonelada <sup>35</sup> (€)	Custo total (€)
Madeira de pinho	3.410	40	136,40
<i>Pellets</i> de bagaço de azeitona (calculado)	1.550	77	119,35
<i>Pellets</i> de bagaço de azeitona (ensaio)	1.000	77	77

Daqui se conclui, em resultado das atuais condições de armazenagem da madeira, que este combustível com este teor de MC, não é a solução indicada, uma vez que este fator influencia fortemente, o  $\eta$  do equipamento de produção de água quente.

<sup>35</sup> Inclui transporte

## 4.5 Necessidades de Climatização

O cultivo em estufa permite obter produções de qualidade superior e rendimentos elevados em qualquer época do ano, uma vez que possibilita a modificação do ciclo produtivo.

O desenvolvimento do cultivo está condicionado por quatro parâmetros ambientais ou climáticos essenciais: temperatura, HR, luminosidade e CO<sub>2</sub>.

Nesta secção faz-se uma abordagem das necessidades ao parâmetro temperatura, dado que para manter um clima adequado é necessário recorrer a técnicas de aquecimento e de arrefecimento.

### - Necessidades de aquecimento

Para o cálculo das necessidades de aquecimento consideram-se os parâmetros de entrada indicados na (Tabela 18):

Tabela 18 Parâmetros para o cálculo das necessidades de climatização (Baseado em: [72])

Área total de implantação das estufas	24.140 m <sup>2</sup>
Área total da cobertura (inclui teto e paredes)	30.619 m <sup>2</sup>
Volume total das estufas	122.866 m <sup>3</sup>
Temperatura interior de inverno $T_i$	14 °C a 18 °C
Temperatura interior de verão $T_i$	28 °C
Temperatura exterior $T_e$	Em °C variável
Velocidade do vento $u$	3m.s <sup>-1</sup>
Perdas térmicas $U$ ou $hp$	7
Densidade do ar $\rho$	1,09 (kg/m <sup>3</sup> )
Calor específico do ar $C_p$	1005 (J/kg.°K)
Taxa de renovação do ar $Z$	0,000269 (s <sup>-1</sup> )
Coefficiente de captação de energia solar $\xi$	0,7
Radiação solar global $G_o$	Variável (W/m <sup>2</sup> .°C <sup>-1</sup> )
Coefficiente de transferência $b$	0,5

O cálculo teve em consideração um período de cinco meses de necessidades de aquecimento e recorreu-se à equação (28) simplificada ficando assim representada [72]:

$$\Phi_{cal} = \left( \frac{S_p}{S} hp + \rho C_p \frac{V}{S} Z \right) * (T_i - T_e) - \xi(1 - b)G_o \quad (35)$$

Com a introdução dos parâmetros da (Tabela 18) e dos valores da radiação, temperaturas exteriores e velocidade do vento, fornecidos pela Agrotejo, na equação (35) resultaram nas necessidades energéticas explanadas na (Tabela 19):

Tabela 19 Necessidades de aquecimento (Fonte: O autor)

Meses	Temperatura $T_e$ (°C)		Radiação (W/m <sup>2</sup> .°C <sup>-1</sup> )	(kWh) diários		Dias/mês	(kWh) mensais
	Diurna	Noturna		Diurno	Noturno		
Novembro	13,5	9	212	0	19.539	30	586.170
Dezembro	8	3,1	205	240	41.734	31	1.301.194
Janeiro	7,5	2,3	210	1070	44.534	31	1.413.724
Fevereiro	8,9	4,6	265	0	36.470	28	1.021.160
Março	12	6,6	338	0	27.352	31	847.912

Na (Tabela 20) apresentam-se os consumos anuais em kWh e Ton de biomassa, assim como os custos inerentes à utilização de cada tipo de combustível.

Tabela 20 Indicadores económicos (Fonte: O autor)

	kWh anuais	kWh anuais -25% <sup>36</sup>				
Necessidades energéticas	5.170.160	3.877.620				
Tipo de biomassa	Ton anuais	Ton anuais -25%	$\eta$ Caldeira	Ton em função $\eta$	Custo/Ton €	Custo anual €
Madeira com 40% de MC	1.837	1.378	54%	1.396	45,51	63.532
Madeira com 30% de MC	1.522	1.141	66%	1.142	45,51	51.972
<i>Pellets</i> com 10% de MC	1.066	799	90%	788	77	60.676

Daqui se conclui, que a humidade da madeira é bastante penalizadora nos custos operacionais, devido ao baixo  $\eta$  da caldeira. Uma redução da MC de 40% para 30%, além dos ganhos técnicos e ambientais, traduz-se numa poupança anual de cerca de 11.560€. Isto implica que esta biomassa seja seca, por processos naturais ou artificiais.

#### - Necessidades de arrefecimento

Em climas como o nosso, e sobretudo na zona onde se localizam as estufas em estudo, as necessidades de arrefecimento são fundamentais. A transpiração do cultivo associada à ventilação é a fonte principal de arrefecimento. No entanto, quando o cultivo não está suficientemente desenvolvido, ou em períodos de forte radiação solar e elevado défice de saturação do ar, estes processos não são suficientes para reduzir a carga solar incidente. Neste contexto é então necessário recorrer a outros métodos auxiliares de climatização.

O cálculo das necessidades de arrefecimento tiveram em consideração, uma redução da irradiação incidente tendo como ponderação, o branqueamento da cobertura das estufas (paredes e teto) com cal, processo que é utilizado pela maioria dos agricultores. É o método mais comum e económico para reduzir a irradiação solar feito à base de carbonato de cálcio e um agente humedecedor, normalmente a água, numa mistura de 1:4, isto é: um kg de produto para quatro litros de água. Com esta mistura, os estudos existentes concluíram por uma redução de até 50% [105].

A ventilação é o processo chave do controlo climático e tem um papel preponderante na formação do clima no interior de uma estufa. Toda a ação ao nível da ventilação modifica a concentração de CO<sub>2</sub>, a temperatura e a humidade do ar.

Para os cálculos das necessidades de arrefecimento recorreu-se à equação (35) e à média mensal, para os valores da irradiação solar e da temperatura ambiente, fornecidos pela Agrotejo. Considerou-se a temperatura interior ideal como sendo de 28°C.

<sup>36</sup> A redução de 25% deve-se à quantidade de área que em cada momento está inoperacional devido à replantação de crisântemos.

Indicam-se na (Tabela 21), os parâmetros de entrada e os resultados obtidos para as necessidades de arrefecimento.

Tabela 21 Parâmetros para as necessidades de arrefecimento (Fonte: O autor)

Meses	Dias/mês	Temperatura ambiente (°C)	Radiação solar (W/m <sup>2</sup> )	Energia a retirar (kWh)		
				Diária	Mês	Total anual
Abril	30	21,3	408	0	0	2.819.850
Maio	31	25,5	319	20.020	620.620	
Junho	30	27	336	26.502	795.060	
Julho	31	29	343	34.552	1.071.112	
Agosto	31	29,6	327	35.784	1.109.304	
Setembro	30	26,8	204	19.123	573.690	
Outubro	31	25,4	299	0	0	

Nota: O total anual considera uma redução de 30% devido à utilização de processos naturais tais como: utilização de cortinas de sombreamento e controlo da ventilação natural.

## 4.6 Pegada de Carbono

A agricultura constitui simultaneamente, uma fonte de emissões e uma das atividades mais sensíveis aos efeitos das alterações climáticas. São inequívocas as evidências de que o clima está a mudar e que, as emissões antropogénicas são a principal causa.

O setor agrícola é uma importante fonte de emissões: estas atividades contribuíram em 2012 na Europa com cerca de 469.104 (tCO<sub>2</sub>e) e em Portugal no mesmo período com 7.224 (tCO<sub>2</sub>e) [106]. É também uma das atividades económicas mais sensíveis aos efeitos das alterações climáticas. Invernos com menos chuva, verões com temperaturas extremas e secas prolongadas alteram a fotossíntese a evapotranspiração e fonologia, aumentando consequentemente o *stress* hídrico e a incidência de pragas e doenças.

Estas novas realidades afetam como é normal, a produção agrícola sobretudo no sul da europa, onde se verificam maiores necessidades de rega.

A pegada de carbono é, uma ferramenta transversal de análise do desempenho de sustentabilidade fornecendo, informações sobre o desempenho dos indicadores ambientais mais relevantes:

- Emissões de gases com efeitos de estufa;
- Consumo de energia, pesticidas, herbicidas e fertilizantes;
- Consumo de água;
- Produção e gestão de resíduos.

Os principais GEE com maior potencial de aquecimento global (*global warming potencial - GWP*) são: CO<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub>; N<sub>2</sub>O e os clorofluorcarbonos (CFC<sub>s</sub>) sendo os três primeiros, os GEE cujas emissões antrópicas estão tipicamente relacionados com a atividade agrícola.

O dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) é uma métrica utilizada, para equalizar as emissões de outros GEE, com base na importância relativa de cada um, em relação ao CO<sub>2</sub>, na produção de uma quantidade de energia (por área unitária) em vários anos após um impulso de emissão.

Para o cálculo do (CO<sub>2</sub>e) utilizam-se algumas conversões, sendo a mais utilizada o GWP proposto pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) [107].

Na (Tabela 22) indicam-se as conversões propostas para os principais gases.

Tabela 22 Fatores de conversão (Baseado em: [107])

Designação	Conversão (GWP-100)
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	25
N <sub>2</sub> O	298

## - Metodologia

Existem várias metodologias para o cálculo da pegada de carbono com diferentes níveis de rigor (*Tier 1, Tier 2 e Tier 3*)<sup>37</sup>. O nível 1 é o mais básico e recomendado para situações onde não existe disponibilidade de fatores de emissão específicos para o país, ou existem limitações quanto aos dados de atividade [108].

Neste trabalho optou-se por utilizar a metodologia PAS 2050 desenvolvida pela *Carbon Trust* e pela *British Standards Institution* (BSI) com o nível de complexidade *Tier 1* [109]. A opção por esta metodologia teve em consideração, os seguintes pressupostos: é uma metodologia focada essencialmente nos produtos hortícolas; é simples e objetiva e não foram facultados pelos responsáveis das estufas, dados relativos ao uso de inseticidas, pesticidas e fertilizantes que permitissem a opção por outro método mais complexo.

Este método baseia-se essencialmente, na análise do ciclo de vida (ACV) e desenvolve-se segundo as seguintes etapas:

- Análise/definição ACV;
- Inventário da metodologia seguida;
- Cálculo da pegada de carbono

## - Ciclo de vida do produto

Os processos de ACV para a produção do crisântemo seguem a trajetória indicada na (Figura 60) e referem-se especificamente, ao ciclo produtivo e entrega na cadeia de

<sup>37</sup> *Tier* representa o nível de camada, isto é, o nível de complexidade metodológica que é adotada em cada inventário, sendo o *Tier 1* o nível básico.

abastecimento, uma vez que a empresa não comercializa o produto, diretamente ao consumidor final.

Conforme indicado na (Figura 60), em todas as fases do processo, se verifica consumo de energia, assim como: pesticidas, herbicidas e fertilizantes na fase de cultivo e desenvolvimento. A utilização de caixas de cartão (reutilizáveis durante  $\approx 2$  anos) só se aplica na fase de embalagem.

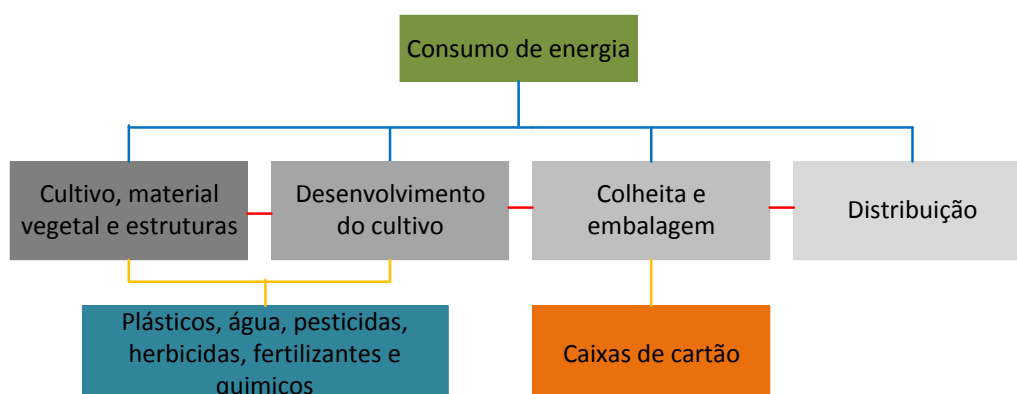


Figura 60 Processo produtivo do crisântemo (Fonte: O autor)

## - Inventário

Os dados para a realização do inventário indicado na (Tabela 23) foram fornecidos pela empresa proprietária das estufas, nomeadamente, o consumo de energia e caixas de cartão. Os restantes dados relacionados com a utilização de plásticos, pesticidas herbicidas e fertilizantes foram utilizados os valores estimados por [110]; [111].

Tabela 23 Atividades, quantidades e fatores de emissão (Fonte: O autor)

Atividades	Unidade	Quantidade anual	Fator de emissão (kgCO <sub>2</sub> e/unidade)
Biomassa	tep	376,86	0
Gasóleo	tep	11,071	3098,2
Óleo de motor	tep	0,0811	3068,9
Eletricidade	kWh	97816	0,47
Cartão	kg	1200	1,55
Plásticos das estufas	kg	1500	3,1
Fungicidas	ha	4,08 <sup>38</sup>	33,215
Inseticidas	ha	4,08	33,26
Herbicidas	ha	4,08	33,27
Nitrogénio	ha	4,08	183,69
Fosfato	ha	4,08	27,25
Potássio	ha	4,08	19,84

<sup>38</sup> Área total de plantação do crisântemo

Os fatores de emissão utilizados na biomassa, gásóleo, óleo de motor e eletricidade foram retirados do Despacho nº 17313/2008 do Ministério da Economia e Inovação, para o caso do plástico e para cartão os valores foram obtidos de (Jacqueline A. Ho, 2011). Por último, os fatores de emissão para os fungicidas, inseticidas, herbicidas, nitrogénio, fosfato e potássio utilizaram-se os valores definidos por (Dan Epstein *et al*, 2011) e referem-se a valores por hectare (ha) de solo utilizado na produção de plantas [112]; [110]; [111].

Para o cálculo das quantidades anuais, estimaram-se duas colheitas de crisântemos, considerando um ciclo produtivo de 15 semanas desde a plantação ao corte, sendo o restante período temporal dedicado à recuperação e preparação dos solos [113]. O plástico foi estimado tendo como base a substituição anual da cobertura em duas estufas, devido a intempéries e desgaste de material [114]. A aquisição de caixas de cartão teve como pressuposto a produção e venda de cerca de 343.500 molhos de crisântemos/ano, comportando cada caixa 16 molhos. As caixas são reutilizáveis e substituídas a cada dois anos (dados fornecidos pela empresa produtora).

### - Cálculo da pegada de carbono

Como já referido, a metodologia PAS 2050 calcula as emissões de GEE ao longo do seu ACV, para o cálculo da pegada de carbono da atividade em análise, a metodologia selecionada, utiliza a seguinte fórmula:

$$\text{Pegada de carbono da atividade} = \text{Dados da atividade (massa/volume/energia/distância)} \times \text{Fator de emissão (kgCO}_2\text{e/unidade)}$$

Da aplicação da fórmula anterior às atividades definidas no ACV da (Figura 60) resultaram as emissões parciais e totais indicadas na (Tabela 24).

Tabela 24 Emissões em (kg CO<sub>2</sub> e/unidade) por parciais e totais (Fonte: O autor)

Atividades	Unidade	Quantidade anual	Fator de emissão (kgCO <sub>2</sub> e/unidade)	(kgCO <sub>2</sub> e) parciais e totais
Biomassa	tep	376,86	0	0
Gasóleo	tep	11,071	3098,2	34.300,17
Óleo de motor	tep	0,0811	3068,9	248,89
Eletricidade	kWh	97816	0,47	45.973,52
Cartão	kg	1200	1,55	1860
Plásticos das estufas	kg	1500	3,1	4650
Fungicidas	ha	4,08	33,215	135,52
Inseticidas	ha	4,08	33,26	135,70
Herbicidas	ha	4,08	33,27	135,74
Nitrogénio	ha	4,08	183,69	749,46
Fosfato	ha	4,08	27,25	111,18
Potássio	ha	4,08	19,84	80,95
<b>Total</b>				<b>88.381,12</b>

Dos cálculos efetuados resulta que a empresa emite/ano na sua atividade de produção de crisântemos e ao longo do seu ACV, um total de 88.381,12 (kgCO<sub>2</sub>e).

De acordo com a (Figura 61) pode-se verificar, que a eletricidade é a atividade com maior contribuição para o total das emissões, logo seguida do consumo de gasóleo, do uso de plásticos e de cartão.

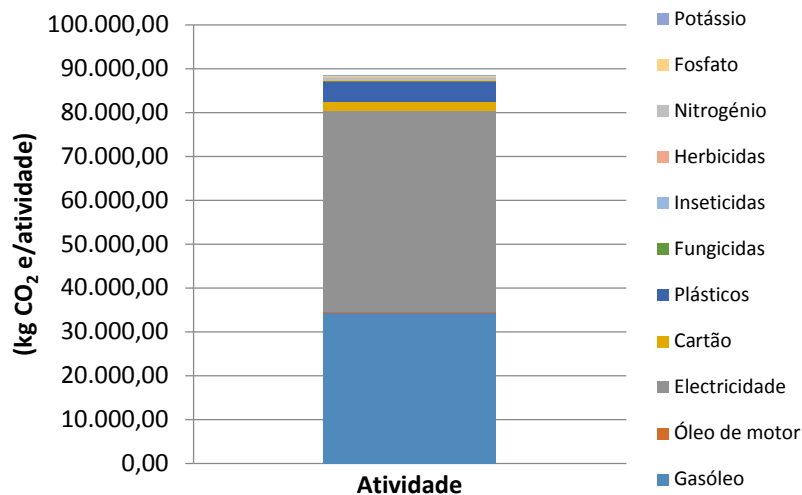


Figura 61 Contribuição das atividades para as emissões (kgCO<sub>2</sub>e/atividade) (Fonte: O autor)

Em percentagem do total, o consumo de eletricidade contribui com 52% das emissões e o consumo de gasóleo com 39%. As restantes atividades no seu conjunto contribuem com 9% do total, conforme (Figura 62).

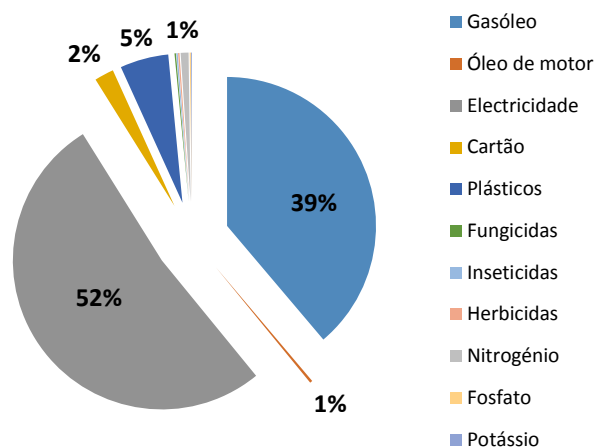


Figura 62 Percentagem das emissões (kgCO<sub>2</sub>e/atividade) (Fonte: O autor)

Na (Tabela 25) indicam-se as emissões específicas em (kgCO<sub>2</sub>e) emitidos por molho de crisântemo produzido, por empregado e por m<sup>2</sup> de área coberta. Para os cálculos deste

parâmetro considerou-se a produção anual de 343.500 molhos de crisântemos, uma média de 18 empregados e 24.104m<sup>2</sup> de área coberta.

Tabela 25 Valores específicos das emissões de kgCO<sub>2</sub>e (Fonte: O autor)

Designação	(kgCO <sub>2</sub> e)
Por molho de crisântemo produzido	0,2573
Por empregado	4.910,06
Por m <sup>2</sup> de área coberta	3,67

Em função dos resultados obtidos pode-se concluir que o consumo de energia é a maior fonte de emissão de CO<sub>2</sub> daí o interesse acrescido, de instalar um sistema de autoconsumo fotovoltaico, cuja proposta se descreve no capítulo 5. Por outro lado, a utilização de biomassa como combustível na caldeira de aquecimento ambiente evita a emissão de 1.032.352 (kgCO<sub>2</sub>e) reportado a consumo de gásóleo e de 894.356 (kgCO<sub>2</sub>e) caso utiliza-se gás natural.



## Capítulo 5 - Propostas e Modelo Energético

Este capítulo consiste na apresentação do novo modelo energético para o caso de estudo e é constituído por distintas partes, para um melhor desempenho energético de toda a cadeia deste processo produtivo.

A climatização das estufas é em termos energéticos, o principal custo da exploração representando cerca de 78% dos custos totais. Neste contexto é primordial, a tomada de decisões, que se traduzam em reduções significativas na energia despendida na sua climatização.

### 5.1 Desenvolvimento do Modelo Energético

As propostas que se seguem têm como objetivo uma redução de custos, quer pelo aumento da eficiência energética, quer pela alteração de hábitos e de rotinas, assim como, uma melhoria ambiental resultando numa redução de emissões.

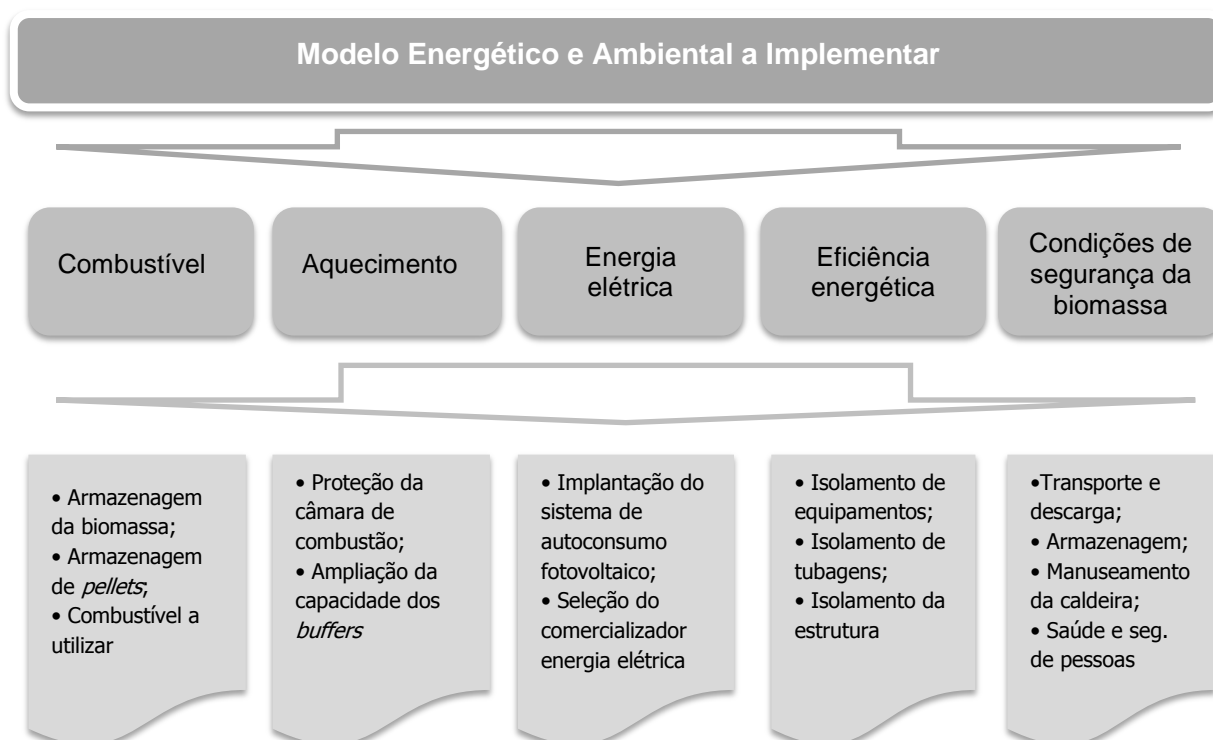


Figura 63 Modelo energético e ambiental a propor e suas principais componentes (Fonte: O autor)

#### - Armazenagem da biomassa

A biomassa popularmente designada de madeira (lenha de pinho e de oliveira) deve estar o mais seca possível, para aumentar o rendimento durante a queima na caldeira, devido à diminuição do teor de água. Detetaram-se MCs na madeira entre 40 e 60% o que dá uma média de 50%. Estes teores de MC são superiores ao desejável (cerca de 30%) [115].

