

Andreia Silva

ANÁLISE DE COMPORTAMENTO ENERGÉTICO DE  
ESTUFAS NOS PAÍSES DA PENINSULA IBÉRICA

Évora

UE  
177  
900



**Departamento de Engenharia Rural**

**Mestrado de Engenharia Agrónómica**

**ANÁLISE DE COMPORTAMENTO ENERGÉTICO DE  
ESTUFAS NOS PAÍSES DA PENINSULA IBÉRICA**

**Andreia Teixeira Silva**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em:

**Engenharia Agrónómica**

Orientadora: Professora Doutora Fátima Baptista

Co-orientador: Professor Doutor Luís Manuel Navas

Évora

2012

## **Agradecimentos**

*A terminar mais um ciclo da minha vida académica com a realização do presente documento, não poderia deixar de agradecer a todas as pessoas que me apoiaram, pela forma como me acolheram assim como pela simpatia e disponibilidade demonstrada ao longo de toda a pesquisa e trabalho. Em particular, este meu agradecimento reporta-se à Professora Fátima Baptista (Universidade de Évora) e ao Professor Luís Manuel Navas (Universidade de Valladolid), pela disponibilidade, orientação e motivação constante, pelos diversos momentos enriquecedores e de aprendizagem, que contribuíram para o desenvolvimento do tema escolhido, como também para o meu desenvolvimento, quer na qualidade de ser humano como profissional.*

*Ao professor José Rafael da Silva, membro do Departamento de Engenharia Rural, pela disponibilidade no fornecimento do sistema de SIG, paciência e disposição que me auxiliou sempre que necessário.*

*Agradeço a todos os meus colegas de mestrado que me acompanharam na realização deste trabalho, pela boa disposição, companheirismo e entreaajuda demonstrada, apesar da distância que nos separa.*

*Agradeço o apoio e disponibilidade que a Empresa José Martins Tavares Ledo, Sr. José Ledo, sempre mostrou ao longo de todo o trabalho desenvolvido.*

*Agradeço ainda aos meus pais e aos meus irmãos, pelo carinho, ajuda, compreensão e pela força que me dão diariamente para lutar pelos meus sonhos e objectivos de vida.*

*Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer a uma pessoa muito especial, que por fatalidade do destino, já não se encontra entre nós, por ter sido essencial e muito importante na escolha e realização do presente trabalho, pelo companheirismo, amizade, amor, dedico este trabalho a ele, Francisco, o meu namorado, com muitas saudades.*

*A todos o meu Muito Obrigada!*

## Abreviaturas

A	Área [ha];
IAF	Índice da área foliar;
P	Fluxo de CO <sub>2</sub> [m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> ];
P <sub>n</sub>	Taxa de assimilação fotossintética de CO <sub>2</sub> [kg.s <sup>-1</sup> ];
PV	Pressão de vapor [Pa];
Q	Fluxo de energia [W.m <sup>-2</sup> ];
Re	Resistência estomática [s.m <sup>-1</sup> ];
RS	Radiação Solar média diária [W.m <sup>-2</sup> ];
T	Temperatura [°C];
T <sub>d</sub>	Temperatura diurna [°C];
T <sub>i</sub>	Temperatura interior [°C];
T <sub>n</sub>	Temperatura nocturna [°C];
U	Coefficiente global de transmissão térmica [W.m <sup>-2</sup> .°C <sup>-1</sup> ];
V	Volume da estufa [m <sup>3</sup> ];
V <sub>v</sub>	Velocidade do vento médio mensal [m.s <sup>-1</sup> ];
φ	Fluxo [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ];
γ	Constante psicométrica [Pa.K <sup>-1</sup> ];
ρ	Densidade aparente [kg.m <sup>3</sup> ];

## Subíndices

aq	Aquecimento
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
ext	Exterior da estufa
int	Interior da estufa
Mín	Mínimo
Máx	Máximo
vent	Ventilação

## Resumo

Globalmente, a quantidade de energia utilizada na agricultura tem vindo aumentar crucialmente com as novas tecnologias. E a Península Ibérica não é exceção a esta realidade. Desta forma, o trabalho que se segue consiste na realização de cartas de previsão de consumo energético em estufas nos Países da Península Ibérica, que visam a sustentabilidade energética anual das culturas do tomate, do pepino e da alface, utilizando o simulador climático de estufas (SCE).

Os modelos climáticos são ferramentas eficazes que permitem prever as condições ambientais do interior das estufas, em função das condições ambientais externas, das características da cultura e das características da estrutura e do equipamento das estufas. Possibilitando também a análise das necessidades energéticas das culturas em condições predefinidas.

O SCE usa os valores médios mensais da temperatura, da velocidade do vento, da radiação solar e da humidade relativa de uma série de anos, simulando as médias horárias de um dia médio para cada mês e local. Como *input* do SCE requer os dados climáticos, as características da estufa, os equipamentos de climatização e as características da cultura. Para o balanço energético é utilizado um modelo climático complexo estático com definição físico-matemático que se baseia na transferência de calor e de massa. Os resultados do SCE indicam as necessidades máximas mensais de aquecimento e de arrefecimento das diferentes zonas de produção durante um ano médio em estufas de plástico. Em que consideraram-se temperaturas de referências das culturas para os diferentes sistemas de climatização, variando 1 e 2 °C.

Uma vez, cientes da importância da redução dos consumos energéticos e a melhoria da eficiência de utilização da energia, aspectos de elevada importância quer no que diz respeito à redução dos custos de produção, bem como dos impactos negativos no meio ambiente, este trabalho tem como intuito ajudar o agricultor na tomada de decisão dos recursos a utilizar para reduzir os gastos energéticos das culturas.

**Palavras – chaves:** Cartas, Consumo, Energia, Aquecimento e arrefecimento.

## **Analysis of energetic behaviour of Greenhouses in the Iberia Peninsula Countries**

### **Abstract**

Globally, the amount of energy used in agriculture has increased with the new technologies. And the Iberian Peninsula is not exception to this reality. This work presents the results of the study conducted for several regions in the Peninsula Iberian Countries concerning the energy consumptions in greenhouses for tomato, cucumber and lettuce crops, using the Greenhouse Climatic Simulator (GCS).

The models climatic are an effective tool which allows the simulation of inside environmental conditions as function of external conditions, construction and environmental control equipment characteristics. They also permit to analyze the energy consumption necessary to obtain the predefined conditions.

GCS uses mensal mean weather data of several years of solar radiation, temperature, wind speed and relative humidity. A climate generator computes the mean hourly climatic data of a typical day for each month and location. As inputs GCS requires data related with the greenhouse characteristics, environmental control equipment and the crop. For the energy balance a static complex model is used which is based on the physics of heat and mass transfer. The results show the energy consumption due to the heating system in each of the studied locations, as well the heat dissipated by the cooling system along a mean year, for year round production in plastic greenhouses. This is used to estimate energetic consumption indicators which allow generating predictive maps. It is an interesting tool which may contribute to the grower's decision making and to the reduction of energy consumption, helping to lower production costs and environmental impacts.

**Key words:** Maps, consumer, energy, heating and cooling

**Índice**

<b><i>Agradecimentos</i></b> _____	<b><i>I</i></b>
<b><i>Abreviaturas</i></b> _____	<b><i>II</i></b>
<b>Subíndices</b> _____	<b>II</b>
<b><i>Resumo</i></b> _____	<b><i>III</i></b>
<b><i>Abstract</i></b> _____	<b><i>IV</i></b>
<b><i>Índice</i></b> _____	<b><i>V</i></b>
<b><i>Índice de Tabelas</i></b> _____	<b><i>VII</i></b>
<b><i>Índice de Figuras</i></b> _____	<b><i>VIII</i></b>
<b><i>Índice de Gráficos</i></b> _____	<b><i>X</i></b>
<b><i>1 – Introdução</i></b> _____	<b><i>11</i></b>
<b>1.1– Objectivos do estudo</b> _____	<b>14</b>
<b>1.2 – Organização do trabalho</b> _____	<b>15</b>
<b><i>2– Revisão Bibliográfica</i></b> _____	<b><i>16</i></b>
<b>2.1- Estufas da Península Ibérica</b> _____	<b>16</b>
2.1.1- Tipos de Estufas _____	17
<b>2.2- Caracterização climática global da Península Ibérica</b> _____	<b>20</b>
2.2.1 – Caracterização Climática _____	20
<b>2.3– Sistemas de Condicionamento Ambiental</b> _____	<b>24</b>
2.3.1- Sistema de ventilação _____	25
2.3.2 – Sistema de arrefecimento _____	27
2.3.3 – Sistema de aquecimento _____	30
<b>2.4 - Balanço térmico</b> _____	<b>33</b>
2.5.1 - A Cultura da Alface _____	38
2.5.2 – Cultura do Tomate _____	40
2.5.3- A Cultura do Pepino _____	42
<b>2.6– Modelos climáticos</b> _____	<b>43</b>
<b><i>3- Material e Métodos</i></b> _____	<b><i>45</i></b>
<b>3.1- Factores Energéticos</b> _____	<b>46</b>
3.1.1– Zonas de estudo _____	46
3.1.2- Caracterização do Clima _____	46
<b>3.2- Factores produtivos</b> _____	<b>50</b>
3.2.1- Escolha de estufa _____	50

<b>3.3- Metodologia</b>	<b>51</b>
3.3.1- Descrição do Simulador Climático de estufas	51
<b>3.4 – Análise de Sensibilidade</b>	<b>61</b>
<b>3.5 – Elaboração dos mapas de consumo energético</b>	<b>62</b>
<b>4- Resultados e Discussão</b>	<b>64</b>
<b>4.1 – Resultados das Simulações</b>	<b>65</b>
<b>4.2.– Análise da temperatura interior nas estufas</b>	<b>81</b>
<b>4.3 – Consumo Energético</b>	<b>88</b>
4.3.1 – Comparação dos consumos energéticos	94
<b>4.4 – Análise de Sensibilidade</b>	<b>98</b>
4.4.1 – Cultura do tomate em estufa nos Açores	98
4.4.2 – Cultura do pepino em estufa em Navarra	99
4.4.3 – Cultura da alface em estufa em Torres Vedras	100
<b>4.5 – Cartas de Consumo Energético</b>	<b>102</b>
<b>5- Conclusão</b>	<b>112</b>
<b>5.1 – Conclusões gerais</b>	<b>112</b>
<b>5.2– Limitações do Simulador Climático de Estufas</b>	<b>114</b>
<b>5.3– Perspectivas de trabalhos futuros</b>	<b>114</b>
<b>6- Referências bibliográficas</b>	<b>115</b>
<b>7- Anexo</b>	<b>117</b>

## Índice de Tabelas

Tabela 1 -Valores aproximados da transmissão global	35
Tabela 2 -Temperaturas óptimas ao longo do ciclo da cultura da alface	39
Tabela 3 – Temperaturas óptimas ao longo do ciclo da cultura do pepino	41
Tabela 4 – Tolerância do pepino à salinidade e à acidez do solo	42
Tabela 5 – Coordenadas geográficas das regiões	46
Tabela 6 – Temperaturas máximas médias (°C) das regiões em estudo	47
Tabela 7 – Temperaturas médias (°C) das regiões em estudo	48
Tabela 8 – Temperaturas médias mínimas (°C) das regiões em estudo	48
Tabela 9 – Humidade relativa (%) das regiões em estudo	49
Tabela 10 – Velocidade média ( $m.s^{-1}$ ) das regiões em estudo	49
Tabela 11 – Radiação solar ( $W.m^{-2}$ ) das regiões em estudo	50
Tabela 12 – Temperaturas para a cultura do tomate, nos Açores	62
Tabela 13 – Temperaturas para a cultura do pepino, em Navarra	62
Tabela 14 – Temperaturas para a cultura da alface, em Torres Vedras	62
Tabela 15 – Temperatura interior da estufa sem sistemas climatização	83
Tabela 16 – Temperatura interior da estufa com aquecimento nos Açores	84
Tabela 17 – Temperatura interior da estufa com aquecimento e ventilação	85
Tabela 18 – Consumo de energia da cultura do tomate	89
Tabela 19 – Consumo de energia da cultura do pepino	90
Tabela 20 – Consumo de energia da cultura da alface	91
Tabela 21 – Consumo de energia da cultura do tomate	92
Tabela 22 – Consumo de energia da cultura do pepino	93
Tabela 23 – Consumo de energia da cultura da alface	94

## Índice de Figuras

Figura 1 – Estruturas de estufas em plástico	16
Figura 2 – Características do clima da Península Ibérica	20
Figura 3 – Formas de troca de calor das estufas com o meio	34
Figura 4 – Informação Base	54
Figura 5 – Dados climáticos	55
Figura 6 – Características da estufa	56
Figura 7 – Índice de área foliar	56
Figura 8 – Características de manejo	57
Figura 9 – Painel de execução	58
Figura 10 – Dados geográficos e climáticos	65
Figura 11 – Características da estufa	66
Figura 12 – Os sistemas de climatização da cultura de tomate	67
Figura 13 – Temperaturas diurnas e nocturnas e Humidade Relativa	68
Figura 14 – Características da cultura do tomate	68
Figura 15 – Resumo das temperaturas exteriores (°C)	69
Figura 16 – Radiação solar incidente	70
Figura 17 – A quantidade de radiação solar absorvida pela estufa	71
Figura 18 – Perdas por condução – convecção da estufa	72
Figura 19 – Energia gasta pela transpiração da cultura	73
Figura 20 – Potência utilizada e necessária de calefação	74
Figura 21 – Potência utilizada e necessária de refrigeração	75
Figura 22 – Calor dissipado pela ventilação	76
Figura 23 – Temperaturas do ar sem sistemas de climatização	76
Figura 24 – Temperatura do ar com aquecimento	77
Figura 25 – Temperatura do ar com aquecimento e ventilação	77
Figura 26 – Temperatura do ar com aquecimento, ventilação e sombra	78
Figura 27 – Necessidades de CO <sub>2</sub>	78
Figura 28 – Evolução da temperatura interior e exterior dentro da estufa	79
Figura 29 – Volume de água consumida por transpiração da cultura	79
Figura 30 – Humidade relativa exterior à estufa	80
Figura 31 – Humidade relativa interior à estufa	80

Figura 32 – Cartas de Consumo energético Tomate	104
Figura 33 – Cartas de Consumo energético do Pepino	105
Figura 34 – Cartas de Consumo energético da Alface1	106
Figura 35 – Cartas de Consumo energético do Tomate	107
Figura 36 – Cartas de Consumo energético do Pepino	108
Figura 37 – Cartas de Consumo energético da Alface	109

## Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Consumo de energia do Tomate	96
Gráfico 2 – Consumo de energia do Pepino	97
Gráfico 3 – Consumo de energia do Alface	98
Gráfico 4 – Análise de sensibilidade nos Açores	99
Gráfico 5 – Análise de sensibilidade em Navarra	100
Gráfico 6 – Análise de sensibilidade em Torres Vedras	101

## 1 – Introdução

No âmbito do Mestrado em Engenharia Agronómica da Universidade de Évora, foi realizado a seguinte dissertação com o intuito de analisar o comportamento energético anual de culturas com diferentes temperaturas de referência nos Países da Península Ibérica.

Para esse fim, foi utilizado um modelo climático que procura alternativas para reduzir os consumos energéticos e melhorar a eficiência da utilização de energia, bem como reduzir os custos de produção e os impactos negativos no meio ambiente. Outra finalidade deste trabalho será auxiliar o agricultor na tomada de decisão, visando a sustentabilidade energética dos sistemas de climatização, visto que, os sistemas de climatização são utilizados para cobrir períodos mais críticos, como as noites de Inverno muito frias e os dias muito quentes de Verão.

O balanço energético entre o interior e o exterior da estufa é complexo, já que está relacionado entre si, e por sua vez, intervém todas as formas de transferência de calor: radiação térmica, condução e convecção (Matallana et al., 2010). Sendo possível conjugar esses balanços através de expressões matemáticas que permitem construir um modelo climático (Castañeda et al., 2003). Por isso, que o crescimento das plantas na estufa não deve ser entendido de uma forma qualitativa, mas também de maneira quantitativa para determinar o seu impacto na produção. Neste sentido, os modelos climáticos da estufa são quantificados em relação as condições climáticas externas e as propriedades físicas e do equipamento da estufa (Briceño-Medina et al., 2011).

Investigadores da Escola Técnica Superior de Engenheiros Agrónomos da Universidade Politécnica de Madrid (Navas Gracia et al., 2003) desenvolveram um simulador climático de estufas (SCE) que permite definir os parâmetros necessários para manter as condições climáticas óptimas nas estufas, utilizando os valores médios mensais da radiação solar, da temperatura e da humidade para simular e caracterizar a evolução horária das variáveis ambientais para um dia médio de cada mês, o que possibilita obter um comportamento padrão diário médio para cada localidade em estudo (Navas Gracia et al., 2003). Sendo este o simulador utilizado na realização do presente trabalho pelas suas particularidades ideais para determinar as condições climáticas no interior da estufa.

O crescimento e desenvolvimento das culturas são influenciados pelo clima, através de processos de fotossíntese, respiração, divisão celular, expansão celular e absorção de nutrientes e água, em que são modificados posteriormente, pela temperatura, deficit de pressão de vapor, luz e CO<sub>2</sub>. O metabolismo das plantas e a taxa de reacção metabólica são afectados pela temperatura. As temperaturas extremamente baixas e altas afectam o bom desenvolvimento das culturas, produzindo a desnaturação das enzimas e outras proteínas (López et al., 2001).

A construção de estufas requer o estudo do clima e das exigências biológicas das espécies, a fim de escolher o tipo de material de cobertura, o tipo de estrutura, as dimensões, a orientação, as condições de renovação de ar, a cobertura vegetal e a forma arquitectónica para obter o microclima mais adequado, recorrendo ao mínimo de recursos adicionais de equipamentos de climatização (Djevic et al., 2009). Uma vez que as condições interiores da estufa (radiação, temperatura e concentração de dióxido de carbono) são alteradas consoante o microclima pretendido pela cultura (Castilla, 2007).

A área de estufas na região do Mediterrâneo era de 144 000 ha em 1999 (Baptista, 2007), em que as culturas do tomate, do pepino e da alface são muito comuns. Em 2005, a área de produção hortícola e flores em estufa era de 53 800 ha em Espanha e 2 550 ha em Portugal (Baptista et al., 2011).

A cultura de alface tem várias cultivares no mercado adaptadas a diversas condições, porém as temperaturas diurnas óptimas variam entre os 18 a 24 °C e as temperaturas nocturnas abaixo dos 15 °C. As temperaturas acima de 25 °C aceleram o desenvolvimento da planta, resultando em plantas com tendência a amadurecer precocemente (Ferre, 2003).

A cultura do tomate requer temperaturas entre 20 e 26 °C e a variação de temperaturas diurnas e nocturnas favorecem a coloração dos frutos, por outro lado, as temperaturas inferiores a 10 °C provocam danos irreversíveis no crescimento e no desenvolvimento da cultura, bem como as temperaturas superiores a 31 °C. A humidade relativa deve situar-se entre 60 e 70% para a maioria das variedades, para que não prejudique a produtividade do tomate (Naika et al., 2006).

A cultura do pepino tem exigências semelhantes ao tomate, sendo, no entanto, mais exigente em humidade relativa na época da floração, sobretudo durante a polinização e é mais tolerante ao sombreamento. Na cultura do pepino é importante controlar o clima, particularmente a temperatura e a humidade relativa. Em termos

gerais, na cultura do pepino, a temperatura varia entre os 20 a 30 °C durante o dia quando há maior incidência na produção, porém atinge a produção máxima aos 25 °C. As temperaturas acima dos 30 °C provocam desequilíbrios nas plantas, como malformações nas folhas e frutos defeituosos (Ferre, 2003).

A produção de plantas em estufa é uma das partes mais intensivas da agricultura pelo rendimento (produtividade) ao longo do ano, mas também pelo consumo, investimento e custo de energia. Posto isto, para reduzir os custos de produção e poupar energia é oferecido ao agricultor uma grande diversidade de materiais de cobertura e materiais de construções de estufas.

A análise do comportamento climático das estufas tem sido objecto de diversas pesquisas e investimentos, procurando melhorar a produtividade, reduzir perdas, custos de produção e diminuir o período entre colheitas. Em vários estudos, a busca da optimização dos processos energéticos envolvidos e o controlo de condições biológicas e climáticas recebem especial atenção devido ao aumento de preço dos combustíveis fósseis e da electricidade.

O uso de energia na agricultura intensificou-se após a Revolução Verde, pois esta permitiu modernizar a agricultura, baseando-se no princípio da intensificação através da especialização. Este período envolve um grande desenvolvimento tecnológico (fertilizantes químicos, motores de combustão interna, melhoramento genético de plantas), permitindo maximizar a produtividade agrícola, para além da evolução de conhecimento nas áreas da química, da mecânica e da genética. As mudanças mais significativas deste período foram: a redução da importância relativa da rotação de culturas, o progressivo abandono do uso da adubação verde e do estrume na fertilização, a separação da produção animal, da produção hortícola e, principalmente, a absorção de algumas etapas do processo de produção agrícola pelas indústrias (Hatirli et al., 2005).

O consumo de energia por unidade de área na agricultura está directamente relacionado com o desenvolvimento tecnológico da agricultura e o nível de produção. Os *inputs* dos sistemas, como combustíveis, electricidade, máquinas, sementes, fertilizantes e produtos químicos são uma parte significativa dos suplementos utilizados na produção agrícola. E o uso intensivo de *inputs* na agricultura e acesso abusivo à energia fóssil têm proporcionado um aumento do preço dos alimentos e do padrão de vida (Matallana et al., 2010).