A análise aos consumos anuais de biomassa teve como pressuposto, um MC de 30%, para cálculo do PC. A biomassa é atualmente armazenada ao ar livre, razão pela qual o MC é elevado.

Propõe-se que a armazenagem da biomassa (madeira) seja feita de acordo com a (Figura 64 a e b).

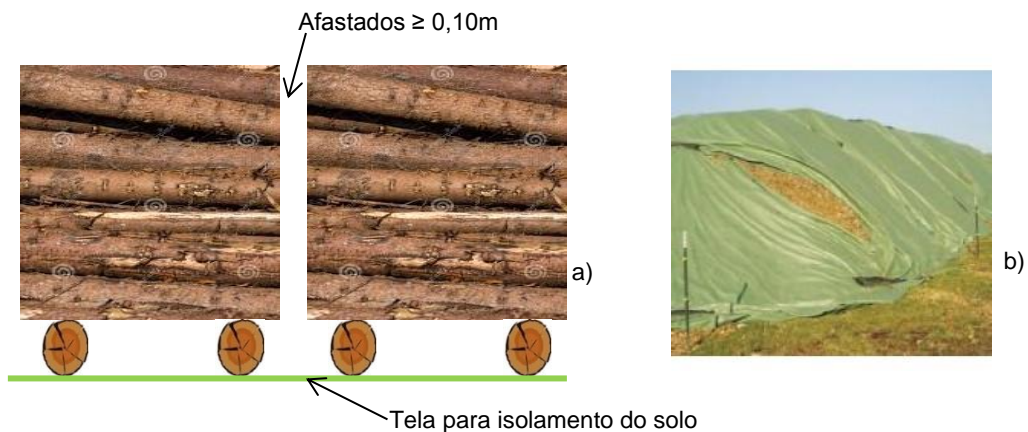


Figura 64 Armazenagem da biomassa: a) Empilhamento; b) Cobertura de proteção (Baseado em: [116]; [117])

O solo deve estar seco e isolado por tela, a biomassa deve ser suportada por troncos e distar no mínimo de 0,10m entre pilhas para potenciar a circulação de ar [116].

As pilhas devem ser protegidas por uma tela, tipo FLP Toptex da TENCATE<sup>39</sup> ou equivalente, colocada de acordo com as seguintes condições e com as seguintes características:

- Superiormente deve ter uma inclinação > 45° para escoamento da água da chuva;
- Devidamente fixada para resistir à elevação pelo vento;
- Resistente ao desgaste, pelo vento e intempéries;
- Estável aos UV (mínimo de 3 anos);
- Permeável ao ar e ao vapor para evitar a formação de fungos [117]; [118].

Estima-se um custo por m<sup>2</sup> de cerca de 1,92 €, o que para uma área aproximada de 2.000 m<sup>2</sup> totaliza 3.840 €. Os benefícios económicos desta medida derivam da redução do MC, que considerando os 30% dá uma economia de cerca de 27.000 €.

A quantidade de biomassa para consumo diário deve ser armazenada previamente junto da casa da caldeira para pré aquecimento. Aconselha-se ainda, a construção de uma telheiro em frente à casa da caldeira, para disponibilizar uma maior área, para proteção da biomassa a utilizar.

<sup>39</sup> Fabricante de tecidos de proteção respiráveis

## - Armazenagem de *pellets*

A armazenagem de todo o tipo de biomassa é parte integrante de todos os projetos relativos aos sistemas que utilizam esta energia renovável. Num projeto desta natureza, os custos despendidos com as instalações de armazenagem representam, normalmente, uma significativa proporção do capital investido. Os *pellets* devem ser armazenados em local junto à caldeira e de fácil acesso ao camião que os transporta.

Em termos industriais existem fundamentalmente, os tipos de armazenagem indicados na Tabela 26).

Tabela 26 Tipos de armazenagem de *pellets* [119]

Solo horizontal
Solo inclinado
Depósito subterrâneo
Silo fixo
Silo flexível
Contentor

Os *pellets* são normalmente descarregados do camião por sistemas pneumáticos ou por gravidade. A armazenagem de vários tipos de biomassa entre os quais se incluem os *pellets* de bagaço de azeitona pode resultar em processos de combustão espontânea. Este fenómeno sucede, porque estes combustíveis são capazes de absorver oxigénio para produzirem reações de oxidação exotérmica [120]. Estes materiais são normalmente, porosos e suscetíveis de gerar processos de calor metabólico: por crescimento microbiológico; reação exotérmica por oxidação química; e por processos físicos, absorção de humidade.

Embora para a maioria dos usuários deste combustível, este lhes pareça inofensivo existem consideráveis riscos que devem ser acautelados, quando se projeta um sistema a biomassa, para pormenores adicionais sobre as condições de segurança na armazenagem deste combustível ver seção 5.5 deste capítulo.

## 5.2 Seleção do Combustível

De entre os vários combustíveis que o fabricante da caldeira indica para utilização no equipamento: *pellets* de madeira; cascas de noz, amêndoa; caroço esmagado de azeitona, pêssego, damasco e outros semelhantes; estilha e restos de carpintaria com comprimento de 3 cm, largura 2 cm e espessura 1 cm e por último a serradura, o proprietário das estufas por questões económicas, utiliza maioritariamente, a biomassa de raízes de oliveira e troncos de pinho, secundada pela utilização de *pellets* de bagaço de azeitona.

De entre estas duas alternativas, trabalharam-se os dados adquiridos nos levantamentos e análises realizadas e indicam-se a seguir as conclusões daqui resultantes.

Os valores indicados tiveram como base as necessidades anuais de energia térmica calculadas no capítulo 4 e que são de 3.877.620 kWh.

Na (Figura 65 a), pode-se constatar a influência da MC no consumo de biomassa e no poder calorífico do combustível.

Na (Figura 65 b) indica-se a relação entre a MC, o  $\eta$  da caldeira e o consumo de combustível, isto é: andam na razão inversa à medida que o MC aumenta, o  $\eta$  da caldeira desce, e o consumo de biomassa sobe.

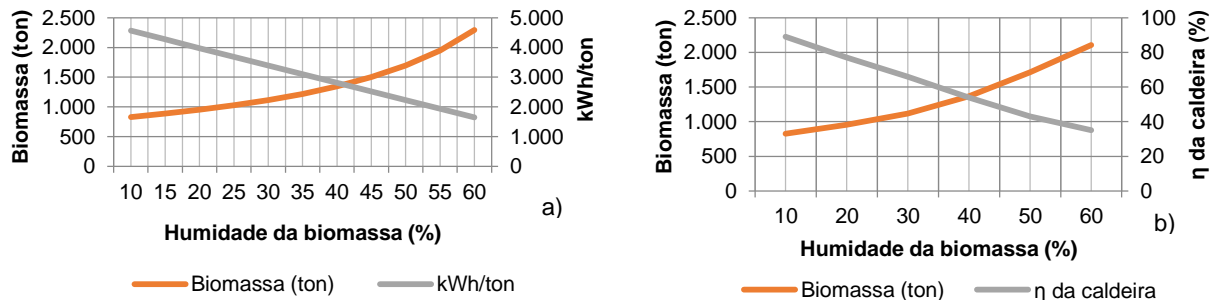


Figura 65 Relação entre MC e consumo de biomassa (Fonte: O autor)

Na (Figura 66) podemos ver a trajetória dos consumos de biomassa e os custos associados, assim como um dado interessante, relativo ao ponto onde se dá a inversão de custos entre os dois combustíveis em análise.

Verifica-se que com MC da biomassa de madeira de pinho entre 40-45%, os custos de operação da caldeira com a biomassa de *pellets* de bagaço de azeitona começam a ser mais atrativos.

Os valores relativos à biomassa de *pellets* consideram uma MC constante de 10%, uma vez que é este o valor com que são adquiridos.

De acordo com os dados da (Figura 66) pode-se concluir, que a biomassa de madeira é a solução indicada desde que assegurada uma MC < 35-40%.

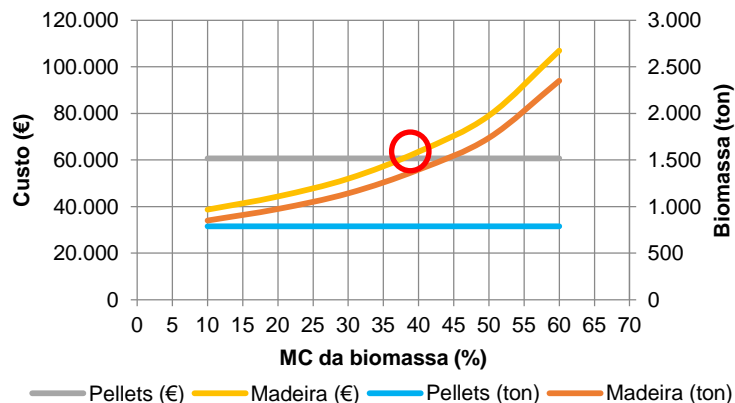


Figura 66 Ponto de inversão de custos entre biomassas (Fonte: O autor)

Para se alcançar esta percentagem de MC devem ser seguidas, as orientações referidas neste capítulo e para este parâmetro. Caso se continue a utilizar este combustível com a MC detetada, a melhor solução será a utilização de biomassa de *pellets* de bagaço de azeitona.

### - Proteção da câmara de combustão da caldeira

Conforme referido o catálogo da caldeira não indica a biomassa de madeira como um dos combustíveis a utilizar neste equipamento. Por outro lado, a utilização de combustíveis com elevado teor de humidade, danifica as paredes da câmara de combustão e reduz, significativamente, o  $\eta$  da caldeira. Para superar estas contra-indicações propõe-se a utilização de um *kit* com a designação de *Refractory Panels for Combustion Chamber* que permite a retenção de calor e melhora a combustão (Figura 67).



Figura 67 *Kit* para câmara de combustão [89]

Este acessório melhora a utilização do combustível e por conseguinte a produção térmica. A quantidade de energia absorvida e novamente irradiada através das paredes deste *kit*, cobre todo o espectro eletromagnético do calor por radiação. Os materiais refratários que incorporam o acessório retêm o calor dentro da câmara de combustão e influenciam a eficiência térmica e a carga de combustível. Os dados técnicos não especificam em termos numéricos as economias derivadas da implantação deste *kit* que custa para a caldeira existente, cerca de 6.600 €, no entanto, asseguram que aumenta o tempo de vida útil da caldeira, que tem um custo aproximado de 92.970 € e potência o  $\eta$  e reduz o consumo de combustível, para mais dados consultar o (Anexo D) [30]; [89].

### - Ampliação da capacidade dos *buffers*

Muitos dos problemas encontrados com as caldeiras de biomassa prendem-se, com a baixa sazonalidade e eficiência dos sistemas. Algumas instalações possuem caldeiras de grandes dimensões e baixa capacidade de armazenagem de energia (*buffers*), razões que podem ser evitáveis.

As caldeiras de biomassa têm regra geral, uma relação entre o máximo e mínimo de 4:1 ou seja, 25% da sua potência nominal. Por questões de investimento e de eficiência, estas caldeiras não são dimensionadas para responder à procura de pico, mas sim, para responder às necessidades de calor ao longo do tempo. Uma caldeira de grande dimensão, como é o caso de estudo, sem uma adequada capacidade de armazenagem, entenda-se (*buffers*) irá operar em regimes de baixa carga, com frequentes arranques e paragens, resultando numa subtemperatura de operação, ineficiente combustão e excessivas emissões de poluentes.

O *modus operandi* neste sistema tem consequências a médio/longo prazo, devido à acumulação de alcatrão na chaminé e no caso em análise, no ciclone e outros equipamentos, resultando na falha prematura da caldeira [121].

Um acumulador de energia temporário deve ser corretamente dimensionado, para cada tipo de combustível já que, um *buffer* subdimensionado, não comportará toda a energia após paragem da caldeira por um lado e por outro, não será suficiente para complementar a produção da caldeira em situações de necessidades de pico.

Para o dimensionamento dos depósitos de inércia recorreu-se às equações (36), (37), (38) [122].

$$Q_{min} = P_c * t_{min} \quad (36)$$

Em que:

$Q_{min}$  - Quantidade mínima de calor que se produz em cada arranque da caldeira kWh;

$P_c$  - Potência da caldeira em kW;

$t_{min}$  - Tempo de funcionamento mínimo em horas.

$$Q_{SHL} = (P_{SHL} - P_c) * t_{SHL} \quad (37)$$

Em que:

$Q_{SHL}$  - Quantidade de calor em horas de ponta em kWh;

$P_{SHL}$  - Consumo de ponta em kW;

$P_c$  - Potência da caldeira em kW;

$t_{SHL}$  - Duração do consumo de ponta em horas.

$$V = (Q_{SHL} + Q_{min}) * 860 / (T_{KYL} - T_{HRL}) \quad (38)$$

Em que:

$Q_{min}$  - Quantidade mínima de calor que se produz em cada arranque da caldeira kWh;

$860^{40}$  - Fator multiplicativo;

$T_{KYL}$  - Temperatura de ida da caldeira em °C;

$T_{HRL}$  - Temperatura de retorno da instalação em °C

---

<sup>40</sup> Um kWh aquece 860 litros de água em 1°C

Considerando os cálculos efetuados (Tabela 19) para as necessidades energéticas de aquecimento das estufas são necessários em média nos períodos de ponta (noturno) 2.475 kWh, em períodos de temperaturas baixas. Os cálculos estimam durante o mês de janeiro, necessidades energéticas de ponta de 3.181 kWh.

Tendo em vista aumentar a eficiência da caldeira, mantendo-a em funcionamento por períodos longos, que permitam uma produção na carga máxima ou aproximada, evitando sub-temperaturas e por conseguinte poupança de combustível, maior eficiência da combustão, logo redução de emissões e de alcatrão nos sistemas de evacuação.

Os cálculos realizados consideram uma potência da caldeira de 1.600 kW, estimando um rendimento nas condições de funcionamento previstas de 80%, e um período de funcionamento em contínuo de 2 horas, para necessidades médias em ponta de 2.475 kWh. A temperatura de ida à saída da caldeira foi estimada em 87°C e a de retorno em 30°C.

Com estes parâmetros chegou-se ao resultado de 119.842L de necessidades de acumulação, o que implica a montagem adicional de pelo menos dois novos reservatórios de 30.000 L cada, para equilíbrio hidráulico da instalação, uma vez que os existentes são desta capacidade.

Por outro lado, propõe-se que a ligação entre acumuladores se faça em paralelo, em alternativa à disposição em série (instalação atual), para aproveitamento do volume total instalado (Figura 68) [122]; [123].

Nestas circunstâncias, a capacidade da caldeira pode ser dimensionada para uma potência de cerca de 70% da potência de pico que é neste momento de cerca de 3.181 kW [124].

A energia armazenada nos *buffers* pode ser calculada segundo a equação (39) [125].

$$Q_{\Delta s} = V_{sp} * \rho * C_p * \eta * \Delta\theta \quad (\text{KJ}) \quad (39)$$

Em que:  $Q_{\Delta s}$  a energia armazenada em (kJ) ou (kWh),  $V_{sp}$  a capacidade do tanque em (litros),  $\rho$  a densidade da água (kg/l),  $C_p$  calor específico da água (4,19 kJ/(kg.K),  $\eta$  do nível de utilização do tanque (90%) e  $\Delta\theta$  diferença de temperatura entre a ida e retorno.

Para uma capacidade de armazenagem de 120.000 L, e para uma temperatura de ida de 87°C e retorno de 30°C, a energia armazenada é de 7.164 kWh.

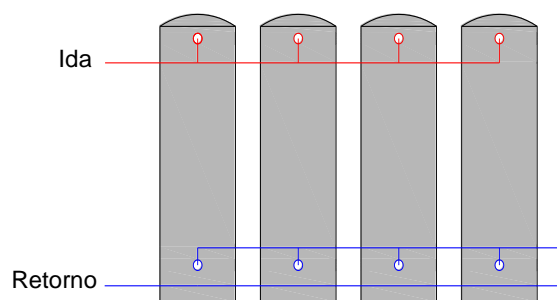


Figura 68 Ligação dos *Buffers* (Baseado em: [123])

### 5.3 Auto Produção de Energia

A energia elétrica é primordial para o funcionamento das estufas e de vários equipamentos como: bombas circuladores durante a época de aquecimento, para o controlo da ventilação (abertura e fecho das janelas zenitais); motorização das cortinas térmicas; iluminação em geral; alimentação das câmaras frigoríficas; bombagem de água; rega e pulverização das plantas e distribuição dos fertilizantes.

Como já referido, a potência média registada no período de inverno foi de 13.81kW. O proprietário da infraestrutura, prevê a ampliação da área coberta, para a produção de gerbera com necessidades de luz superiores ao crisântemo. Neste contexto, propõe-se a instalação de um sistema de autoconsumo com recurso ao fotovoltaico, pelo que se considerou no estudo a instalação de uma potência de 20kW.

A potência mencionada considera a alimentação de ventiladores/extratores para refrigeração das estufas, durante o período em cujas temperaturas são mais elevadas.

O estudo baseou-se nos consumos faturados ao longo do ano de 2014, assim como nas medições realizadas durante uma semana no período de inverno, com recurso a analisadores de corrente elétrica.

Os dados recolhidos foram objeto de uma análise com recurso ao simulador *PVsyst® Photovoltaic Software*, versão 6.2.6 da *Tutorial PVsyst SA*, assim como análise de sombreamento e inserção arquitetónica, através do software *SketchUp® da Microsoft*.

O desenvolvimento do modelo 3D (Figura 69) foi feito com base na georreferenciação da *Google* para permitir a instalação das estufas no exato lugar.

O correto dimensionamento do sistema proposto teve assim em consideração, o descrito anteriormente, tendo em vista a disposição dos módulos, sua localização em função da área disponível, orientação e ângulo de inclinação. O local seleccionado para a implantação dos

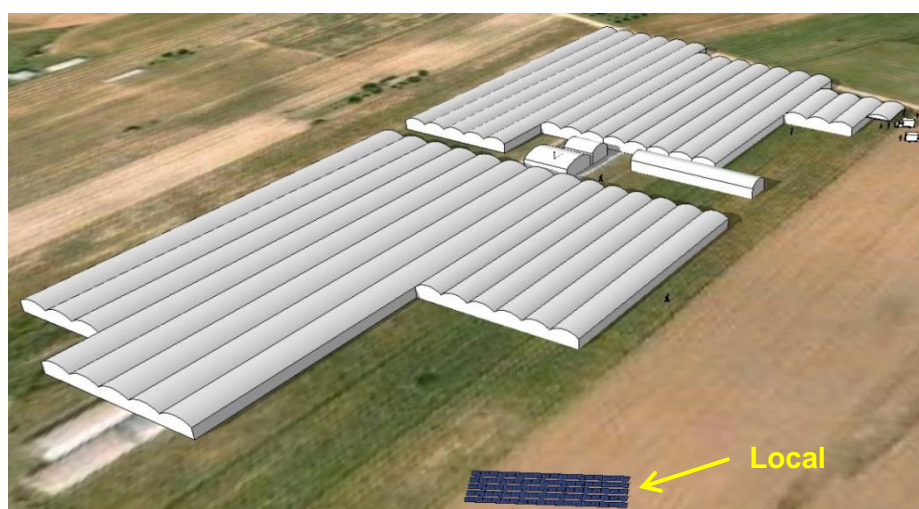


Figura 69 Localização dos módulos fotovoltaicos (Fonte: O autor)

módulos (Figura 69) teve em consideração por um lado, a área disponível e sem afetação de sombreamentos e por outro, a ampliação prevista da área de cobertura das estufas.

O projeto foi definido para um período de 25 anos e considera a opção economicamente mais favorável, tendo em consideração os objetivos de não desperdiçar demasiada energia com venda à rede, ao preço de custo no mercado Ibérico de eletricidade, assim como o *payback* que se pretende alcançar. Para a análise descrita utilizou-se o programa de cálculo em Excel PROSUMER fornecido pela CK-CRITICAL KINETICS [126].

A análise técnica resultou numa proposta de instalação de 90 módulos, com uma potência global do campo fotovoltaico de 23,4 kWp. Esta potência é superior em cerca de 12% para garantir que o inversor opera à máxima potência (20kW), tendo em consideração as perdas que ocorrem desde a produção de energia até este equipamento.

A opção considera o agrupamento dos painéis em cinco *strings* ligadas em paralelo, compostas por 18 painéis ligados em série (Figura 70).

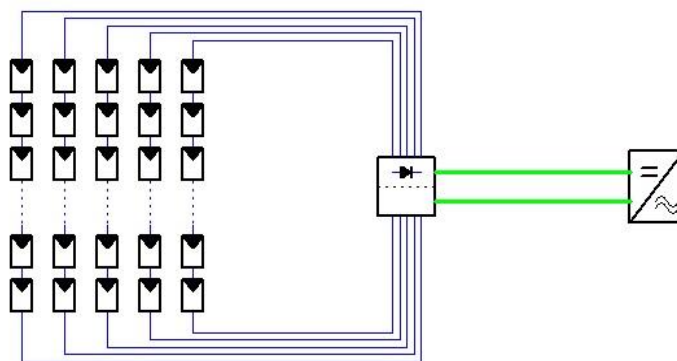


Figura 70 Distribuição das *strings* pelo inversor (Baseado em: [126])

### 5.2.1 Análise económico-financeira

O investimento previsto é de cerca de 38.672,00 € sem IVA, pelo que, para a análise económico-financeira consideraram-se os diferentes períodos horários da tarifa contratada (tri-horária), uma vez que para cada período correspondem valores de energia distintos. O estudo incorpora uma análise de sensibilidade tendo em conta uma produtividade/eficiência do sistema a 20 e a 25 anos, considerando os seguintes fatores:

- Aumento de energia elétrica (ERSE) 3,2% ao ano;
- Taxa de atualização do capital em 2%;
- Depreciação anual da produção em 0,70% (valor indicado pelo fabricante dos painéis propostos);
- Manutenção anual do sistema no seu conjunto de 1% do montante investido.

Através de simulações tendo como pressupostos de entrada os fatores atrás referidos, o investimento previsto e os benefícios esperados com a implantação do sistema fotovoltaico, obtiveram-se os valores económico financeiros: Valor Atualizado Líquido (VAL); Taxa

Interna de Rentabilidade (TIR); *Levelized Cost of Energy* (LCO); Retorno do Investimento (ROI) e *Payback* com Atualização de Capital (PRIA), assim como vários indicadores energéticos (Figura 71) e (Tabela 27).

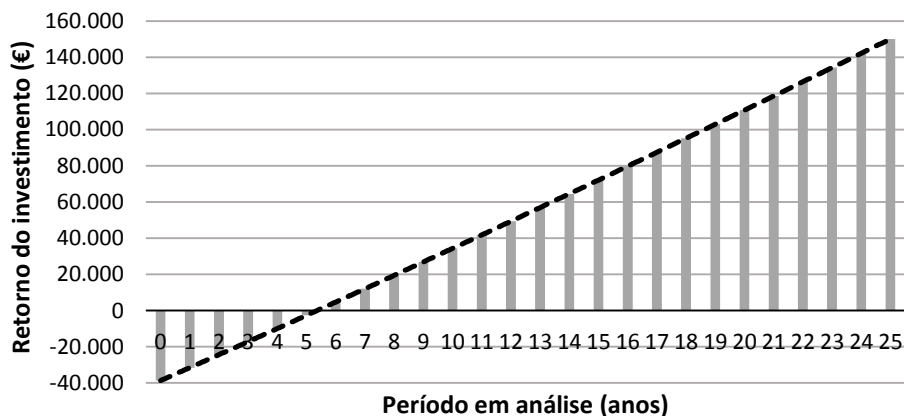


Figura 71 *Break Even* (Fonte: O autor)

Podemos constatar através da (Figura 71), que o *Break Even*<sup>41</sup> tem o seu equilíbrio a partir dos cinco anos e meio.

Tabela 27 Resultados económico-financeiros (Fonte: O autor)

Designação	Período em análise (anos)	
	20	25
Investimento	38.672,00 €	
VAL (valor atualizado líquido)	110.725,30 €	150.082,73 €
TIR (taxa interna de rentabilidade)	18%	19%
LCOE <sup>42</sup> ( <i>levelized cost of energy</i> )	0,067€/kWh	0,062 €/kWh
ROI (retorno do investimento)	2,86 €	3,88 €
PRIA ( <i>payback</i> com atualização do capital)	5 anos e 5 meses	
Tarifa média evitada	0,216 €/kWh	
Custo/Wp instalado	1,65 €	
<b>Indicadores energéticos</b>		
Energia autoconsumida	668,7 MWh	821,7 MWh
Energia vendida à rede	54,9 MWh	67,5 MWh
Produção específica no 1º ano	1.652 kWh/kWp	
Fração solar	24,4%	
Pegada de carbono (kgCO <sub>2</sub> e) evitados	340.09	417.924

Considerando os dois períodos analisados (20 e 25 anos) verifica-se que a rentabilidade do sistema é, francamente superior na análise a 25 anos, em cerca de 40.000€ valor de VAL e de 19% contra os 18% de TIR. À semelhança dos indicadores referidos, também o ROI e o

<sup>41</sup> Ponto de equilíbrio em que não há perda nem ganho, nem lucro nem prejuízo.

<sup>42</sup> É um termo que avalia o desempenho de uma tecnologia geradora de energia incluindo a energia fotovoltaica. É o somatório de todos os custos gerados durante a vida útil do sistema fotovoltaico, divididos pelas unidades de energia produzida ao longo do período analisado em (€).

LCOE são beneficiados, face ao período de 20 anos. A análise a 25 anos é, perfeitamente materializável, desde que, o sistema opere em condições normais de funcionamento.

Considerando que o período em observação é crítico, dado que, quer a conjuntura quer as perspectivas económicas podem sofrer no futuro alterações significativas, face ao atual contexto, optou-se por fazer uma análise de sensibilidade variando a taxa de atualização do capital, em simultâneo com uma evolução adversa dos preços da energia, por ser a condição mais desfavorável e com reflexos no investimento (Figura 72).

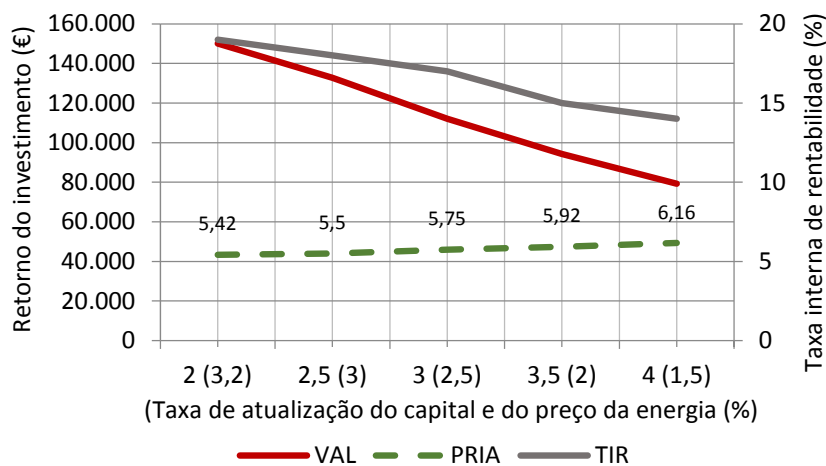


Figura 72 Análise de sensibilidade (Fonte: O autor)

Os valores relativos ao eixo horizontal referem-se à taxa de atualização do capital e entre parenteses, os valores referentes à depreciação do preço da energia. Os valores sobre a linha do indicador PRIA referem-se a anos.

Decidiu-se por fazer variar a taxa de atualização do capital de forma progressiva e reduzir, simultaneamente e na mesma proporção, o preço de venda da energia considerando um período a 25 anos. Esta é uma condição extrema, mas possível de suceder num período temporal tão significativo.

Verifica-se que a variação imposta nas taxas, não influencia significativamente, o *payback* que se situa entre (5,42 - 6,16 anos). Já o VAL e a TIR são, significativamente, influenciados como era de esperar, pela variação das duas taxas, com influência no resultado económico. Ainda assim, na situação mais desfavorável de 4% na taxa de atualização do capital e de 1,5% na evolução do preço da energia, o VAL é de cerca de 79.253€ e a TIR de 14%, contra os 150.082€ de VAL e dos 19% de TIR na análise estudada inicialmente, considerando os atuais pressupostos.

Conclui-se que a implantação desta solução em regime de autoconsumo é, ideal para a redução da fatura energética e que, corresponde a uma poupança anual de 24,4% dos seus custos. O investimento tem um *payback* curto considerando a longevidade do sistema.

Acresce referir, que estamos em presença de uma energia renovável, com significativo contributo para a redução da pegada de carbono de 417.924 (kgCO<sub>2</sub>e) considerando um período a 25 anos.

A instalação do sistema proposto é adaptativo permitindo a sua ampliação, caso os consumos energéticos venham no futuro a ter aumentos significativos, em resultado das ampliações previstas pela empresa, ou porventura, com a aquisição de equipamentos para arrefecimento das estufas em períodos, com temperaturas mais elevadas (ventilação mecânica). Para mais pormenores consultar o (Anexo E).

### - Seleção do comercializador de energia elétrica

Face aos consumos anuais de energia elétrica verificados analisaram-se os preços de referência publicados pela ERSE em janeiro de 2015, considerando os vários comercializadores a operar em Portugal e para a potência contratada de 41,40kVA [127].

Para a estimativa dos custos calcularam-se os consumos anuais da energia em horas de ponta, cheias e de vazio, assim como o valor diário da potência contratada de acordo com a seguinte expressão:

$$CT = kWh_p * P_1 + kWh_c * P_2 + kWh_v * P_3 + 365 * P_4 \quad (40)$$

Em que: CT custo total anual, (kWh) energia consumida nos diferentes períodos horários,  $p$  ponta,  $c$  cheia,  $v$  vazio,  $P_1$  preço da energia em kWh de ponta,  $P_2$  preço da energia em kWh de cheia,  $P_3$  preço da energia em kWh de vazio,  $P_4$  preço da potência contratada euros/dia.

De acordo com a (Figura 73), de entre os vários comercializadores, a Iberdrola é o que

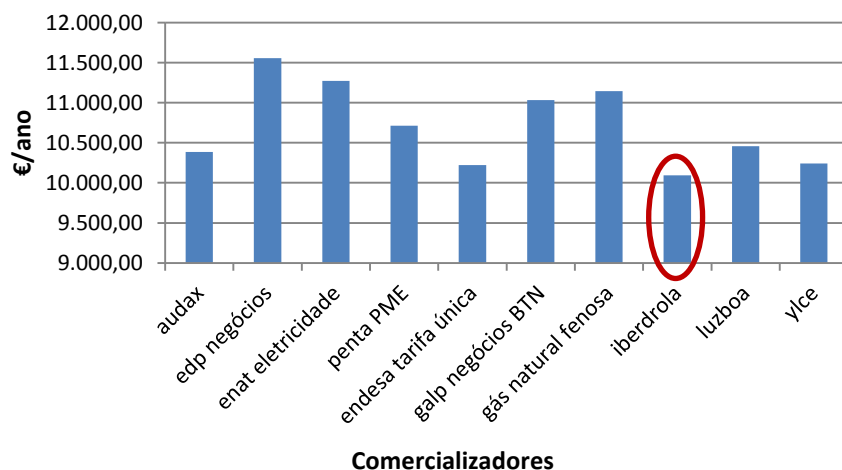


Figura 73 Custos por comercializador (Fonte: O autor)

reúne melhores condições comerciais, face à tipologia de consumos da instalação em estudo. A diferença de custos anuais, face ao atual fornecedor é de cerca de 936,61 €.

Seguem-se de perto a Endesa e a Ylce com valores, ligeiramente acima deste comercializador. Os custos da energia elétrica ao preço do atual fornecedor representam um encargo anual de cerca de 11.000 €.

## 5.4 Central Térmica e Isolamentos

A central térmica configura-se como um dos principais locais para melhoria da eficiência energética, com este enfoque propõe-se um isolamento completo e de qualidade nos *buffers* existentes e a instalar, assim como no coletor de ida e retorno dos circuitos de água aquecida. Como se verifica na (Figura 74 a, b e c) em que, a cor vermelha representa a

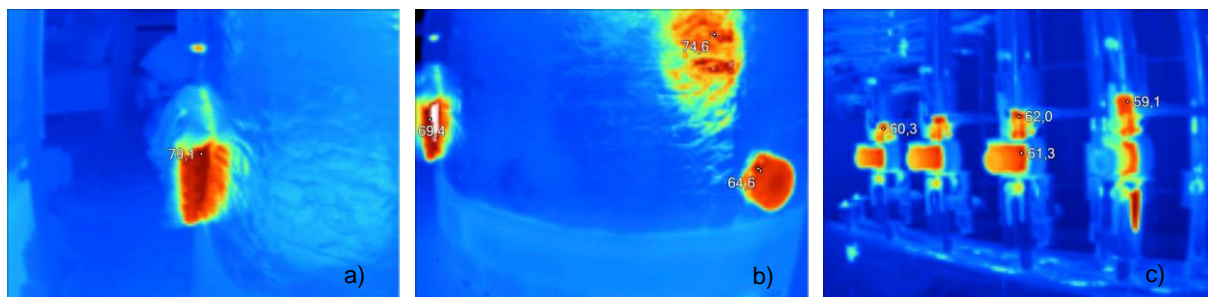


Figura 74 Imagens termográficas: a), b) Depósitos de inércia; c) Coletores de distribuição (Fonte: O autor)

temperatura mais elevada (maiores perdas de energia) e a cor azul a temperatura mais baixa (menores perdas de energia) os isolamentos dos depósitos de inércia, reportam perdas de temperatura para o meio ambiente, com principal incidência nas flanges e parte do isolamento existente, chegando mesmo a verificarem-se temperaturas emitidas da ordem dos 79°C (Figura 74 a e b). Da mesma forma, o coletor de distribuição (Figura 74 c) emite perdas da ordem dos 62°C nas ligações às bombas circuladoras. Para melhor percepção das imagens consultar (Anexo F).

Os cálculos para a transferência de calor são neste caso devidas a transferência por convecção e por radiação [128]. Para a convecção aplica-se a Lei de *Newton* para a refrigeração de acordo com a equação (41):

$$Q_{conv} = h * A * (T_s - T_{\infty}) \quad (41)$$

Em que:

$Q_{conv}$  - calor transferido por convecção (W);

$h$  - coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m<sup>2</sup>.°C) (considerou-se 14,82<sup>43</sup>);

$A$  - área da superfície não isolada (m<sup>2</sup>);

$T_s$  e  $T_{\infty}$  - temperaturas á superfície do equipamento e temperatura da sala (°C)

Para a radiação térmica aplica-se a Lei de *Stefan –Boltzmann* de acordo com a seguinte equação:

<sup>43</sup> Os valores de ( $h$ ) para os gases vão de 2-25 W/m<sup>2</sup>.°C. Para a sua determinação, utilizou-se a seguinte expressão:  $h=12,1 * v^{0,5}$  sendo ( $v$ ) a velocidade do vento (m/s) [128].

$$Q_{rad} = \varepsilon * \sigma * A * (T_s^4 - T_{ar}^4) \quad (42)$$

Em que:

$Q_{rad}$ - calor transferido por radiação térmica (W);

$\varepsilon$  - emissividade da superfície;

$\sigma$  - constante de *Stefan-Boltzmann* ( $5,67 \cdot 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>);

$T_s$  e  $T_{ar}$  - temperaturas da superfície e do ar ambiente (°K)

Resultando numa única expressão:

$$Q_{conv} + Q_{rad} = A * [h(T_s - T_{\infty}) + \varepsilon * \sigma * (T_s^4 - T_{ar}^4)] \quad (43)$$

Efetuada os cálculos só no caso do mau isolamento dos flanges dos dois depósitos de inércia (entrada de homem), com diâmetro de 0,51 m, dá uma perda de energia anual de 2.113 kWh, no (Anexo G) indicam-se os dados utilizados e os resultados obtidos.

Um bom isolamento de todos os equipamentos condutores ou acumuladores de energia a par das construções onde a mesma é utilizada é de primordial importância para potenciar a eficiência energética, com o objetivo de poupar energia e o ambiente em termos globais e económicos em termos particulares.

Verifica-se a existência de tubagem do circuito de aquecimento sem ou com deficiente isolamento na entrada e saída das estufas, (Figura 75 a e b). Na imagem a) a tubagem está completamente a descoberto e na imagem b), o isolamento tal como existe não cumpre na íntegra, a função para a qual foi projetado.

Aconselha-se a que a tubagem vá enterrada e isolada até ao interior da estufa e só aí passe à superfície, contribuindo assim para uma maior eficiência energética. As perdas por esta via são significativas ao longo de uma campanha de aquecimento, dado estarmos em



Figura 75 Entrada e saída de tubagem nas estufas: a) Estufas norte; b) Estufas sul (Fonte: O autor)

presença de tubagem com diâmetros médios de 140 mm, sem isolamento e com temperaturas na tubagem na ordem dos 35°C e ambientais de 2 a 3°C durante os períodos noturnos.

Recorreu-se às equações (41), (42) e (43) para calcular as perdas de energia por esta via, em função do diâmetro da tubagem e do comprimento tendo resultado em 7.441 kWh/ano no total dos quatro tubos sem isolamento (Figura 75 a) ver cálculos no (Anexo G).

As portas de acesso às estufas (bloco 5) não verificam as melhores condições que permitam usufruir de um correto isolamento, evitando a entrada de ar frio, e a saída de ar quente das estufas (Figura 76 a e b).

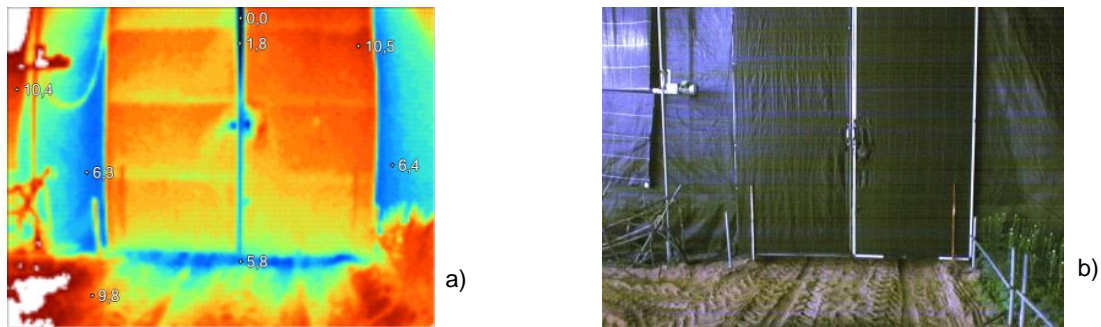


Figura 76 Isolamento de porta de acesso bloco 5: a) Imagem termográfica; b) Imagem real (Fonte: O autor)

Propõe-se um isolamento eficaz tipo macho/fêmea na porta de acesso ao bloco 5, assim como cimentar os corredores de circulação para melhorar o isolamento inferior.

Como se pode verificar pela imagem da (Figura 76 a), a entrada de ar do exterior 0°C na parte superior e de cerca de 6°C na parte inferior e laterais, representa em termos energéticos, perdas significativas que devem ser tomadas em conta. Em função das imagens e da área aberta podemos estimar a entrada de ar do exterior devido à diferença entre pressão interior e exterior que aqui se despreza por se considerar pouco significativa, devido à diferença de temperatura interior e exterior e devido ao efeito do vento de acordo com as equações) (44) e (45) respetivamente [129]:

$$L_t = \frac{B}{3} H^{1,5} \mu_0 \sqrt{g \frac{\Delta \rho_{ar}}{\rho_m}} \quad (44)$$

$$L_v = B * H \frac{v_{10}}{2} 0,25 \quad (45)$$

$L_t$  entrada de ar devido à diferença de temperatura interior e exterior ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ),  $B$  largura da porta para a passagem de ar (m),  $H$  altura da porta para a passagem de ar (m),  $\mu_0$  coeficiente de fluxo de ar (0,8-0,9)  $g$  aceleração da gravidade ( $9,8 m \cdot s^{-2}$ ),  $\Delta \rho_{ar}$  diferença de densidade entre as massas de ar ( $kg \cdot m^{-3}$ ),  $\rho_m$  densidade média das massas de ar ( $kg \cdot m^{-3}$ ),  $L_v$  entrada de ar devido ao efeito do vento ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ),  $v_{10}$  velocidade média do vento a uma

altura de 10m ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e 0,25 fator de frequência da direção do vento. Estimou-se uma entrada de ar de 0,09m de largura por 3m de altura, temperatura interior de 14°C e exterior média de 6,5°C, durante a estação de aquecimento de 2.900 horas, obteve-se uma média de entrada de ar de  $0,20\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , o que em termos energéticos representa uma perda anual de cerca de 5.310kWh.

Para o cálculo das perdas de energia recorreu-se às equações (46) e (47) [129] [104].

$$Q = \dot{m} * c_p * \Delta T \quad (46)$$

$$\dot{m} = v * \rho_{ar} \quad (47)$$

Sendo:  $Q$  a potência térmica em (W),  $\dot{m}$  massa de ar ( $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ).  $c_p$  calor específico do ar ( $1,005 \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ),  $\Delta T$  diferença entre temperatura interior e exterior ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $v$  volume de entrada de ar ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) e  $\rho_{ar}$  densidade do ar que á temperatura de calculo se considerou ( $1,24\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), para mais pormenores consultar o (Anexo G).

## 5.5 Condições de Segurança da Biomassa

O incremento da produção e a utilização de vários tipos de biomassa como transportador de energia resulta num aumento da movimentação e das atividades de armazenagem. A biomassa é composta por diversos materiais, com diferentes composições químicas, teor de humidade e características físicas.

As propriedades de uma determinada biomassa e a utilização pretendida determinam em boa medida, a forma como deve ser transportada e armazenada. A auto-ignição e a possibilidade de explosão de poeiras são desafios que esta indústria enfrenta, dado que já resultaram em perdas de investimento e até mesmo trágica perda de vidas. Do mesmo modo, a exposição a material biologicamente ativo (bolors e esporos) pode constituir, um perigo para a saúde das pessoas envolvidos no seu manuseamento [101].

Com a continuidade da política energética europeia no desenvolvimento das energias renováveis e em particular da biomassa, por motivo da necessidade em se baixarem as emissões de GEE, o desenvolvimento desta industria tem tido um impacto ambiental positivo.

No entanto, cada vez mais existem questões de segurança, que devem ser consideradas, quando se instala um sistema de biomassa. A operação dos equipamentos, a armazenagem do combustível, o projeto das instalações e a segurança e saúde das pessoas deve ser avaliado. O combustível de biomassa tem um alto teor de voláteis, que são libertados durante o processo de combustão, dos quais se destacam: CO; CH<sub>4</sub> e H<sub>2</sub> que é altamente explosivo.

Estes voláteis, normalmente queimam durante um processo normal, mas uma combustão descontrolada pode provocar uma explosão na caldeira. Isto pode suceder quando a carga

da caldeira é excessiva, a ignição é atrasada e admissão accidental ou descontrolada de ar para a câmara de combustão. Este risco é potenciado, em caldeiras de grande porte (como é o caso de estudo), quando a caldeira trabalha em ciclo de carga reduzida, daí o benefício dos *buffers* [130].

Quando se opta pela instalação de um sistema de biomassa deve fazer-se da saúde e segurança uma prioridade. Estes sistemas diferem de forma significativa dos homólogos a combustíveis fósseis e estas diferenças, levantam diferentes questões, relacionadas com a saúde e segurança na armazenagem e no manuseamento. As condições de segurança de um sistema de biomassa devem incidir sobre os processos representados na (Figura 77).

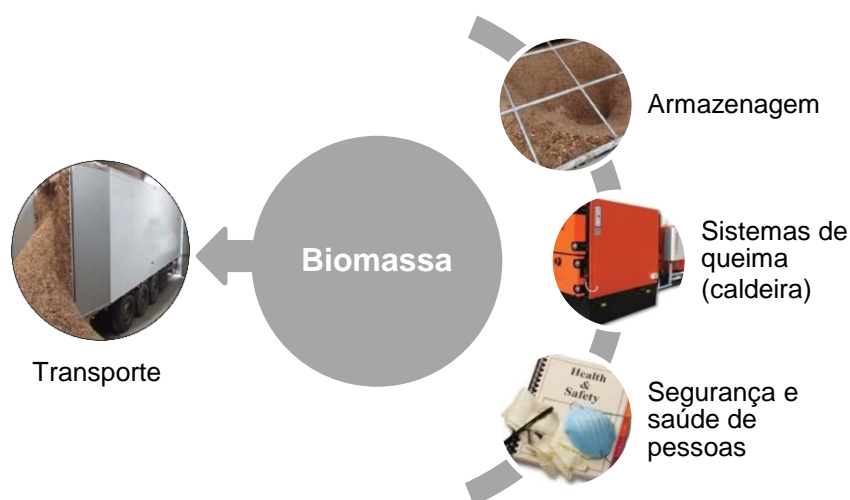


Figura 77 Processos envolvidos na segurança da biomassa (Baseado em: [130] [131])

Indicam-se a seguir, alguns procedimentos considerados essenciais, para o cumprimento dos principais requisitos envolvidos em cada um dos processos.

### Transporte e descarga

O acesso à armazenagem deve ser adequado para camiões cisterna; deve ser considerado o raio de curvatura e o piso deve ser adequado; o silo de armazenagem dos *pellets* deve ser de fácil acesso, para o motorista fazer as ligações necessárias; acompanhamento visual antes, durante e depois da descarga; os *pellets* descarregados pneumáticamente, oferecem um potencial risco de explosão, por este facto, o raio de curvatura das mangueiras deve ser maior, para reduzir o atrito e as hipóteses de desintegração; evitar as descargas de eletricidade estática, pelo que os equipamentos devem estar, convenientemente ligados à terra; respeitar a velocidade de descarga para a biomassa em causa; utilizar meios de abrandamento da queda dos *pellets*, como folhas de borracha para evitar a degradação destes e por conseguinte, reduzir as explosões devido ao pó libertado [130]; [131].

## Armazenagem

A maioria das armazenagens localiza-se em espaços confinados, pelo que são potencialmente perigosas, devido à sua ligação pelo sistema de alimentação à câmara de combustão, onde se produz CO<sub>2</sub> e CO, com risco acrescido de explosão. Reduzir as concentrações destes gases, através do mau funcionamento das condições de armazenagem, reduz o risco de auto-ignição; utilizar equipamentos de deteção e extinção de incêndio como *sprinklers*; não misturar diferentes qualidades de *pellets*; evitar diferenças no teor de MC e estes não devem ser superiores a 15%; utilizar deteção de gases e monitorização de temperaturas; ventilação da área armazenada; criar rotinas para observação e controlo; seguir o princípio de armazenamento (primeiro a entrar-primeiro a sair); não armazenar a biomassa durante longos períodos; limpar o local da armazenagem antes de receber novo produto; fazer sub-divisões na armazenagem para limitar a auto-ignição; instalar um sistema de ventilação para controlo da humidade e assim reduzir a atividade microbiana; o espaço destinado à armazenagem deve possuir resistência ao fogo no mínimo classe R120<sup>44</sup>; a biomassa de *pellets* oito semanas após fabrico produz concentrações de CO que é letal e explosivo, pelo que se aconselha a que as instalações elétricas no interior do armazém cumpram o regulamento ATEX<sup>45</sup> [30]; [119]; [101].

## Manuseamento da caldeira

Em geral, as caldeiras a biomassa já integram hoje em dia, significativos sistemas de segurança, o que lhes permite atuar em caso de necessidade. Não obstante é essencial que estas sejam equipadas no mínimo: dispositivo contra o retrocesso de chama; dispositivo de interrupção de funcionamento do sistema de combustão; interruptor de fluxo e sistema de eliminação do calor residual [119].