As auditorias energéticas são uma das abordagens mais comuns da eficiência energética, que permite ajudar na redução do impacto ambiental dos sistemas de produção agrícola. Para além de fornecer dados a cerca das entradas e saídas de energia, possibilitando um maior controlo sobre os custos de produção.

Actualmente, os agricultores têm a opção de reduzir o consumo de energia através de sistemas inteligentes, como é o caso das redes neurais artificiais (ANN) compostas por sensores de temperatura que processam a energia consumida hora a hora.

O consumo de energia na agricultura é assumidamente uma questão essencial devido ao elevado custo da energia e a pouca disponibilidade dos recursos energéticos renováveis para potencializar a evolução dos sistemas de produção a baixo custos. Por isso há uma preocupação acrescida em estudar o clima e o comportamento energético das estufas para reduzir os consumos energéticos e melhorar a eficiência de utilização dos seus recursos para aumentar a produtividade.

## **1.1– Objectivos do estudo**

Os objectivos específicos deste trabalho consistem em:

- Recolher dados climáticos exteriores das várias zonas de produção;
- Identificar os tipos de estufas e culturas dominantes em cada zona de produção;
- Caracterizar os tipos de estufas e culturas dominantes em cada zona de produção;
- Prever as condições ambientais no interior das estufas utilizando um modelo climático previamente validado;
- Identificar o comportamento energético médio anual;
- Avaliar o consumo energético médio anual para manter determinadas condições nas estufas aplicando diferentes técnicas de climatização e variando as temperaturas de referência nas diferentes zonas;
- Obter cartas de consumo energético utilizando ferramentas SIG.

## 1.2 – Organização do trabalho

Esta dissertação é composta por cinco partes, e por um conjunto de anexos que têm por objectivo fornecer os resultados das simulações.

Em primeiro lugar, no ponto 1 será feita a exposição do problema em questão, expressando o estado actual do conhecimento sobre o tema, em função aos dados e estudos preexistentes. Neste capítulo também constará a descrição dos objectivos e da organização do presente trabalho.

O capítulo 2 é composto pela revisão bibliográfica, onde serão abordados temas como caracterização climática, modelos climáticos, tipos de estufas, sistemas de condicionamento ambiental, balanço térmico e as culturas mediterrâneas.

O Capítulo 3 é constituído pelos materiais e métodos usados na realização desta dissertação, em que se justificará todos os materiais utilizados e descreve-se a metodologia do modelo climático testado a partir de um exemplo.

Quanto ao capítulo 4 estará presente os resultados obtidos pelo modelo climático e as cartas de consumo energético, fazendo a respectiva discussão.

No enquadramento dos capítulos referenciados, o capítulo 5 irá finalizar o trabalho com as devidas conclusões e propostas de futuros estudos.

O capítulo 6 é constituído pela bibliográfica e pelos sites visitados para redigir o presente trabalho.

## 2– Revisão Bibliográfica

### 2.1- Estufas da Península Ibérica



Figura 1 – Exemplos de estruturas de estufas de plástico.

Fonte: (Prilux)

As estufas são utilizadas para proporcionar, as plantas, um ambiente seguro. Uma vez que a energia solar não é suficiente para manter as condições adequadas, sendo necessário utilizar sistemas para controlar o ambiente, como ventiladores, aquecedores, termóstatos e, em alguns casos, refrigeradores. Em que, os consumos energéticos são determinados em função a diversas condições, tais como o tipo de cultura, o clima e a estrutura da estufa.

Na zona do Mediterrâneo, as estufas são normalmente simples com cobertura de plástico e com ventilação natural (Baptista, 2007), o que permite intensificar as culturas protegidas, de forma assegurar as necessidades crescentes do mercado interno, como também melhorar a sua posição no mercado da exportação. Uma vez que, o cultivo em estufas é uma alternativa que permite instalar culturas em zonas que não reúnem naturalmente todas condições favoráveis ao seu desenvolvimento, com um custo de produção competitivo, mantendo a qualidade dos produtos (Castilla, 2007).

Os tipos de estufas mais utilizados nos Países da Península Ibérica serão caracterizados, posteriormente, com as respectivas vantagens e desvantagens. A caracterização das estufas será feita pelos seus elementos de construção, tais como, a sua fixação, material de cobertura, entre outros aspectos igualmente importantes.

## 2.1.1- Tipos de Estufas

### 2.1.1.1 – Estufa Capela ou Multicapelas

As estufas de capela simples têm um telhado com um ou dois planos inclinados.

Este tipo de estufa é muito utilizado.

As vantagens da estufa capela são:

- Fácil construção e conservação;
- Revestimento com qualquer tipo de plástico;
- Boa ventilação e facilidade de instalar janelas;
- Facilidade de drenar a água da precipitação.

### 2.1.1.2 – Estufa plana (típica em Almeria)

Este tipo de estufas é utilizado em zonas de pouca precipitação, visto ser um inconveniente à sua construção. A estrutura é composta por duas partes distintas, vertical e horizontal. A estrutura vertical é constituída por um suporte rígido que pode diferenciar-se em função do perímetro ou do pé direito. A estrutura horizontal é composta por duas malhas de arame galvanizado sobrepostas, implantando-as em simultâneo à construção da estufa (Castilla, 2007).

As vantagens deste tipo de estufa são:

- Economia de construção;
- Grande adaptabilidade ao terreno;
- Maior resistência ao vento;
- Proveito da água da precipitação nas épocas secas;
- Uniformidade luminosa.

As desvantagens são:

- Pouco volume de ar;
- Má ventilação;
- Instalação de janelas zenitais muito difícil;
- Demasiada especialização na construção e conservação;

- Rápido envelhecimento da instalação;
- Não recomendável em regiões chuvosas;
- Perigo de colapso das bolsas de água da chuva que se formam nas placas do plástico;
- Risco de destruição do plástico e da instalação devido a vulnerabilidade ao vento;
- Favorece a proliferação de doenças fúngicas.

### **2.1.1.3 – Estufa de Vidro**

Este tipo de estufa é uma estrutura metálica pré-fabricada com cobertura de vidro, geralmente utilizada no Norte da Europa. O tecto destas estufas industriais é composto por painéis de vidro apoiado sobre canais de drenagem de águas da precipitação e sobre barras transversais.

A vantagem deste tipo de estufas é a seguinte:

- Facilita a climatização das estufas.

As desvantagens são:

- Elevado número de estruturas que implica uma baixa transmissão luminosa;
- Elevado custo;
- Compartimentos muito pequenos devido à complexidade da estrutura.

### **2.1.1.4– Estufa multitúnel semicírculo ou multimodular**

É uma série de estufas unidas, dispostas em módulos paralelos que se encontram associados. Este tipo de estufas permitem um maior aproveitamento do solo, sendo mais baratos de construir e aquecer, uma vez que tem menor relação entre a superfície de fecho e a superfície do solo (Tejedor, 2010).

As vantagens deste tipo de estufa são as seguintes:

- Estrutura com poucos obstáculos;
- Boa ventilação;
- Boa protecção da chuva e do vento;

- Facilita a instalação de qualquer tipo de ventilação e sua mecanização;
- Boa luminosidade no interior da estufa;
- Facilidade de instalação.

As desvantagens são:

- Elevado custo de instalação;
- Não aproveitamento da água proveniente da chuva.

Este tipo de estufa de grande dimensão permite extrair o máximo aproveitamento térmico e luminoso da radiação solar, para além de permitir elaboração de várias actividades laborais no seu interior da estufa.

Estas estufas são as mais modernas, com a utilização das tecnologias mais sofisticadas da actualidade, tais como os sistemas de controlo climático e de rega, adaptando-se em qualquer terreno.

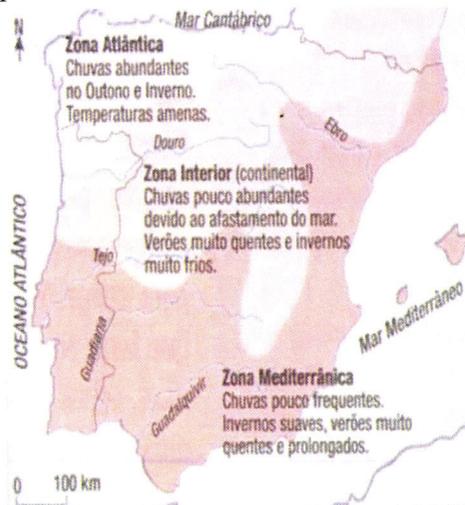
Neste enquadramento, as estufas multitúneis são estruturas modernas de grande dimensão, que possibilitam a redução das variações de temperaturas diurnas e nocturnas no interior da estufa.

Em que, ao fechar hermeticamente estas estruturas reduzem a incidência de pragas e doenças, melhorando o controlo do clima como a temperatura, a humidade, dióxido de carbono, entre outros. A vantagem adicional é a disponibilidade de fixação mais forte e colocação de acessórios de temperatura melhores do que as outras antigas (Tejedor, 2010).

## 2.2- Caracterização climática global da Península Ibérica

### 2.2.1 – Caracterização Climática

A Península Ibérica não tem um clima uniforme, variando consoante a proximidade do mar, a altitude e o vento. Por isso distingue-se em três grandes zonas:



- **Zona atlântica** - temperaturas amenas e precipitação abundante, sobretudo no Outono e Inverno;
- **Zona mediterrânica** - Invernos suaves, Verões quentes e secos, fraca precipitação;
- **Zona continental** - Invernos rigorosos e Verões muito quentes;

Figura 2 – Zonas climáticas da Península Ibérica

Fonte: (Comandante Conceição e Silva, 2009)

Nas regiões de grande altitude, verifica-se ainda um **clima de montanha** – temperaturas baixas e precipitações elevadas, muitas vezes com neve. Concluindo que o clima na Península Ibérica caracteriza-se pelas baixas temperaturas nocturnas, altas temperaturas diurnas, alta humidade nocturna e a baixa humidade diurna e défice de CO<sub>2</sub> (Zabeltitz, 1999).

O crescimento e desenvolvimento das culturas são influenciados pelo clima, onde por sua vez os processos da fotossíntese, respiração, divisão celular, expansão celular e absorção de água e nutrientes são modificados, principalmente, pela temperatura, humidade relativa, luz e CO<sub>2</sub> (Castañeda et al., 2003).

Assim, os parágrafos que se seguem estarão descritos os principais factores climáticos que afectam o bom desenvolvimento das culturas. Visto que, as plantas só exercem adequadamente as suas funções quando há uma combinação destes factores, entre os limites máximos e mínimos, para que estas não inibam o seu metabolismo, evitando assim morte destas.

### 2.2.1.1- Temperatura

A temperatura afecta directamente os processos biológicos de extrema importância para as plantas, como por exemplo:

- Intensidade da respiração;
- Transpiração;
- Taxa de fotossíntese;
- Permeabilidade das paredes celulares;
- Absorção de água e nutrientes;
- Germinação, floração e frutificação.

Cada espécie vegetal encontra condições para o seu desenvolvimento dentro de uma variação térmica. Este é limitado por um lado pelo zero de vegetação, isto é, a temperatura abaixo da qual o crescimento da planta cessa, por outro lado pela temperatura máxima, ou seja, temperatura a partir da qual o desenvolvimento das plantas é prejudicado e a evapotranspiração atinge taxas muito elevadas, limitando a produção. Para o mesmo intervalo é ainda importante distinguir temperatura mínima, que não é mais que a temperatura mínima necessária para que ocorram as diferentes fases de desenvolvimento.

Em estufa, a temperatura é influenciada directamente pela radiação solar (comprimento de onda entre os 300 e 2500nm), permitindo acumular calor durante o dia. Uma vez que, o aquecimento da estufa deve-se à radiação infravermelho curto, que passa pelo material de cobertura, transformando-se em calor. Esta radiação é absorvida pelas plantas, materiais de estrutura e solo. Ou seja, a absorção emite radiações de maior comprimento de onda após ultrapassar a cobertura, aquecendo a estufa.

O calor pode ser transmitido na atmosfera através de três processos: condução, convecção e radiação.

a) Condução: processo de transferência de energia de molécula a molécula, porém o ar é um mau condutor de calor, por isso, esse não é o processo preferencial;

b) Convecção: processo em que há movimentação de uma massa (de ar) em função de diferença de densidade. A elevação do ar quente acontece porque esse é menos denso do que o ar frio (mais denso). Além da convecção vertical existe a

convecção horizontal a qual é denominada de advecção que ocorre em consequência de diferenças de pressão;

c) Radiação: processo de transferência de energia entre dois corpos sem haver, necessariamente, um meio de conexão entre eles. Esse é o principal processo de troca de energia entre a Terra e o Sol.

### **2.2.1.2- Humidade**

A humidade do ar exerce grande influência em todos os processos biológicos da vida das plantas embora, a sua acção esteja dependente de outros factores como, por exemplo, a temperatura, a precipitação e o vento.

A principal acção da humidade do ar sobre a actividade agrícola consiste na influência na evaporação do solo e na transpiração foliar das plantas. Sendo, também, um factor a considerar nos tratamentos fitossanitários.

Cada espécie tem uma humidade ideal para produzir em perfeitas condições. A humidade relativa do ar é o factor climático que pode modificar o rendimento final das culturas e afecta o início do desenvolvimento da doença. Quando a humidade relativa aumenta, as plantas reduzem a transpiração e o seu crescimento, ocorrendo abortos florais e doenças fúngicas. Quando há condensação nas paredes da estufa, as gotas de água desempenham um papel importante na disseminação de patologias nas plantas vizinhas. Se a humidade é muito baixa, as plantas transpiram em excesso desidratando-as, para além de obter frutos pobres.

A humidade alta e baixa afecta as culturas em estufas. No caso dos fungos, a humidade afecta a formação, a longevidade e a germinação de esporos dos tecidos vegetais (Castilla, 2007).

### **2.2.1.3- Radiação Solar**

A radiação solar é fonte primária de energia para os processos biológicos e meteorológicos que ocorrem na superfície. A sua importância para as plantas é, tanto, quantitativa (densidades de fluxos de energia usada na fotossíntese) como qualitativamente (comprimento de ondas e fotoperíodo, para induzir o florescimento e a fotossíntese) (López et al., 2001).

O crescimento e desenvolvimento de uma planta dependem da intensidade, qualidade e duração da radiação solar. Por ser de importância vital às plantas, é indispensável uma avaliação mais detalhada sobre o seu comportamento, bem como sobre a sua disponibilidade durante o ciclo de determinado cultivo agrícola. Além disso, a radiação solar é utilizada pelas plantas na evapotranspiração, no fototropismo, na formação de pigmentos e outros.

As estufas são grandes aliadas da agricultura moderna, porque possibilitam melhores condições de desenvolvimento e produção, fornecendo microclimas amenos livres de excessos de chuvas que podem provocar encharcamento do solo, lixiviação de nutrientes e erosão, prejudicando a colheita e a qualidade do produto. Mas apesar disso, sua cobertura reduz a intensidade da radiação solar provocando grandes alterações na natureza espectral, embora na literatura não se encontrem informações numéricas e precisas dessas modificações (Tejedor, 2010).

Os métodos que se podem usar para melhorar a radiação solar são:

- Materiais de cobertura com transparência à radiação solar;
- Orientação adequada da estufa;
- Materiais que reduzem ao mínimo as sombras interiores;
- Aumento do ângulo de incidência da radiação sobre as coberturas;
- Revestir o solo com plástico branco.

Para diminuir a intensidade luminosa pode-se:

- Revestir o solo com plástico preto;
- Redes de sombra;
- Branqueamento das coberturas.

#### **2.2.1.4- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

Um dos factores determinantes da produção em estufa é a concentração de dióxido de carbono na atmosfera, visto que é um dos compostos fundamentais à realização da fotossíntese – processo pelo qual os organismos fotossintetizantes transformam a energia solar em energia química. Esta energia química, por sua vez é distribuída para todos os seres vivos por meio de uma “teia” alimentar. Este processo é uma das fases do ciclo do carbono e é vital para a manutenção dos seres vivos.

Em estufas, o enriquecimento de CO<sub>2</sub> é muito importante tanto em hortícolas como em flores devido à actividade fotossintética das culturas.

A concentração normal de CO<sub>2</sub> na atmosfera é de 0,03%. Este índice aumenta até aos limites de 0,1- 0,2%, quando se pretende que outros factores de produção sejam os ideais para a planta, maximizando a actividade fotossintética das plantas.

A concentração máxima atinge-se ao final da noite e o mínimo nas horas de maior luminosidade que coincide com o meio-dia. Em estufa fechada, a concentração pode atingir 0,005-0,01%, inibindo a realização de fotossíntese nas plantas. No caso das estufas fechadas durante os dias mais frios, as plantas apresentam sintomas de falta de CO<sub>2</sub> para a realização de fotossíntese.

Os níveis de CO<sub>2</sub> aconselhados dependem da espécie e variedade cultivada, da radiação solar, da ventilação, da temperatura e da humidade. O valor óptimo de assimilação é de 18-23 °C.

A fertilização com CO<sub>2</sub> melhora as culturas hortícolas, uma vez que aumenta a precocidade uns 20% e aumenta os rendimentos entre 25-30%, melhorando a qualidade e a colheita da cultura.

A radiação solar é um factor limitante a absorção de CO<sub>2</sub>, uma vez que a quantidade de luz recebida é proporcional à concentração de CO<sub>2</sub> disponível na atmosfera da planta. O período do dia mais importante para o enriquecimento carbónico é o meio-dia, quando a intensidade luminosa é máxima (Tejedor, 2010).

### **2.3– Sistemas de Condicionamento Ambiental**

Com os desenvolvimentos na área de sistemas estruturais, na produção do vidro e, posteriormente, no advento da luz eléctrica contribuirão para retirar a função térmica da envolvente e passá-la aos sistemas mecânicos de aquecimento e arrefecimento.

Actualmente, os sistemas aquecimento (ou arrefecimento) de estufas são baseados, principalmente, na utilização de combustíveis fósseis, que aumenta consideravelmente os custos de produção devido ao seu preço. A partir da década de setenta verificou-se uma maior preocupação sobre este aspecto, com o desenvolvimento de vários estudos no âmbito de redução dos custos de energia, através de diferentes técnicas de poupança de energias, entre as quais, sistemas de armazenamento de calor, uso de métodos de protecção térmica, sistemas de controlo climático, uso de tecnologias

de elevada eficiência de aquecimento (ou arrefecimento) ou alternativas de energia e coogeração.

Contudo, no mediterrâneo, as estufas incorporam pouco equipamento de climatização, utilizando na maioria ventilação natural e técnicas de sombreamento em épocas de maior radiação, a fim de reduzir as temperaturas e melhorar a humidade ambiental.

O baixo nível tecnológico das estruturas determina a dependência climática dos factores ambientais externos, diminuindo limitações importantes para a produção e qualidade.

A modernização e a tecnologia dos sistemas produtivos é fundamental, por isso deve-se adequa-los as estruturas de cultivo, instalação e critérios de sustentabilidade e respeitar o meio ambiente. Neste sentido existem estudos sobre as principais limitações climáticas das estufas do mediterrâneo, com o objectivo de aumentar as suas prestações produtivas e melhorar a eficiência do uso dos recursos.

### **2.3.1- Sistema de ventilação**

A ventilação é a troca de ar entre o interior e o exterior das estufas através de fluxo de massa. A ventilação nas estufas de produção hortícolas cumpre três funções essenciais:

- Remove o excesso de calor;
- Remove o vapor de água em excesso e reduz a condensação;
- Repõe os níveis de CO<sub>2</sub> no interior da estufa.

A ventilação das estufas pode ser classificada em natural ou estática e forçada ou dinâmica, conforme as diferenças de pressão resultem de diferenças de temperatura ou de força mecânica, respectivamente.

#### **2.3.1.1 - Ventilação Natural**

A ventilação natural apenas através de janelas laterais (dita horizontal). Para ser mais eficaz é importante que existam aberturas zenitais por onde saia o ar interior sendo



a depressão criada preenchida por ar exterior que entra através de janelas laterais (ventilação vertical).

A ventilação natural é provocada por diferenças de pressão, que constituem a força motriz para o fluxo do ar através das janelas. Estas diferenças de pressão podem ter duas origens:

- A força do vento (efeito eólico);
- A diferença de densidade do ar provocada por diferença de temperatura (efeito térmico).

O vento que incide numa estufa cria uma zona de alta pressão do lado de onde sopra (barlavento) e uma depressão na zona oposta (sotavento). As altas e as baixas pressões originadas pela passagem do vento sobre a estufa originam, respectivamente, a entrada ou a saída do ar através das janelas existentes.

O efeito do vento na ventilação pode ser reduzido se existirem obstáculos exteriores que reduzam a sua velocidade (quebra-ventos).

Assim, a intensidade do fluxo de ar por acção da força do vento depende:

- Direcção e velocidade do vento;
- Forma e dimensões da estufa;
- Tamanho e posição das aberturas.

Na ventilação horizontal sob efeito do vento é importante evitar que o ar ultrapasse uma velocidade que possa induzir *stress* hídrico nas plantas, normalmente acima de  $0,6 \text{ m s}^{-1}$ .

Na ausência de vento, a circulação do ar dá-se apenas devido às diferenças de densidade do ar que ocorrem dentro da estufa, entre as zonas mais frias e as mais quentes, e entre o interior e o exterior. O fluxo originado é directamente proporcional a:

- Diferença de temperatura entre as massas de ar;
- Diferença de cota entre as aberturas de entrada e de saída;
- Tamanho das aberturas de entrada e de saída do ar.

A ventilação natural é bastante condicionada pelo vento, razão pela qual se deve ponderar a orientação das estufas e a localização das suas aberturas relativamente aos ventos dominantes durante os períodos quentes.

Contudo em períodos sem vento, assim considerados quando a velocidade do vento for inferior a  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ , o efeito térmico na ventilação natural torna-se dominante.