Projetar a caldeira para a carga correta, adequado carregamento com biomassa, não abrir as portas da caldeira quando esta estiver em funcionamento, dado que pode ser criada uma mistura explosiva na câmara de combustão [130].

Ter em atenção a possibilidade de explosão de gás devido à má ignição do combustível, por estar molhado ou chaminé bloqueada, assim como risco de fogo na chaminé devido às temperaturas mais elevadas em resultado da queima da biomassa; devem ser evitadas queimas incompletas do combustível na caldeira para evitar a formação de gases como CO e H<sub>2</sub>, os quais podem provocar uma explosão; não desligar a alimentação elétrica da caldeira sem primeiro terminar a queima do combustível residual existente na câmara de combustão e por último, a casa da caldeira deve ser suficientemente ventilada [119].

---

<sup>44</sup> Euroclasses de risco-estável ao fogo com uma capacidade de resposta de 120 min.

<sup>45</sup> Atmosfera explosiva - designação utilizada pela diretiva europeia ATEX 94/9/CE

### **Saúde e segurança de pessoas**

Os efeitos para a saúde e segurança das pessoas resultam da preparação e utilização de combustíveis de biomassa, que derivam da natureza biológica desta e principalmente, em resultado da formação de poeiras e bio aerossóis.

Monitorizar o compartimento da armazenagem e áreas adjacentes para o CO e O<sub>2</sub> para evitar a entrada em ambientes perigosos; prevenir o desenvolvimento de microrganismos patogénicos durante a armazenagem da biomassa e sua manipulação reduzindo e controlando a humidade, através de adequada ventilação; reduzir o contacto com a biomassa e utilizar proteção respiratório nas situações de extrema necessidade de contacto [30]; [101].

Este capítulo forneceu uma visão geral, sobre as principais formas de mitigar os custos energéticos e ambientais na operação das estufas onde se realizou o estudo. É um facto, que a implantação de qualquer inovação/alteração depende dos benefícios resultantes em relação às tecnologias e *modus* de funcionamento estabelecidos. A inércia na sua implementação é influenciada em muito, pelos custos reais e da perceção dos riscos financeiros associados.

O modelo energético apresentado comporta um leque de propostas com opções possíveis, quer tecnológicas quer de alteração de procedimentos e de alternativas, com o objetivo único de aumentar a competitividade da exploração nas vertentes económicas e ambientais.



## Capítulo 6 - Conclusões e Futuros Desenvolvimentos

Neste capítulo apresentam-se as conclusões resultantes de um trabalho, cujo percurso foi longo e exaustivo, na área da análise energética e ambiental.

### 6.1 Conclusões

Este trabalho incidiu na avaliação energética e ambiental num complexo de estufas agrícolas, destinadas à produção de crisântemos. Os requisitos das plantas e a área de implantação da infraestruturas é significativa, o que comporta elevados consumos energéticos, logo com consequências sobre o ambiente. Daqui resulta, que uma correta utilização dos equipamentos consumidores de energia térmica e elétrica, a par da seleção de energias renováveis são fatores de primordial importância na sustentabilidade ambiental. O equipamento de maior consumo de energia é a caldeira, com uma potência nominal de 2.000kW para produção de água aquecida, utilizada na climatização das estufas durante o período de inverno. É pois importante de referir que este equipamento mereceu especial atenção, dadas as implicações ambientais e económicas que derivam de uma incorreta operação. A par de avaliações ambientais no interior das estufas, a diversos parâmetros que serviram para comparar os valores medidos e aferi-los sobre as referências do setor, realizou-se uma exaustiva avaliação ao *modus* de funcionamento da central térmica, com especial enfoque, no equipamento de queima, entenda-se caldeira.

A utilização do combustível biomassa, quando corretamente utilizado é em termos ambientais, uma solução que contribui para baixas emissões de GEE. O termo “corretamente utilizado” pretende enfatizar o facto de estar a ser usada biomassa de forma não rentável nem sustentável e acima de tudo a lenha não será o combustível mais adequado para queima na caldeira instalada. Desde logo, a madeira adquirida, e que representa um consumo anual significativo, resulta do corte de árvores, o que vai contra as boas práticas ambientais. Neste caso, a utilização de madeira derivada da limpeza florestal ou de resíduos florestais seria a opção apropriada. Por outro lado, a madeira é consumida com um teor de humidade elevado, o que contribui para um baixo rendimento da caldeira, logo maior consumo de combustível, aqui confirmado pelo ensaio realizado a este parâmetro.

Existe uma relação entre o teor de MC e as concentrações de CO durante a queima, onde se detetaram emissões superiores a 50.000ppm, durante alguns períodos de arranque da caldeira.

Ao nível das emissões gasosas verificou-se, a ultrapassagem dos VLE relativos aos COV estipulados na Portaria 677/2009 de 23 de junho, assim como, as PTS se encontram no

limiar máximo permitido. Verificou-se que os restantes parâmetros  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  se encontram dentro dos VLE definidos [132].

A utilização de madeira com elevado teor de MC, em conjugação com a elevada carga deste combustível, na câmara de combustão, conduz a uma baixa percentagem do oxigénio necessário a uma queima completa. Esta operação tem reflexos ao nível da emissão de elevadas concentrações de fumo negro nesta fase do processo, reduzindo-se esta condição à medida que a carga do combustível diminui.

No que se refere às escolhas dos combustíveis disponíveis na região, a biomassa de *pellets*, apresenta em termos operacionais, uma boa alternativa energética, com uma boa performance no rendimento da caldeira. Este combustível carece no entanto, de um cuidado especial na fase de armazenagem, uma vez que foi detetada a sua autoignição espontânea. Esta condição deriva do facto de a sua energia de ativação ser inferior a 70 kJ/mol, o que na presença de oxigénio, produz uma reação exotérmica, porque vem causar um aumento de temperatura acima de 29°C, que pode produzir o fenómeno de autoignição de acordo com a análise DSC realizada a este combustível [120]; [133].

Como contributo para a utilização desta biomassa, apresentaram-se algumas medidas de segurança, tendo em vista a operação dos equipamentos envolvidos na produção de energia térmica.

Avaliaram-se distintos parâmetros ambientais no interior das estufas, cujos resultados se consideram importantes, para o desenvolvimento da produção agrícola, assim como para o cálculo da energia térmica, e dimensionamento de equipamentos de inércia.

Neste encadeamento, avaliaram-se os parâmetros de  $\text{CO}_2$ , de HR, da temperatura interior e do solo. Os valores obtidos concluíram por um défice de  $\text{CO}_2$ , cujo valor médio diurno obtido no decorrer de várias medições efetuadas em cinco dias distintos se cifra nos 489ppm. Esta concentração está no limiar inferior dos valores de referência, cujo mínimo aponta para os 350ppm [60]; [61]; [63].

Como contributo para esta concentração de  $\text{CO}_2$ , realça-se a pouca ventilação, devido às exigências em manter uma adequada temperatura no interior das estufas.

Já o valor de HR diurno se pautou por valores entre 70-80%, em consonância com os referenciais para a produção desta espécie. As medições das temperaturas do ambiente interior e do solo, realizadas em profundidades distintas, revelaram uma trajetória linear, em concordância com os valores parametrizados no sistema de climatização.

Releva-se a qualidade dos plásticos da cobertura confirmada por medições efetuadas ao coeficiente de transmissão térmica U em três dias distintos, durante o período noturno, tendo-se registado em geral, valores inferiores aos indicados por diversos autores [94]; [95] [93]; [96].

Analisaram-se os consumos de energia elétrica, com a instalação de dois analisadores, tendo resultado num conjunto de valores, que permitiram aferir os consumos horários resultando numa desagregação por setores. Esta avaliação permitiu desenvolver e propor o processo de dimensionamento de um sistema de autoconsumo em fotovoltaico, o que a realizar-se permitirá obter significativos ganhos económicos e ambientais para a empresa. Concluiu-se ainda nesta área, através de uma análise aos custos de energia por fornecedor a operar neste segmento, para propor a possibilidade de se optar por uma solução economicamente mais vantajosa do que a atualmente contratada.

Em termos gerais, as estufas encontram-se em bom estado de conservação, exceção feita ao isolamento de alguma tubagem destinada ao aquecimento, onde se verificou significativa perda de energia. Ainda neste âmbito, os *buffers* de inércia e os coletores de ida e de retorno do sistema de aquecimento, necessitam também de um cuidado especial no que respeita ao isolamento, uma vez que se verificam fugas de energia térmica por alguns componentes, tendo sido efetuadas sugestões de melhoria.

Uma das portas do setor de estufas sul carece de melhoramentos, ao nível da vedação vertical e horizontal, para redução de perdas energéticas.

Por último, detetou-se no decorrer das várias deslocações efetuadas às estufas, que as cortinas térmicas, quer verticais quer horizontais, nem sempre são utilizadas para o fim que foram projetadas e realça-se que a concretização da sua utilização contribuirá para a poupança do consumo de energia.

Verificaram-se algumas dificuldades, sobretudo ao nível de equipamentos de medição, e relevo aqui, a falta de um piranómetro para medição da radiação solar no interior das estufas, assim como, a de uma sonda para a medição da temperatura na câmara de combustão. Estes instrumentos teriam dado um forte contributo para uma análise mais assertiva, a alguns parâmetros considerados essenciais a estas infraestruturas agrícolas, no sentido da análise energética e ambiental.

Remato com a afirmação de que a realização do trabalho decorreu sempre com a colaboração do proprietário, e as dificuldades que foram surgindo, foram sempre ultrapassadas, com a colaboração dos vários intervenientes.

Concluo, com a expectativa de que este trabalho possa contribuir com soluções de eficiência energética e ambiental, com aplicabilidade no setor e que estas sejam para mim um novo desafio.

## 6.2 Futuros Desenvolvimentos

Optou-se aqui por dividir esta seção em dois momentos, o primeiro numa perspectiva de futuros trabalhos, que se consideram importantes para a obtenção de melhores níveis de eficiência energética e ambiental. No segundo a utilização e perspectiva de novas tecnologias.

Para uma melhor racionalização do sistema de climatização é importante fazer medições da radiação solar no interior das estufas, assim como avaliações com a utilização de cortinas térmicas em períodos noturnos, para se entender melhor a influência destes componentes estruturais na eficiência energética.

Avaliar em concreto as poupanças energéticas resultantes do isolamento dos túneis, que em cada momento se encontram sem plantas, devido a trabalhos de replantação. Para este isolamento, utilizar-se-iam as cortinas térmicas já existentes e subaproveitadas.

Releva-se o interesse em fazer medições à câmara de combustão da caldeira com plena carga, para se chegar a dados concretos, sobre a eficácia na utilização de madeira neste tipo específico de gerador de energia térmica.

Em termos tecnológicos e caso se opte pela instalação do sistema fotovoltaico, seria interessante avaliar a possibilidade de aquisição de ventilação artificial, dado que a ventilação natural se limita a janelas zenitais, o que em épocas de temperaturas elevadas se considera insuficiente.

A instalação de variadores eletrónicos de velocidade (VEV's), nos motores utilizados no circuito de aquecimento, incluindo a caldeira, seria uma mais-valia para a poupança energética.

A substituição progressiva de 2.100 lâmpadas economizadoras, por lâmpadas de tecnologia *LED* que cubram o espectro indicado para a espécie produzida, seria de considerar.

É fundamental a instalação de um sofisticado *software*, para uma gestão e controlo ambiental das estufas em tempo real, que permita ter acesso e guarda de dados relativos a: temperatura, humidade, radiação solar, velocidade do vento, ventilação, CO<sub>2</sub>, pressão, luminosidade e fertilização entre outros. Este equipamento é hoje em dia, de primordial importância, para uma boa gestão das condições atmosféricas no interior das estufas. Este *software* pode apoiar-se no modelo *Cloud Computing*<sup>46</sup> que disponibiliza e utiliza tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) [134].

Por ultimo, e dado que se considera um projeto de elevado potencial destaca-se o seguinte: No período de inverno, em consequência da baixa frequência da abertura das janelas para evitar a perda de temperatura, o que origina baixas concentrações de CO<sub>2</sub>, propõe-se a

---

<sup>46</sup> É um modelo que permite o acesso ubíquo, conveniente e a pedido através da rede, a um conjunto de recursos de computação partilhados (redes, servidores, armazenamento, aplicações, serviços, etc.) [134].

realização de um estudo, para a implantação de um sistema de captura do CO<sub>2</sub>, aproveitando os gases de combustão da caldeira a biomassa. Este sistema consistiria na armazenagem dos gases de combustão retendo apenas o CO<sub>2</sub>, libertando os restantes gases para a atmosfera. A subtração apenas do CO<sub>2</sub> permitiria uma redução do volume do gás armazenado. Para a captura do CO<sub>2</sub> utilizar-se-ia carbono ativado, dado ser um adsorvente barato e de simples operação. O CO<sub>2</sub> seria assim armazenado durante a noite, para ser distribuído pelas estufas no período diurno, momento em que se verificaram menores concentrações deste gás [135].

Para a empresa proprietária das estufas, os interesses futuros passam por centralizar a produção; pelo aumento da produção e da qualidade dos seus produtos; pela produção de outras culturas alternativas porventura com maior valor acrescentado e pela procura de novos mercados. Para que estes objetivos sejam possíveis é, fundamental, uma preocupação crescente com os custos energéticos e ambientais, pelo controlo em tempo real destes parâmetros com recurso a novas tecnologias e pela imagem da empresa apoiada num marketing focado nas questões ambientais e da sustentabilidade.



## Bibliografia

- [1] World Energy Council-Conseil Mondial de L'energie, "World Energy Perspective," *Energy Efficiency Technologies-Interview Report*, London, pp. 5–26, 2013.
- [2] Comissão Europeia, "Uma energia sustentável, segura e a preços acessíveis para os europeus," *Energia*, pp. 3–16, 2012.
- [3] Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia, *Diretiva 2012/27/UE*. 2012, pp. 1–56.
- [4] V. Manique, "Gas Natural:Combustible clave en la transición hacia un sistema energético más limpio e sustentable," *Innovación-CDT Gás*, pp. 27–31, 2011.
- [5] World Energy Council-Conseil Mondial de L'energie, "2014 World Energy Issues Monitor," in *World Energy Council*, W. E. Council, Ed. London, 2014, pp. 1–16.
- [6] M. Djevic and A. Dimitrijevic, "Energy consumption for different greenhouse constructions," *Elsivier*, vol. 801 PART 1, no. 9, pp. 781–786, 2008.
- [7] M. Esen and T. Yuksel, "Experimental evaluation of using various renewable energy sources for heating a greenhouse," *Energy Build.*, vol. 65, pp. 340–351, 2013.
- [8] E. S. Runkle, "Groing Trends- Optimize your temperatures," *GMPRO*, no. December, pp. 65–66, 2004.
- [9] E. Runkle and a. J. Both, "Greenhouse Energy Conservation Strategies," *Extention Bull.*, no. November, p. 16, 2011.
- [10] J. Chau, "Evaluation of Wood Biomass Utilization For the Greenhouse Industry in British Columbia," The University of British Columbia, 2008.
- [11] M.M.González Real e A. Baille, "Parte I-Invernadero, energía e productividad," in *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica- Universidad Politécnica de Cartagena- Área de Ingeniería Agroforestal - Parte I - Invernadero, Energá y Productividad*, Cartagena, 2005, pp. 17–28.
- [12] International Energy Agency, "CO2 Emissions From Fuel Combustion Highlights," *IEA Stat.*, p. 158, 2013.
- [13] IEA-International Energy Agency, "Tracking Clean Energy Progress 2014-Energy Technology Perspectives 2014 Excerpt IEA Input to the Clean Energy Ministerial," *IEA Publ. - ETP 2014 Scenar.*, pp. 6–17, 2014.
- [14] IEA-International Energy Agency, "Energy Technology Perspectives 2014 -Harnessing Electricity's Potencial-Executive Summary," *IEA Publ. - ETP 2014*, pp. 2–5, 2014.
- [15] BP, "BP Energy Outlook 2035," in *Energy Outlook 2035*, no. February, 2014, pp. 2–96.
- [16] União Europeia, "Conselho da União Europeia," *Cons. Eur. Bruxelas 8/9 Março 2007 - Conclusões da Presidência*, vol. 7224/07, no. Março, pp. 1–26, 2007.

- [17] Presidência do Conselho de Ministros, *Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013*, no. Abril. Portugal: Diário da República-1ª Série, 2013, pp. 2069–2072.
- [18] ADENE-Agência para a energia, “Política energética,” <http://www.adene.pt/politica-energetica>, 2015. .
- [19] P. Mueller, “The Abundance of Fossil Fuels,” *GWPF-The Glob. Warm. Policy Found. Pap. N°6*, vol. 6, pp. 2–17, 2013.
- [20] F. D. Santos, “Vamos desinvestir nos combustíveis fósseis,” *Público*, 2015. [Online]. Available: <http://www.publico.pt/ecosfera/noticia/paris-vamos-desinvestir-nos-combustiveis-fosseis-1698371>. [Accessed: 09-Jun-2015].
- [21] Comissão para as Alterações Climáticas, *Programa Nacional para as Alterações Climáticas-Versão 2001*, 2nd ed. Lisboa, Portugal, 2002, pp. 6–10.
- [22] Ren 21, “Renewables 2014 Global Status Report,” Paris, pp. 13–15, 2014.
- [23] Direção Geral de Energia e Geologia, *Renováveis*. Portugal, 2015, p. 7.
- [24] Kendry P.M, “Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass,” *Biosource Technol.*, vol. 83, no. July 2001, pp. 37–46, 2001.
- [25] REN21, “Renewables 2014 Global Status Report,” *REN21. 2014. Renewables 2014 Global Status Report*, Paris, pp. 31–37, 2014.
- [26] T. M. G. J.R. Galvão, S.A. Leitão, S. Malheiro, A.M. Moura, “Biomass Fuel in Micro-Trigeneration Production,” in *In Proceedings of X Portuguese-Spanish Conference in Electrical Engineering/IEEE*, 2007, pp. 50–55.
- [27] T. Almeida, “Centro da Biomassa para a Energia,” in *Biomassa*, 2015, no. 09 de abril, pp. 1–32.
- [28] J. Jorgenson, P. Gilman, and A. Dobos, *Technical Manual for the SAM Biomass Power Generation Model Technical Manual for the SAM Biomass Power Generation Model*, no. September. Colorado, 2011.
- [29] Carbon Trust, “Biomass heating (CTG012),” *A Pratical Guide for a Potencial Users*, England, pp. 19–21, 2008.
- [30] G. S. David Palmer, Jim Kinnibrugh, Colin Ashford, “Biomass Heating Solutions.,” *CIBSE-AM15 2014*, no. October, pp. 10–15, 2014.
- [31] T. G. João Galvão, Sérgio Leitão, Salvador Malheiro, “Microgeneration Model in Energy Hybrid System - Cogeneration and PV Panels,” *IEEE In Proceedings of the IEEE/International Symposium on Power Electronics Electrical Drives Automation/SPEEDAM2010, Italy*, Italy, 2010.
- [32] Assembleia da Republica, *Decreto Lei nº 80/2006 de 4 de Abril (RCCTE)*. Portugal: Diário da República—I Série-A, 2006, pp. 2468–2513.
- [33] Instituto Para La Diversificacion Y Ahorro De La Energía, “Energía Solar Térmica,” Madrid, Spain, 4, 2006.

- [34] R. Castro, *Uma Introdução às Energias Renováveis*, 2ª Edição ed. Lisboa, 2012.
- [35] Green Savers, “Renováveis,” *Portugal Bateu Recorde de Energia Renovável em 2013*, 2014. [Online]. Available: <http://greensavers.sapo.pt/2014/01/14/portugal-bateu-recorde-de-energia-renovavel-em-2013/>. [Accessed: 04-Jul-2015].
- [36] Geoscience Australia and Abare, *Australian Energy Resource Assessment*, Department. Canberra, 2010.
- [37] Energieplus, “Climat,” *L'ensoleillement*. [Online]. Available: <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759>. [Accessed: 03-Jul-2015].
- [38] Ciência Viva, “Guia Didático da Energia Solar,” *Conversão térmica da energia solar-Balço de Energia*. [Online]. Available: <http://www.cienciaviva.pt/rede/energia/himalaya2005/home/indice.asp>. [Accessed: 03-Jul-2015].
- [39] M. Z. Klaus Jäger, Olindo Isabella, Arno H.M. Smets, René A.C.M.M. van Swaaij, *Solar Energy-Fundamentals, Technology, and Systems*, Copyright . 2014.
- [40] A. K. S. David Tan, “Handbook for Solar Photovoltaic Systems,” *Energy Mark Authority, Singapore Publ.*, pp. 4–9, 2011.
- [41] M. Edouard and D. Njomo, “Mathematical Modeling and Digital Simulation of PV Solar Panel using MATLAB Software,” *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 3, no. 9, pp. 24–32, 2013.
- [42] EPA-United States Environmental Protection Agency, “Climate Change Indicators in the United States: U.S. Greenhouse Gás Emissions,” *U-S- Greenhouse Gás Emissions*, 2014. [Online]. Available: <http://www.epa.gov/climatechange/science/indicators/download.html>. [Accessed: 17-Jun-2015].
- [43] European Commission, “Climate Change •,” *European Commission Climate Action website and social media:ec.europa.eu/clima*, 2014. .
- [44] European Environmental Agency, *Trends and Projections in Europe 2013 Executive summary*, no. 6. 2013.
- [45] IA - Instituto do Ambiente, “O Futuro do Nosso Clima-O Homem e a Atmosfera,” in *Instituto do Ambiente*, IA-Institu., Lisboa, PORTugal: RPVP Designers, 2005, pp. 4–14.
- [46] J. C. L. & M. K. Juan I. Montero, Meir Teitil, Esteban Baeza, “Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops: Principles for Mediterranean Climate Areas,” in *FAO Plant Production and Protection Paper-Greenhouse design and covering materials*, Food and A., R. Duffy, Ed. Roma: FAO 2013, 2013, pp. 36–57.
- [47] M. Kacira, “Greenhouse Structures and Design,” *2012 UA-CEAC Greenhouse Crop Production & Engineering Design Short Course*, Tucson, pp. 2–6, 10-Apr-2012.
- [48] NSW Department of Primary Industries, “Types of greenhouses,” *Primary Industries Agriculture*. [Online]. Available:

- <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/horticulture/greenhouse/structures/types>. [Accessed: 17-Jun-2015].
- [49] J. I. Montero, "Desarrollo de Estructuras para Invernaderos," *Cad. Estud. Agroaliment.*, no. Julio, pp. 45–70, 2012.
- [50] S. Sanford, "Energy Conservation for greenhouse," *University of Wisconsin - Biological Systems Engineering / Rural Energy Program*, 2010. [Online]. Available: [http://www.uwex.edu/energy/pubs/GreenhouseEC\\_SAREApril2010.pdf](http://www.uwex.edu/energy/pubs/GreenhouseEC_SAREApril2010.pdf). [Accessed: 10-Jul-2015].
- [51] S. Hemming, V. Mohammadkhani, and T. Dueck, "Diffuse greenhouse covering materials - Material technology, measurements and evaluation of optical properties," *Acta Hortic.*, vol. 797, pp. 469–476, 2008.
- [52] Fundación Cajamar, "Uso Eficiente de Inputs en Horticultura Protegida," in *Curso de Especialización*, Instituto ., Fundación Cajamar, Ed. Almeria, 2012, pp. 12–13.
- [53] Cepla, *Plásticos para la agricultura. Manual de aplicaciones y usos*. Almeria, Spain, 2006.
- [54] Harnois, "Invernaderos," *Catálogo*, 2015. [Online]. Available: <http://www.harnois.com/es/catalogo-invernaderos/catalogo.html>. [Accessed: 06-Jul-2015].
- [55] N. P. Castilla, *Invernaderos de plástico: tecnología y manejo.*, Ediciones. Madrid, 2005.
- [56] M. Romero-Gámez, E. M. Suárez-Rey, N. Castilla, and T. Soriano, "Evaluation of global, photosynthetically active radiation and diffuse radiation transmission of agricultural screens," *Spanish J. Agric. Res.*, vol. 10, no. 2, pp. 306–313, 2012.
- [57] M. Kacira, S. Sase, and L. Okushima, "Effects of side vents and span numbers on wind-induced natural ventilation of a gothic multi-span greenhouse," *Japan Agric. Res. Q.*, vol. 38, no. May, pp. 227–233, 2004.
- [58] E. J. Baeza, J. Pérez-Parra, and J. I. Montero, "Effect of ventilator size on natural ventilation in parral greenhouse by means of CFD simulations," *Acta Hortic.*, vol. 691, no. 2004, pp. 465–472, 2005.
- [59] C. Stanghellini, L. Incrocci, J. C. Gázquez, and B. Dimauro, "Carbon dioxide concentration in Mediterranean greenhouses: How much lost production?," *Acta Hortic.*, vol. 801 PART 2, no. 1994, pp. 1541–1549, 2008.
- [60] Terra Nigra, "Terra Nigra Cultivation Information for Gerbera Plants," *Terra Nigra Gerbera Man. Cultiv. Castell.* 2005, pp. 1–24, 2005.
- [61] J. R. G. Porras, "Boletín del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos," in *Instituto Nacional de Investigación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria-INTA-Cursos y talleres*, Francisco ., vol. 34, Instituto Nacional de Investigación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria-INTA, Ed. Costa Rica, 2012, pp. 1–9.

- [62] M. A. G. Luis Edo García Jaimes, “Control del Microclima de un Invernadero Utilizando Técnicas de Control Predictivo,” *Politécnico Colomb. Jaime Isaza Cadavid*, p. ND.
- [63] J. R. Hernandez, “El clavel para flor cortada,” *Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*, vol. 4, Madrid, pp. 2–24, 1983.
- [64] María M. González Real ; A. Baille, “Tecnología de Invernaderos (5º Curso)-Los Modelos de Balance de Energía,” in *Tecnología de Invernaderos (5º Curso)*, vol. 57, Universidad Politécnica de Cartagena.Espanha, Ed. Cartagena. Espanha, pp. 175–190.
- [65] N. E. Andersson, “Energy saving in greenhouses can be obtained by energy balance-controlled screens,” *Acta Agric. Scand. Sect. B - Plant Soil Sci.*, vol. 61, no. January 2015, pp. 176–182, 2011.
- [66] R. R. C. J. Edilson Costa, Paulo A.M.Leal, “Modelo de Simulação da Temperatura e Humidade Relativa do Ar no Interior de uma Estufa Plástica,” *Eng. Agrícola Jaboticabal*, vol. 24, no. janeiro/abril, pp. 57–67, 2004.
- [67] L. Edo, G. Jaimes, M. A. Giraldo, and D. E. L. Invernadero, “Control del Microclima de un Invernadero Utilizando Técnicas de Control Predictivo,” *Politécnico Colomb. Jaime Isaza Cadavid*, pp. 1–6.
- [68] M. C. H. B. Audberto Reyes–Rosas<sup>1</sup>; Raúl Rodríguez–García<sup>1\*</sup>; Alejandro Zermeño–González<sup>1</sup>; Diana Jasso–Cantú<sup>1</sup>, “Evaluación de un modelo para estimar la temperatura y humedad relativa en el interior de invernadero con ventilación natural,” *Rev. Chapingo Ser.Hortic vol. 18 no. 1 versión impresa ISSN 1027-152X*, vol. 1, no. 1, pp. 125–140, 2012.
- [69] IDAE-Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, *Protocolo de Auditoría Energética en Invernaderos Auditoría energética de un invernadero para cultivo de flor cortada*, ND. Madrid, 2008.
- [70] K. Mesmoudi, A. Soudani, and P. E. Bournet, “the Determination of the Inside Air Temperature of a Greenhouse With Tomato Crop , Under Hot and Arid Climates,” *Environ. Eng.*, vol. 5, pp. 117–129, 2010.
- [71] A. Baille, J. C. López, S. Bonachela, M. M. González-Real, and J. I. Montero, “Night energy balance in a heated low-cost plastic greenhouse,” *Agric. For. Meteorol.*, vol. 137, pp. 107–118, 2006.
- [72] María M. González Real ; A. Baille, “Modelos de Balance de Energía e de Massa,” in *Parte IV Modelos de Balance de Energía y de Massa*, vol. 5, U. P. de Cartagena.Espanha, Ed. Cartagena. Espanha, pp. 159–174.
- [73] D. R. E, Pedro Florían Martinez, “El control del clima de los invernaderos de plástico. Un enfoque actualizado\*,” pp. 195–199, 2010.
- [74] A. A. J.C. López, P. Lorenzo, N. Castilla, J. Pérez-Parra, J.I. Montero, E. Baeza and M. G.-R. M.D. Fernández, A. Baille, “Incorporación de Tecnología al Invernadero Mediterráneo,” F. Cajamar, Ed. Almeria, 2001, pp. 14–16.

- [75] Intelligent Energy Europe for a Sustainable Future, “Forest- A Guide to Specifying Biomass Heating Systems,” in *A Guide for Specifiers of Biomass Heating Systems*, pp. 8–10.
- [76] Agencia Extremeña de la Energía, “Biomasa para Proyectistas-Curso Técnico de Cálculo e Instalación de Equipos,” in *Biomasa para proyectistas, Curso Técnico de Sistemas de Biomasa y Sistemas Híbridos*, Agencia Extremeña de la Energía, Ed. 2013, pp. 10–22.
- [77] Assembleia da Republica, *Decreto Lei nº 80/2006 de 4 de Abril (RCCTE)*, Diário da . Portugal: Diário da República —I Série-A, 2006, pp. 2468–2513.
- [78] Google earth, “Google earth-Guia de Turismo,” *Us Dept of State Geographer 2015 Google © Image Landsat*, 2012. [Online]. Available: <http://www.google.com/intl/pt-PT/earth/download/ge/agree.html>. [Accessed: 05-Jan-2015].
- [79] Agrotejo-União Agrícola do Norte do Vale do Tejo, “Dados Climáticos de Alpiarça,” Golegã, 2014.
- [80] UAB-Dep. Biología Anumal Vegetal y Ecología-Dep. Geografía, “Atlas Climático Digital de la Península Ibérica,” 2015. [Online]. Available: <http://www.opengis.uab.es/wms/iberia/mms/index.htm>. [Accessed: 19-Jan-2015].
- [81] Asthor Agrícola SA, “Cubierta:Techo, Laterales, Frontales,” Gijón, 2013.
- [82] Asthor Agrícola SA, “Pantalla,” Gijón, 2013.
- [83] J. R. Kessler, “Chrysanthemum-Commercial Greenhouse Production,” *Crops: Chrysanthemum*, 2015. [Online]. Available: <http://www.ag.auburn.edu/hort/landscape/Potmum.htm>. [Accessed: 19-Apr-2015].
- [84] Alfatubo Engineering Pipes, “Alfahidro,” *Programa de fabrico*, 2014. [Online]. Available: <http://www.alfatubo.pt/produtos.php?idcat=1600#>. [Accessed: 11-Apr-2015].
- [85] NCPAH-National Committee on Plasticulture Applications in Horticulture, “Greenhouse a Reference Manual,” in *Technical Manual:NCPAH/TB/2010-11/3*, January, 2., K. S. I. A. G. A. M. K. K. e M. Dutt, Ed. New Delhi: National Committee on Plasticulture Applications in Horticulture (NCPAH), 2011, pp. 2–18.
- [86] J. R. Kessler, “Chrysanthemum-Commercial Greenhouse Production,” *Auburn University*, 2015. [Online]. Available: <http://www.ag.auburn.edu/hort/landscape/Potmum.htm>. [Accessed: 12-May-2015].
- [87] Infoagro, “El Cultivo del Crisantemo,” *The chrysanthemum growing -Clasificación de los cultivares según su respuesta fisiológica*, 2015. [Online]. Available: <http://www.infoagro.com/flores/flores/crisantemo.htm>. [Accessed: 12-May-2015].
- [88] ACEA, “Los factores ambientales y su influencia-La temperatura dentro del invernaderos,” *Invernaderos para el mundo-temperaturas mínimas, máximas y óptimas para algunos cultivos*, 2015. [Online]. Available: <http://acea.com.mx/articulos-tecnicos/alex-j-pacheco/66-los-factores-ambientales-y-su-influencia-i-3324-la-temperatura-dentro-del-invernaderos>. [Accessed: 12-Jun-2015].

- [89] D'Alessandro Termomeccanica, "Wood-based biomass heat generator," *Use And Maintenance Guide*, 2011. [Online]. Available: [http://www.satisrenovables.com/descargas/catalogo-dalessandro-termomeccanica\\_18527.html](http://www.satisrenovables.com/descargas/catalogo-dalessandro-termomeccanica_18527.html). [Accessed: 21-Feb-2015].
- [90] D. Ciolkosz, "Top 10 Things a Greenhouse Grower Can Do To Improve Energy Efficiency," 2010.
- [91] Svensson, "Pantalla retardante de llama para oscurecimiento y ahorro energético," *Climate Screens-Pantalla Oscura*, 2015. [Online]. Available: <http://www.ludvigsvensson.com/es-climatescreens/productos/climate-screens#Oscura>. [Accessed: 27-Mar-2015].
- [92] ADENE-Agência para a Energia, "Relatório Final de Acção de Promoção de Eficiência Energética em Caldeiras de Vapor e Termofluido," *Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética -Portugal Eficiência 2015 (PNAEE)*, Lisboa, p. 19 do Anexo 2, May-2010.
- [93] NSW Government, "Greenhouse Horticulture-Heating Greenhouses," *NSW Departement odf Primary Industries*. [Online]. Available: <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/horticulture/greenhouse/structures/heating>. [Accessed: 18-Jul-2015].
- [94] H. Fatnassi, T. Boulard, and J. Lagier, "Simple indirect estimation of ventilation and crop transpiration rates in a greenhouse," *Biosyst. Eng.*, vol. 88, pp. 467–478, 2004.
- [95] L. Edo, G. Jaimes, M. A. Giraldo, and D. E. L. Invernadero, "Control del Microclima de un Invernadero Utilizando Técnicas de Control Predictivo," *Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid*, pp. 1–3.
- [96] R. R. C. J. Edilson Costa, Paulo A. M. Leal, "Modelo de Simulação da Temperatura e Humidade Relativa do Ar no Interior de Estufa Plástica," *Eng. Agrícola, Jaboticabal*, pp. 57–67, 2004.
- [97] NOAA-National Oceanic and Atmospheric Administration, "Recent Global CO<sub>2</sub>," *Earth System Research Laboratory*, 2015. [Online]. Available: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>.
- [98] L. Moura, F. X. Meixner, R. Kormann, R. Salustiano, M. Ant<sup>o</sup>, R. Fernando, and M. Ferreira, "Estudo da Concentração do CO<sub>2</sub> Atmosférico em Área de Pastagem na Região Amazônica," *RBGF-Revista Bras. Geofis.*, vol. 22, no. 2004, pp. 259–270, 2005.
- [99] Enarpur-Estudios Atmosféricos e Energia, "Análise às Emissões Gasosas," in *Relatório de Ensaio nº 414-15-DRF-cl1 Proposta nº 05.215-HV\_rev*, Coimbra, 2015, pp. 1–9.
- [100] SISAV, "Boletim de análise- ANI-1501331/001 e ANI-1501334/001," Carregueira, 2015.
- [101] I E A Bioenergy, "Health and Safety Aspects of Solid Biomass Storage, Transportation and Feeding," *IEA Bioenergy*, no. May, p. 4, 2013.

- [102] P. R. Paulo Sérgio Duque Brito, “Boletim de Ensaio Biomassa-Boletim de Ensaio N° 2015/PR0006,” POrtalegre, 2015.
- [103] L. M. P. L. Montenegro Meteos, J. García Torrent, J. Castilla Gómez, N. Fernández Ávez, “Physical Characteristic of Biomass and its Influence in Self-Combustion,” in *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2013*, 2013, pp. 110–110.
- [104] J. A. E. Ramos, “Disciplina de Climatização-1º ano Mestrado em Engenharia e Energia do Ambiente-IPL,” 2014.
- [105] María M. González Real ; A. Baille, “Climatización Estival,” in *Parte III. Unidade 3. Climatización Estival*, vol. 57, Universidad Politécnica Cartagena. Espãna, Ed. Cartagena. Espanha, pp. 113–132.
- [106] Pordata-Base de Dados Portugal Contemporâneo, “Emissão de gases com efeito de estufa (potencial de aquecimento global): total e por alguns sectores de emissão de gases,” *Agricultura*, 2012. [Online]. Available: [http://www.pordata.pt/Europa/Emiss%c3%a3o+de+gases+com+efeito+de+estufa+\(potencial+de+aquecimento+global\)+total+e+por+alguns+sectores+de+emiss%c3%a3o+d+e+gases-1481-205326](http://www.pordata.pt/Europa/Emiss%c3%a3o+de+gases+com+efeito+de+estufa+(potencial+de+aquecimento+global)+total+e+por+alguns+sectores+de+emiss%c3%a3o+d+e+gases-1481-205326). [Accessed: 31-Jul-2015].
- [107] IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change, “Direct Global Warming Potentials,” *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*, 2007. [Online]. Available: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html). [Accessed: 15-Jul-2015].
- [108] WRI Brasil e Unicamp, “Metodologia do GHG Protocol da Agricultura,” *Greenh. Gás Protoc.*, pp. 1–54.
- [109] Carbon Trust and Defra, *Guide to PAS 2050 How to assess the carbon footprint of goods and services*. London: BSI, 2008.
- [110] J. A. Ho, “Calculation of the carbon footprint of Ontario wheat,” *Stud. by Undergrad. Res. Guelph*, vol. 4, no. 2, pp. 49–55, 2011.
- [111] D. Epstein, J. Sykes, and J. Carris, “Oficina ” Pegada Pegada de carbono carbono ”,” *Usefulsimpleprojects*, 2011. [Online]. Available: [http://www.mma.gov.br/estruturas/255/\\_arquivos/2\\_o\\_que\\_e\\_pegada\\_de\\_carbono\\_255.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/255/_arquivos/2_o_que_e_pegada_de_carbono_255.pdf). [Accessed: 15-Jul-2015].
- [112] Ministério da Economia e da Inovação-Direção Geral da Energia e Geologia, *Despacho N° 177313/2008*. Portugal: República, 2ª série-N° 122 de 26 de junho de 2008, 2008, pp. 27912–27913.
- [113] A. J. Teixeira, “A Cultura do Crisântemo de Corte,” *Emater-Rio*, pp. 8–9, 2004.
- [114] Ecofisihort, “Los Plásticos en la Agricultura Materiales de Cubierta para Invernaderos,” 2008. [Online]. Available: <http://www.ecofisihort.com.ar/wp-content/uploads/2008/08/los-plasticos-en-la-agricultura.pdf>. [Accessed: 15-Jul-2015].
- [115] L. Francescato, Valter; Zuccoli Bergomi, “Manual De Combustibles,” *Avebiom*, 2008.

- [116] L. Z. B. Valter Francescato, Eliseo Antonine, *Manual de Combustibles de Madera*. 2008.
- [117] FLP-Flexible Lining Products Ltd, "Toptex Firewood, Woodchip, Crop and Compost Storage Covers," *Agricultural Products-FLP Toptex*, 2015. [Online]. Available: <http://www.flexiblelining.co.uk/toptex-firewood-woodchip-crop-and-compost-storage-covers>. [Accessed: 27-Mar-2015].
- [118] Tencate, "Geosynthetics-Wood Chips Covers," *Agriculture/horticulture*, 2015. [Online]. Available: <http://www.tencate.com/emea/geosynthetics/applications/industrial-fabrics/agriculture-horticulture/wood-chips-covers.aspx>. [Accessed: 27-Mar-2015].
- [119] IDAE-Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, *Guía técnica Instalaciones de biomasa térmica en edificios*. Madrid, 2009.
- [120] J. Garcia Torrent, N. Fernandez Anez, L. Medic Pejic, and L. Montenegro Mateos, "Assessment of self-ignition risks of solid biofuels by thermal analysis," *Fuel*, vol. 143, pp. 484–491, 2015.
- [121] D. Palmer, I. Tubby, G. Hogan, and W. Rolls, "Biomass heating : a guide to medium scale wood chip and wood pellet systems," p. 22, 2011.
- [122] Fagor, "Calderas Biomasa," *Cálculo, acumulador de inercia o Buffer*, 2009. [Online]. Available: [http://www.fagorconfort.com/c/document\\_library/get\\_file?uuid=da1a291e-cda3-4d50-87e9-70ca792a357a&groupId=172634](http://www.fagorconfort.com/c/document_library/get_file?uuid=da1a291e-cda3-4d50-87e9-70ca792a357a&groupId=172634). [Accessed: 27-Apr-2015].
- [123] ETA, "Log Boiler 20-60 kW Installation," p. 52, 2012.
- [124] Carbon Trust, "Principles & Fundamentals of Biomass Boiler System Design," 2010.
- [125] Reflex Winkelmann GmbH, "reflex ' Buffer tank ' for hot water storage reflex ' Buffer tank ' An investment in the future," p. 12, 2012.
- [126] CK-Critical Kinetics, "CK-Prosumer\_1\_7\_2," Torres Novas, 2015.
- [127] ERSE-Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, "Preços de Referência no Mercado Liberalizado de Energia Elétrica e Gás Natural em Portugal Continental," Lisboa, Jan. 2015.
- [128] Y. A. Çengel, *Transferência de calor e massa*, 3ª Edição. S. Paulo: McGraw-Hill Interamarecina do Brasil, Lda, 2009.
- [129] Salvador Escoda S.A., "Cortinas de Aire," *El por qué de una cortina*, 2015. [Online]. Available: <http://www.salvadorescoda.com/tarifas/index.htm>. [Accessed: 15-May-2015].
- [130] Carbon Trust, "Health and safety in biomass systems Design and operation Guide," no. Combustion Engineering Association, pp. 20–30, 2011.
- [131] UK Pellet Council, "Recommendations for storage of wood pellets," *Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V. (DEPV) (German Wood Fuel and Pellet Association)*, Berlin, pp. 1–7, 2012.

- [132] Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, *Portaria 677/2009 de 23 de junho*. Portugal: Diário da República, 1<sup>a</sup> série-N<sup>o</sup> 119-23 de junho de 2009, 2009, pp. 4112–4116.
- [133] P. T. Bassene, S. Gaye, a Talla, V. Sambou, and D. Azilnon, “Experimental and modelling study of thin layer drying kinetics of pellets millet flour,” vol. 8, no. 28, pp. 3806–3813, 2013.
- [134] A. M. Ferreira, *Introdução ao Cloud Computing*, FCA-Editor. Lisboa: Cafilesa-Soluções Gráficas, Lda, 2015.
- [135] J. . C. L. J.A.Sánchez Molina, J.V. Reinoso, F.G. Acien, F. Rodríguez, “Development of a biomass-based system for nocturnal temperature and diurnal CO<sub>2</sub> concentration control in greenhouses,” *Elsevier*, vol. 67, pp. 60–71, 2014.
- [136] Assembleia da Republica, *Decreto-Lei n<sup>o</sup> 78/2004 de 3 de abril*. Portugal: Diário da República —I Série-A N<sup>o</sup> 80-3 de abril de 2004, 2004, pp. 2136–2149.
- [137] Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, *Portaria N<sup>o</sup> 80/2006 de 23 de janeiro*. Portugal: Diário da República —I Série-B N<sup>o</sup> 16-23 de janeiro de 2006, 2006, pp. 513–515.
- [138] Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, *Portaria N<sup>o</sup> 675/2009 de 23 de junho*. Portugal: Diário da República, 1<sup>a</sup> série-N<sup>o</sup> 119-23 de junho de 2009, 2009, pp. 4108–4111.
- [139] L. W. Rogers John, “Solar Power on the Rise,” *union concerned Sci.*, no. Agosto, pp. 1–16, 2014.

## **Anexo A**

### **Energia solar (efeito fotovoltaico)**



## - O efeito fotovoltaico

A primeira célula solar bem-sucedida foi feita a partir de silício cristalino (Si-c), o que ainda é de longe o mais utilizado como material de PV. Posto isto é, com base no Si-c que se explicam a seguir os conceitos que são relevantes, para o funcionamento do efeito fotovoltaico

De uma forma generalista pode-se afirmar que o efeito fotovoltaico é um fenómeno experimentado por certos materiais, que têm a capacidade de produzir corrente elétrica quando expostos à luz.

A descoberta deste efeito é bastante antiga sendo atribuída a *Alexandre Edmond Becquerel*.

Quando se constitui um cristal de silício, os átomos alinham-se segundo uma estrutura em teia, formando quatro ligações covalentes com quatro átomos vizinhos. Em cada ligação covalente, um átomo partilha um dos eletrões de valência com um dos eletrões de valência do átomo vizinho. Como resultado desta partilha de eletrões a banda de valência que pode conter até oito eletrões fica cheia. Os eletrões ficam presos na banda de valência e o átomo está estável. Para que os eletrões se desloquem têm de adquirir energia suficiente para passarem da banda de valência para a banda de condução. Esta energia é designada por hiato<sup>1</sup> que no caso do cristal de silício vale 1,12 eV. Quando um fotão da radiação solar contendo energia suficiente atinge um eletrão da banda de valência, este move-se para a banda de condução deixando um buraco<sup>2</sup> no seu lugar, o qual se comporta como uma carga positiva. Neste caso, diz-se que o fotão criou um par eletrão-buraco.

É sabido que uma célula fotovoltaica, exclusivamente constituída por cristais de silício puro não produziria energia elétrica. Os eletrões passariam da banda de condução, mas acabariam por se recombinar com os buracos, não dando origem a qualquer corrente elétrica.

Para que exista corrente elétrica é necessário um campo elétrico, isto é, uma diferença de potencial entre duas zonas da célula.

Através do processo conhecido como dopagem do silício, que consiste na introdução de elementos estranhos, com o objetivo de alterar as suas propriedades elétricas é possível criar duas camadas na célula: a camada tipo *p* e a camada tipo *n* que possuem respetivamente um excesso de cargas positivas e um excesso de cargas negativas relativamente ao silício puro.

---

<sup>1</sup> *Band gap energy*

<sup>2</sup> *Hole*

O boro é o dopante, normalmente utilizado para criar a região tipo  $p$ . O fósforo é o material para criar a região  $n$ . Um átomo de fósforo tem cinco elétrons na banda de valência, pelo que cria quatro ligações covalentes com os átomos de silício e deixa um elétron livre, que viaja através do material.

Um cristal dopado constitui um semicondutor e a região onde os dois materiais se encontram é designada por junção  $p-n$ . Na junção  $p-n$  cria-se um campo elétrico que separa os portadores de carga que a atingem. Nestas condições ligando terminais a um circuito que se fecha exteriormente através de uma carga circulará uma corrente elétrica unidirecional (DC) (Figura 1). Este efeito designado por efeito fotovoltaico, configura um modo de obter energia elétrica completamente diferente do convencional, dispensando o uso dos complexos geradores elétricos e dos problemas que lhe estão associados [39] [34] [135] .

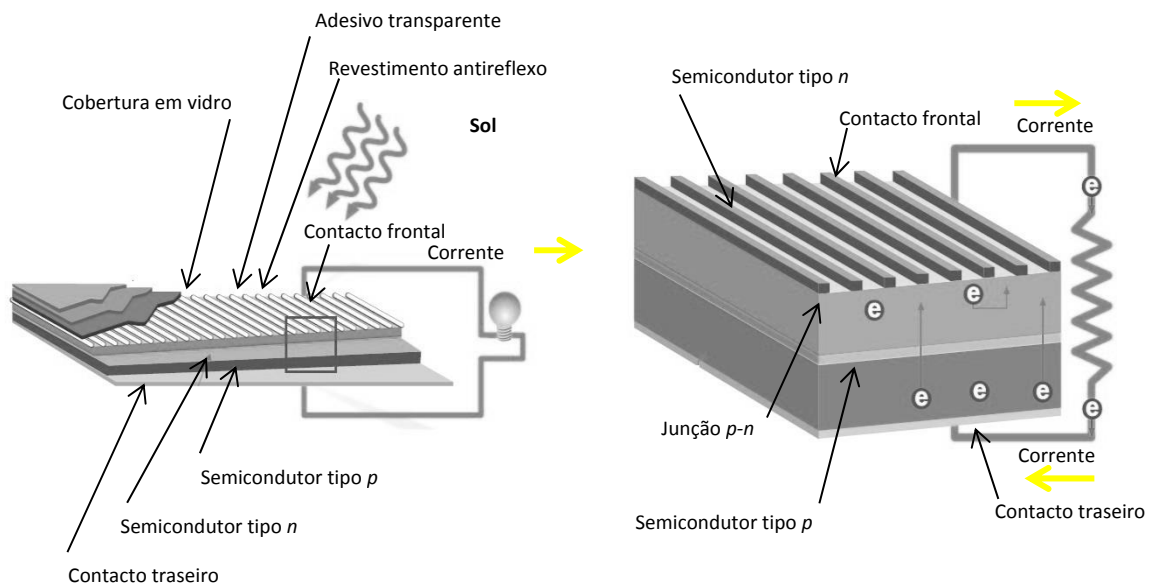


Figura 1 Princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica, semicondutores e junção  $p-n$  [139]

## **Anexo B**

**Resultados das análises a diversos parâmetros relacionados com a  
combustão da caldeira**



**- Resultados das análises à combustão da caldeira**

Os valores resultantes da análise à combustão da caldeira que ocorreu no dia 12 de fevereiro de 2015 resumem-se na (Tabela 1).