Por isso, para que possa ocorrer um bom arejamento de forma passiva é necessário prever aberturas que facilitem tanto o arejamento por acção do vento como por efeito térmico (Sánchez-Guerrero et al., 2010).

### **2.3.1.2 - Ventilação forçada**

A ventilação forçada baseia-se na criação artificial de um gradiente de pressão para forçar o movimento do ar, o que se consegue através de ventiladores eléctricos. No Verão mediterrânico, os ventiladores devem ser de grande diâmetro e baixa velocidade, para se obter uma corrente de ar suave sobre as plantas mas de grande caudal.

Em regiões com temperatura muito baixa no Inverno, se for necessário usar ventilação forçada para baixar a temperatura durante os dias de céu limpo usa-se ventiladores pequenos e de grande velocidade, ou uma manga de distribuição de ar. Com isto consegue-se que o ar frio do exterior entre na estufa em jactos, com grande velocidade, o que leva à sua mais rápida mistura com o ar interior aquecido, evitando o contacto do ar exterior demasiado frio com as plantas (Almeida et al., 2010).

A ventilação forçada implica baixa frequência devido aos seus custos, surgindo sobretudo em estufas de elevado nível tecnológico ou associada a sistemas de arrefecimento evaporativo.

Ao projectar a ventilação há que prever a existência de redes anti-insectos, que constituem um obstáculo ao movimento do ar e obrigam a aumentar a área das aberturas e/ou a potência dos ventiladores para obter uma ventilação natural suficiente. Nestas estufas os ventiladores devem funcionar apenas em injeção, para manter a estufa com uma pressão mais elevada (Castilla, 2007).

### **2.3.2 – Sistema de arrefecimento**

Em estufa, a temperatura excessiva no Verão afecta o bom rendimento da cultura e da saúde dos trabalhadores que trabalham no seu interior. A redução da temperatura é um dos maiores problemas da horticultura protegida em climas quentes, porque não é fácil arrefecer sem investir na instalação de equipamentos de arrefecimento (Tejedor, 2010). Os sistemas de arrefecimento baseiam-se nos seguintes princípios:

1. Remoção do ar quente gerado na estufa (ventilação);
2. Limitação da entrada da radiação solar;
3. Arrefecimento evaporativo do ar.

Os sistemas de sombreamento que se utilizam em estufas de produção hortícola têm como o objectivo limitar a entrada de calor dentro da estufa.

As redes de sombra colocam-se sobre ou dentro da estufa, desde meados da Primavera ao início do Verão, retirando-se logo que a descida da temperatura o justifique. As redes exteriores são mais eficazes no controlo da temperatura e prolongam a duração dos materiais de cobertura, mas são de mais difícil e dispendiosa instalação, além de dificultar a automatização dos movimentos de extensão e recolha da rede (Almeida et al., 2010).

A pintura da estufa, habitualmente de cor branca favorece o aumento da taxa de reflexão da radiação solar incidente. Utiliza-se para este fim o carbonato de cálcio e magnésio, com adjuvantes diversos, mas actualmente empregam-se produtos específicos, com aderência adequada a poderem ser retirados por acção das chuvas a partir do Outono. Se esta pintura não sair naturalmente com as primeiras chuvas de Outono é necessário removê-la com jactos de água sob pressão contendo sulfato de amónio (Almeida et al., 2010).

### **2.3.2.1 – Arrefecimento evaporativo do ar**

O arrefecimento evaporativo baseia-se no facto de a água possuir um elevado calor latente de vaporização, em que a temperatura de 0 °C é de 2500 KJ.Kg<sup>-1</sup>.

Assim, ao evaporar, a água absorve bastante de calor arrefecendo o ar envolvente.

Os sistemas de arrefecimento evaporativo podem, como máximo teórico, arrefecer o ar até à temperatura do bolbo húmido. Contudo, na prática apenas conseguem reduzir a temperatura do ar exterior em um valor igual a 80 a 90% da diferença da temperatura no termómetro de bolbo seco (Ts) e no termómetro de bolbo húmido (Tw). Assim, quanto mais seco estiver o ar, isto é menor for a sua humidade relativa, maior será a diferença Ts-Tw e, conseqüentemente, maior será o arrefecimento produzido pelo sistema de arrefecimento evaporativo (Sánchez-Guerrero et al., 2010).

Por esta razão estes sistemas funcionam melhor em climas quentes e secos. O arrefecimento evaporativo pode ser concretizado de duas formas:

- Nebulização fina (*fog system*);
- Painel evaporativo (*cooling system*).

#### 2.3.2.1.1 – Nebulização fina (*fog system*)

Os sistemas de nebulização fina (*fog*) produzem-se gotas suficientemente pequenas para se evaporarem antes de caírem sobre as plantas ou o solo. A formação de gotas de dimensões suficientemente reduzidas pode obter-se de diferentes formas, aumentando a eficiência do sistema com a redução do tamanho das gotículas de água (Castilla, 2007).

A qualidade da água disponível condiciona a adopção da maioria destes sistemas, pois a presença de impurezas ou a deposição de calcário obriga a filtração e limpeza exigentes e frequentes, ou os tratamentos da água para emprego no sistema. O sistema de centrifugação é o menos afectado pela qualidade da água para o seu funcionamento.

Os sistemas de elevada pressão são mais caros pela maior exigência em potência das bombas e elevada resistência exigida às canalizações. Num sistema de *fog* de alta pressão existem tubagens de metal montadas suspensas na estufa com bicos (difusores) que pulverizam finamente a água, normalmente um difusor com  $4 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$  de caudal por cada 20 a 25  $\text{m}^2$  de área coberta. As elevadas pressões necessárias para produzir gotículas de dimensão *fog* têm conduzido a inovações tecnológicas destinadas a conseguir gotículas pequenas com menores pressões nos bicos (Almeida et al., 2010).

#### 2.3.2.1.2 – Painel evaporativo (*cooling system*)

Um painel evaporativo (*cooling system*) é composto por ventiladores montados numa das paredes da estufa e por um painel molhado montado na parede oposta. Os ventiladores os extractores que removem o ar de dentro da estufa criando-se uma depressão interior que força o ar exterior a entrar através do painel molhado. Ao atravessar o painel, o ar transfere parte do seu calor para a água no painel, que evapora,

entrando o ar na estufa com menor temperatura e maior humidade absoluta. Desenvolvimentos do sistema inicial criaram modelos com outras configurações mas operando de acordo com o mesmo princípio (Castilla, 2007).

### **2.3.3 – Sistema de aquecimento**

No Mediterrâneo, o consumo de energia em estufas aumentou exponencialmente. Por isso, as estufas aquecidas devem utilizar a energia recebida durante o dia por radiação a fim de reutilizá-la quando as temperaturas estão mais baixas sem afectar o bom crescimento e desenvolvimento das plantas.

O aquecimento dos órgãos aéreos transmite-se por convecção ou por radiação, enquanto que o aquecimento do solo ou do substrato transmite-se por condução.

A temperatura da superfície das plantas resulta da troca de calor sensível com o ar, por convecção e por radiação com todas as superfícies que o rodeiam, para tal devem accionar as trocar de calor latente pela transpiração, principalmente durante o dia e as vezes a condensação do vapor de água sobre a forma de gotas sobre as folhas (Sánchez-Guerrero et al., 2010).

Os sistemas de aquecimento em estufas permitem elevar a temperatura, possibilitando proteger das geadas (aquecimento antigeadas), aumentar a precocidade e a produtividade das culturas, assim como o cultivo de culturas megatérmicas em climas ou épocas do ano com temperaturas desfavoráveis, evitando a condensação de água ou prevenir a ocorrência de doenças (Almeida et al., 2010). Actualmente, os sistemas de aquecimento dominantes nas estufas são os geradores de ar quente (combustão directa ou indirecta) e os sistemas menos utilizados na produção hortícola são baseados por condução de água a alta temperatura (90-95 °C) através de tubagens metálicas, tendo os combustíveis fósseis como fonte de energia (Tejedor, 2010).

#### **2.3.4.1- Aquecimento por água quente**

Em sistemas radiativos de aquecimento clássicos por água quente a altas temperaturas, o elemento de aquecimento é um tubo ou uma superfície quente em que o calor dissipa por radiação e por convecção do ar. A transmissão de calor por condução efectua-se somente dentro de tubos. A temperatura da superfície das plantas é superior

ao do ar circundante, o que limita a condensação de água na planta, provocando o desenvolvimento de doenças (Castilla, 2007).

As vantagens do sistema de aquecimento por água quente são:

- Fácil maneo;
- Quando bem desenhado, proporciona uma distribuição relativamente uniforme do gradiente térmico;

- Não desidrata excessivamente o ar;
- Origina menores perdas de calor da estufa por condução-convecção;
- Permite manter um balanço térmico mais elevado na estufa;
- Baixo custo de manutenção (se a água não for de má qualidade);
- Elevada inércia térmica.

O custo de instalação é a principal desvantagem, contudo a utilização de tubagem em materiais plásticos e a água aquecida a temperatura mais baixa tenha reduzido este custo.

Nos sistemas de aquecimento por água quente, a distribuição de calor é feita por:

- Termossifão, em que a água circula nas tubagens apenas devido ao desnível entre a caldeira e a rede de distribuição (gravidade) a que acresce a diferença de densidade entre a água quente que sai da caldeira de alimentação e a água tépida que retorna à caldeira;

- O accionamento da bomba ou acelerados com tubos de menor diâmetro, em que a água de retorno é mais elevado do que nos termossifões.

Nos sistemas de água quente em circulação forçada, a água é bombeada por grupos motor-bomba eléctricos através da tubagem, o que permite facilmente automatizar o aquecimento e utilizar tubagem de menor diâmetro. Consideram-se duas variantes, em função da velocidade da água na tubagem.

A água também pode ser aquecida a temperatura entre 120 a 140 °C ou obter-se vapor de água (a 0,5 a 3 atm), aumentando o calor transportado para a estufa devido à maior temperatura da água ou ao aproveitamento do calor latente de condensação, libertado aquando da condensação do vapor no interior da tubagem durante o transito pela estufa. Contudo o elevado custo energético destas duas soluções reduziu o seu interesse para aplicação agrícola (Almeida et al., 2010).

### 2.3.3.2- Aquecimento por ar

Os sistemas de aquecimento por ar quente dentro da estufa mais frequentes são: aquecedores, geradores de ar quente e bombas de calor.

Os aquecedores transmitem calor por um corpo quente, em que os aquecedores mais utilizados são de água e os mais caros são os eléctricos. Os tubos metálicos são percorridos por água quente, trocando calor por convecção com o ar. A superfície de contacto aumenta com um ventilador, melhorando as trocas de ar (Castilla, 2007).

Os geradores de ar quente de combustão directa são geradores com permutador de calor. Nos geradores de combustão directa a ar é transportado por um ventilador para dentro da câmara de combustão e na saída arrasta consigo os gases de escape da combustão. Este facto por provocar problemas de toxicidade pelo etileno ou por compostos de enxofre resultantes da combustão. Contudo, utilizando-se como combustível um gás com baixos níveis de contaminantes pode aproveitar-se o CO<sub>2</sub> libertado da combustão para enriquecer a atmosfera da estufa (Almeida et al., 2010).

Nos geradores de combustão indirecta, a combustão ocorre numa câmara isolada do ar que vai ser injectado na estufa e que tem um escape para o exterior da estufa. O ar é aquecido por contacto com um permutador de calor.

As bombas de calor tomam calor de uma fonte fria (água ou ar exterior) da estufa, porém são poucos frequentes.

O aquecimento por ar aquecido apresenta como principais vantagens as seguintes:

- Mais fácil instalação e transporte, sobretudo nos sistemas de menor dimensão;
- Rapidez de aquecimento da estufa, sendo por isso indicados para situações em que se exige um rápido aquecimento, durante período relativamente curto.

Estes sistemas podem provocar dessecamento das folhas o que poderá ser vantagem ou inconveniente para o crescimento de espécies mais exigente em humidade relativa.

## 2.4 - Balanço térmico

A terra aquece quando absorve energia e arrefece quando emite energia. O planeta absorve e emite energia simultaneamente; se a superfície terrestre absorver mais energia do que a que emitir, aquece; caso contrário, arrefece. Uma vez que está constantemente a entrar energia solar na atmosfera, a terra sobreaqueceria caso toda esta energia fosse armazenada no sistema terra-atmosfera. No entanto, não acontece, o que indica que parte dessa energia escapa novamente para o espaço. Globalmente o que acontece é que a radiação incidente retorna ao espaço sob a forma de radiação terrestre resultando um balanço térmico.

No caso de estufas do ponto de vista térmico, tem-se o espaço como elemento central, sendo estas delimitadas por uma fronteira através do qual contacta com o exterior podendo trocar calor.

Ao identificar um dado espaço cuja fronteira está toda em contacto com o exterior, cujo clima conhece-se, torna-se possível calcular o balanço de ganhos e perdas de energia, isto é a relação entre os ganhos e as perdas totais de calor através da envolvente, considerando que:

No Inverno: os ganhos térmicos devem ser maiores do que as perdas térmicas. O sistema de aquecimento: a energia complementar que é necessária à estufa para que a temperatura no interior não desça abaixo do valor óptimo para o desenvolvimento das culturas.

No Verão: as perdas devem ser maiores que os ganhos térmicos. No sistema de arrefecimento: a energia necessária para diminuir a temperatura excessiva do interior da estufa, a fim de não condicionar a produtividade e o desenvolvimento da cultura.

Os fluxos de energia das estufas (figura 3) são descritos por troca de calor sensível (condução, convecção e advecção), de calor latente (evaporação/ transpiração, condensação e advecção) e radiação (solar e térmica) por unidade de área de terreno (Castilla, 2003).

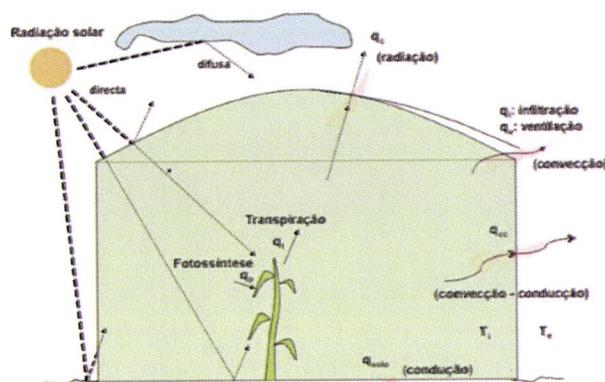


Figura 3 – Esquema com as principais formas de troca de calor das estufas com o meio.

Fonte: (Almeida et al., 2010).

Porém, as trocas energéticas entre o clima externo e interno da estufa são complexos e estão relacionados entre si, por isso intervêm em todas as formas de transferência de calor: radiação térmica, condução e convecção. A conjunção destas trocas energéticas é expressa por uma expressão matemática complexa devido aos inúmeros factores que intervêm no balanço térmico de uma estufa. O cálculo das expressões matemáticas que definem as trocas energéticas do clima exterior e interior da estufa podem seguir diferentes metodologias. Em que umas baseiam-se em modelos sofisticados que constituem a descrição detalhada do balanço energético para cada componente da estufa e, outras têm por base modelos simplificados definidos pela linearização das trocas entre o calor sensível e o calor latente (Castañeda et al., 2003).

Assumindo o balanço energético para cada componente da estufa, estes podem ser formulados, apenas considerado o balanço energético da cobertura, do ar, da cultura e do solo. Em que cada elemento, a quantidade ganha menos a perdida é igual a energia acumulada. Também deve-se incluir a conservação da massa através do vapor de água, originando na transpiração das plantas e do solo.

Desta forma, é importante conhecer as condições climáticas externas da estufa (temperatura do ar, velocidade do vento, etc.) e os parâmetros da estufa (propriedades ópticas e térmicas da cobertura, volume do ar, superfície, etc.), para que os balanços de energia possam calcular as temperaturas do ar, das plantas e das coberturas, etc. Para isto é preciso conhecer as expressões de cálculo de cada um elemento do balanço e resolver simultaneamente as equações (Castañeda et al., 2003).

### 2.4.1- Balanço de energia da cobertura

A transferência de calor ocorre a partir do tecto que permite determinar a eficiência da coberta como barreira entre o ar interior e o ar exterior. A maioria das coberturas é constituída por materiais plásticos (polietileno), uma vez que são materiais com uma espessura fina, em que a diferença entre as temperaturas interiores e exteriores é depreciada e considera-se que a cobertura tem uma temperatura homogénea.

A principal perda de calor numa estufa ocorre pela cobertura (tecto e paredes) através da conjugação de fenómenos de convecção e de condução. O calor é transmitido do ar interior para a superfície interior da cobertura através de correntes de convecção, passa através da espessura do material de cobertura por condução e, finalmente, é transferido da superfície exterior do material de cobertura para o ar exterior por convecção (Almeida et al., 2010).

O cálculo do balanço energético da estrutura varia com o coeficiente global de transmissão térmica (U) que é, por sua vez, calculado através de coeficientes de convecção e da condutividade térmica do material de cobertura. No entanto, para aplicações práticas pode ser obtido através da tabela 1.

Tabela 1 – Valores aproximados para o coeficiente global de transmissão térmica (U) para diferentes materiais de cobertura das estufas.

Material de cobertura	U ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
Vidro	6,3
Polietileno, simples	6,8
Polietileno, parede dupla	4
Polietileno térmico, parede dupla	3
Vidro acrílico, duplo	3
Vidro e ecrã térmico	3
PE duplo e ecrã térmico	2,5

Fonte: (Almeida et al., 2010)

#### **2.4.2- Balanço de energia do ar interior**

O balanço de transferência de calor da estufa ocorre pelo processo de convecção, através da ventilação natural. A diferença dos fluxos de calor é igual a capacidade calorífica do ar no interior da estufa.

#### **2.4.3- Balanço de energia da cultura**

A cultura absorve a energia transmitida pela cobertura. A percentagem de calor transferido pela absorção da energia depende do coeficiente de transmissão da cobertura e o coeficiente de emissão das folhas. Nas superfícies á volta (solo e cobertura) existe uma transferência de calor por radiação. Todos os fluxos de calor aplicam-se ao gradiente de temperatura, para que a cultura mantenha uma temperatura constante nas folhas pela evaporação de água. A quantidade de calor transferido pela evaporação das folhas depende da concentração de vapor de água. As densidades do fluxo de entradas e saídas de calor das folhas são iguais a sua capacidade de armazenar energia.

#### **2.4.4- Balanço de energia da superfície do solo**

A temperatura do solo depende da quantidade de calor recebida e da forma como o calor se dissipa.

Na superfície da cobertura do solo da estufa, ocorrendo vários fluxos de energia:

- A radiação de pequeno comprimento de onda penetra na cultura e é absorvida pelo solo;
- O calor radiante de longo comprimento de onda é a troca com outros componentes opacos na estufa;
- A transferência de calor por convecção com o ar e a superfície do solo;
- A transferência de calor por condução no interior do solo.

#### **2.4.5- Balanço de energia da superfície do solo**

O processo de evaporação da cultura e do solo produz uma grande quantidade de vapor que se acumula com o tempo e o vento transporta o vapor para fora da estufa.

#### **2.5- Culturas em estufas no Mediterrâneo**

Uma característica da produção agrícola realiza-se em zonas afastadas dos grandes núcleos de consumo. Esta alternativa requer frequentemente que se cultive em condições desfavoráveis para as plantas, o que exige a sua protecção em ambientes mais adequados ao seu desenvolvimento, com um custo de operação compatível com o rendimento económico da produção (Navas Gracia et al., 2003)

Em contraste com a maioria dos sistemas de produção em agricultura, a produção em estufa permite manipular o crescimento e a produtividade (até certos limites) das culturas através da utilização correcta de técnicas de produção e de condicionamento ambiental. O aquecimento é uma das técnicas de condicionamento ambiental que permite criar as melhores condições no interior da estufa, possibilitando a obtenção de elevada quantidade e qualidade das culturas.

As culturas hortícolas de maior importância socioeconómica para as regiões escolhidas são, por ordem crescente de exigência edafoclimática, a alface, o tomate e o pepino.

A valorização do produto passa pelo preço competitivo no mercado. Face à conjuntura económica actual o preço é uma das variáveis a ter em conta pelo consumidor quando opta pela compra de determinado produto.

No entanto, existem outros factores de valorização:

- A segurança alimentar, tendo em vista estabelecer e reforçar a relação de confiança do consumidor, é um factor determinante que leva ao aumento do consumo dos produtos.
- O modo de produção dos produtos hortícolas, quando em Protecção Integrada, Produção Integrada ou Modo de Produção Biológico são garante de qualidade dos produtos e de valorização dos mesmos.

- O tratamento pós - colheita, preparando os denominados produtos da 4ª Gama, especialmente as saladas, é um modo de oferecer ao consumidor um maior leque de produtos frescos e transformados, mais fáceis de utilizar e melhor valorizados.
- O reforço da Organização Comercial dos produtores, através do aumento da dimensão das empresas, tendo em vista fazer face a uma cada vez maior tendência de concentração das grandes empresas de distribuição.
- A Implementação de uma política de Certificação dos produtos e de Fiscalização adequada. É necessário actuar sobre a comercialização desleal, que actua quase sempre sem documentação, face às empresas que declaram e pagam impostos.
- O estudo de mercado de modo a identificar os "nichos de mercado", a serem aproveitados por produtos para os quais a região apresenta tradição e boas condições de produção.
- Desenvolvimento de Organizações de Produtores Reconhecidas, que funcionam como instrumento de comercialização e de criação de fundos operacionais de apoio ao desenvolvimento da produção.

Actualmente, ao nível do mercado, apontam-se duas grandes linhas de actuação:

**Segurança alimentar** – é sem dúvida uma das maiores preocupações do consumidor, que exige qualidade, sendo necessário dar confiança ao consumidor;

**Preço competitivo** – que, face à situação económica que os países e os consumidores atravessam, é um factor de peso na altura de opção por um ou outro produto.

## 2.5.1 - A Cultura da Alface

### 2.5.1.1- Descrição

A alface é da família da Asteraceae e da espécie *Lactuca sativa* L. Planta herbácea, anual, compacta, hermafrodita, com raiz aprumada e muito curta, não ultrapassando geralmente os 25 cm de profundidade e com pequenas ramificações. Enquanto a planta está na fase de roseta o caule é imperceptível mas quando atinge o estado de perfeito repolhamento já se pode considerar como um pequeno caule em forma cónica e na fase de espigamento surge então um de maior tamanho e ramificado, que vai sustentar as flores (Programa Disqual XXI, 2005).

### 2.5.1.2- Exigências Edafoclimáticas

O solo ideal para o cultivo da alface é o de textura média, rico em matéria orgânica e com boa disponibilidade de nutrientes. Para se obter maior produtividade, que melhorem as condições físicas, químicas e biológicas do solo. As maiores produções podem ser obtidas a partir da melhoria das características químicas e físico-química do solo, o que poder ser obtida com o acréscimo de doses crescentes de compostos orgânicos.

Outros factores que afectam a produtividade da cultura estão directamente relacionados com o clima. Geralmente, no Verão, a maioria das cultivares de alface não se desenvolve bem devido ao calor intenso e dias longos. Estas condições favorecem a maturação precoce, tornando as folhas leitosas e amargas, perdendo seu valor comercial.

Tabela 2 – Temperaturas óptimas ao longo do ciclo da cultura da alface.

Fase de desenvolvimento	Temperatura óptima	Observações
Germinação	15 a 20°C	Temperaturas superiores a 25°C podem provocar dormência das sementes
Viveiro	dia: 15°C noite: 8 a 10°C	Nos meses de pouca luz, temperaturas altas provocam o estiolamento das plantas
Crescimento rápido (local) definitivo	dia: 18 a 20°C; noite: 10 a 15°C	Temperaturas elevadas podem induzir a floração precoce
Repolhamento	dia: 10 a 15°C; noite: 5 a 8°C	Temperaturas elevadas podem induzir a floração precoce, prejudicar o repolhamento e conferir um sabor amargo às folhas

Fonte: (Programa Disqual XXI, 2005)

A temperatura é o elemento climático que exerce maior influência nos processos fisiológicos das plantas de alface, podendo acelerar ou retardar as reacções metabólicas, sob condição de temperatura óptima ou inferiores a esta, respectivamente. Em que a alface consegue germinar bem a temperaturas baixas, aumentando a velocidade dessa germinação com temperaturas até 20-25 °C. A temperatura óptima situa-se entre os 15-21 °C. Acima dos 25-27 °C a semente pode entrar em dormência sendo a percentagem de germinação muito baixa. Para todas as cultivares de alface, a ocorrência de dias curtos e temperaturas amenas favorecem a etapa vegetativa, sendo estas, inclusive, resistentes a baixas temperaturas e geadas leve.

A humidade relativa do ar pode afectar a transpiração, e, como consequência, causam mudanças na condutância estomática, afectando as interacções com a fotossíntese e produção de matéria seca e o índice de área foliar. Embora a maioria das reacções metabólicas seja fortemente influenciada pela temperatura, alguns processos físicos como a absorção de luz é relativamente insensível a ela, sendo a taxa de difusão de calor intermediária em sensibilidade.

## 2.5.2 – Cultura do Tomate

### 2.5.2.1- Descrição

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tornou-se numa das hortícolas mais importantes do mundo. Em 2001, a produção mundial do tomate atingiu um nível de, aproximadamente, 105 milhões de toneladas de frutos frescos produzidos numa área estimada de 3,9 milhões ha. Como se trata de uma cultura com um ciclo relativamente curto e de altos rendimentos, a cultura do tomate tem boas perspectivas económicas e a área cultivada está a aumentar cada dia. O tomate pertence à família das *Solanáceas* (Naika et al., 2006).

### 2.5.2.2- Exigências Edafoclimáticas

A cultura do tomate requer um clima relativamente fresco, árido, para dar uma produção elevada de primeira qualidade. Uma vez que o tomate é uma planta termoperiódica, crescendo melhor com temperaturas variáveis do que constantes, variando de acordo com idade da planta. As diferenças térmicas óptimas de noite/dia são 6 a 7°C. Durante a fase de crescimento vegetativo, as temperaturas altas (25 °C) favorece o crescimento foliar, com temperaturas baixas (15 °C) ocorre o contrário (Nuez, 2001).

A temperatura óptima da maioria das variedades situa-se entre 21 a 24 °C. As plantas podem sobreviver certa amplitude de temperatura, mas abaixo de 10 °C e acima de 38 °C danificam-se os tecidos das mesmas.

As temperaturas diurnas médias são 23 a 24 °C e as nocturnas são 14 °C. A temperatura de 24 °C a 31 °C, a planta desenvolve-se rapidamente, com 33 °C modera o

ritmo de crescimento e dos 35 aos 38 °C morre. Quando o pH é baixo com temperaturas entre 30 a 35 °C, os frutos têm menos sabor. Com temperaturas superiores a 30 °C, os frutos apresentam-se escaldados durante a frutificação, provocando a queda das flores e dos frutos recém fecundados. Com temperaturas entre os 38 e os 40 °C os frutos aparecem queimados.

A temperatura média mensal varia entre 16 a 27 °C, em que os máximos oscilam entre 28 a 30 °C e os mínimos de 12 – 15 °C. A temperatura média diária é responsável pelo índice de crescimento, uma vez que quanto maior a temperatura do ar mais rápido é o crescimento.

As temperaturas óptimas com a radiação solar variam entre 18 - 22°C em boas condições de radiação, 17-25°C com boa radiação e 15-21°C com baixa radiação.

Tabela 3 – Temperaturas diurnas e nocturnas para crescimento, floração e frutificação do tomate

Fases do ciclo vegetativo	T <sub>d</sub> (°C)	T <sub>n</sub> (°C)
Crescimento	18-20	15
Floração	22-25	13-17
Frutificação	25	18

Fonte: Ferre, 2003.

Os tomateiros reagem às variações da temperatura para não afectar os diversos ciclos de crescimentos, como a germinação de sementes, o desenvolvimento de plântulas, a florescência, a frutificação e a qualidade dos frutos. Quando durante a florescência há períodos persistentes de tempo fresco ou quente, reduz-se a produção de pólen e isto terá influência na frutificação.

A intensidade da luz afecta a cor das folhas, a frutificação e a cor dos frutos, porque a radiação limitada reduz a fotossíntese, implicando maior competição pelos produtos assimilados, o que reflecte no desenvolvimento e na produção. No entanto, o melhoramento genético permite-nos obter cultivares adaptados a baixa radiação com boa floração e frutificação, tendo dois ciclos produtivos no inverno (Nuez, 2001).

## 2.5.3- A Cultura do Pepino

### 2.5.3.1- Descrição

O pepino pertence a família da Cucurbitáceas e a espécie *Cucumis sativus*. É uma planta herbácea, anual, com sistema radicular apumado e denso. Os caules podem ter crescimento trepador devido à presença de gavinhas não ramificadas, têm consistência herbácea, são de cor verde-claro a verde médio e têm forma angulosa. As folhas de Pepino são simples, pentagonais, ou mais raramente, trilobadas de nervação palminérvia e de inserção alterna (Ferre, 2003).

### 2.5.3.2- Exigências Edafoclimáticas

O pepino é uma cultura megatérmica, cujas exigências em temperatura para o crescimento e desenvolvimento são muito semelhantes. Sendo um fruto ácido colhido no estado imaturo, tem uma maturação curta e as necessidades de calor é superior ao tomate.

Na actualidade recomenda-se as seguintes temperatura do ar para os diferentes estádios de desenvolvimento do pepino:

Tabela 4 – Temperaturas óptimas ao longo do ciclo da cultura do pepino.

Fases de desenvolvimento	Temperaturas Óptimas (°C)
Germinação	27 (Dia) 27 (Noite)
Crescimento vegetativo	27-30 (Dia) 18-19 (Noite)
Floração e Frutificação	27-28 (Dia) 18-19 (Noite)
Temperatura média mínima	24 (Dia) 20 (Noite)

Fonte: (Ferre, 2003)

O pepino tem exigências bastante parecidas com o tomateiro, sendo, no entanto, mais exigente em humidade relativa na época da floração, sobretudo durante a polinização. Podem, também, tolerar um pouco mais de sombreamento. A cultura

comporta-se bem a humidades relativas entre os 50 a 80% e beneficia de humidades relativas tanto mais elevadas quanto mais elevada forem a temperatura.

As humidades relativas entre 75 e 100% induzem um aumento da aérea foliar e uma redução da espessura das folhas. As humidades relativas muito baixas (<50%) ou demasiado elevadas (>90%) reduzem o fluxo xilémico, respectivamente por fecho dos estomas ou por reduzida evapotranspiração potencial e originam uma necrose apical seca no ápice vegetativo da planta ou queimadura do ápice devido à temperatura elevada.

## **2.6– Modelos climáticos**

Os modelos podem ser definidos por “uma representação simplificada da natureza de uma parte do mundo físico” (Batchelor, 1994). Os modelos matemáticos descrevem a realidade através de relações matemáticas que tanto podem ser uma equação empírica (modelos empíricos) como um conjunto de equações de base física (modelos fisicamente baseados). Todos os tipos de modelos contêm simplificações e abstracções. Podem ser utilizados para comparar o impacto ambiental dos processos alternativos. O objectivo dos modelos é compreender melhor o sistema e prever situações futuras, podendo também ser utilizado para reproduzir o passado e para orientar decisões.

Os procedimentos para a construção de um modelo matemático que apresente um sistema real são (Machado, 2002):

- Desenvolvimento do modelo conceptual, que envolve todo o levantamento e intercepção de dados e observações do mundo real;
- Selecção da linguagem informática a utilizar, segundo as necessidades e os dados existentes;
- Tradução das diversas bases de dados para a introdução das informações do programa seleccionado;
- A calibração do modelo constituído de forma a diminuir as incertezas inerentes a uma representação simplificada de um sistema real, em geral, complexo.

Os modelos integram o conhecimento existente em princípios lógicos de procedimentos e de relações, e podem ser usados para estabelecer mais conhecimentos sobre os sistemas ambientais, tanto como um maneiio de testar hipóteses, como permitir um método para prever a utilização desses ecossistemas (Grayson, et al., 1992).

Para que um modelo seja considerado válido e representativo dos processos naturais, usa-se a informação conhecida de um período como prova, verificando-se se a informação estabelecida se ajusta aos dados provenientes da medição real.

Actualmente, os números de sistemas de automatização no mercado são imensos para controlar os parâmetros climáticos da estufa. Estes sistemas são compostos por um computador central ligado a diversos sensores, recolhendo as variações dos diversos parâmetros previamente programados. Trata-se de uma pequena estação meteorológica que regista os valores da temperatura interior e exterior, humidade relativa, velocidade do vento, iluminação, concentração de CO<sub>2</sub>, entre outros.

Estes sistemas podem estar ligados a sistemas de fertirrigação e regulação climática. Os sensores são distribuídos em diferentes sectores, podendo funcionar de forma autónoma. O controlador central recolhe as informações captadas pelos sensores e coordena as suas acções, enviando ordens distintas a cada sensor.

Os modelos de simulação de controlo climático servem para simular diversas situações reais com baixo custo e necessitam de informação prévia. O seu objectivo principal é ajudar o agricultor na sua tomada de decisões, maximizando os seus lucros.

### 3- Material e Métodos

Neste Capítulo realizar-se a descrição detalhada do material e da metodologia utilizada para atingir o objectivo referenciado neste trabalho: **“Análise de comportamento energético de estufas nos Países da Península Ibérica”**.

Em que primeiro lugar será apresentado os factores energéticos, a partir das coordenadas geográficas e dados climáticos das localidades em estudo, que foram inseridos nos quadros do SCE (Simulador Climático de Estufas), a fim de executar as simulações, obtendo resultados que serão apresentados e discutidos no capítulo dos resultados e discussões, posteriormente.

No presente estudo considerou-se várias zonas de Portugal e Espanha pelas diferentes condições climáticas, por serem regiões, tradicionalmente, produtoras de hortícolas e pelo aumento significativo da área de produção em estufas: Açores, Faro, Madeira, Torres Vedras, Vila do Conde, Almeria, castellon, Coruña, Huelva, Madrid e Navarra.

As culturas analisadas foram a alface, o tomate e o pepino, uma vez que são culturas de grande importância socioeconómica regional, nacional e mundial e pelas diferentes exigências térmicas.

Neste capítulo será descrito, pormenorizadamente, a metodologia utilizada para efectuar as simulações que irá permitir, depois, a realização das cartas de consumo energético médio anual. Elaboradas a partir de ferramentas de SIG (programa ArcGis), tendo na totalidade seis cartas de consumo energético para os períodos de aquecimento e arrefecimento. Assim, para a realização deste trabalho foram realizadas duas simulações distintas para diferentes temperaturas de referência nocturnas e diurnas para cada região e cultura (três culturas de onze localidades), no total somam-se sessenta e seis simulações.

### 3.1- Factores Energéticos

#### 3.1.1- Zonas de estudo

Para o estudo do consumo energético de estufas da Península Ibérica foram seleccionadas onze localidades, por serem zonas características de produção hortofrutícola em estufa.

De seguida, a tabela 5 apresenta as coordenadas geográficas das estações meteorológicas das localidades em estudo, que foram submetidas em simulação.

Tabela 5 – Coordenadas geográficas das regiões.

<b>Região</b>	<b>Latitude (°) N</b>	<b>Longitude (°) W</b>	<b>Altitude (m)</b>
<b>Açores</b>	37,4521642	27,220577	35
<b>Faro</b>	37,015360	7,935113	8
<b>Madeira</b>	32,760707	16,959472	136
<b>Torres Vedras</b>	39,087747	9,259448	73
<b>Vila do Conde</b>	41,353798	8,742872	127
<b>Almeria</b>	36,840209	2,467939	316
<b>Castellón</b>	39,986068	6,036024	319
<b>Coruña</b>	43,370873	8,395835	117
<b>Huelva</b>	37,257101	6,949555	147
<b>Madrid</b>	40,416691	3,700345	657
<b>Navarra</b>	42,695391	1,676069	492

#### 3.1.2- Caracterização do Clima

Os dados climáticos utilizados neste estudo foram obtidos da FAO (período 1961-1990) e das Normas Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica correspondendo ao período de 1951-1980.

Os factores climáticos que influenciam as simulações são:

- Temperaturas mínimas médias observadas no exterior (°C);
- Temperaturas médias observadas no exterior (°C);
- Temperaturas máximas médias observadas no exterior (°C);
- Humidade relativa média (%);
- Velocidade média do vento ( $m.s^{-1}$ );
- Radiação solar média ( $W.m^{-2}$ ).

Considerando também a latitude em graus e altitude em metros.

As tabelas seguintes indicam os dados que foram inseridos nas simulações para cada região e cultura.

Tabela 6 – Temperaturas máximas médias (°C) das regiões em estudo

Mês	Almeria	Açores	Castellón	Coruña	Huelva	Madeira	Madrid	Navarra	Torres Vedras	Vila do Conde	Faro
J	14,60	17,10	12,95	12,50	15,35	17,80	9,75	7,85	14,10	14,55	16,10
F	15,40	16,80	14,20	12,95	16,30	17,90	11,30	9,30	15,10	15,60	16,80
M	17,00	17,30	16,60	14,50	18,45	18,60	14,20	11,45	17,10	17,80	18,00
A	18,65	18,20	18,65	15,55	20,30	18,90	16,80	12,95	18,55	19,40	21,20
M	22,05	20,00	22,05	17,70	23,75	20,50	21,20	16,6	21,40	21,95	20,40
J	25,70	22,20	26,05	20,70	23,30	22,10	26,60	20,60	24,40	25,40	25,10
J	29,40	24,50	29,50	23,00	30,90	23,10	31,50	23,85	27,30	28,10	28,80
A	29,75	25,70	29,00	23,40	31,30	24,60	30,75	23,75	22,70	28,40	28,90
S	27,15	24,90	26,45	22,30	28,60	24,50	26,40	22,10	26,05	27,00	26,40
O	22,55	22,30	21,60	18,85	23,75	22,70	19,95	17,25	22,05	22,75	22,80
N	18,00	19,60	16,35	15,10	18,90	20,10	13,40	11,55	17,25	17,26	19,10
D	15,35	17,90	13,25	13,00	15,70	18,00	9,90	8,55	14,40	14,85	16,60

Tabela 7 – Temperaturas médias (°C) das regiões em estudo.

Mês	Almeria	Açores	Castellón	Corunha	Huelva	Madeira	Madrid	Navarra	Torres Vedras	Vila do Conde	Faro
J	10,50	14,30	8,40	9,10	11,00	14,00	5,10	4,50	10,80	10,50	12,00
F	11,20	13,80	9,40	9,50	11,80	13,80	6,20	5,65	11,70	11,40	12,06
M	12,60	14,30	11,20	10,50	13,40	14,50	8,30	7,10	13,10	12,90	13,20
A	14,30	15,10	13,40	11,60	15,10	15,70	10,90	8,70	14,40	14,40	15,60
M	17,50	16,60	16,70	13,70	18,10	17,50	14,70	11,90	16,90	16,70	17,30
J	21,00	18,70	20,60	16,50	21,50	19,20	19,30	15,50	19,66	19,80	20,50
J	24,40	20,80	23,80	18,60	24,40	20,60	23,20	18,30	22	22	23,20
A	24,90	21,80	23,60	18,90	24,70	21,70	22,70	18,30	22,30	22	23,20
S	22,50	21,20	21,10	17,80	22,70	20,80	19,10	16,70	21,10	21	21,30
O	18,20	19,00	16,60	14,90	18,70	18,60	13,80	12,80	18	17,80	18,30
N	13,90	16,80	11,80	11,60	14,30	16,50	8,40	7,90	13,80	13,21	14,60
D	11,30	15,20	9,00	9,80	11,40	14,80	5,40	5,50	13,30	11	12,20

Tabela 8 – Temperaturas mínimas médias (°C) das regiões em estudo.

Mês	Almeria	Açores	Castellon	Corunha	Huelva	Madeira	Madrid	Navarra	Torres Vedras	Vila do Conde	Faro
J	6,40	11,50	3,85	5,70	6,65	12,60	0,45	1,15	7,50	6,45	7,90
F	7,00	10,80	4,60	6,05	7,30	12,40	1,10	1,90	8,3	7,20	8,40
M	8,20	11,30	5,80	6,50	8,35	12,60	2,40	2,75	9,10	8	8,40
A	9,95	12,00	8,15	7,65	9,90	12,90	5	4,45	10,25	9,40	10,00
M	12,95	13,30	11,35	9,70	12,45	14,10	8,20	7,20	12,40	11,45	12,20
J	16,30	15,20	15,15	12,30	15,70	15,90	12	10,40	14,80	14,20	15,90
J	19,40	17,00	18,10	14,20	17,90	17,40	14,90	12,75	16,70	15,9	17,50
A	20,05	18,00	18,20	14,40	18,10	18,20	14,65	12,85	16,90	15,6	17,50
S	17,85	17,50	15,75	13,30	16,80	17,90	11,80	11,30	16,15	15	16,20
O	13,85	15,80	11,60	10,95	13,65	16,80	7,65	8,35	13,95	12,85	13,80
N	9,80	13,90	7,25	8,10	9,70	14,90	3,40	4,25	10,35	9,15	10,20
D	7,25	12,40	4,50	6,60	7,10	13,60	0,90	2,25	8,20	7,15	7,90

Tabela 9 – Humidade relativa (%) das regiões em estudo.

Mês	Almeria	Açores	Castellon	Coruña	Huelva	Madeira	Madrid	Navarra	Torres . Vedras	Vila do Conde	Faro
J	71,1	81	66,6	79	77,5	73	78,5	71,6	80,4	79	84
F	68,9	79	62,9	77,4	74,7	70	73,7	75,7	78	77,2	81
M	65,5	79	60,4	74,1	68,6	69	65,8	71,8	72,1	72,3	78
A	64,6	76	60,2	75,1	66	70	64,6	72,30	70,6	72	76
M	64,5	75	61,5	76,2	61,6	70	61,6	71,80	68,1	70,8	75
J	61,6	76	60,7	76,5	59,2	70	57	70,4	67,1	70,2	72
J	59,3	75	59,2	76,4	53,4	71	48	67,4	63,8	67,8	76
A	61,4	74	62,5	76,6	53,6	70	49,6	69	62,5	66,8	77
S	63,9	76	66	76,8	59,5	71	58,1	68,8	67,4	69,3	78
O	68,2	78	68,6	78,9	67,9	72	69,6	72,8	72,7	73,6	80
N	71,1	80	66,9	79,7	74	74	76,8	77,4	77,2	77,4	82
D	70,8	81	66,4	79,8	77,2	74	79,2	79,4	79,5	78,5	82

Tabela 10 – Velocidade média (m.s<sup>-1</sup>) das regiões em estudo.