Tabela 1 Valores resultantes da análise à combustão da caldeira (Fonte: O autor)

Hora	Temperatura (° C)		O <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	NO <sub>x</sub> (mgm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (ppm)	NO (ppm)	η (%) Caldeira
	Gás Combustão	Ambiente							
10:19	208,5	14,5	6,24	>50.000	14,06	224	77	73	
10:34	238,2	16,2	12,71	50591	4,74	224	43	41	
10:35	235,5	16	9,64	528	10,79	294	78	74	
10:37	232,3	15,7	10,45	1272	9,97	291	71	68	
10:38	230,5	15,8	9,83	1337	10,55	287	75	71	
10:42	224,2	16	11,59	1716	8,85	293	64	61	
10:44	218,9	16,4	12,55	2476	7,89	278	55	52	
10:50	201,3	16,7	14	3374	6,46	265	43	41	
10:53	192,7	17,4	14,97	3653	5,72	232	33	31	74,9
10:59	175,7	16,7	16,12	3473	4,6	109	20	19	72
11:05	125,5	17,6	19,32	1629	1,56	200	13	12	49,5
11:08	146,6	17,3	7,28	>50.000	13,52	247	127	121	92,4
11:09	161,6	18	1,08	>50.000	19,64	347	259	247	93,8
11:12	182,3	17,6	3,5	54427	13,93	206	135	129	74,1
11:22	217,6	17,1	5,42	61503	11,6	128	75	71	67,2
11:30	241,3	18,6	2,01	20899	17,44	97	69	66	83,1
11:44	236,6	19,8	8,77	4527	11,78	128	59	56	83,6

A seguir estão impressos os valores debitados pelo equipamento de medição e que deram origem ao resumo da anterior tabela. Alguns valores relativos ao parâmetro η da caldeira estão em branco, por manifesta falha do equipamento de medição, que na altura ocorreu por razões técnicas sendo entretanto corrigidas, ao longo das restantes leituras.

**Leituras 1 - Análises à combustão da caldeira:**

V1. 28      testo 335 01535385/E		Protocolo:                    4/17 Iniciar:                        12. 02. 15 10:37:02
WWW. AMBITERMO. COM C. A. Q. D' ALESSANDRO Adoraflor - Alpiarça  Carpeta Ambitermo S. A. Z. Ind. Cantanhede 3060-197 Cantanhede-PORTUGAL Situação		232. 3°C      Temp. Gas. com 15. 7°C      TA 10. 45%      O2 1272ppm      CO 9. 97%      CO2 291mgm3      NOx 68ppm      NO -----%      REN 2532ppm      CO corregido 71ppm      NOx 0. 60l/min      Caudal bomba Combustible:      Lenha O2ref. :            0. 0% CO2max:           20. 0%
Protocolo:                    1/17 Iniciar:                        12. 02. 15 10:19:08		Protocolo:                    5/17 Iniciar:                        12. 02. 15 10:38:37
208. 5°C      Temp. Gas. com 14. 5°C      TA 6. 24%      O2 -----ppm      CO 14. 06%      CO2 224mgm3      NOx 73ppm      NO -----%      REN -----ppm      CO corregido 77ppm      NOx 0. 50l/min      Caudal bomba Combustible:      Lenha O2ref. :            0. 0% CO2max:           20. 0%		230. 5°C      Temp. Gas. com 15. 8°C      TA 9. 83%      O2 1337ppm      CO 10. 55%      CO2 287mgm3      NOx 71ppm      NO -----%      REN 2514ppm      CO corregido 75ppm      NOx 0. 60l/min      Caudal bomba Combustible:      Lenha O2ref. :            0. 0% CO2max:           20. 0%
Protocolo:                    2/17 Iniciar:                        12. 02. 15 10:34:33		Protocolo:                    6/17 Iniciar:                        12. 02. 15 10:42:17
238. 2°C      Temp. Gas. com 16. 2°C      TA 12. 71%      O2 50591ppm      CO 4. 74%      CO2 224mgm3      NOx 41ppm      NO -----%      REN -----ppm      CO corregido 43ppm      NOx 0. 50l/min      Caudal bomba Combustible:      Lenha O2ref. :            0. 0% CO2max:           20. 0%		224. 2°C      Temp. Gas. com 16. 0°C      TA 11. 59%      O2 1716ppm      CO 8. 85%      CO2 293mgm3      NOx 61ppm      NO -----%      REN 3830ppm      CO corregido 64ppm      NOx 0. 61l/min      Caudal bomba Combustible:      Lenha O2ref. :            0. 0% CO2max:           20. 0%
Protocolo:                    3/17 Iniciar:                        12. 02. 15 10:35:42		Protocolo:                    7/17 Iniciar:
235. 5°C      Temp. Gas. com		

**Leituras 2 - Análises à combustão da caldeira (continuação):**

Protocolo: 8/17  
Iniciar: 12.02.15 10:50:18

201.3°C Temp. Gas. com  
16.7°C TA  
14.00% O2  
3374ppm CO  
6.46% CO2  
265mgm3 NOx  
41ppm NO  
---% REN  
10122ppm CO corregido  
43ppm NOx  
0.60l/min Caudal bomba  
Combustible: Lenha  
O2ref.: 0.0%  
CO2max: 20.0%

Protocolo: 9/17  
Iniciar: 12.02.15 10:53:35

192.7°C Temp. Gas. com  
17.4°C TA  
14.97% O2  
3653ppm CO  
5.72% CO2  
232mgm3 NOx  
31ppm NO  
74.9% REN  
12722ppm CO corregido  
33ppm NOx  
0.60l/min Caudal bomba  
Combustible: Pellets  
O2ref.: 0.0%  
CO2max: 20.7%  
Oleod ---  
Número de opacidad: ---

Promedio : - - -

Protocolo: 10/17  
Iniciar: 12.02.15 10:59:08

175.7°C Temp. Gas. com  
16.7°C TA  
16.12% O2  
3473ppm CO  
4.60% CO2  
109mgm3 NOx  
19ppm NO  
72.0% REN  
14945ppm CO corregido  
20ppm NOx  
0.60l/min Caudal bomba  
Combustible: Pellets  
O2ref.: 8.0%  
CO2max: 20.7%  
Oleod ---  
Número de opacidad: ---

Promedio : - - -

Protocolo: 11/17  
Iniciar: 12.02.15 11:05:16

125.5°C Temp. Gas. com  
17.6°C TA  
19.32% O2  
1629ppm CO  
1.56% CO2  
200mgm3 NOx  
12ppm NO  
49.5% REN  
20363ppm CO corregido  
13ppm NOx  
0.60l/min Caudal bomba  
Combustible: Pellets  
O2ref.: 8.0%  
CO2max: 20.7%  
Oleod ---  
Número de opacidad: ---

Promedio : - - -

Protocolo: 12/17  
Iniciar: 12.02.15 11:08:18

146.6°C Temp. Gas. com  
17.3°C TA  
7.28% O2  
---ppm CO  
13.52% CO2  
247mgm3 NOx  
121ppm NO  
92.4% REN  
---ppm CO corregido  
127ppm NOx  
0.58l/min Caudal bomba  
Combustible: Pellets  
O2ref.: 8.0%  
CO2max: 20.7%  
Oleod ---  
Número de opacidad: ---

Promedio : - - -

**Leituras 3 - Análises à combustão da caldeira (continuação):**

Protocolo:	13/17	Protocolo:	16/17
Iniciar:	12.02.15 11:09:20	Iniciar:	12.02.15 11:30:42
161.1°C	Temp. Gas. com	241.3°C	Temp. Gas. com
18.0°C	TA	18.6°C	TA
1.08%	O2	2.01%	O2
---	CO	20899ppm	CO
19.64%	CO2	17.44%	CO2
347mgm3	NOx	97mgm3	NOx
247ppm	NO	66ppm	NO
93.8%	REN	83.1%	REN
---	CO corregido	23111ppm	CO corregido
259ppm	NOx	69ppm	NOx
0.61l/min	Caudal bomba	0.59l/min	Caudal bomba
Combustible:	Pellets	Combustible:	Pellets
O2ref.:	8.0%	O2ref.:	8.0%
CO2max:	20.7%	CO2max:	20.7%
Oleod	---	Oleod	---
Número de opacidade:	---	Número de opacidade:	---
Promedio :	-	Promedio :	-
Protocolo:	14/17	Protocolo:	17/17
Iniciar:	12.02.15 11:12:23	Iniciar:	12.02.15 11:44:40
182.3°C	Temp. Gas. com	236.6°C	Temp. Gas. com
17.6°C	TA	19.8°C	TA
3.50%	O2	8.77%	O2
54427ppm	CO	4527ppm	CO
13.93%	CO2	11.78%	CO2
206mgm3	NOx	128mgm3	NOx
129ppm	NO	56ppm	NO
74.1%	REN	83.6%	REN
65312ppm	CO corregido	7773ppm	CO corregido
135ppm	NOx	59ppm	NOx
0.50l/min	Caudal bomba	0.60l/min	Caudal bomba
Combustible:	Pellets	Combustible:	Pellets
O2ref.:	8.0%	O2ref.:	8.0%
CO2max:	20.7%	CO2max:	20.7%
Oleod	---	Oleod	---
Número de opacidade:	---	Número de opacidade:	---
Promedio :	-	Promedio :	-
Protocolo:	15/17	Técnico-Armando Oliveira	
Iniciar:	12.02.15 11:22:57		
217.6°C	Temp. Gas. com		
17.1°C	TA		
5.42%	O2		
61503ppm	CO		
11.60%	CO2		
128mgm3	NOx		
71ppm	NO		
67.2%	REN		
32899ppm	CO corregido		
75ppm	NOx		
0.53l/min	Caudal bomba		
Combustible:	Pellets		
O2ref.:	8.0%		
CO2max:	20.7%		
Oleod	---		
Número de opacidade:	---		
Promedio :	-		

**Emissões gasosas (resultados)**

As emissões gasosas realizaram-se no dia 20 de março de 2015, sendo os parâmetros avaliados suportados por normas reconhecidas internacionalmente. As medições tiveram como principal objetivo, a verificação do cumprimento legal, para as emissões atmosféricas: Decreto Lei nº 78/2004; Portaria 80/2006; Portaria 675/2009; Portaria 677/2009) [136];[137]; [138];[132].

Os ensaios e respetivos métodos associados à determinação dos parâmetros avaliados foram os constantes da (Tabela 2) [99].

Tabela 2 Parâmetros e métodos de ensaio associados (Baseado em: [99])

Ensaio	Método de ensaio	Data de determinação
Velocidade e caudal volumétrico	NP ISO 10780	
Compostos orgânicos totais e voláteis	EN 13526	
CO, CO <sub>2</sub> E O <sub>2</sub> método automático	ITT 33	20-03-2015
NO <sub>x</sub> método automático	ITT 33	
SO <sub>2</sub> método automático	ITT 33	
H <sub>2</sub> O método gravimétrico	ITT02 (EPA 4)	
PTS método gravimétrico	ITT32 8EPA 5)	25-03-2015
H <sub>2</sub> S titulometria	ITT 39 (NP 4340)	31-03-2015

Os valores obtidos foram corrigidos de acordo com o Decreto Lei nº 78/2004 de 3 de abril para as condições PTN: 101,325 (kPa) e 273,15 (K). As condições ambientais na altura das medições foram as seguintes [136]:

- Temperatura ambiente: 14,3 (°C);
- Pressão ambiente: 100,8 (kPa)

Os valores obtidos para a caracterização do escoamento na secção de amostragem (chaminé) correspondem aos indicados na (Tabela 3) [99].

Tabela 3 Valores relativos ao escoamento da secção de amostragem (Baseado em: [99])

Parâmetro	Média
Temperatura média (°C)	84 ± 4
Temperatura média (K)	357 ± 4
Pressão do efluente (Pa)	130.820 ± 1.511
Velocidade de escoamento (m/s)	6,1 ± 0,2
Pressão diferencial (Pa)	34,0 ± 0,5
Caudal efetivo (m <sup>3</sup> /h)	4.855 ± 283
Caudal volúmico seco (Nm <sup>3</sup> /h)	4.365 ± 256
Massa molecular húmida (g/mol)	29,6 ± 0,1
H <sub>2</sub> O (%)	8,9 ± 0,3

Os resultados das medições realizadas aos diversos parâmetros resumem-se na (Tabela 4) [99].

Tabela 4 Análise às emissões gasosas da caldeira (Baseado em: [99])

O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	COV (ppm)		PTS (mg/Nm <sup>3</sup> .11% de O <sub>2</sub> )
10,34	13,61	239	198	2	200	200	185	
10,58	13,69	208	199	1	201	208	187	
10,56	13,75	187	200	3	205	205	205	
10,12	14,17	174	201	3	205	200	202	
8,65	15,02	152	234	2	240	190	200	
7,85	15,65	160	237	3	241	182	194	
7,59	16,53	206	215	3	217	180	186	
5,11	16,64	239	233	6	238	188	183	
5,44	16,56	233	238	8	239	190	180	
5,45	16,5	189	240	3	243	196	176	141±4
6,09	16,15	178	242	4	244	200	174	
6,29	16,01	151	245	4	247	206	181	
6,79	15,9	146	243	4	248	203	179	
6,85	15,81	154	240	5	242	202	192	
4,25	17,24	301	217	13	219	194	190	
3,94	17,2	296	215	13	217	190	197	
8,75	14,83	239	185	33	187	189	203	
8,3	15,04	227	184	32	188	190	200	
8,14	15,16	227	185	31	186			
8,41	14,89	208	180	29	185			
8,5	14,73	231	182	32	183			
9,39	14,32	235	179	30	182			

Nota: Nas concentrações do parâmetro COV, os valores da coluna à direita referem-se a valores limite.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir o seguinte:

- As concentrações medidas para os parâmetros requeridos são inferiores aos VLE<sup>1</sup> estabelecidos na Portaria 677/2009, de 23 de Junho, exceto a concentração de COV<sup>2</sup> que ultrapassa o VLE [132];
- Os caudais mássicos são inferiores aos limiares mínimos, exceto o caudal mássico de PTS<sup>3</sup> que se encontra entre os limiares mínimo e máximo mássicos, estipulados na Portaria 80/2006, de 23 de Janeiro [137];
- A velocidade de escoamento dos gases na secção de amostragem cumpre o estabelecido no Artigo 29º (a velocidade de saída dos gases, em regime de funcionamento normal da instalação, deve ser, pelo menos 6 m/s, se o caudal ultrapassar 5.000 m<sup>3</sup>/h, ou 4 m/s, se o caudal for inferior ou igual a 5.000 m<sup>3</sup>/h) Decreto-lei 78/2004 de 3 de Abril [136].

<sup>1</sup> Valores limite de emissão

<sup>2</sup> Compostos orgânicos voláteis

<sup>3</sup> Partículas

## **Anexo C**


**Resultados das análises ao poder calorífico das biomassas de madeira de oliveira e de pinho e a *pellets* de bagaço de azeitona. Análise às cinzas devido à queima desta biomassa na caldeira**



- Resultados das análises ao poder calorífico das biomassas: madeira de oliveira, pinho e de *pellets* de bagaço de azeitona. Análise às cinzas resultantes da queima de madeira na caldeira.

A seguir estão impressos os boletins com os resultados das análises ao poder calorífico e outros compostos das biomassas: madeira de oliveira, de pinho e dos *pellets* de bagaço de azeitona, assim como análise às cinzas resultantes da queima de madeira na caldeira.

**Análise ao poder calorífico e humidade da madeira de oliveira:**

 <p>SISAV - SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMENTO E ELIMINAÇÃO DE RE Rua Cabeço do Seixo Eco Parque do Relvão 2140-671 CARREGUEIRA Tel: 249000500 Fax No: 249000509 E-Mail: geral@sisav.pt NIF: 507461150 www.sisav.pt</p>	<p><b>Boletim de Análise</b></p> <p><b>ANI-1501331/001</b></p>
Pagina 1 de 1	

**IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE:**

<b>EMPRESA/PRODUTOR:</b> SISAV, SA	<b>NIF:</b> 507461150
<b>MORADA:</b> Rua Cabeço do Seixo Ecoparque do Relvão 2140-671 Carregueira	
<b>CONTACTO:</b> Eng.ª Lina Raimundo	
<b>TELEFONE:</b> 249000500 <b>FAX:</b> 249000509	<b>E-MAIL:</b> geral@sisav.pt

**IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA:**

<b>REFERÊNCIA INTERNA:</b> AMS-150403	<b>DATA DE ENTRADA:</b> 26-02-15
<b>PRODUTO/AMOSTRA:</b> Madeira de raiz de Oliveira	
<b>LOCAL DE COLHEITA:</b> ADORAFLO	
<b>RESPONSÁVEL PELA COLHEITA:</b> EXTERNO	<b>DATA DA COLHEITA:</b> 26-02-15

Ensaio	Resultado	Método Analítico	Valor Limite
Perda a 105 °C	18 % (m/m)	SMEWW 2540 B	
Poder Calorífico Superior	4,0E+03 kcal/kg	ASTM D 240	
Poder Calorífico Inferior	3,9E+03 kcal/kg	ASTM D 240	

O Responsável do Laboratório




**Data:** 16-03-15

Os excedentes das amostras são conservados no Laboratório durante o período legal exigido. Os excedentes de controlo de processo são mantidos durante 2 dias úteis e os rest 10 dias úteis, após a data de emissão dos Boletins de Análise. Decorrido o período estabelecido são inutilizados, excepto em caso de reclamação técnica ou a pedido do cliente. Dispõe-se de um procedimento para sugestões/reclamações, o qual é disponibilizado ao cliente, a seu pedido, dando-se, contudo, seguimento a todas as exposições, independentemente da forma como são apresentadas.

Os resultados que constam neste Boletim referem-se exclusivamente à amostra analisada.  
Este documento só pode ser reproduzido na íntegra.

IMP.021.04

**Análise ao poder calorífico e humidade da madeira de pinho:**

 <p>SISAV - SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMENTO EELIMINAÇÃO DE RE                  Rua Cabeço do Seixo Eco Parque do Relvão                  2140-671 CARREGUEIRA                  Tel.: 249000500/Fax No.:249000509                  E-Mail: geral@sisav.pt                  NIF: 507461150                  www.sisav.pt</p>	<p><b>Boletim de Análise</b></p> <p><b>ANI-1501334/001</b></p>
<p>Página 1 de 1</p>	

**IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE:**

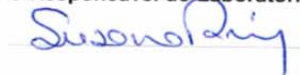
<b>EMPRESA/PRODUTOR:</b> SISAV,SA		<b>NIF:</b> 507461150
<b>MORADA:</b>	Rua Cabeço do Seixo Ecoparque do Relvão	
	2140-671 Carregueira	
<b>CONTACTO:</b>	Eng.ª Lina Raimundo	
<b>TELEFONE:</b> 249000500	<b>FAX:</b> 249000509	<b>E-MAIL:</b> geral@sisav.pt

**IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA:**

<b>REFERÊNCIA INTERNA:</b> AMS-150406	<b>DATA DE ENTRADA:</b> 26-02-15
<b>PRODUTO/AMOSTRA:</b> Madeira de Pinho	
<b>LOCAL DE COLHEITA:</b> ADORAFLORE	
<b>RESPONSÁVEL PELA COLHEITA:</b> EXTERNO	<b>DATA DA COLHEITA:</b> 26-02-15

Ensaio	Resultado	Método Analítico	Valor Limite
Perda a 105 °C	29 % (m/m)	SMEWW 2540 B	
Poder Calorífico Superior	4,1E+03 kcal/kg	ASTM D 240	
Poder Calorífico Inferior	3,9E+03 kcal/kg	ASTM D 240	

**O Responsável do Laboratório**




**Data:** 16-03-15

Os excedentes das amostras são conservados no Laboratório durante o período legal exigido. Os excedentes de controlo de processo são mantidos durante 2 dias úteis e os rest 10 dias úteis, após a data de emissão dos Boletins de Análise. Decorrido o período estabelecido são inutilizados, excepto em caso de reclamação técnica ou a pedido do cliente. Dispõe-se de um procedimento para sugestões/reclamações, o qual é disponibilizado ao cliente, a seu pedido, dando-se, contudo, seguimento a todas as exposições, independ forma como são apresentadas.

Os resultados que constam neste Boletim referem-se exclusivamente à amostra analisada.  
 Este documento só pode ser reproduzido na íntegra.

IMP.021.04

**Análise 1 ao poder calorífico e humidade da biomassa de *pellets* de bagaço de azeitona:**

 <p>SISAV - SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMENTO E ELIMINAÇÃO DE RE Rua Cabeço do Seixo Eco Parque do Relvão 2140-671 CARREGUEIRA Tel.: 249000500/Fax No.: 249000509 E-Mail: geral@sisav.pt NIF: 507461150 www.sisav.pt</p>	<p><b>Boletim de Análise</b></p> <p><b>ANI-1501333/001</b></p>
	Pagina 1 de 1

**IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE:**

<b>EMPRESA/PRODUTOR:</b> SISAV,SA	<b>NIF:</b> 507461150
<b>MORADA:</b> Rua Cabeço do Seixo Eco Parque do Relvão 2140-671 Carregueira	
<b>CONTACTO:</b> Eng.ª Lina Raimundo	
<b>TELEFONE:</b> 249000500	<b>FAX:</b> 249000509
	<b>E-MAIL:</b> geral@sisav.pt

**IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA:**

<b>REFERÊNCIA INTERNA:</b> AMS-150405	<b>DATA DE ENTRADA:</b> 26-02-15
<b>PRODUTO/AMOSTRA:</b> Carço de Azeitona	
<b>LOCAL DE COLHEITA:</b> ADORAFLOR	
<b>RESPONSÁVEL PELA COLHEITA:</b> EXTERNO	<b>DATA DA COLHEITA:</b> 26-02-15

Ensaio	Resultado	Método Analítico	Valor Limite
Água	10 % (v/v)	ASTM D 95	
Poder Calorífico Superior	4,3E+03 kcal/kg	ASTM D 240	
Poder Calorífico Inferior	4,3E+03 kcal/kg	ASTM D 240	

**O Responsável do Laboratório**




**Data:** 16-03-15

Os excedentes das amostras são conservados no Laboratório durante o período legal exigido. Os excedentes de controlo de processo são mantidos durante 2 dias úteis e os rest 10 dias úteis, após a data de emissão dos Boletins de Análise. Decorrido o período estabelecido são inutilizados, excepto em caso de reclamação técnica ou a pedido do cliente. Dispõe-se de um procedimento para sugestões/reclamações, o qual é disponibilizado ao cliente, a seu pedido, dando-se, contudo, seguimento a todas as exposições, independentemente da forma como são apresentadas.

Os resultados que constam neste Boletim referem-se exclusivamente à amostra analisada.  
Este documento só pode ser reproduzido na íntegra.