Mês	Almeria	Açores	Castellon	Coruña	Huelva	Madeira	Madrid	Navarra	Torres Vedras	Vila do Conde	Faro
J	2,4	3,5	2,3	3,4	2,9	2,9	2,2	3	2,8	2,6	3,03
F	2,8	3,67	2,8	3,6	3,1	2,8	2,5	3,2	3	2,8	3,36
M	2,8	3,53	2,8	3,5	3,1	2,6	2,5	3,1	2,9	2,6	3,08
A	2,8	3,28	2,8	3,4	3,1	2,6	2,5	3,1	2,9	2,6	3,08
M	2,8	2,86	2,6	3,2	3,1	2,5	2,5	2,9	2,9	2,5	3,22
J	2,8	2,58	2,5	2,9	3	2,3	2,3	2,6	2,8	2,3	2,86
J	2,8	2,5	2,4	2,8	3	2,4	2,2	2,5	2,8	2,4	2,81
A	2,6	2,47	2,4	2,8	2,9	2,4	2,2	2,5	2,9	2,4	2,81
S	2,4	2,58	2,2	2,7	2,8	2,2	2,1	2,4	2,9	2,2	2,44
O	2,4	2,97	2,2	2,8	2,8	2,4	2,2	2,5	2,6	2,4	2,47
N	2,4	3,33	2,4	3,1	2,8	2,5	2,2	2,8	2,7	2,5	2,39
D	2,5	3,33	2,5	3,4	2,9	2,8	2,5	3,1	2,9	2,8	2,61

Os dados da tabela 11 foram fornecidos pela Direcção Regional da Agricultura e Pescas do Algarve, da Divulgação e Cooperação Científica do Clima e Meteorologia dos Arquipélagos Atlânticos e através do site [www.pvgis.net](http://www.pvgis.net).

Tabela 11 – Radiação solar ( $W.m^{-2}$ ) das regiões em estudo.

Mês	Almeria	Açores	Castellon	Coruña	Huelva	Madeira	Madrid	Navarra	Torres Vedras	Vila do Conde	Faro
J	168,71	89,29	137,92	95,96	172,04	89	137,92	69,67	139,25	122,21	175,71
F	188,79	113,92	161,63	122,46	180,71	113,04	161,63	100,50	154,42	143,96	178,92
M	227,13	182,79	235,71	189,92	235,04	181,67	235,71	158,54	224,33	197,04	237,33
A	232,13	213,33	228,21	182,88	236,58	211,50	228,29	192,5	222,04	229,75	245
M	255,54	257,67	262,79	200,08	271,96	256,25	262,79	233,38	245,13	246,36	272,88
J	263,42	287,67	278,75	222,67	273,29	288,75	278,75	262,08	262,21	269,75	271,13
J	267,58	295,71	289,75	214,04	280,63	293,86	289,29	265,63	275,54	276,71	288,92
A	256,04	271,04	280,04	217,25	278,29	266,83	280,04	233,08	276,96	267,88	285,83
S	236,08	212,21	249,46	186,21	255,17	210,29	249,46	190,17	247,67	237,38	261,75
O	210,17	149,58	194,08	149,88	226,71	149,29	194,08	126,75	201,17	186,46	229,58
N	159,79	95,79	141	110,67	162,96	94,17	141	79,38	141,79	138,42	166,25
D	151,75	79,33	112,17	73,54	147,57	79,08	112,17	61	128,38	116,29	147,13

## 3.2- Factores produtivos

### 3.2.1- Escolha de estufa

A escolha da estufa prendeu-se, essencialmente, na produção de plantas, em quantidade e qualidade, que de outro modo não seria possível devido às condições adversas do meio exterior das regiões em estudo.

Para esse fim, a estufa escolhida foi do tipo multitúnel tendo o tecto a forma elipsoidal. A área da estufa é de 1 ha e o material de cobertura é de plástico. O sistema de ventilação consiste em aberturas contínuas laterais e zenitais. Este tipo de estufa é

frequente na região mediterrânica, na medida que são estufas de construção simples e económica, por não apresentarem paredes laterais, com a vantagem de apresentarem boa resistência ao vento. Em contrapartida têm desvantagens significativas, como o arejamento deficiente e a reduzida relação área coberta/volume.

### **3.3- Metodologia**

Neste subcapítulo está descrito, detalhadamente, a inserção dos dados no simulador e o funcionamento do modelo climático escolhido no presente trabalho.

O simulador SCE (Simulador Climático de Estufas), desenvolvido na Escola Técnica Superior de Engenheiros Agrónomos da Universidade Politécnica de Madrid. Tem como objectivo definir os parâmetros necessários para manter as condições climáticas óptimas nas estufas, baseando-se na utilização dos valores médios mensais da radiação solar, da temperatura e da humidade de uma série de anos para simular e caracterizar a evolução horária das variáveis ambientais para um dia médio de cada mês, que permite obter o comportamento padrão diário médio para cada localidade em estudo.

#### **3.3.1- Descrição do Simulador Climático de estufas**

Como já foi referido, anteriormente, o simulador constitui uma ferramenta que irá fornecer informações e irá possibilitar à tomada de decisão do agricultor sobre a cultura instalar numa determinada zona com reduzido consumo energético.

Deste modo, a redução dos consumos energéticos e a melhoria da eficiência de utilização da energia é um aspecto de elevada importância quer no diz respeito à redução dos custos de produção, bem como dos impactos negativos no meio ambiente. Visto que, o cálculo do balanço energético da estufa, o SCE usa um modelo estático complexo, com definição físico-matemático com os seguintes processos de transmissão de calor e massa.

Em que, o modelo energético calculado pelo SCE é composto por os seguintes componentes do balanço térmico e massivo.

A equação do balanço energético global introduzido no SCE é a seguinte:

$$Q_{cal} + Q_{rs} = U \cdot (T_{int} - T_{ext}) + Q_{trans} + Q_{ref} + Q_{malla} + Q_{vent} \quad [1]$$

Em que:

$Q_{cal}$  – Fluxo de energia obtido pelo aquecimento ( $W \cdot m^{-2}$ );

$Q_{rs}$  – Fluxo de energia obtido pela absorção da radiação solar ( $W \cdot m^{-2}$ );

$U \cdot (T_{int} - T_{ext})$  - Fluxo de energia perdido pelo intercâmbio convectivo-condutivo através da cobertura ( $W \cdot m^{-2}$ );

$Q_{trans}$  – Fluxo de energia perdido pela transpiração da cultura ( $W \cdot m^{-2}$ );

$Q_{ref}$  – Fluxo de energia eliminado pelos sistemas de refrigeração ( $W \cdot m^{-2}$ );

$Q_{malha}$  – Fluxo de energia interceptado pela malha de sombreamento ( $W \cdot m^{-2}$ );

$Q_{vent}$  – Fluxo de energia dissipado pela ventilação, ( $W \cdot m^{-2}$ ).

As expressões das distintas componentes do balanço térmico que participam na formulação do equilíbrio energético são:

$$Q_{RS} = b \cdot T \cdot RS \quad [2]$$

Em que:

b- Coeficiente de conversão de energia radiativa em calor sensível;

Rs- Radiação solar média diária.

$$Q_{trans} = \frac{LAI \cdot \rho_{aire} \cdot C_{aire}}{\gamma \cdot (RE + 125)} \cdot (PV_{int} - PV_{ie}) \quad [3]$$

Em que:

LAI- Índice de área foliar

$\rho_{aire}$  - Densidade aparente do ar ( $kg \cdot m^{-3}$ );

$C_{aire}$  - Calor específico do ar ( $J \cdot m^{-3} \cdot ^\circ C^{-1}$ );

$\gamma$  - Constante psicométrica ( $Pa \cdot K^{-1}$ );

RE - Resistência estomática ( $s \cdot m^{-1}$ );

$PV_{int}$  ou  $PV_{ie}$  - Pressão de Vapor (Pa).

$$Q_{\text{malla}} = RS \cdot (1 - s \%) \quad [4]$$

Em que:

s - Entrada de CO<sub>2</sub> (kg.s<sup>-1</sup>)

$$Q_{\text{vent}} = Q_{V,\text{sen}} + Q_{V,\text{lat}} \quad [5]$$

$$Q_{V,\text{sen}} = \frac{C_{\text{aire}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot \Phi_{\text{vent}}}{A_{\text{cub}}} \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad [6]$$

Em que:

A<sub>cub</sub> - Área da cobertura (m<sup>2</sup>);

- Fluxo (m<sup>-3</sup>.s<sup>-1</sup>).

$$Q_{V,\text{lat}} = \frac{C_{\text{aire}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot \Phi_{\text{vent}}}{\gamma \cdot A_{\text{cub}}} \cdot (PV_{\text{int}} - PV_{\text{ext}}) \quad [7]$$

$$\Phi_{\text{vent}} = A_{\text{inf}} \cdot \sqrt{0.0484 \cdot v_v^2 + 0.0256 \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})} \quad [8]$$

$$A_{\text{inf}} = f_{\text{inf}} \cdot A_{\text{cub}} + 0.0053 \cdot A_{\text{vent}} \cdot \varepsilon \quad [9]$$

### 3.3.1.1- Funcionamento do Simulador Climático de estufas

Após a descrição do SCE, será presente, posteriormente, os quadros onde foram inseridos os dados necessários para a execução das simulações.

Deste modo, o simulador é composto por cinco quadros de introdução de dados, em que incorporar as informações necessárias efectuar as simulações, tais como as

características da estufa, do clima, da cultura, das técnicas de climatização, entre outros indicadores, que permite o simulador relaciona-los. Seguidamente as ilustrações do simulador com a devida explicação permitirá esclarecerem mais detalhadamente os dados inerentes os simulações.

O Exemplo que se segue é uma simulação feita para Açores, com a cultura do tomate.

## 1. Informação Base

- Altura acima do nível do solo (m): 35
- Latitude (°): 37, 45
- Número ordinal de um dia tipo de cada ano (representa as médias mensais de dia de um ano médio, extraindo de uma série de 30 anos)

The screenshot shows the 'Información de base' section of a simulation software. At the top, there are four tabs: 'Información de base', 'Datos climáticos', 'Características del invernadero', and 'Carac'. The 'Información de base' tab is active. Below the tabs, there are two input fields: 'Altura sobre el nivel del mar (m)' with the value '35' and 'Latitud (°)' with the value '37,45'. To the right of the latitude field, there is a note: 'Positiva para el hemisferio Norte' and 'Negativa para el hemisferio Sur'. Below these fields is a section titled 'Días tipo' (Typical Days). It has a sub-section 'Nombre' (Name) with a row of buttons for each month: Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviem, and Diciembre. Below the month buttons is a sub-section 'Nº de días' (Number of days) with a row of buttons showing the number of days for each month: 31, 45, 75, 105, 135, 165, 195, 225, 255, 285, 315, and 345. Below the 'Días tipo' section is a section titled 'Información de la simulación' (Simulation Information) with a text area containing the text 'Simulación da cultura do tomate em Açores'.

Figura 4 – Informação Base

## 2. Dados climáticos dos Açores

A figura 5 contém informações, como: Temperatura máxima média (°C), temperatura média (°C) e temperatura mínima média (°C); humidade relativa média (%); velocidade média do vento ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e radiação solar global média diária ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ), em que

se realiza a simulação para um dia tipo de cada mês; Concentração média anual de CO<sub>2</sub> (ppm) do ar exterior.

Información de base Datos climáticos				Características del invernadero		Carac					
T medias de máximas, medias y mínimas (°C)				Humedad relativa media (%)		Radiación solar global media diaria (W/m <sup>2</sup> )					
	T med. máx.	T med. med.	T med. mín.	Enero	81	Enero	86,28				
Enero	17,1	14,3	11,5	Febrero	78	Febrero	103,80				
Febrero	16,8	13,8	10,8	Marzo	78	Marzo	180,76				
Marzo	17,3	14,3	11,3	Abril	78	Abril	210,30				
Abril	18,2	15,1	12	Mayo	78	Mayo	257,87				
Mayo	20	16,6	13,3	Junio	78	Junio	289,33				
Junio	22,2	18,7	15,2	Julio	78	Julio	286,71				
Julio	24,5	20,8	17	Agosto	78	Agosto	271,04				
Agosto	25,7	21,8	18	Septiembre	78	Septiembre	255,31				
Septiembre	24,9	21,2	17,5	Octubre	78	Octubre	148,88				
Octubre	22,9	19	15,8	Noviembre	80	Noviembre	85,76				
Noviembre	18,6	15,8	12,8	Diciembre	81	Diciembre	76,10				
Diciembre	17,8	15,2	12,4	CO <sub>2</sub> (vpm)							
Velocidad del viento ( m / s )				EED							
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
12,6	10,2	10,7	10,8	10,01	8,01	8	8,8	8,01	10,7	12	12

Figura 5 – Dados climáticos

3.Características da estufa, como se pode observar na figura 6.

- Características construtivas da estufa.
- Parâmetros do comportamento energético da estufa
  - Factor de perdas da estufa por condução – convecção ( $W.m^{-2} °C$ ) = 9
  - Factor de transmissão da radiação solar em calor sensível, com (40%) e sem aquecimento (60%)
- Materiais de cobertura: plástico rígido, lateral fechado e plástico flexível de cobertura.
  - Transmissividade da cobertura da radiação solar (%) = 80
  - Factor de infiltração do ar na estufa, em função a sua hermeticidade = 0,0005
- Parâmetros da cultura
  - Tomate, pepino e alface
  - Factores de ajuste exponencial de resistência estomática das folhas em função da radiação solar e da temperatura. Resistência estomática da cultura é  $2,55e^{-0,0087.R_{si}}$ , em que  $R_{si}$  ( $W.m^{-2}$ ) da radiação solar incidente.
  - Concentração de CO<sub>2</sub> inibição fotossintética (ppm) = 220

- Índice de ocupação da estufa (%) = 75
- Índice da área foliar (IAF) = 1 (Figura 7)

Figura 6 – Características da estufa

Formulario para inserción de Índices de Área Foliar por meses						
Índice de Área Foliar						
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	
1	1	1	1	1	1	
Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1	1	1	1	1	1	

Figura 7 – Índice de área foliar

A interação entre as plantas (genótipos) e o ambiente (factores climáticos e edáficos) condiciona a produção agrícola em determinada região. Pode-se afirmar que a produção vegetal está directamente relacionada com o aproveitamento da energia solar pela cultura, transformada em energia química durante o processo fotossintético, sendo as folhas principais responsáveis por esta conversão.

Desta forma, a escolha do índice da área foliar foi feita para simular o consumo de energia apenas numa fase de desenvolvimento das plantas. Uma vez que o objectivo do trabalho é analisar o consumo energético dos sistemas de arrefecimento e arrefecimento das culturas nas diversas regiões da Península Ibérica.

#### 4. Características de manejo

- Controlo de refrigeração
  - Ventilação: 26 °C (primeira acção da refrigeração)

- Malha de sombreamento = 29 °C (segunda acção da refrigeração)
- Percentagem de sombra = 40%
- Refrigeração activa por nebulização = 32 °C
- Potência de refrigeração disponível para simulador = 500 W.  
m<sup>-2</sup>
- Ângulo máximas das janelas de abertura interior = 10°
- Controlo de aquecimento
  - Temperatura nocturna = 13 °C
  - Temperatura diurna = 20 °C
- Humidade relativa média interior
- Controlo de CO<sub>2</sub>
  - Sistema de enriquecimento carbónico = 1000 ppm

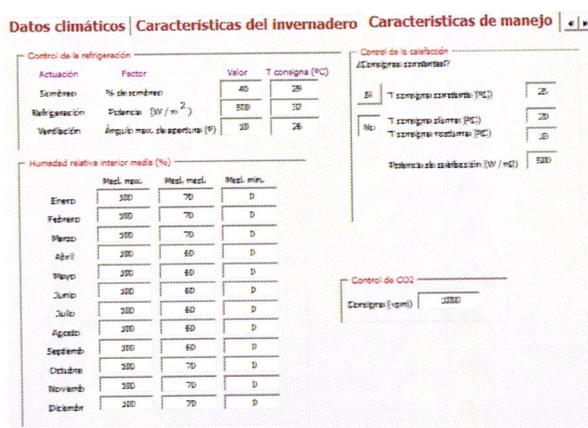


Figura 8 – Características de manejo.

## 5. Erro de cálculo admitido na simulação da temperatura interior

As simulações executadas têm uma margem de erro de 2 °C, acima ou abaixo das temperaturas fixas para que não desactive a simulação.

Na figura 9 pode-se verificar que há três funções, entre as quais:

- Executar a simulação (“Simulação”)
- Ver os resultados (“Resultados”)
- Sair do menu dos cálculos (Sair menu cálculos”)

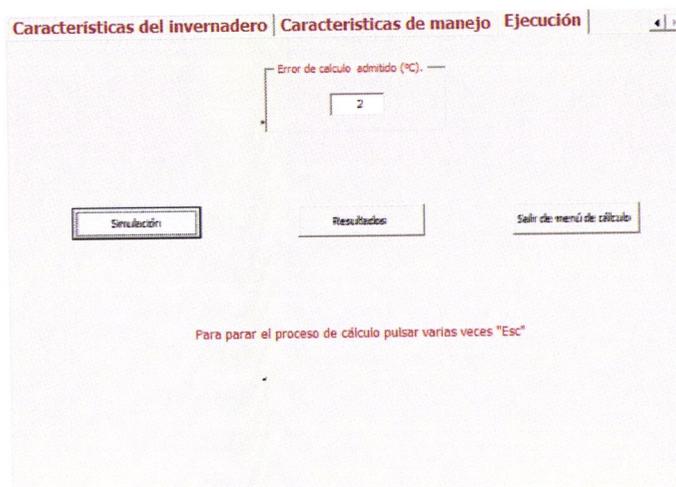


Figura 9 – Painel de execução

Os resultados obtidos através da execução das simulações são as seguintes, tais como:

- Dados climáticos: radiação, temperatura e CO<sub>2</sub>;
- Aquecimento, ventilação e refrigeração;
- Maneio da estufa;
- Quadro de temperaturas de aquecimento horário (°C);
- Características da cultura;
- Temperatura após a actuação dos sistemas (aquecimento, climatização, sombreamento e janelas);
- Resumo das temperaturas exteriores (°C);
- Radiação solar incidente ( $W \cdot m^{-2}$ );
- Radiação da estufa com malha ( $W \cdot m^{-2}$ );
- Perdas da estufa  $U^* (T_{int} - T_{ext})$  ( $W \cdot m^{-2}$ );
- Energia de transpiração da cultura ( $W \cdot m^{-2}$ );
- Potência usada no aquecimento ( $W \cdot m^{-2}$ );
- Potência usada na refrigeração ( $W \cdot m^{-2}$ );
- Energia dissipado pela ventilação ( $W \cdot m^{-2}$ );
- Temperatura interior da estufa sem qualquer acção de sistemas de climatização (°C);
- Temperatura interior da estufa apenas com acção dos sistemas de aquecimento (°C);

- Temperatura interior da estufa após se realizar a actuação de aquecimento e de 1ª actuação (°C);
- Temperatura da estufa após acção do aquecimento, 1ª e 2ª actuação (°C);
- Concentração de CO<sub>2</sub> para compensar as perdas de ventilação e fotossíntese (kg.h<sup>-1</sup>);
- Figura da evolução das temperaturas interiores e exteriores resultantes;
- Volume de água consumido (l/ (h.m<sup>-2</sup>));
- Humidade relativa exterior (%);
- Humidade relativa interior (%)

### 3.3.1.2- Delineamento da simulação

Ulteriormente à descrição do simulador ira-se abordar as características técnicas de estufas.

A área de estufa de referência é de 1 hectare, em que foram feitas duas simulações para cada cultura (tomate, pepino e alface) e para cada localidade, resultando na totalidade 66 simulações, divididos por simulações R1 e R2. Em que se fixou as temperaturas de refrigeração, ventilação, sombreamento e diurnas, modificando as temperaturas de referência nocturnas, uma vez que as diferentes temperaturas de referência nocturna permitem avaliar as oscilações do consumo energético face as baixas e altas temperaturas nocturnas.

As características técnicas são:

- Aquecimento, ventilação, parâmetros de climatização e janelas
  - Longitude da estufa: 105m
  - Largura de cada módulo ou comprimento entre pilares: 8m
  - Altura da estufa: 4m
  - Altura entre a estufa e o tecto: 1,80m
  - Altura até ao tecto: 5,8m
  - Ângulo da abertura da janela: 10°
  - Largura das janelas: 1m

- Número de módulos: 12
  - Área das janelas: 105 m<sup>2</sup>
  - Índice de ocupação: 75%
  - Os factores com aquecimento:  $b=0,4$  e  $t=0,87$
  - Os factores sem aquecimento:  $b=0,6$  e  $t=0,87$
  - Factor de perdas: 9 W.m<sup>-2</sup> °C
  - Factor de infiltração: 0,0005
- Maneio de temperatura
    - Potência disponível do aquecimento: 500 W.m<sup>-2</sup>
    - Potência disponível de refrigeração: 500 W.m<sup>-2</sup>
  - Temperaturas de referência das culturas

As culturas foram escolhidas de acordo com as suas exigências energéticas, em que considerar-se-ão temperaturas de referência para os diferentes sistemas de climatização, partindo dos valores óptimos para as diferentes culturas e variando  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  ou  $2^{\circ}\text{C}$ .

- **Tomate:**

Relativamente ao aquecimento, faça duas hipóteses:

- Noite 13°C e dia 20°C (R1)

- Noite 15°C e dia 21°C (R2)

Quanto as temperaturas de referência para ventilação, rede de sombra e arrefecimento são 26, 29 e 32°C, respectivamente.

- **Pepino:**

Relativamente ao aquecimento, as duas hipóteses:

- Noite 18°C e dia 24°C (R1)

- Noite 16°C e dia 24°C (R2)

Quanto as temperaturas de referência para ventilação, rede de sombra e arrefecimento são 27, 30 e 32°C, respectivamente.

- **Alface:**

Relativamente ao aquecimento, as duas hipóteses:

- Noite 7°C e dia 20°C (R1)

- Noite 9°C e dia 20°C (R2)

Quanto as temperaturas de referência para ventilação, rede de sombra e arrefecimento são 23, 26 e 27 °C.

- Índice da área foliar

- Tomate: 1

- Pepino: 1

- Alface: 1

### **3.4 – Análise de Sensibilidade**

Neste ponto pretende-se analisar as oscilações do consumo energético para o período de aquecimento, alterando as temperaturas de referência diurnas e nocturnas. De tal modo que se formulou três opções de temperaturas diurnas e nocturnas, a fim de obter o balanço das necessidades energéticas das diferentes culturas para regiões previamente definidas, produzindo na totalidade 27 simulações.

A escolha das temperaturas para a realização da análise de sensibilidade teve por base a pesquisa de ensaios experimentais de alguns investigadores, a fim de aumentar qualitativamente e quantitativamente a produção das culturas do tomate, do pepino e da alface. Quanto as localidades seleccionadas consideram-se apenas as características socioeconómicas e as condições climáticas.

Seguidamente estará descrito qual a cultura correspondente a região em estudo, isto é, a cultura do tomate instalou-se nos Açores (tab.12), a cultura do pepino em Navarra (tab.13) e a cultura da Alface em Torres Vedras (tab.14).

Tabela 12 – As diferentes temperaturas para a cultura do tomate, nos Açores.

<b>Tomate</b>	<b>T<sub>n</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>d</sub> (°C)</b>
<b>OPÇÃO I</b>	<b>15</b>	<b>22</b>
<b>OPÇÃO II</b>	<b>13</b>	<b>20</b>
<b>OPÇÃO III</b>	<b>11</b>	<b>18</b>

Tabela 13 – As diferentes temperaturas para a cultura do pepino, em Navarra.

<b>Pepino</b>	<b>T<sub>n</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>d</sub> (°C)</b>
<b>OPÇÃO I</b>	<b>20</b>	<b>26</b>
<b>OPÇÃO II</b>	<b>18</b>	<b>24</b>
<b>OPÇÃO III</b>	<b>16</b>	<b>22</b>

Tabela 14 – As diferentes temperaturas para a cultura da alface, em Torres Vedras.

<b>ALFACE</b>	<b>T<sub>n</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>d</sub> (°C)</b>
<b>OPÇÃO I</b>	<b>9</b>	<b>22</b>
<b>OPÇÃO II</b>	<b>7</b>	<b>20</b>
<b>OPÇÃO III</b>	<b>5</b>	<b>18</b>

### **3.5 – Elaboração dos mapas de consumo energético**

Após a explanação detalhada do simulador climático de estufas segue-se a metodologia utilizada para construção das cartas de consumo energético anual das diversas culturas para o período de aquecimento e para o período de arrefecimento em estufas da Península Ibérica.

As cartas foram efectuadas através de ferramentas de SIG, nomeadamente o programa ArcGis.

O O ArcGis está organizado de forma completamente compreensível e intuitiva para tirar o melhor partido de todas as suas potencialidades. Desta forma, a aplicação está dividida em três modelos funcionais: ArcCatalog, ArcMap e ArcToolbox.

A utilização destas três sub-aplicações permite ao utilizador desempenhar qualquer simples tarefa simples ou complexa, incluindo a gestão de dados geográficos, construção de cartografia, análise espacial, edição avançada de dados ou ligação a base de dados externos.

As aplicações ArcGis podem ser executadas com recurso a três produtos distintos, cada um disponibilizando níveis diferentes de funcionalidades.

O ArcGis ArcMap disponibiliza ferramentas de construção de cartografia e análise espacial com ferramentas de edição simples.

O ArcEditor inclui todas as funcionalidades do ArcMap e acrescenta-lhes capacidades de edição complexa de dados.

Finalmente o ArcGis ArcInfo amplia as capacidades de ambos para níveis de geoprocessamento avançado.

## 4- Resultados e Discussão

A análise do comportamento energético das estufas da Península Ibérica incide nos factores técnicos e construtivos da estufa, como:

- Forma da estrutura: Estufas multitúneis;

A selecção deste tipo de estufa deve-se à hermeticidade, ao isolamento, as reduzidas perdas de energia, à transparência de transmissão da radiação que permite uma boa luminosidade da estufa, à boa ventilação e à facilidade de instalação, funcionamento e manutenção da estufa.

- Culturas: tomate, pepino e alface.

As culturas escolhidas tiveram por base a sua importância socioeconómica mundial, nacional e regional e pelas suas diferenças exigências térmicas.

- Localizações geográficas: Açores, Madeira, Torres Vedras, Vila do Conde, Faro, Madrid, Navarra, Huelva, Castellón, Almeria e Coruña.

Os critérios que determinaram a escolha das diferentes regiões foram o aumento da área de produção em estufas e por serem zonas com tradição na produção hortícola.

Os dados climáticos recolhidos para um dia tipo destas regiões em estudo foram obtidos por um Simulador Climático de Estufas (SCE), sendo estes os dados que possibilitaram a análise deste trabalho, nomeadamente:

- Necessidades máximas mensais de aquecimento ( $W.m^{-2}$ );
- Necessidades máximas mensais de arrefecimento ( $W.m^{-2}$ );

A partir das potências máximas mensais calculou-se a energia anual para o período de aquecimento e para o período de arrefecimento, construindo as cartas de consumo energético, através do programa de ArcGis.

Os dados utilizados foram:

- Energia necessária para o período de aquecimento ( $Wh/ha.ano$ );
- Energia necessária para o período de arrefecimento ( $Wh/ha.ano$ ).

## 4.1 – Resultados das Simulações

Neste enquadramento, o SCE permite fornecer, entre outras informações, as necessidades energéticas dos sistemas de condicionamento ambiental para um local geográfico concreto, a partir das características da estufa, técnicas de climatização implantadas, manejo, clima e cultura instalada.

O simulador incorpora cinco quadros, como já foi referido previamente, em que se insere um conjunto de dados a fim de se executar a simulação. Após finalizada a simulação, os resultados são compostos por vinte e duas tabelas, em que se irá exemplificar seguidamente.

O exemplo dos resultados do SCE que se segue é dos Açores para a cultura do Tomate.

### 1. Datos climáticos de radiación, temperaturas y CO<sub>2</sub>

Latitud (°) 37,45		Altitud sobre el nivel del mar (m) 35											
Radiación solar media del día (W/m <sup>2</sup> )													
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
	89,29	113,92	182,79	213,33	237,07	287,13	295,71	271,04	212,21	149,58	85,79	79,33	
Horas / día media de Sol	9,69	10,57	11,75	12,97	14,01	14,58	14,38	13,52	12,35	11,13	10,08	9,45	
Temperatura media (°C) de													
Día tipo	Máximas	Medias	Mínimas										
Enero	17,10	14,30	11,50										
Febrero	18,80	13,60	10,80										
Marzo	17,30	14,30	11,30										
Abril	18,20	15,19	12,00										
Mayo	20,00	18,60	13,30										
Junio	22,20	18,70	16,20										
Julio	24,50	20,80	17,00										
Agosto	23,70	21,60	18,00										
Septiembre	24,60	21,20	17,50										
Octubre	22,30	19,00	16,50										
Noviembre	19,60	18,00	13,90										
Diciembre	17,80	16,20	12,40										
Balance de CO <sub>2</sub>													
Concentración de CO <sub>2</sub> en el exterior (ppm)													
330													
Concentración de CO <sub>2</sub> de consigna máxima (ppm)													
1000													
Concentración de CO <sub>2</sub> de inhibición: (ppm)													
220													
Observaciones: Simulacao da cultura do tomate em Azores_R2													
Velocidad del viento (m/s)													
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
	12,8	13,2	12,7	11,8	10,3	9,3	9	8,9	9,3	10,7	12	12	
Humedad relativa en el ambiente exterior (%)													
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
	81	79	79	76	76	78	76	74	76	78	80	81	

Figura 10 – Dados geográficos e climáticos.

A Figura 10 representa os dados geográficos da região (latitude e altitude) e os valores médios mensais da temperatura máxima média (°C), temperatura média (°C) e temperatura mínima média (°C), humidade relativa média (%), radiação solar global média diária ( $W.m^{-2}$ ), velocidade do vento ( $m.s^{-1}$ ) e concentração de  $CO_2$  (ppm) média anual do ar exterior. Os valores utilizados na simulação são para cada dia tipo de cada mês.

## 2. Calefacción, ventilación y parámetros de invernadero y ventanas

<b>Aspectos constructivos</b>												
Área de una ventana ( $m^2$ )	105,00											
Ángulo de apertura ( $^{\circ}$ )	10											
Distancia de base de la cubierta a cumbrera (m)	1,8											
Longitud del invernadero a lo largo de la cumbrera (m)	105											
Longitud entre pilares (m)	8											
Numero de módulos de cubierta	12											
Altura del invernadero (m)	4											
Volumen del invernadero ( $m^3$ )	40320											
Área de la cubierta ( $m^2$ )	11053,58											
Área cubierta ( $m^2$ )	10030											
<b>Para calefacción</b>		<b>sin calefacción</b>										
Factor b	Factor $\tau$	Factor b	Factor $\tau$									
0,4	0,87	0,6	0,87									
Factor de pérdidas ( $W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$ )	9											
Factor de infiltración	<table border="0"> <tr> <td>0,0005</td> <td>0,00025</td> <td>Buena impermeabilidad</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,0005</td> <td>Sin huecos aparentes</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,001 y 0,002</td> <td>Con huecos visibles</td> </tr> </table>			0,0005	0,00025	Buena impermeabilidad		0,0005	Sin huecos aparentes		0,001 y 0,002	Con huecos visibles
0,0005	0,00025	Buena impermeabilidad										
	0,0005	Sin huecos aparentes										
	0,001 y 0,002	Con huecos visibles										
Índice de ocupación (%)	75,00											
Superficie de cultivo ( $m^2$ )	7560											

Figura 11 – Parâmetros da estrutura, comportamento energético, cobertura e área da estufa.

As características das estufas foram definidas previamente. A figura 11 representa os valores atribuídos aos parâmetros de aspectos construtivos da estufa e das janelas, os parâmetros do sistema de aquecimento e ventilação.

A estufa em estudo é uma industrial multitúnel com ventilação natural.

Os parâmetros do comportamento energético da estufa:

- As perdas por condução – convecção são de  $9 W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$ ;

- Factores de transformação da radiação solar em calor sensível (com ou sem calefação).

O parâmetro de cobertura: plástico rígido e os seus factores de infiltração.

O índice de ocupação da cultura na estufa e a área total cultivada.

### 3. Manejo del invernadero

Potencia de calefacción disponible ( $W/m^2$ )

500,00

Potencia de refrigeración disponible ( $W/m^2$ )

500

¿La calefacción cubre todas la necesidades de todas las horas de todos los días?

Si

Potencia de calefacción precisa para compensación ( $W/m^2$ )

78,00

Nº de tipo de acción	Tipo	Factor	Cantidad de factor	T Consigna
1	Malla de sombreo	% de sombreo	40	28
2	Climatización	Potencia ( $W/m^2$ )	500	32
3	Ventana	Ver apartado de ventana	10,00	28

Orden de actuación					
Nº de tipo de acción	Tipo	Factor	Cantidad de factor	T Consigna	Orden de acción
3	Ventana	Ver apartado de ventana.	10	28	1
1	Malla de sombreo	% de sombreo	40	28	2
2	Climatización	Potencia ( $W/m^2$ ).		32	3

Figura 12 – Os sistemas de aquecimento, refrigeração e ventilação para a cultura de tomate.

Na figura 12 representa as características de controlo de refrigeração, como a sombra, a potência e a ventilação.

Na figura transcreve a potência de aquecimento e de refrigeração disponível, assim como a quantidade de potência de aquecimento necessária na estufa e as temperaturas óptimas dos sistemas de refrigeração, de sombra e de ventilação.

A figura 13 transcreve as temperaturas horárias diurnas e nocturnas do sistema de aquecimento da cultura do tomate e a humidade relativa máxima, média e mínima (%).

4. Cuadro de T de consigna horaria de calefacción (°C)

Mes	T° para el día (°C)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora	21											
	15											
1	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
2	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
3	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
4	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
5	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	21,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
6	15,00	15,00	15,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	15,00	15,00	15,00	15,00
7	15,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	15,00	15,00
8	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
9	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
10	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
11	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
12	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
13	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
14	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
15	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
16	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
17	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
18	15,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	15,00	15,00
19	15,00	15,00	15,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	15,00	15,00	15,00	15,00
20	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	21,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
21	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
22	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
23	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
24	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00

Humedad relativa media de			
Mes	Máxima (%)	media (%)	Mínima (%)
Enero	100,00	70,00	0,00
Febrero	100,00	70,00	0,00
Marzo	100,00	70,00	0,00
Abril	100,00	60,00	0,00
Mayo	100,00	60,00	0,00
Junio	100,00	60,00	0,00
Julio	100,00	60,00	0,00
Agosto	100,00	60,00	0,00
Septiembre	100,00	60,00	0,00
Octubre	100,00	70,00	0,00
Noviembre	100,00	70,00	0,00
Diciembre	100,00	70,00	0,00

Figura 13 – Temperaturas diurnas e nocturnas e humidade relativa.

5. Características del cultivo

Día tipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
índice de Área Foliar del invernadero	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
índice de Área Foliar del cultivo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Factores de resistencia estomática												
a	b											
2350	0,0087											

Figura 14 – Características da cultura do tomate.

As figuras 14 e 15 representam as características da cultura do tomate, nomeadamente o índice foliar, os factores de resistência estomática, a potência de aquecimento e as temperaturas máximas e mínimas.

## 6. Resumen de temperaturas exteriores (°C)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	12,11	11,42	11,02	12,59	13,93	15,79	17,73	18,73	18,28	16,46	14,53	13,01
2	11,93	11,20	11,70	12,34	13,66	15,47	17,41	18,41	18,00	16,23	14,34	12,83
3	11,78	11,03	11,53	12,15	13,46	15,27	17,19	18,19	17,78	16,04	14,19	12,69
4	11,68	10,90	11,40	12,04	13,34	15,20	17,05	18,05	17,63	15,91	14,06	12,58
5	11,57	10,83	11,33	12,00	13,30	15,29	17,00	18,00	17,53	15,83	13,97	12,47
6	11,52	10,80	11,30	12,13	13,44	15,70	17,16	18,16	17,50	15,80	13,82	12,42
7	11,50	11,03	11,53	12,61	13,96	16,41	17,74	18,76	17,78	16,05	13,90	12,40
8	11,78	11,68	12,18	13,40	14,81	17,34	18,69	19,73	18,58	16,75	14,18	12,67
9	12,55	12,85	13,15	14,39	15,88	18,40	19,89	20,86	19,78	17,81	14,97	13,44
10	13,68	13,60	14,30	15,46	17,04	19,49	21,19	22,30	21,20	19,05	16,12	14,54
11	14,82	14,95	15,45	16,49	18,15	20,51	22,43	23,58	22,62	20,29	17,38	15,76
12	16,05	15,92	16,42	17,35	19,09	21,35	23,48	24,85	23,62	21,35	18,53	16,88
13	16,82	16,57	17,07	17,95	19,73	21,82	24,18	25,39	24,62	22,05	19,32	17,63
14	17,10	16,80	17,30	18,19	19,99	22,19	24,49	25,69	24,80	22,30	19,60	17,90
15	16,72	16,57	17,07	18,05	19,83	22,08	24,32	25,51	24,62	22,05	19,22	17,54
16	15,70	15,62	16,42	17,61	19,35	21,73	23,79	24,86	23,62	21,33	18,20	16,55
17	14,30	14,95	15,45	16,62	18,60	21,17	22,97	24,09	22,62	20,28	18,80	15,20
18	13,89	13,80	14,30	16,06	17,65	20,45	21,94	23,01	21,20	19,00	16,48	14,89
19	13,68	13,41	13,91	15,10	16,60	19,81	20,80	21,80	20,72	18,58	16,15	14,58
20	13,38	13,02	13,52	14,62	16,08	18,70	20,21	21,21	20,24	18,17	15,84	14,28
21	13,09	12,65	13,15	14,14	15,58	18,02	19,63	20,63	19,78	17,78	15,54	13,99
22	12,81	12,30	12,80	13,69	15,10	17,36	19,07	20,07	19,35	17,40	15,28	13,71
23	12,55	11,97	12,47	13,28	14,68	16,78	18,57	19,57	18,85	17,05	14,99	13,45
24	12,32	11,68	12,18	12,91	14,27	16,23	18,11	19,11	18,58	16,74	14,75	13,22

Figura 15 – Resumo das temperaturas exteriores (°C)

7. Radiação solar incidente ( $W/m^2$ )

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	31,69	38,28	112,13	43,93	40,28	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	26,16	41,98	120,48	145,52	238,33	187,01	153,07	48,74	34,35	0,00	0,00
8	34,11	97,65	158,68	248,79	300,50	382,84	344,88	318,09	181,69	128,21	38,59	30,30
9	123,40	195,29	313,35	391,20	472,51	529,35	542,27	497,03	383,79	258,42	132,38	108,63
10	233,76	292,94	470,03	519,51	627,49	653,55	720,12	660,05	545,88	384,83	250,78	207,69
11	323,05	364,42	584,73	603,30	734,73	739,54	843,20	772,68	678,94	478,49	348,57	287,02
12	357,16	390,58	628,71	639,99	773,01	765,68	887,13	813,12	727,58	512,85	383,16	317,32
13	357,16	390,58	628,71	639,99	773,01	765,68	887,13	813,12	727,58	512,85	383,16	317,32
14	323,05	364,42	584,73	603,30	734,73	739,54	843,20	772,68	678,94	478,49	348,57	287,02
15	233,76	292,94	470,03	519,51	627,49	653,55	720,12	660,05	545,88	384,83	250,78	207,69
16	123,40	195,29	313,35	391,20	472,51	529,35	542,27	497,03	383,79	258,42	132,38	108,63
17	34,11	97,65	158,68	248,79	300,50	382,84	344,88	318,09	181,69	128,21	38,59	30,30
18	0,00	26,16	41,98	120,48	145,52	238,33	187,01	153,07	48,74	34,35	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	31,69	38,28	112,13	43,93	40,28	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Media	89	114	183	213	259	287	295	271	212	150	95	79,33

Figura 16 – Radiação solar incidente.

8. Calor ganado por absorción de radiación solar dentro del invernadero, con malla si fuera precisa (W/m<sup>2</sup>)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	11,03	13,32	39,02	15,29	14,01	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	9,11	14,61	41,63	50,64	123,37	67,16	79,69	18,66	11,66	0,00	0,00
8	11,67	33,68	64,62	129,67	166,68	169,64	120,02	126,00	64,66	69,63	12,73	10,64
9	42,64	67,68	163,67	204,21	246,65	276,32	233,08	269,46	169,60	133,65	46,07	35,16
10	122,02	162,61	246,36	271,18	327,66	204,69	226,64	206,73	170,61	203,78	130,61	109,41
11	166,63	180,23	305,23	317,63	230,12	230,69	264,09	242,06	212,61	149,68	160,61	149,62
12	166,44	203,69	166,29	200,44	242,11	239,61	277,66	264,67	227,66	160,62	120,61	166,64
13	111,69	122,33	166,29	200,44	242,11	239,61	277,66	264,67	227,66	160,62	120,61	69,38
14	101,19	114,14	163,14	169,62	230,12	230,69	264,09	242,06	212,61	149,68	109,66	62,60
15	122,02	162,61	246,36	162,71	166,63	204,69	226,64	206,73	170,61	120,47	130,61	109,41
16	42,64	161,64	163,67	204,21	147,69	166,79	169,64	166,67	113,64	133,65	69,10	35,16
17	11,67	33,68	64,62	129,67	166,68	119,61	103,61	69,00	64,66	69,63	12,73	10,64
18	0,00	9,11	14,61	41,63	76,66	123,37	67,16	79,69	26,44	11,66	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	11,03	13,32	59,63	22,63	21,02	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 17 – Quantidade da Radiação solar absorvida pela estufa

8. Perdas del Invernadero por conducción-convección ( $W/m^2$ )

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	28,00	32,22	27,72	21,67	9,63	-0,61	-0,77	-0,81	-0,68	0,68	4,21	17,80
2	27,64	34,18	28,68	23,96	12,08	-0,16	-0,33	-0,34	-0,47	1,08	5,90	19,54
3	29,00	35,74	31,24	25,63	13,85	0,10	-0,02	0,00	-0,16	1,41	7,32	20,80
4	30,09	36,63	32,38	26,66	14,63	0,19	0,17	0,20	0,07	1,64	8,44	21,69
5	30,87	37,57	33,07	27,00	15,30	51,38	0,23	0,26	0,20	1,78	9,25	22,77
6	31,34	37,60	33,30	28,63	65,03	47,67	34,58	25,54	0,25	1,83	9,74	23,24
7	31,50	69,74	65,24	75,49	63,33	66,33	74,32	65,14	23,97	44,57	8,90	23,40
8	63,00	63,83	79,39	113,43	100,72	77,68	65,60	56,39	66,75	61,95	61,36	74,95
9	78,01	75,13	115,63	104,63	91,10	79,13	73,32	68,22	55,04	73,74	54,24	68,08
10	100,07	109,60	106,30	94,68	60,60	100,02	67,33	67,23	82,27	70,65	89,06	67,24
11	99,69	99,47	98,59	102,40	110,49	103,43	68,10	75,80	64,46	60,69	79,06	62,14
12	106,64	112,60	114,59	114,29	116,22	65,89	76,70	66,15	73,65	65,67	64,26	105,21
13	109,60	111,69	121,05	120,25	110,47	60,69	70,26	59,53	66,43	69,53	104,48	102,35
14	107,10	109,60	121,74	121,68	109,05	63,32	67,56	56,76	63,60	67,30	106,60	69,60
15	83,48	84,66	60,36	98,57	102,63	63,27	69,13	56,42	66,43	67,23	60,68	76,16
16	47,70	68,25	68,21	68,56	65,46	62,42	73,68	63,40	73,65	52,22	59,57	40,05
17	60,30	54,47	49,97	61,70	72,41	77,92	65,68	65,03	55,13	51,63	37,60	62,20
18	6,12	64,60	60,30	44,49	64,35	70,62	46,67	44,60	17,79	16,00	-3,25	1,02
19	11,91	14,32	6,62	53,10	39,60	47,16	15,60	13,44	-5,11	-3,53	-2,58	3,91
20	14,62	17,79	13,29	3,46	-3,65	20,70	-4,62	-5,08	-4,21	-2,64	-1,94	6,52
21	17,23	21,13	16,63	7,72	-3,04	-4,08	-3,79	-3,89	-3,38	-1,62	-1,35	9,13
22	19,71	24,30	19,69	11,77	-0,62	-2,68	-2,65	-3,01	-2,63	-1,07	-0,60	11,61
23	22,01	27,24	22,74	15,59	3,06	-2,02	-2,04	-2,14	-1,69	-0,40	0,07	13,61
24	24,12	29,69	25,39	18,63	6,60	-1,23	-1,34	-1,41	-1,37	0,18	2,26	16,02

Figura 18 – Perdas por condução-convecção na estufa.