IMP.021.04

**Análise 2 ao poder calorífico e outros compostos da biomassa de pellets de bagaço de azeitona:**

 INSTITUTO POLITÉCNICO de PORTALEGRE ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO	<b>BOLETIM DE ENSAIO          BIOMASSA</b>  Laboratório de Química e Bioquímica	Número de registo:	ESTG.LQB.5.6.3-Rev.0
		Página:	1/2

**BOLETIM DE ENSAIO N.º 2015 /PR0006**

**Requisitante:** Adelino Nabais – Instituto Politécnico de Leiria  
 Rua Alto dos Mouratos; Lote 3, 1ª frente; 2440-042 Batalha.

**Identificação da Amostra:** PR0006-2015

**Tipo de Amostra:** Biomassa –Pellets de Bagaço de azeitona

**Local de Amostragem:** -

**Data da Amostragem:** -

**Hora da Amostragem:** --:-- H

**Amostragem da Responsabilidade do Cliente**

**Data de Receção da Amostra:** 1-6-2015

**Data de Início do Ensaio:** 1-6-2015

**Data de Conclusão do Ensaio:** 16-6-2015

Parâmetros*	Resultado	Unidades	Método/Norma	
Teor de Humidade:	14,1	%	Secagem a 105 °C seguida de pesagem	
Teor de Humidade:	7,6	%	Análise Termogavimétrica	
Teor de Cinza	9,9	%	Calcinação do resíduo a 550°C e pesagem do mesmo.	
Teor de Voláteis	60,9	%	Análise Termogavimétrica	
Teor de Carbono fixo	21,6	%	Método de cálculo (diferença entre a análise termogravimetria e a pesagem do resíduo calcinado)	
PCS (Poder Calorífico Superior)	17,9	kJ/g em base húmida	Calorimetria	
PCS (Poder Calorífico Superior)	-	kJ/g em base Seca	Calorimetria	
Teor de Metais**	Si	49,2	%	XRF (analisador de fluorescência de Raios X)
Análise Elementar	N	1,6	%	Analisador Elementar
	C	43,9	%	
	H	5,7	%	
	S	n.d.	%	
	O	Restante	%	Método de Cálculo

\* Parâmetros não acreditados; n.d. - Não detetado

**Observações:**

\*\* O teor de metais apresentado resulta de uma análise às cinzas.

Outros Resultados:

- 1 - Densidade Aparente – 1250 Kg/m<sup>3</sup>
- 2 - Densidade a granel (“Bulk Density”) – 590 Kg/m<sup>3</sup>
- 3 - Poder Calorífico Inferior – 16,3 kJ/g (método de cálculo)
- 4- Teor em Cloretos – 3,5 g/Kg

Lugar da Abadessa | Apartado 148 | 7301-901 Portalegre  
 Telef. 245 300 200 | Fax 245 300 230  
 www.estgp.pt | estg@estgp.pt

ESTG.LQB.5.6.3-Rev.01



**Análise 3 ao poder calorífico e outros compostos da biomassa de *pellets* de bagaço de azeitona:**

Resultados dos ensaios realizados a duas amostras de peletes de Bagaço de azeitona extractado recolhidas em períodos distintos (Agosto e Outubro)

PARÂMETRO	RESULTADO		UNIDADE	MÉTODO
	Amostra recolhida em Agosto	Amostra recolhida em Outubro		
Humidade total <sub>tq</sub>	7,9	11,5	%	EN 14774-1
Cinzas <sub>bs</sub>	5,3	5,0	%	EN 14775
Azoto <sub>bs</sub>	2,1	2,0	%	EN 15104
Oxigénio	n.d.	32,4	%	EN 15296
Carbono <sub>bs</sub>	51,8	52,1	%	EN 15104
Enxofre <sub>bs</sub>	0,15	0,14	%	EN 15289
Hidrogénio <sub>bs</sub>	7,2	8,4	%	EN 15104
Cloro <sub>bs</sub>	0,13	0,13	%	EN 15289
Matéria volátil <sub>bs</sub>	5,7	n.d	%	EN 15148
Poder calorífico superior - PCS <sub>v,bs</sub>	21,71	21,48	MJ/kg	EN 14918
Poder calorífico inferior - PCI <sub>p,bs</sub>	20,16	19,67	MJ/kg	EN 14918
Poder calorífico inferior - PCI <sub>p,tq</sub>	18,38	17,13	MJ/kg	EN 14918
Densidade aparente <sub>tq</sub>	663	644	kg/m <sup>3</sup>	EN 15103
Durabilidade mecânica	97,6	98,6	%	EN 15210-1

*Nota: tq – tal qual recebida; bs – base seca*

Com os melhores cumprimentos,

Teresa Almeida  
 CBE - Centro da Biomassa para a Energia  
 Zona Industrial Valfeijão  
 3220-119 MIRANDA DO CORVO  
 PORTUGAL

**Análise às cinzas devido à queima de biomassa de madeira de oliveira e de pinho, na caldeira:**

 <b>SISAV</b> SISAV - SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMENTO EELIMINAÇÃO DE RE Rua Cabeço do Seixo Eco Parque do Relvão 2140-671 CARREGUEIRA Tel : 249000500 Fax No. 249000509 E-Mail: geral@sisav.pt NIF: 507461150 www.sisav.pt	<b>Boletim de Análise</b>  <b>ANI-1500963/002</b>
Pagina 1 de 2	

**IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE:**

<b>EMPRESA/PRODUTOR:</b> SISAV,SA	<b>NIF:</b> 507461150
<b>MORADA:</b> Rua Cabeço do Seixo Ecoparque do Relvão 2140-671 Carregueira	
<b>CONTACTO:</b> Eng.ª Lina Raimundo	
<b>TELEFONE:</b> 249000500 <b>FAX:</b> 249000509 <b>E-MAIL:</b> geral@sisav.pt	

**IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA:**

<b>REFERÊNCIA INTERNA:</b> AMS-150329	<b>DATA DE ENTRADA:</b> 11-02-15
<b>PRODUTO/AMOSTRA:</b> Cinzas de Caldeira	
<b>LOCAL DE COLHEITA:</b> ADORAFLORE	
<b>RESPONSÁVEL PELA COLHEITA:</b> EXTERNO	<b>DATA DA COLHEITA:</b> 11-02-15


Ensaio	Resultado	Método Analítico	Valor Limite
Caracterização da amostra:	Cinzas de cor castanha		
Perda a 105 °C	4,0 % (m/m)	SMEWW 2540 B	
Perda por ignição	2,9 % (m/m)	SMEWW 2540 G	
Antimónio	< 4 mg/kg Sb (LQ)	Subcontratado	
Arsénio	23 mg/kg As	Subcontratado	
Bário	300 mg/kg Ba	Subcontratado	
Cádmio	< 0,4 mg/kg Cd (LQ)	Subcontratado	
Chumbo	< 13 mg/kg Pb (LQ)	Subcontratado	
Cobre	60 mg/kg Cu	Subcontratado	
Crómio	33 mg/kg Cr	Subcontratado	
Mercúrio	< 0,05 mg/kg Hg (LQ)	Subcontratado	
Níquel	7,6 mg/kg Ni	Subcontratado	
Selénio	< 4 mg/kg Se (LQ)	Subcontratado	
Zinco	81 mg/kg Zn	Subcontratado	
Molibdénio	< 1,5 mg/kg Mo (LQ)	Subcontratado	
Berílio	0,68 mg/kg Be	Subcontratado	
Cobalto	4,0 mg/kg Co	Subcontratado	

Os resultados que constam neste Boletim referem-se exclusivamente à amostra analisada.  
Este documento só pode ser reproduzido na íntegra.

IMP.021.04



**Análise às cinzas devido à queima de biomassa de madeira de oliveira e de pinho, na caldeira (continuação):**

 <p>SISAV - SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMENTO EELIMINAÇÃO DE RE Rua Cabeço do Seixo Eco Parque do Relvão 2140-671 CARREGUEIRA Tel. 249000500/Fax No. 249000509 E-Mail geral@sisav.pt NIF: 507461150 www.sisav.pt</p>	<p><b>Boletim de Análise</b> <b>ANI-1500963/002</b></p>
---	---

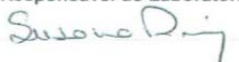
Pagina 2 de 2

Ensaio	Resultado	Método Analítico	Valor Limite
Estanho	< 6 mg/kg Sn (LQ)	Subcontratado	
Vanádio	13 mg/kg V	Subcontratado	

**Observações:**

LQ - Limite de Quantificação

O Responsável do Laboratório



Data: 13-02-15

Os excedentes das amostras são conservados no Laboratório durante o período legal exigido. Os excedentes de controlo de processo são mantidos durante 2 dias úteis e os rest 10 dias úteis, após a data de emissão dos Boletins de Análise. Decorrido o período estabelecido são inutilizados, excepto em caso de reclamação técnica ou a pedido do cliente. Dispõe-se de um procedimento para sugestões/reclamações, o qual é disponibilizado ao cliente, a seu pedido, dando-se, contudo, seguimento a todas as exposições, independ forma como são apresentadas.

Os resultados que constam neste Boletim referem-se exclusivamente à amostra analisada.  
Este documento só pode ser reproduzido na íntegra.

IMP.021.04



## **Anexo D**

**Catálogo da caldeira para a produção de água quente, para aquecimento ambiente das estufas**



- Catálogo da caldeira instalada (CSA 2000)



C.da Cerreto, 55 - 66010 MIGLIANICO (CH) - Italy Tel. (+39) 0871/950329 Fax (+39) 0871/950687  
<http://www.caldaiedalessandro.it> e-mail: [info@caldaiedalessandro.it](mailto:info@caldaiedalessandro.it)



Wood-based biomass heat generator

Series CS / **CSA**  
Models from 130 to 2000

**USE AND MAINTENANCE GUIDE**

Ver. 2.0 - QCSA2000XEN0209



## 2. SAFETY AND RESIDUAL RISKS

### 2.1 Risks connected to the use of the machine

The generator is built in compliance with the main safety requirements laid down in the European Directives.

The European and National Standards concerning the safety of this type of machine have been considered during the design stage, taking the state of the art into account.

However, hazardous situations may arise in case:

**The generator is used improperly.**

**The generator is installed by non-qualified personnel.**

**Instructions regarding safety contained in this manual are not complied with.**

### 2.2 Residual risks

The generator has been designed and built in compliance with all the current applicable Safety Standards. Although every possible risk has been considered, it is possible that besides the risks deriving from improper use, the following risks may occur:



#### **BURNING HAZARD**

When starting the firebox, accessing the inspection doors or cleaning while the firebox is not completely off.



#### **ELECTROCUTION HAZARD**

The generator is connected to and controlled by an electrical panel equipped with all the protection devices against overloads and short circuits. To protect against the indirect contacts, we recommend powering the panel with a line protected by **differential switch** with intervention threshold not higher than 30 mA.



#### **HAND INJURY HAZARD**

During cleaning or maintenance operations on the fuel feeding screw.



#### **FINGER INJURY HAZARD**

During control and maintenance operations on chain transmission components located in correspondence of the gearmotor.



#### **SUSPENDED LOAD HAZARD**

During generator transport and handling operations



#### **ASPHYXIATION HAZARD**

in case of inadequate fume evacuation (draught). We recommend periodically cleaning the generator flue, tube nest and firebox thoroughly.



#### **PROTECTIVE GLOVES ARE MANDATORY**

Protective gloves must be used during all maintenance and cleaning operations.



### 3. TECHNICAL FEATURES AND DIMENSIONS

#### 3.1 Generator operation illustration

"Marina" type generator with three flue passes for the production of hot water for residential and industrial central heating. The operation of the "CS" generator is described in *fig.3.1.A*, while *fig.3.1B* describes the operation of the "CSA" generator.

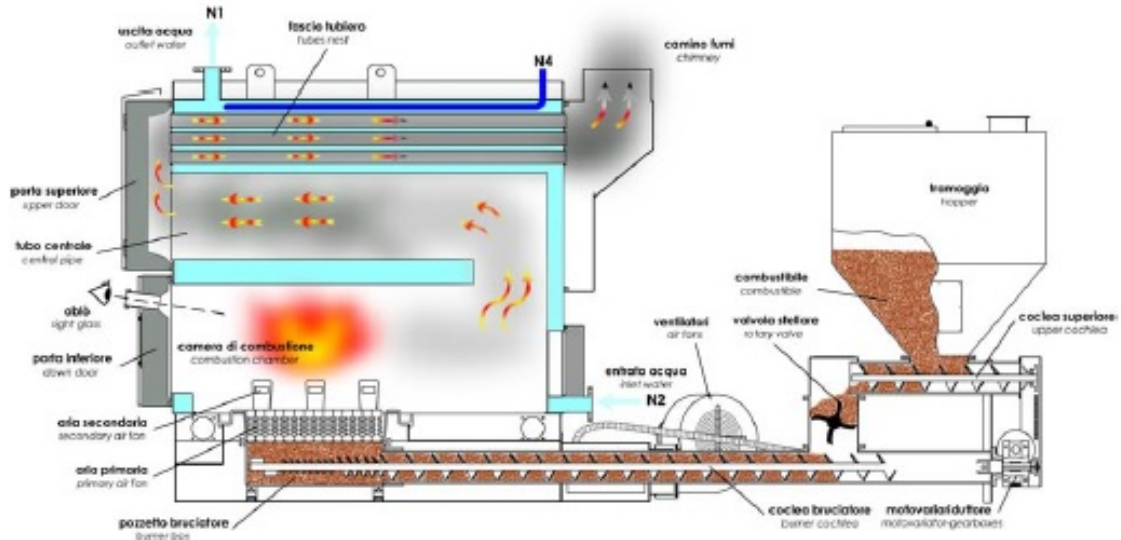


fig. 3.1.A

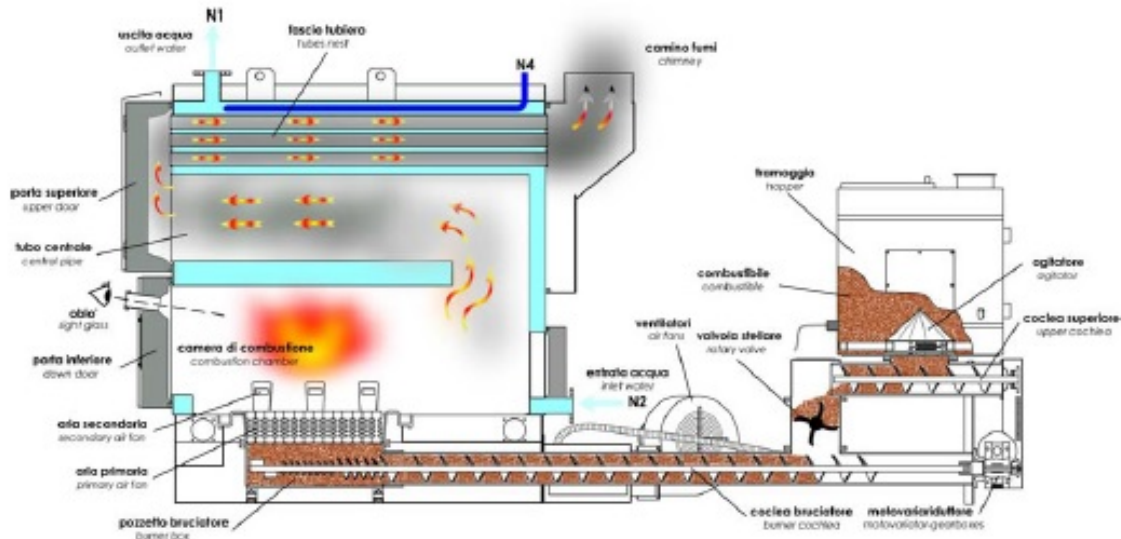


fig. 3.1.B

BOILER MODELS	CSA130	CSA180	CSA230	CSA300	CSA400	CSA500	CSA650	CSA800	CSA950	CSA1300	CSA1650	CSA2000
	Nominal power (kW)	130	180	230	300	400	500	650	800	950	1300	1650
Fuelbox power supply (kW)	154	212	271	353	470	598	765	941	1118	1530	1940	2355
Max. working pressure (bar)	3											
hydraulic test pressure (bar)	4.5											
Max. working temperature (°C)	90											
Mains voltage (V)	380											
electrical utility consumption (options excluded) (kWh)	1.4											
Normal fuel consumption (Kg/h)	31.42	44.48	55.3	72.04	95.91	120	156.12	192.04	228.16	312.24	395.91	480.61
	480											
Hopper volume (dcm³)	480											
Hopper autonomy (normal consumption) (h/min)	9.15	6.30	5.15	4.00	3.00	2.20	2.00	1.45	1.30	2.45	2.15	1.45
Water side pressure drop (mbar)	230											
Pump activation minimum temperature (°C)	40											
Boiler water content (L.)	450	580	740	1015	1250	1485	1920	2330	2735	4300	4970	5650
Average fume temperature (clean boiler) (°C)	180 (±20%)											
Min. flue draught depression (Pa)	-20											
Max. flue draught depression (Pa)	-42	-45	-47	-50	-52	-54	-56	-58	-60	-62	-64	-66
Flue diameter (mm)	290											
Fume capacity (180°C) (m³/h)	385	545	680	885	1185	1480	1920	2365	2805	3840	4870	5910
Combustion chamber volume (dcm³)	350	467	584	800	996	1195	1580	1936	2290	3850	4520	5190
Combustion chamber opening dim. L x H (mm)	730x460											
Boiler unladen weight (tolerance ± 5%) (Kg)	1400	1600	1800	2500	2850	3200	5400	5950	6500	9750	11000	12400

Note: The "normal consumption" line indicates the required amount of fuel to feed the generator Fuel LCP (lower calorific power) equal to 17.6 MJ (4.9 kWh/kg) as in Prospect 8 of the standard EN303-5 for test fuel "C".

tab. 3.3.2



## 4. FUELS

### 4.1 Fuels used with the CS model

crushed solid fuel based on wood can be used, such as:

- wooden pellets
- crushed almond, walnut and hazel nut shells
- exhaust olive residues
- crushed olive stones
- crushed peach, apricot and other similar stones

### 4.2 Fuels used with the CSA model

Organic crushed and flaked solid fuel can be used, such as:

- wooden pellets
- crushed almond, walnut and hazel nut shells
- exhaust olive residues
- crushed olive stones
- crushed peach, apricot and other similar stones
- woodchips with flakes of the following maximum dimensions: width 2 cm, length 3 cm, thickness 1 cm
- sawdust
- chips and woodwork scraps with the following maximum dimensions: width 2 cm, length 3 cm, thickness 1 cm

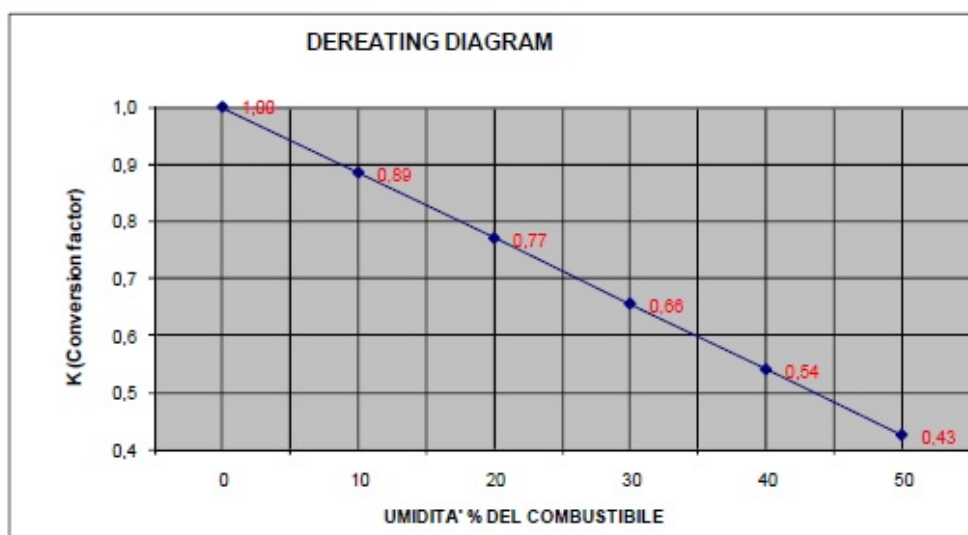


### 4.3 Other fuels

For fuels not included in sections 4.1 and 4.2, please contact our technical office.

### 4.3 Derating diagram

The nominal power of D'ALESSANDRO TERMOMECCANICA generators is guaranteed with a biomass relative humidity under 30%. For biomasses with higher humidity, refer to the power derating table below.





**ELECTROMECHANICAL PANEL** controls the generator and is equipped with timers for keeping the embers in the firebox in order to ensure subsequent start-ups.

**ELECTROMECHANICAL AND ELECTRONIC PANEL**  
For automatic fuel injection, maintaining the firebox on and adjusting the flames.



**ELECTROMECHANICAL AND ELECTRONIC PANEL WITH LAMBDA PROBE**  
For automatic fuel injection, maintaining the firebox on and adjusting the flames and for controlling combustion by means of a lambda probe.

**ASH EXTRACTION DEVICE** allows carrying out 50-60% of ash removal operations in the combustion chamber.



**REFRACTORY PANELS FOR COMBUSTION CHAMBER** Allow heat retention and promote a better combustion.

## **Anexo E**

**Elementos complementares, para implantação do sistema de autoconsumo em fotovoltaico**



**- Implantação de sistema de autoconsumo em fotovoltaico**

**Análise energética**

Considerando o previsível aumento de consumo e a instalação de um sistema fotovoltaico em autoconsumo, o que implica um esforço financeiro significativo interessa fornecer indicadores claros e perceptíveis. Com este intuito cruzaram-se dados que englobam, os consumos de energia consumida nas estufas e a produção esperada do sistema fotovoltaico. Desta análise pretende-se fazer uma perspetiva real para que os resultados sejam próximos do previsto. Assim, para uma análise mais realista do que será o autoconsumo da instalação elaborou-se o gráfico diário, das 00:00 às 24:00, correspondente ao acumulado dos consumos e de energia em autoconsumo, considerando todos os dias de um ano (Figura 1).

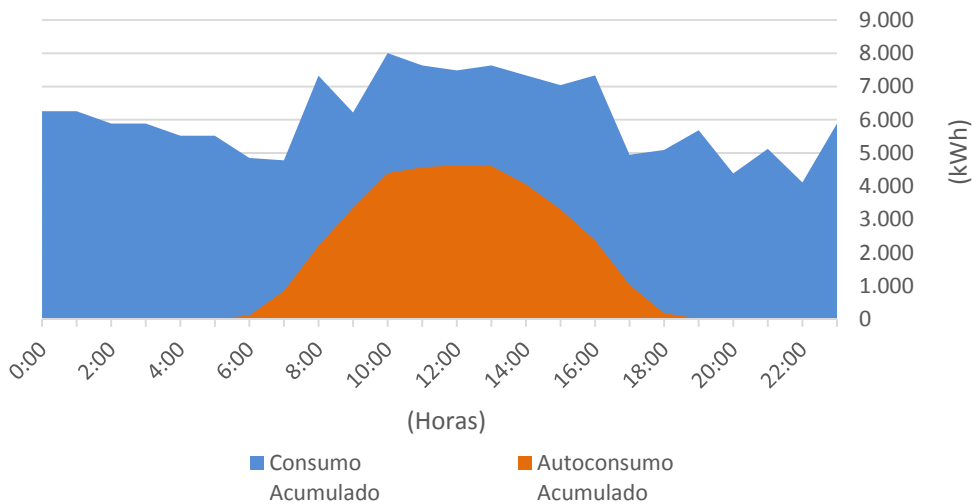


Figura 1 Consumo anual acumulado (Baseado em: [126])

A seguir nas (Figuras 2 e 3) dá-se uma previsão dos consumos e produção num mês em que a exposição solar é, previsivelmente boa, para o consumo estimado (agosto) e um mês em que o consumo na instalação se prevê seja baixo, face à produção, logo energia vendida à rede (outubro).