10. Calor de transpiración del cultivo (W/m<sup>2</sup>)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	-0,83	-0,71	-0,71	0,75	0,75	0,66	0,64	0,67	0,66	-0,60	-0,64	-0,64
2	-1,03	-1,15	-1,15	0,33	0,33	0,16	0,34	0,35	0,50	-1,28	-1,03	-1,03
3	-1,58	-1,49	-1,49	0,02	0,02	-0,14	-0,01	-0,02	0,15	-1,62	-1,35	-1,35
4	-1,61	-1,74	-1,74	-0,17	-0,17	-0,24	-0,22	-0,25	-0,11	-1,67	-1,61	-1,61
5	-1,50	-1,60	-1,60	-0,23	-0,23	-0,32	-0,29	-0,32	-0,28	-2,03	-1,60	-1,60
6	-1,61	-1,65	-1,65	-0,37	-0,38	0,17	-0,39	-0,38	-0,31	-2,08	-1,61	-1,61
7	-1,65	-2,08	-3,12	-0,11	-0,12	2,51	-0,41	-0,39	-0,42	-3,05	-1,65	-1,65
8	2,67	6,02	6,93	17,38	21,23	34,60	25,08	22,53	10,51	7,49	2,69	2,64
9	6,13	10,10	27,23	42,22	55,58	60,94	76,27	68,29	32,62	21,65	6,29	6,69
10	23,36	36,76	67,12	66,39	121,08	76,85	67,51	77,38	51,08	52,57	25,11	20,44
11	47,94	60,66	125,17	149,66	103,64	117,13	136,26	120,99	66,12	67,02	61,60	41,01
12	74,51	60,65	69,42	67,39	141,22	141,25	174,65	152,69	127,69	60,36	43,67	66,62
13	62,58	57,60	106,79	114,11	155,21	163,21	191,65	167,64	142,21	60,50	61,66	47,73
14	50,67	56,02	102,56	113,09	149,36	149,76	164,06	161,07	133,31	66,69	60,66	46,38
15	31,00	40,05	75,19	64,69	92,13	101,60	116,21	102,62	76,00	37,61	33,16	27,62
16	10,75	24,40	39,37	74,67	54,63	74,15	74,32	67,06	46,61	33,51	15,17	10,34
17	6,28	6,42	11,13	36,45	46,59	43,75	36,10	37,74	26,67	16,69	6,32	6,21
18	3,42	6,14	6,42	11,44	16,42	32,67	22,74	22,41	6,60	6,28	3,63	3,42
19	2,74	3,30	3,30	7,59	7,74	16,64	9,09	9,51	6,69	3,63	2,65	2,74
20	2,09	2,62	2,62	4,16	4,31	7,54	6,37	6,66	4,69	2,64	2,16	2,09
21	1,46	1,77	1,77	3,36	3,40	4,55	4,22	4,44	3,76	2,02	1,49	1,46
22	0,67	1,06	1,06	2,60	2,60	3,32	3,17	3,34	2,62	1,16	0,67	0,67
23	0,31	0,40	0,40	1,60	1,60	2,24	2,26	2,37	2,17	0,42	0,31	0,31
24	-0,19	-0,19	-0,19	1,26	1,26	1,35	1,46	1,56	1,51	-0,24	-0,19	-0,19

Figura 19 – Energia consumida pela transpiração das culturas.

11. Potencia usada de la calefacción (Wh/m<sup>2</sup>)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Hora</b>												
1	28,48	31,61	27,11	22,38	10,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,68	17,38
2	28,74	33,19	28,69	24,27	12,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,01	18,84
3	27,62	34,44	28,64	25,87	13,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,19	18,72
4	28,67	35,35	30,85	28,53	14,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,62	20,67
5	29,29	35,90	31,40	28,61	15,11	40,99	0,00	0,00	0,00	0,00	7,67	21,19
6	29,67	38,09	31,59	28,59	14,40	8,84	18,98	11,22	0,00	0,00	8,08	21,67
7	29,78	78,00	67,67	33,50	12,83	0,00	0,00	0,00	11,08	28,82	8,18	21,69
8	73,74	54,44	30,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,25	68,98
9	38,58	18,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,84	33,24
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	14,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,17
17	84,07	28,93	5,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,76	47,24
18	12,18	61,21	61,48	12,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,69	0,00	4,08
19	14,37	17,28	12,78	48,69	33,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,27
20	18,50	20,05	15,55	7,18	0,00	17,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
21	18,55	22,73	18,23	10,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,45
22	20,50	35,28	20,78	14,10	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,40
23	22,31	27,62	23,12	17,21	4,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	14,21
24	22,67	28,74	25,24	18,69	7,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11	15,87
<b>Total día (Wh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>507</b>	<b>588</b>	<b>450</b>	<b>359</b>	<b>181</b>	<b>67</b>	<b>19</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>42</b>	<b>144</b>	<b>373</b>
<b>Total mes (Wh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>15708</b>	<b>16467</b>	<b>13938</b>	<b>10756</b>	<b>5602</b>	<b>2015</b>	<b>588</b>	<b>348</b>	<b>350</b>	<b>1280</b>	<b>4322</b>	<b>11553</b>
<b>Total año (Wh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>82968</b>											
<b>Necesidades máximas (Wh/m<sup>2</sup>):</b>			78,00	los cuales en	10000	m <sup>2</sup>	son	0,78	MW caloríficos			
<b>Gasto total del invernadero en calefacción al año en términos de energía (MWh/año):</b>												
<b>8,363E+02</b>												
<b>Necesidades máximas mensuales de calefacción (Wh/m<sup>2</sup>):</b>												
<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Anualmente</b>
73,74	78,00	67,67	68,50	54,40	40,99	18,98	11,22	11,66	28,92	51,25	68,98	78,00
<b>Máxima potencia precisa para cubrir las necesidades (Wh/m<sup>2</sup>):</b>										<b>78,00</b>		

Figura 20 – Potências de aquecimento

As Figuras 20 e 21 contêm a informação essencial para a realização deste trabalho, que é nomeadamente as necessidades máximas mensais de aquecimento e arrefecimento.

12. Potencia usada de la refrigeración (Whm<sup>3</sup>)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
2	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
3	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
4	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
5	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
6	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
7	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
8	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
9	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
10	No refrigerar	33,36	40,07	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar					
11	No refrigerar	60,83	113,67	120,53	75,76	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar				
12	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	58,50	104,76	105,40	173,58	130,39	48,11	No refrigerar	No refrigerar
13	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	60,05	130,60	194,64	204,21	174,77	82,25	No refrigerar	No refrigerar
14	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	81,27	137,29	199,70	209,75	177,66	87,27	No refrigerar	No refrigerar
15	No refrigerar	70,24	125,11	134,34	89,92	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar				
16	No refrigerar	27,07	63,77	74,81	12,10	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar				
17	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
18	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
19	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
20	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
21	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
22	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
23	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
24	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar	No refrigerar						
Total día (Whm <sup>3</sup> )	0,00	0,00	0,00	0,00	233,82	531,21	895,85	957,29	669,61	215,63	0,00	0,00
Total mes (Whm <sup>3</sup> )	0	0	0	0	7243	15936	27771	29676	20088	6683	0	0
Total año (Whm <sup>3</sup> )	107405											
Necesidades máximas (Whm <sup>3</sup> ):			209,75	los cuales en		10080	m <sup>3</sup>	son	2,11	MW frigoríficos		
Gasto total del invernadero en refrigeración al año en términos de energía (MWh/año):												
1,083E+03												
Necesidades máximas mensuales de refrigeración (Whm <sup>3</sup> ):												
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anualmente:
0,00	0,00	0,00	0,00	91,27	137,29	199,70	209,75	177,66	87,27	0,00	0,00	209,75
Máxima potencia precisa para cubrir las necesidades (Whm <sup>3</sup> ):								209,75				

Figura 21 – Potências de arrefecimento

13. Calor dissipado por la ventilación (Whm<sup>3</sup>)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas								
2	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas								
3	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas								
4	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas								
5	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas								
6	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas								
7	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas	102,57	80,13	75,99	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas
8	Cerradas	Cerradas	Cerradas	80,76	98,78	112,57	110,03	101,16	68,31	Cerradas	Cerradas	Cerradas
9	Cerradas	Cerradas	87,69	114,72	134,50	124,54	140,63	129,12	108,25	72,02	Cerradas	Cerradas
10	Cerradas	87,87	119,84	116,59	128,51	98,43	118,65	104,68	111,89	82,63	62,28	Cerradas
11	55,73	53,06	83,35	79,74	77,31	34,72	42,00	28,90	50,15	49,61	65,00	41,78
12	13,21	8,30	28,30	15,35	0,08	-41,83	-55,68	-69,46	-52,38	-25,42	2,94	-0,10
13	-44,78	-41,61	-42,87	-47,65	-71,07	-108,88	-142,10	-157,30	-148,09	-103,90	-67,19	-57,36
14	-77,08	-67,23	-71,47	-78,48	-104,86	-142,63	-182,67	-189,02	-184,37	-137,62	-104,77	-89,97
15	42,17	61,78	108,35	47,49	42,51	15,83	1,88	-6,02	6,30	72,35	44,28	31,78
16	Cerradas	Cerradas	77,59	47,87	63,47	32,62	32,38	24,41	28,49	61,12	Cerradas	Cerradas
17	Cerradas	Cerradas	Cerradas	31,83	42,77	38,80	40,08	32,00	13,78	18,99	Cerradas	Cerradas
18	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas	17,24	19,67	14,66	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas
19	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas								
20	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas								
21	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas								
22	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas								
23	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas								
24	Cerradas	Cerradas	Cerradas	Cerradas								
Total día (Whm <sup>3</sup> )	-10,72	83,07	488,58	488,20	401,95	262,37	262,79	81,32	-9,55	78,78	-7,49	-73,91
Total mes (Whm <sup>3</sup> )	-332	2326	12656	12245	12451	8471	6266	2521	-290	2442	-225	-2291
Total año (Whm <sup>3</sup> )	56281											

Calor dissipado anualmente por ventilación (MWh/año):  
5,67E+02

Figura 22 – Calor dissipado pela ventilação.

14. T en que queda el invernadero si no se realizase ninguna actuación (°C)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	12,18	11,47	11,07	12,82	13,88	15,72	17,64	18,84	18,17	18,54	14,59	13,08
2	12,01	11,29	11,70	12,31	13,63	15,45	17,38	18,38	17,94	16,35	14,44	12,91
3	11,88	11,14	11,84	12,14	13,48	15,28	17,18	18,18	17,78	16,20	14,31	12,78
4	11,78	11,03	11,54	12,05	13,35	15,22	17,07	18,07	17,63	16,09	14,21	12,69
5	11,71	10,87	11,47	12,01	13,32	15,43	17,03	18,03	17,55	16,03	14,14	12,62
6	11,67	10,94	11,45	13,37	14,94	20,02	18,68	18,76	17,63	16,00	14,09	12,58
7	11,66	12,21	13,34	17,27	19,59	29,83	27,45	27,86	19,70	17,62	14,08	12,56
8	12,01	15,09	17,74	28,81	30,67	38,65	38,71	38,23	28,38	23,64	15,38	13,65
9	16,84	19,29	29,72	34,37	39,32	43,18	45,40	44,49	38,20	31,11	19,51	17,19
10	25,80	28,72	37,24	39,80	44,78	48,73	50,24	49,30	45,62	37,52	29,03	25,34
11	30,60	32,40	41,22	42,48	47,03	48,10	51,84	50,87	48,61	41,10	33,97	29,55
12	32,56	33,66	42,01	42,80	47,13	48,05	51,80	50,78	48,79	41,83	35,69	31,54
13	32,68	33,74	41,67	42,57	46,81	47,68	50,89	50,16	48,21	41,71	35,81	31,71
14	31,38	32,77	40,43	41,62	45,62	46,81	49,88	49,23	47,09	40,68	34,28	30,62
15	28,28	30,04	39,02	40,31	44,78	46,76	49,64	49,00	45,68	39,59	31,34	27,73
16	19,49	25,73	31,89	35,57	40,00	43,43	45,39	44,83	38,81	33,63	24,71	19,82
17	15,17	17,83	20,43	28,69	32,88	38,27	38,42	38,15	31,07	26,48	17,89	15,90
18	13,67	14,39	15,45	19,69	24,80	31,53	29,67	30,14	23,18	19,74	16,11	14,68
19	13,43	13,11	13,60	16,76	17,45	24,85	22,53	23,29	20,15	18,10	15,67	14,31
20	13,19	12,80	13,29	14,22	15,88	19,15	19,67	20,64	19,77	17,68	15,63	14,08
21	12,85	12,50	12,99	13,63	15,24	17,66	18,20	20,18	18,41	17,57	15,39	13,85
22	12,73	12,21	12,70	13,46	14,65	17,03	18,78	19,74	18,08	17,28	15,17	13,63
23	12,52	11,94	12,43	13,11	14,48	16,53	18,34	19,33	18,73	17,01	14,98	13,42
24	12,33	11,89	12,19	12,78	14,14	16,09	17,86	18,96	18,43	16,78	14,77	13,23

Figura 23 – Temperaturas do ar sem sistemas de climatização.

15. T en que queda el invernadero si sólo se realizase la actuación de la calefacción (°C)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,72	17,64	18,64	18,17	18,54	15,00	15,00
2	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,45	17,38	18,38	17,94	18,35	15,00	15,00
3	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,28	17,18	18,19	17,76	18,20	15,00	15,00
4	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,22	17,07	18,07	17,63	18,09	15,00	15,00
5	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	21,00	17,03	18,03	17,56	18,03	15,00	15,00
6	15,00	15,00	15,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	17,53	18,00	15,00	15,00
7	15,00	21,00	21,00	21,00	21,00	28,63	27,45	27,86	21,00	21,00	15,00	15,00
8	21,00	21,00	21,00	28,81	30,87	36,66	38,71	38,23	28,38	23,64	21,00	21,00
9	21,00	21,00	28,72	34,37	38,32	43,18	45,40	44,48	38,20	31,11	21,00	21,00
10	28,90	28,72	37,24	39,60	44,78	48,73	50,24	49,30	45,52	37,52	28,03	25,34
11	30,80	32,40	41,22	42,48	47,03	48,10	51,84	50,97	48,81	41,10	33,97	28,85
12	32,55	33,68	42,01	42,69	47,13	48,05	51,60	50,78	48,79	41,63	35,59	31,54
13	32,68	33,74	41,67	42,57	46,61	47,58	50,89	50,16	48,21	41,71	35,61	31,71
14	31,38	32,77	40,43	41,62	45,62	46,61	49,68	49,23	47,08	40,68	34,28	30,52
15	28,28	30,84	38,02	40,31	44,78	46,78	49,64	49,00	45,68	38,59	31,34	27,73
16	21,00	25,73	31,88	35,57	40,00	43,43	45,39	44,83	39,61	33,83	24,71	21,00
17	21,00	21,00	21,00	28,99	32,66	38,27	38,42	38,15	31,07	28,48	21,00	21,00
18	15,00	21,00	21,00	21,00	24,80	31,53	29,87	30,14	23,18	21,00	16,11	15,00
19	15,00	15,00	15,00	21,00	21,00	24,85	22,53	23,29	20,15	18,19	15,87	15,00
20	15,00	15,00	15,00	15,00	15,88	21,00	19,67	20,84	18,77	17,88	15,63	15,00
21	15,00	15,00	15,00	15,00	15,24	17,68	18,20	20,18	18,41	17,57	15,39	15,00
22	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	17,03	18,78	18,74	18,08	17,28	15,17	15,00
23	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	16,53	18,34	18,33	18,73	17,01	15,00	15,00
24	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	16,09	17,98	18,86	18,43	18,76	16,00	15,00

Figura 24 – Temperatura do ar com aquecimento.

16. T en que queda el invernadero después de realizar la calefacción y la 1ª actuación (°C)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	16,72	17,64	18,64	18,17	18,54	15,00	15,00
2	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,45	17,38	18,38	17,94	18,35	15,00	15,00
3	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,28	17,18	18,19	17,76	18,20	15,00	15,00
4	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,22	17,07	18,07	17,63	18,09	15,00	15,00
5	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	21,00	17,03	18,03	17,56	18,03	15,00	15,00
6	15,00	15,00	15,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	17,53	18,00	15,00	15,00
7	15,00	21,00	21,00	21,00	21,00	28,60	28,00	28,00	21,00	21,00	15,00	15,00
8	21,00	21,00	21,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	26,00	23,84	21,00	21,00
9	21,00	21,00	28,00	28,00	28,00	27,19	28,03	28,54	26,00	26,00	21,00	21,00
10	28,90	28,00	28,00	28,00	27,02	30,22	31,31	31,97	28,88	28,69	26,00	25,34
11	28,00	28,00	28,40	27,67	29,96	32,72	34,02	34,71	33,55	30,97	26,17	26,00
12	27,81	28,42	28,62	30,77	32,45	34,63	38,15	37,08	38,54	34,81	30,80	28,55
13	31,87	31,77	32,54	33,12	34,36	36,47	37,76	38,86	38,88	38,27	35,17	31,71
14	31,38	32,77	33,74	34,34	35,40	37,47	38,74	39,83	40,38	38,99	34,28	30,52
15	28,00	28,00	28,00	28,38	31,36	33,62	35,48	36,39	35,68	28,62	26,00	26,00
16	21,00	25,73	28,00	27,45	29,68	32,61	34,27	35,18	33,05	27,14	24,71	21,00
17	21,00	21,00	21,00	28,00	28,04	30,77	31,48	32,28	28,74	26,00	21,00	21,00
18	15,00	21,00	21,00	21,00	24,80	29,33	27,15	27,99	23,18	21,00	16,11	15,00
19	15,00	15,00	15,00	21,00	21,00	24,85	22,53	23,29	20,15	18,19	15,87	15,00
20	15,00	15,00	15,00	15,00	15,88	21,00	19,67	20,84	18,77	17,88	15,63	15,00
21	15,00	15,00	15,00	15,00	15,24	17,68	18,20	20,18	18,41	17,57	15,39	15,00
22	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	17,03	18,78	18,74	18,08	17,28	15,17	15,00
23	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	16,53	18,34	18,33	18,73	17,01	15,00	15,00
24	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	16,09	17,98	18,86	18,43	18,76	16,00	15,00

Figura 25 – Temperatura estufa, após da 1ª actuação do aquecimento.