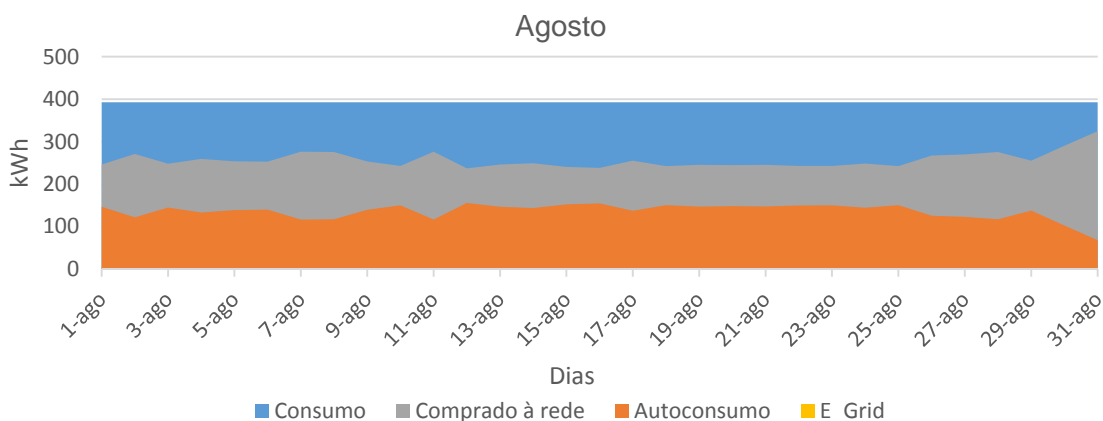


Figura 2 Distribuição dos consumos e produção em agosto (Baseado em: [126])

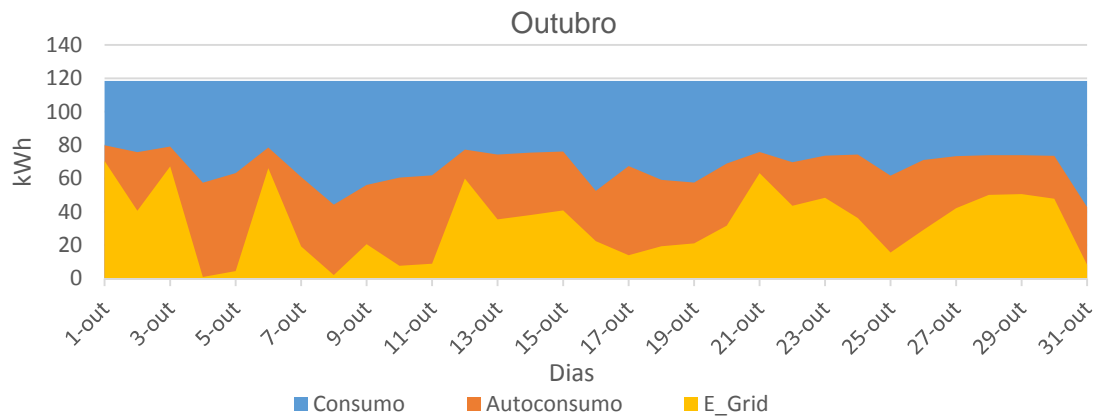


Figura 3 Distribuição dos consumos e produção em outubro (Baseado em: [126])

A seguir na (Figura 4) apresenta-se uma perspetiva global dos consumos anuais, e das produções estimadas para diversos parâmetros.

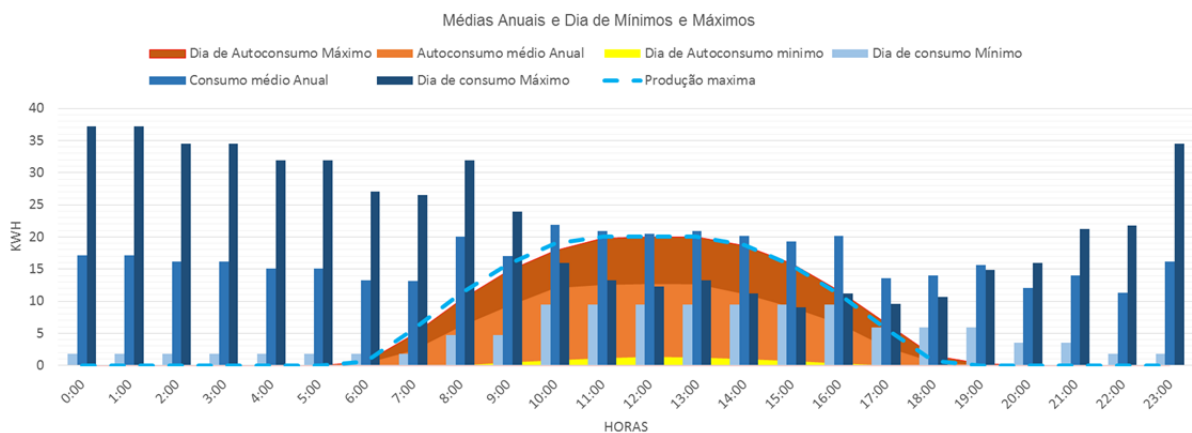


Figura 4 Perspetiva global dos consumos anuais (Baseado em: [126])

### Análise financeira

Complementarmente à análise financeira e de sensibilidade realizada no ponto 5.2.1 do capítulo 5 indicam-se na Figura 5, outros dados considerados relevantes para uma perspetiva mais abrangente sobre o risco do investimento.

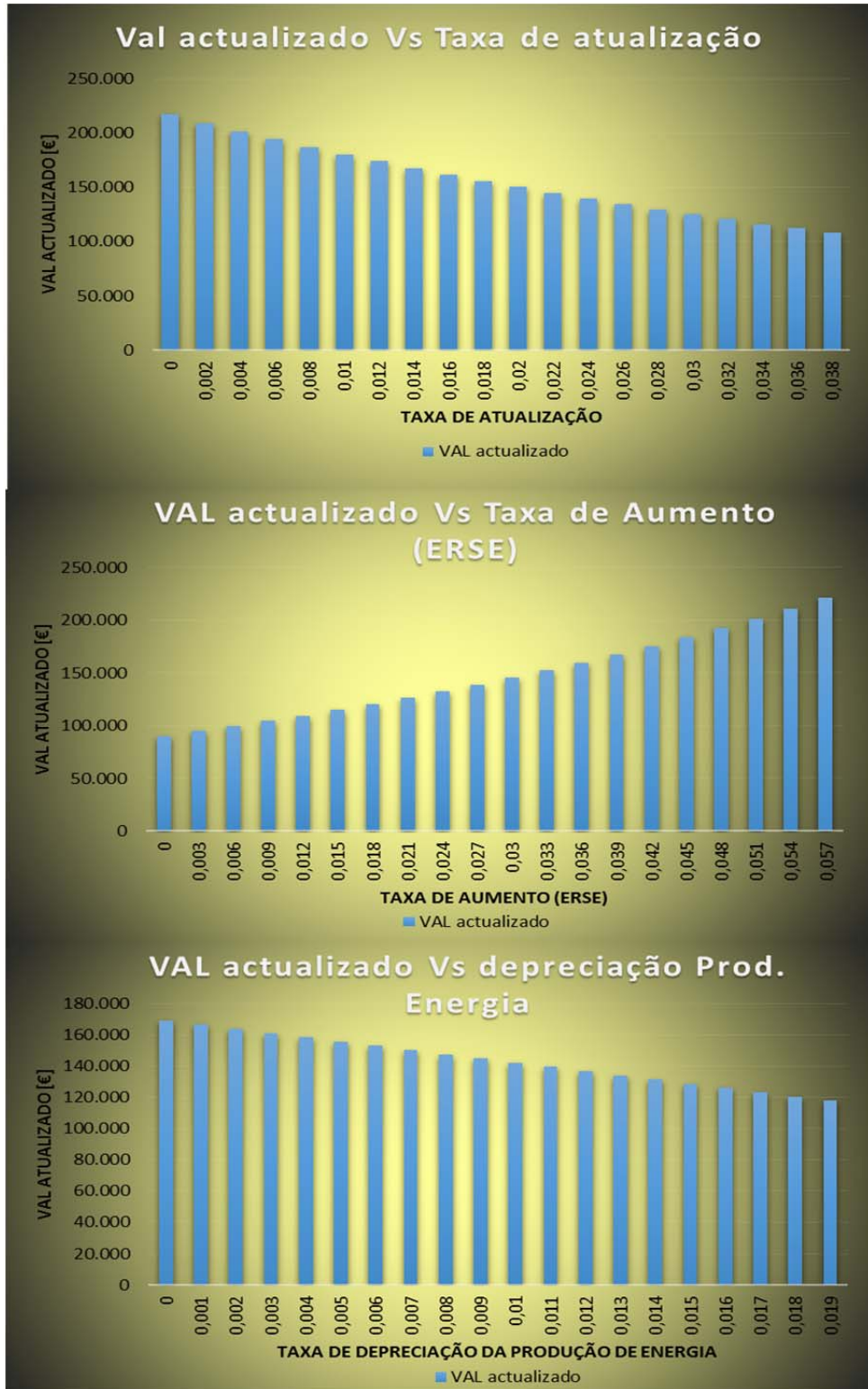


Figura 5 Análise de sensibilidade (VAL) (Baseado em: [126])

## **Anexo F**

**Imagens termográficas relativas a perdas de energia na central térmica (*buffers*), na tubagem de circulação de água quente e visualização da temperatura ambiente no interior das estufas**



**- Diversas imagens termográficas**

Por falta de espaço no trabalho podem visualizar-se a seguir, algumas das imagens retiradas sobre as perdas de energia e temperatura interna, em diversos pontos da infraestrutura de estufas.

**Casa da caldeira**

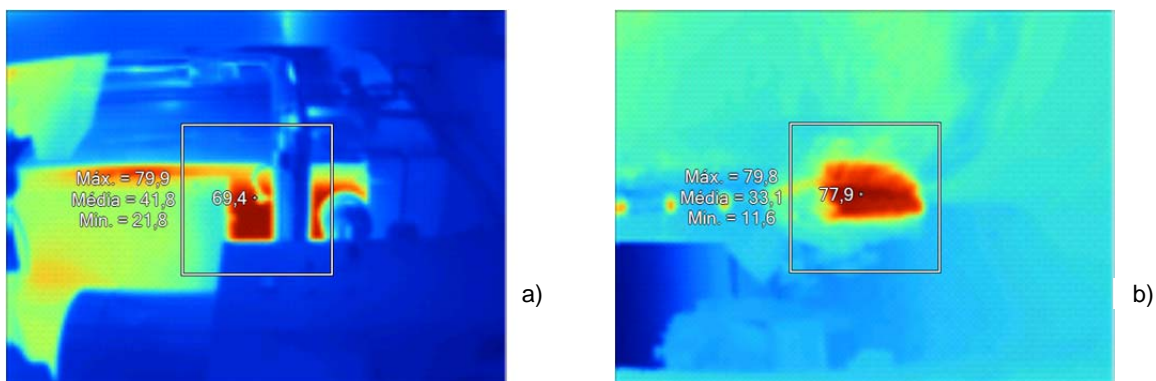


Figura 1 Imagens das perdas de energia na central térmica (*Buffers*) em a) e b) (Fonte: O autor)

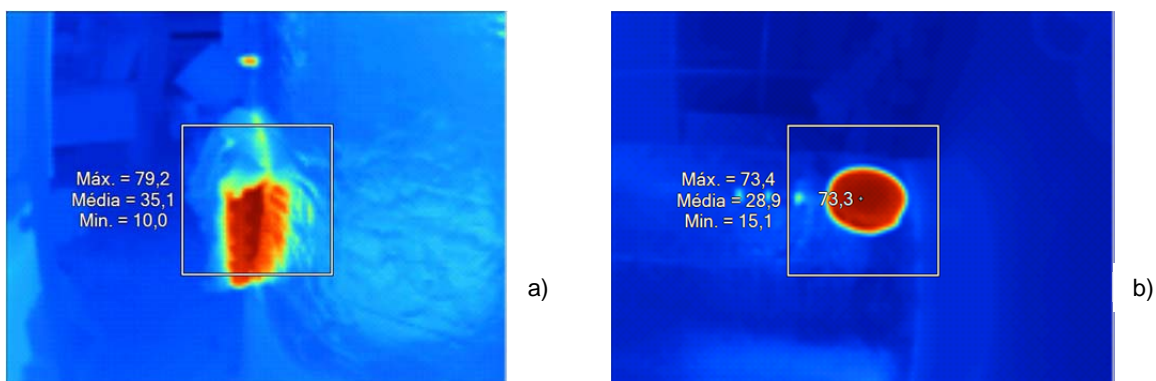


Figura 2 Imagens das perdas de energia na central térmica (*Buffers*) em a) e b) (Fonte: O autor)

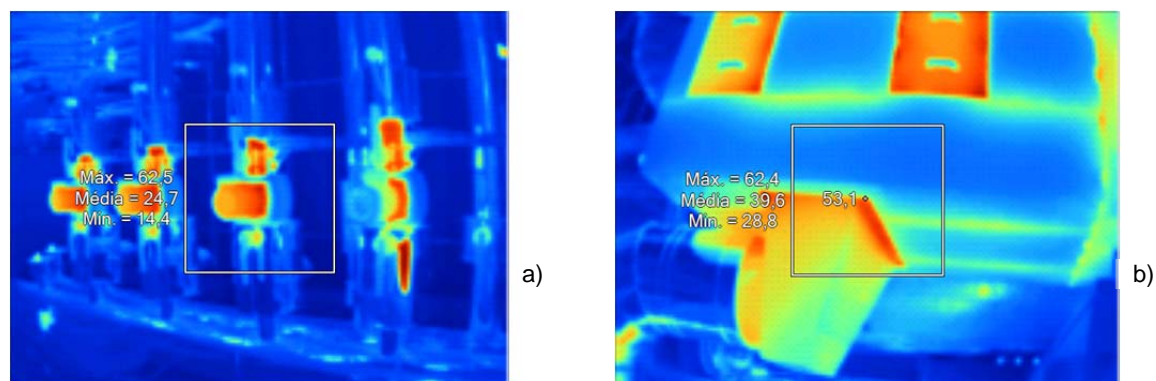


Figura 3 Imagens das perdas de energia na central térmica: a) bombas circuladoras; b) isolamento da caldeira(Fonte: O autor)

### Interior das estufas

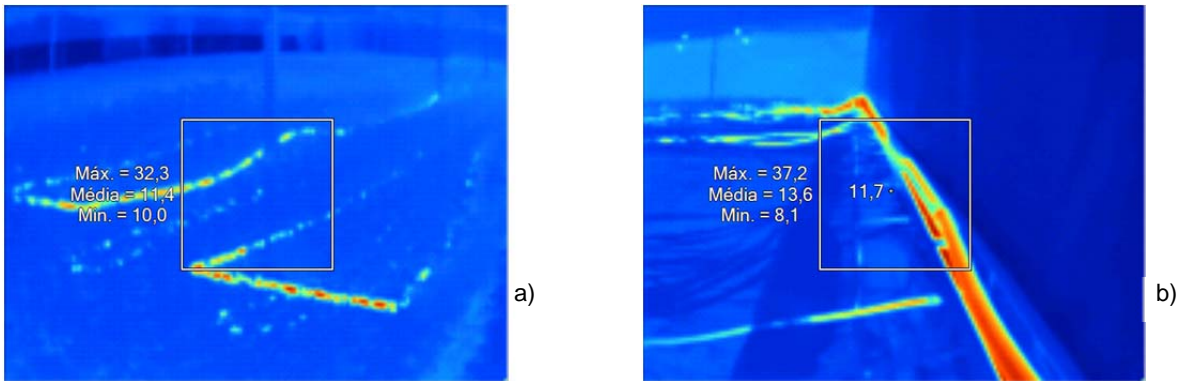


Figura 4 Imagens das temperaturas de circulação da água nas estufas em a) e b) (Fonte: O autor)

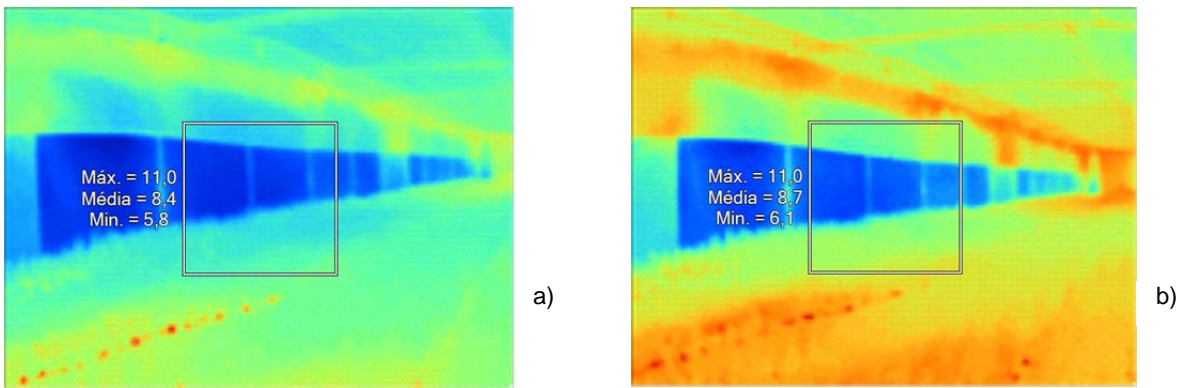


Figura 5 Imagens da temperatura ambientes no interior das estufas em a) e b) (Fonte: O autor)

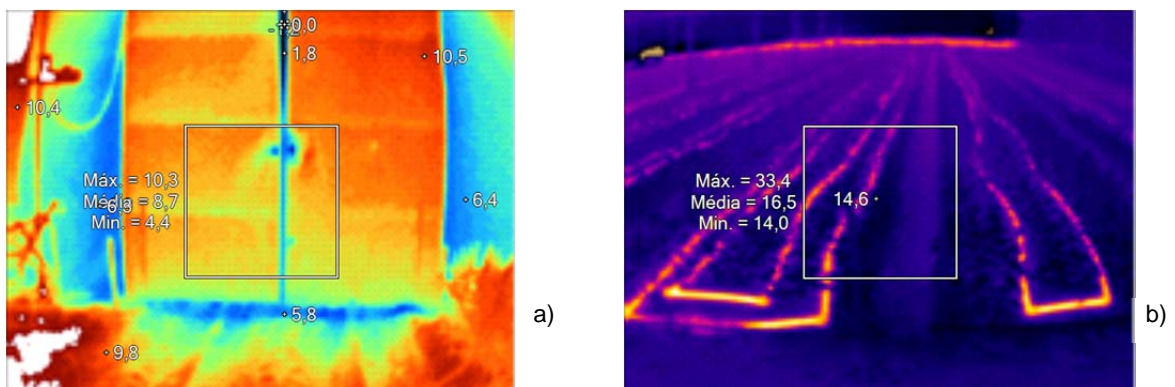


Figura 6 Imagens de temperaturas nas estufas: a) portas; b) tubagem de circulação de água quente (Fonte: O autor)

## **Anexo G**

**Cálculos de perdas térmicas na central térmica (*buffers*), na tubagem de circulação de água quente e na porta de entrada nas estufas do bloco 5**



## - Cálculos das perdas de energia na central térmica, tubagem e porta do bloco 5

Indicam-se a seguir os cálculos retirados das folhas Excel e os resultados obtidos, para cada uma das situações avaliadas.

### Perdas na central térmica:

Transferência de calor por convecção

$$Q = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty)$$

$$h = 12,1 \cdot V_a^{0,5}$$

hconv	14,82	W/m <sup>2</sup> °C
Constante		12,1
Va	Velocidade vento	1,5 m/s

Q	208,78	W
h	coeficiente transferência de calor por convecção	14,81941 (W/m <sup>2</sup> °C)
As	área da superfície	0,204179 m <sup>2</sup>
Ts	temperatura da superfície	79 °C
T∞	temperatura ambiente	10 °C
R	Raio	0,255 m
C	comprimento	1 m
As	0,20	m <sup>2</sup>

Transferência de calor por radiação

$$Q = \sigma \cdot A_s \cdot \epsilon \cdot (T_s^4 - T_{arr}^4)$$

Q	82,77	W
σ	constante Stefan Boltzman	5,67E-08 (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )
ε	coeficiente de emissividade	0,8
Ts <sup>4</sup>	temperatura da superfície	352 °K 79 °C
Tarr <sup>4</sup>	temperatura ambiente	283 °K 10 °C

### Resultados

Qtotal/flange	0,29	kWh
Qtotal (2 flanges)/dia	13,99	kWh
Qtotal período de aquecimento	2.113	kWh

**Perdas na tubagem:**

Transferência de calor por convecção

$$Q = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty)$$

$$h = 12,1 \cdot V_a^{0,5}$$

$h_{conv}$	24,20	W/m <sup>2</sup> °C
Constante		12,1
$V_a$	Velocidade vento	4 m/s

Q	909,58	W
h	coeficiente transferência de calor por convecção	24,20 (W/m <sup>2</sup> °C)
$A_s$	área da superfície	1,3188 m <sup>2</sup>
$T_s$	temperatura da superfície	35 °C
$T_\infty$	temperatura ambiente média	6,5 °C
D	Diâmetro do tubo	0,14 m
C	comprimento	3 m
$A_s$	1,3188	m <sup>2</sup>

Transferência de calor por radiação

$$Q = \sigma \cdot A_s \cdot \epsilon \cdot (T_s^4 - T_{arr}^4)$$

Q	191,20	W
$\sigma$	constante Stefan Boltzman	5,67E-08 (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )
$\epsilon$	coeficiente de emissividade	0,8
$T_s^4$	temperatura da superfície	308 °K      35 °C
$T_{arr}^4$	temperatura ambiente	276 °K      3 °C

**Resultados**

$Q_{total/tubo}$	1,10	kWh
$Q_{total (4 tubos)}$	4,40	kWh
$Q_{total período de aquecimento}$	7.441	kWh

**Perdas pela porta do bloco 5:**

Penetração de ar devido a diferenças de temperatura			
$L_t = \frac{B}{3} H^{1,5} \mu_0 \sqrt{g \frac{\Delta \rho_{ar}}{\rho_m}}$		Valores de $L_t$	
		$\rho$ (5 °C)	$\rho$ (10 °C)
		<b>0,074</b>	<b>0,049</b>
B=largura da porta em (m)			0,09
H=altura da porta em (m)			3
$\mu_0$ =coeficiente de fluxo de ar (0,8-0,9)			0,85
g=coeficiente de gravidade (m/s <sup>2</sup> )			9,8
$\Delta\rho_{ar}$ = diferença da densidade entre as massas de ar (kg/m <sup>3</sup> )			0,0397-0,0173
$\rho_m$ = densidade média das massas de ar (kg/m <sup>3</sup> )			1,245
		$\Delta\rho_{ar}$	
$\rho$ (5 °C)	1,266	5 °C	<b>0,0397</b>
$\rho$ (10 °C)	1,243	10 °C	<b>0,0173</b>
$\rho$ (14 °C)	1,226		

Penetração de ar devido ao efeito do vento		Valor de $L_v$	
$L_v = B \cdot H \cdot \frac{v_{10}}{2} \cdot 0,25$		<b>0,135</b>	m <sup>3</sup> /s
$v_{10}$ =velocidade média anual do vento a uma altura de 10m		4	m/s
0,25=fator de frequência da direção do vento		0,25	

	$\rho$ (5 °C)	$\rho$ (10 °C)	
Penetração total de ar ( $L_t+L_v$ )	<b>0,21</b>	<b>0,18</b>	m <sup>3</sup> /s
Penetração média de ar (total) ( $L_t+L_v$ )		<b>0,20</b>	m <sup>3</sup> /s

Perdas térmicas		média de temperaturas	
$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (\Delta T)$			
$\Delta T$	6,5	14-(10+5/2) °C	
$\dot{m} = v \cdot \rho_{ar}$		kg/s	<b>Q (Perdas térmicas)</b>
$\rho_{ar}$	1,24	kg/m <sup>3</sup>	<b>1,84</b>
v=volume	0,2	m <sup>3</sup> /s	
$c_p$ (ar)	1,0048	kJ/kg. K	
			Energia anual
<b>Perdas anuais de energia</b>			<b>5.310,38</b> kWh

Meses	dias/mês	horas/dia	Total horas mensais	Nota: Nos cálculos considerou-se temperatura interior constante a 14 °C e temperaturas exteriores médias de (noturna 5 °C e diurna de 10 °C)
novembro	30	12	360	
dezembro	31	24	744	
janeiro	31	24	744	
fevereiro	28	24	672	
março	31	12	372	
Total horas de aquecimento/ano			<b>2.892</b>	