17. T en que queda el invernadero después de realizar la calefacción, la 1ª y la 2ª actuación (°C)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,72	17,64	18,84	18,17	16,54	15,00	15,00
2	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,45	17,38	18,38	17,94	16,35	15,00	15,00
3	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,28	17,18	18,19	17,76	16,20	15,00	15,00
4	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,22	17,07	18,07	17,63	16,09	15,00	15,00
5	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	21,00	17,03	18,03	17,55	16,03	15,00	15,00
6	15,00	15,00	15,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	17,53	16,00	15,00	15,00
7	15,00	21,00	21,00	21,00	21,00	26,00	26,00	26,00	21,00	21,00	15,00	15,00
8	21,00	21,00	21,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	23,64	21,00	21,00
9	21,00	21,00	26,00	26,00	26,00	27,19	26,03	26,54	26,00	26,00	21,00	21,00
10	25,90	26,00	26,00	26,00	27,02	30,61	32,00	32,46	30,45	28,89	26,00	25,34
11	26,00	26,00	28,40	27,87	30,43	32,70	34,29	34,88	33,69	30,40	26,17	26,00
12	27,61	26,42	29,15	30,85	32,10	34,28	35,88	36,84	36,09	33,11	29,00	28,55
13	29,00	29,00	30,52	31,31	33,26	35,42	37,04	38,25	37,88	35,11	30,93	29,00
14	29,00	29,00	30,83	31,74	33,78	36,03	37,76	39,07	38,68	35,75	31,47	29,00
15	26,00	26,00	26,00	29,00	31,24	33,53	35,49	36,27	34,99	29,52	26,00	26,00
16	21,00	25,73	26,00	27,45	29,18	32,19	33,82	34,49	32,02	27,14	24,71	21,00
17	21,00	21,00	21,00	26,00	26,84	28,83	30,83	31,32	28,74	26,00	21,00	21,00
18	15,00	21,00	21,00	21,00	24,80	26,33	27,15	27,99	23,16	21,00	16,11	15,00
19	15,00	15,00	15,00	21,00	21,00	24,85	22,53	23,29	20,15	18,10	15,87	15,00
20	15,00	15,00	15,00	15,00	15,68	21,00	19,67	20,84	19,77	17,88	15,63	15,00
21	15,00	15,00	15,00	15,00	15,24	17,58	19,20	20,18	19,41	17,57	15,39	15,00
22	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	17,03	18,76	19,74	19,08	17,28	15,17	15,00
23	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	16,53	18,34	19,33	18,73	17,01	15,00	15,00
24	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	16,09	17,98	18,96	18,43	16,76	15,00	15,00

Figura 26 – Temperatura do ar com aquecimento, ventilação e sombra.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	3,47	3,44	3,43	3,43	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	3,64	3,51	62,51	54,78	41,17	43,21	3,44	0,00	0,00	0,00
8	3,53	3,65	69,76	67,44	124,02	323,93	334,54	382,44	54,87	3,48	3,52	0,00
9	69,43	71,16	159,22	182,20	335,25	781,29	767,89	749,31	580,09	65,44	67,59	3,52
10	135,82	62,43	288,46	459,88	857,14	786,12	783,83	783,84	782,25	882,68	112,79	67,69
11	177,53	308,84	772,41	970,43	861,46	786,51	783,96	761,15	116,57	882,83	819,86	178,71
12	1029,63	1076,32	1038,72	131,37	862,66	788,17	788,70	748,81	780,02	887,81	132,22	132,37
13	1030,48	1076,22	136,63	131,46	861,46	783,57	767,16	747,20	778,34	882,63	685,27	684,66
14	1030,05	1074,85	136,84	131,48	860,98	783,42	766,51	746,82	777,75	882,08	685,09	684,44
15	69,26	197,46	426,67	668,42	859,82	783,64	782,89	748,93	778,34	882,00	580,39	62,68
16	69,27	138,94	200,20	667,58	852,80	784,37	114,99	114,24	116,68	878,86	67,62	67,49
17	3,53	71,03	69,67	165,64	853,48	781,51	768,82	114,27	391,21	63,65	3,51	3,52
18	0,00	3,65	3,64	68,95	62,51	779,35	379,08	376,09	3,44	3,43	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	3,51	3,47	52,82	3,43	3,42	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total día (kg)	3649	4102	3353	4264	7486	8291	6345	6289	5163	6357	3755	2512
Total mes (kg)	105463	123072	189501	127997	223579	249419	208353	188399	150298	136714	112654	73375
Total año (kg)	1853834											
Necesidades máximas (kg/h): 1073,32												
Necesidades mínimas (kg/h): 0,30												
Necesidades mínimas mensuales (kg/d):												
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulado
0,29	0,30	0,28	0,27	0,24	0,22	0,21	0,21	0,22	0,25	0,27	0,27	0,30

Figura 27 – Necesidades de CO<sub>2</sub>.

19. Figura de la evolución de la T Interior y exterior resultantes

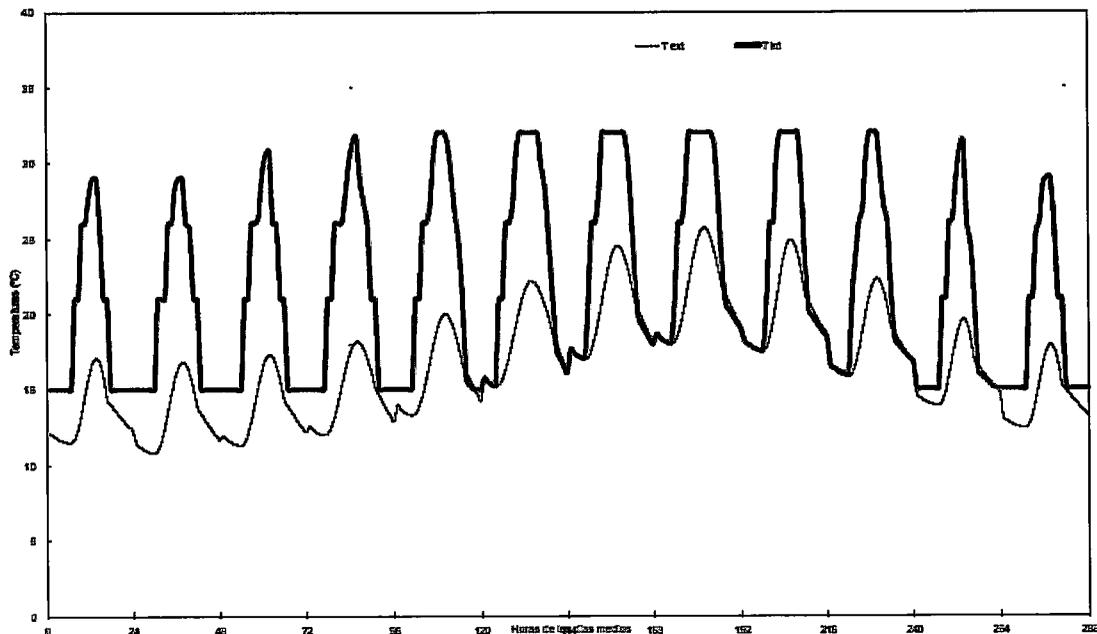


Figura 28 – Evolução da temperatura interior e exterior dentro da estufa.

20. Volumen de agua consumido por transpiración del cultivo (l/h-m<sup>2</sup>)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00
9	0,01	0,01	0,04	0,08	0,08	0,12	0,11	0,10	0,05	0,03	0,01	0,01
10	0,03	0,05	0,10	0,12	0,17	0,11	0,13	0,11	0,07	0,08	0,04	0,03
11	0,07	0,09	0,16	0,22	0,15	0,17	0,20	0,17	0,14	0,08	0,07	0,05
12	0,11	0,13	0,13	0,14	0,20	0,20	0,25	0,22	0,18	0,12	0,07	0,10
13	0,08	0,08	0,15	0,19	0,22	0,22	0,28	0,24	0,20	0,13	0,09	0,07
14	0,07	0,08	0,15	0,18	0,22	0,22	0,27	0,23	0,19	0,12	0,09	0,07
15	0,04	0,05	0,11	0,09	0,13	0,15	0,17	0,15	0,11	0,05	0,05	0,04
16	0,02	0,04	0,08	0,11	0,08	0,11	0,11	0,10	0,07	0,05	0,02	0,01
17	0,01	0,01	0,02	0,05	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01
18	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(l/día-m <sup>2</sup> )	0,44	0,57	0,94	1,19	1,41	1,51	1,86	1,40	1,12	0,70	0,45	0,48
(l/mes-m <sup>2</sup> )	13,64	15,84	28,16	35,76	43,76	45,37	51,59	45,83	33,65	21,67	13,57	12,32
(l/año-m <sup>2</sup> )	362,14											

Figura 29 – Volume de água consumida pela transpiração da cultura

## 21. Humedad relativa exterior (%)

Día tipo:	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Horas:												
1	87,91	87,83	87,87	88,19	86,77	88,06	88,82	85,84	85,89	88,97	88,72	87,69
2	88,87	88,21	88,15	87,84	87,29	88,83	88,34	87,33	87,35	88,27	87,78	88,74
3	88,87	88,25	88,18	88,72	88,42	88,00	88,83	88,59	88,54	88,32	88,68	88,83
4	88,59	81,01	88,83	88,38	88,12	82,38	88,42	88,37	88,41	88,08	88,40	88,34
5	81,11	81,47	81,39	88,81	88,38	81,88	88,89	88,83	88,94	88,58	88,83	88,85
6	81,43	81,83	81,55	88,84	88,54	88,46	88,79	88,72	88,12	88,72	88,24	81,17
7	81,53	88,25	88,18	88,07	85,58	85,52	88,53	85,45	88,54	88,30	88,35	81,28
8	88,87	88,44	88,39	81,77	81,82	88,82	81,54	88,43	84,18	85,38	88,71	88,68
9	85,38	81,07	81,84	78,88	78,85	78,40	78,88	74,55	78,12	78,87	84,28	85,28
10	78,35	78,22	78,21	71,55	70,28	70,43	88,85	88,71	71,58	73,88	78,34	78,40
11	73,20	88,83	88,85	88,88	85,48	88,14	84,73	88,58	85,88	88,38	72,27	73,38
12	88,11	85,88	85,83	83,42	81,77	82,82	88,78	88,82	81,88	84,88	87,28	88,41
13	84,82	82,84	82,88	81,88	88,38	88,84	88,28	87,88	88,28	81,38	84,82	85,18
14	83,88	82,83	82,87	88,15	88,38	88,87	87,18	88,83	87,23	88,47	82,88	84,88
15	85,23	82,84	82,88	88,78	88,87	88,88	87,78	88,84	88,28	81,48	84,38	85,55
16	88,83	85,88	85,83	82,41	88,78	81,35	88,82	88,54	81,88	84,15	88,85	88,78
17	78,28	88,83	88,85	85,18	88,88	88,48	82,83	81,84	85,88	88,52	75,88	78,88
18	77,77	78,22	78,21	88,88	87,58	88,38	88,88	85,82	71,58	74,11	78,58	77,84
19	78,35	77,18	77,15	73,23	72,25	88,84	71,53	78,82	73,74	78,87	78,14	78,28
20	88,82	78,13	78,18	75,55	74,88	74,88	74,28	73,45	75,83	78,88	78,72	88,78
21	82,47	81,87	81,84	77,88	77,11	77,24	78,81	78,11	78,12	88,82	81,27	82,38
22	83,87	82,87	82,83	88,21	78,51	88,51	78,88	78,75	88,25	81,84	82,77	83,78
23	85,38	84,77	84,73	82,48	81,81	83,85	82,17	81,27	82,28	83,77	84,18	85,18
24	88,71	88,44	88,38	84,42	83,82	88,82	84,54	83,88	84,18	85,48	85,52	88,58

Figura 30 – Volume de água consumida por transpiração da cultura.

## 22. Humedad relativa interior (%)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora												
1	124,73	125,53	125,53	108,54	108,54	108,88	108,54	108,54	107,88	125,53	124,73	124,73
2	128,27	130,82	130,82	113,48	113,48	115,43	113,48	113,48	111,88	130,82	128,27	128,27
3	133,07	134,67	134,67	117,88	117,88	118,85	117,88	117,88	115,43	134,67	133,07	133,07
4	138,07	137,81	137,81	118,28	118,28	128,88	118,28	118,28	117,88	137,81	138,07	138,07
5	138,24	138,48	138,48	128,88	128,88	118,85	128,88	128,88	118,48	138,48	138,24	138,24
6	138,58	148,88	148,88	118,28	118,28	115,43	118,28	118,28	128,88	148,88	138,58	138,58
7	148,88	138,48	138,48	117,88	117,88	108,88	117,88	117,88	118,48	138,48	148,88	148,88
8	85,88	85,38	85,38	77,48	77,48	88,48	77,48	77,48	85,38	85,38	85,88	85,88
9	81,17	88,13	88,13	81,53	81,53	54,28	81,53	81,53	88,13	88,13	81,17	81,17
10	81,13	58,88	58,88	44,28	44,28	38,88	44,28	44,28	58,88	58,88	81,13	81,13
11	38,87	38,87	38,87	27,58	27,58	24,18	27,58	27,58	38,87	38,87	38,87	38,87
12	18,83	14,84	14,84	13,83	13,83	12,21	13,83	13,83	14,84	14,84	18,83	18,83
13	4,85	3,81	3,81	4,88	4,88	3,84	4,88	4,88	3,81	3,81	4,85	4,85
14	8,88	8,88	8,88	8,88	8,88	8,18	8,88	8,88	8,88	8,88	8,88	8,88
15	44,82	42,28	42,28	21,88	21,88	21,38	21,88	21,88	23,84	42,28	44,82	44,82
16	55,88	48,78	48,78	27,84	27,84	28,38	27,84	27,84	31,72	48,78	55,88	55,88
17	78,88	58,52	58,52	38,48	38,48	31,72	38,48	38,48	44,88	58,52	78,88	78,88
18	77,84	78,88	78,88	58,81	58,81	37,84	58,81	58,81	68,88	78,88	77,84	77,84
19	85,58	78,14	78,14	88,88	88,88	48,28	88,88	88,88	87,83	78,14	85,58	85,58
20	83,12	88,12	88,12	88,38	88,38	88,88	88,38	88,38	75,83	88,12	83,12	83,12
21	108,37	88,78	88,78	78,54	78,54	71,71	78,54	78,54	82,88	88,78	108,37	108,37
22	107,24	105,88	105,88	87,24	87,24	82,88	87,24	87,24	88,88	105,88	107,24	107,24
23	113,84	112,81	112,81	85,27	85,27	83,33	85,27	85,27	88,53	112,81	113,84	113,84
24	118,58	118,58	118,58	102,43	102,43	102,43	102,43	102,43	102,43	118,58	118,58	118,58

Figura 31 – Humidade relativa interior à estufa.

Desde modo, após a apresentação dos resultados do SCE, estará explícito no próximo ponto o manuseamento dos resultados sobre a forma de tabelas, gráficos e cartas, de tal modo que permite analisar e discutir os dados consoante as temperaturas de referência para o desenvolvimento das culturas, assim como a energia necessária no período de aquecimento e arrefecimento das mesmas nos diversos locais referenciados neste trabalho, sensibilizando o agricultor a produzir com o menor consumo energético possível.

#### **4.2.– Análise da temperatura interior nas estufas**

As tabelas 15, 16, 17 e 18, abaixo representadas, apresentam as temperaturas do interior da estufa para a cultura do Tomate na Região Autónoma dos Açores sem e com aplicação de sistemas de climatização. Em que se admite que das 7 às 19 é um horário diurno e das 19 às 7 é um horário nocturno. Assim, a interpretação das temperaturas é feita por base as temperaturas máximas e mínimas em relação as temperaturas de referência predefinidas, neste trabalho, para o bom crescimento e desenvolvimento de cada cultura.

Então, as tabelas analisadas são:

- Temperatura do ar máxima e mínima sem qualquer actuação dos sistemas de climatização (°C) (Tabela 15);
- Temperatura do ar máxima e mínima só com aquecimento e ventilação (°C) (Tabela 16);

Temperatura do ar máxima e mínima só com aquecimento, ventilação e sombra (°C) (Tabela 17);

A tabela 15 apresenta as temperaturas interiores da estufa sem actuação de nenhum sistema de climatização para a cultura do tomate na Região Autónoma dos Açores. Verifica-se as temperaturas mínimas e máximas variam entre 10,94 °C e os 51,84 °C, nos meses de Fevereiro e Julho respectivamente.

Assumindo o horário nocturno verifica-se que a temperatura máxima é de 24, 85 °C no mês de Julho pelas 19 horas e a temperatura mínima é de 10,94 °C no mês de Janeiro pelas 7 horas. Quanto ao horário diurno verifica-se que a temperatura máxima é de 51,84 °C em Julho pelas 11 horas e a temperatura mínima é de 12,91 °C no mês de Janeiro pelas 8 horas. Tendo em conta que as temperaturas nocturnas de referência são

de 13 °C e 15 °C pode-se concluir que as temperaturas do ar interior da estufa sem actuação de um sistema de climatização não atingem os valores predefinidos. Quanto às temperaturas diurnas, os valores de referência são de 20 °C e 21°C, o que não se verifica em nenhum mês.

Fazendo uma análise mais geral, podemos observar na tabela que a temperatura mínima varia entre 10,94°C e 18,03°C. Assim, verifica-se que é sempre superior a 10°C, valor assumido como sendo o limite mínimo a partir do qual ocorrem danos nos tecidos e desequilíbrios como malformações nas folhas e frutos defeituosos. De facto, relativamente à temperatura mínima, embora o valor mínimo esteja abaixo dos valores definidos para as simulações, os resultados parecem indicar que as condições climáticas dos Açores permitirão a produção de tomate sem recorrer a sistemas de aquecimento. De qualquer modo, se se pretender maximizar a produção da cultura, quer em quantidade quer em qualidade dos frutos, a temperatura mínima deverá ser da ordem de 15°C, e nesse caso deverá ser feita uma análise benefícios-custos de modo a decidir (ou não) pela instalação de um sistema de aquecimento, que será necessário para cerca de 7 meses por ano. Quanto aos valores máximos verifica-se que variam entre 31,71°C e 51,84°C, o que significa que, a não ser que se recorra a técnicas de controlo ambiental, como a ventilação, sombreamento e eventualmente arrefecimento não será possível produzir tomate em boas condições, principalmente para valores acima de 38 °C em que ocorre danificação dos tecidos e os frutos aparecem queimados. Assim, será de todo imprescindível o recurso a técnicas que permitam reduzir a temperatura do ar interior.

Quanto ao horário diurno verifica-se que a temperatura máxima é de 51,84 °C em Julho pelas 11 horas e a temperatura mínima é de 12,91 °C no mês de Janeiro pelas 8 horas. Visto que, as temperaturas diurnas de referência são de 20 °C e 21°C não se verifica em nenhum mês, podendo provocar desequilíbrios na planta como malformações nas folhas e frutos defeituosos.

Tabela 15 – Temperatura interior da estufa sem actuação dos sistemas de condicionamento ambiental

Mês	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hora												
1	12,16	11,47	11,97	12,52	13,86	15,72	17,64	18,64	18,17	16,54	14,59	13,06
2	12,01	11,29	11,79	12,31	13,63	15,45	17,38	18,38	17,94	16,35	14,44	12,91
3	11,88	11,14	11,64	12,14	13,46	15,28	17,18	18,19	17,76	16,20	14,31	12,79
4	11,78	11,03	11,54	12,05	13,35	15,22	17,07	18,07	17,63	16,09	14,21	12,69
5	11,71	10,97	11,47	12,01	13,32	16,43	17,03	18,03	17,55	16,03	14,14	12,62
6	11,67	10,94	11,45	13,37	14,94	22,18	18,88	19,75	17,53	16,00	14,09	12,58
7	11,65	12,21	13,34	17,27	19,59	29,93	27,45	27,66	19,70	17,62	14,08	12,56
8	12,91	15,09	17,74	26,81	30,87	36,95	36,71	36,23	28,36	23,64	15,38	13,65
9	16,84	19,29	29,72	34,37	39,32	43,16	45,40	44,49	38,20	31,11	19,51	17,19
10	25,90	28,72	37,24	39,80	44,78	46,73	50,24	49,30	45,52	37,52	29,03	25,34
11	30,80	32,40	41,22	42,46	47,03	48,10	51,84	50,97	48,61	41,10	33,97	29,85
12	32,55	33,66	42,01	42,90	47,13	48,05	51,60	50,78	48,79	41,93	35,59	31,54
13	32,68	33,74	41,67	42,57	46,61	47,58	50,89	50,16	48,21	41,71	35,61	31,71
14	31,36	32,77	40,43	41,62	45,62	46,81	49,86	49,23	47,08	40,66	34,26	30,52
15	28,28	30,94	39,02	40,31	44,76	46,76	49,64	49,00	45,66	39,59	31,34	27,73
16	19,49	25,73	31,99	35,57	40,00	43,43	45,39	44,83	39,61	33,63	24,71	19,82
17	15,17	17,93	23,46	28,99	32,86	38,27	38,42	38,15	31,07	26,49	17,69	15,90
18	13,67	14,39	15,45	19,66	24,80	31,53	29,87	30,14	23,18	19,74	16,11	14,56
19	13,43	13,11	13,60	15,76	17,45	24,85	22,53	23,29	20,15	18,19	15,87	14,31
20	13,19	12,80	13,29	14,22	15,66	19,15	19,67	20,64	19,77	17,88	15,63	14,08
21	12,95	12,50	12,99	13,83	15,24	17,56	19,20	20,18	19,41	17,57	15,39	13,85
22	12,73	12,21	12,70	13,46	14,85	17,03	18,76	19,74	19,06	17,28	15,17	13,63
23	12,52	11,94	12,43	13,11	14,48	16,53	18,34	19,33	18,73	17,01	14,96	13,42
24	12,33	11,69	12,19	12,79	14,14	16,09	17,96	18,96	18,43	16,76	14,77	13,23
Máximo	32,68	33,74	42,01	42,9	47,13	48,1	51,84	50,97	48,79	41,93	35,61	31,71
Média	17,49	18,25	21,68	23,75	26,57	29,95	31,21	31,42	28,59	24,86	20,20	17,90
Mínima	11,65	10,94	11,45	12,01	13,32	15,22	17,03	18,03	17,55	16	14,08	12,56

A tabela 16 apresenta os resultados da simulação para a temperatura do ar conseguida apenas com aquecimento. Naturalmente que o valor mínimo é 13°C, já que esse é o valor de referência para o aquecimento. Quanto ao valor máximo é 40,36°C conseguido com o recurso à ventilação, o que permitiu baixar o valor máximo de 51,84°C para 40,36°C, mas que ainda assim é manifestamente insuficiente para obter as condições adequadas à produção de tomate, tal como referido anteriormente. Será portanto necessário recorrer a outras técnicas de arrefecimento ou de redução de ganhos de calor de modo a obter temperaturas inferiores.

Tabela 16 – Temperatura interior da estufa com aquecimento na cultura do tomate nos Açores

Mês	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Hora</b>												
<b>1</b>	13,00	13,00	13,00	13,00	13,86	15,72	17,64	18,64	18,17	16,54	14,59	13,06
<b>2</b>	13,00	13,00	13,00	13,00	13,63	15,45	17,38	18,38	17,94	16,35	14,44	13,00
<b>3</b>	13,00	13,00	13,00	13,00	13,46	15,28	17,18	18,19	17,76	16,20	14,31	13,00
<b>4</b>	13,00	13,00	13,00	13,00	13,35	15,22	17,07	18,07	17,63	16,09	14,21	13,00
<b>5</b>	13,00	13,00	13,00	13,00	13,32	20,00	17,03	18,03	17,55	16,03	14,14	13,00
<b>6</b>	13,00	13,00	13,00	20,00	20,00	22,18	20,00	20,00	17,53	16,00	14,09	13,00
<b>7</b>	13,00	20,00	20,00	20,00	20,00	26,00	26,00	26,00	20,00	20,00	14,08	13,00
<b>8</b>	20,00	20,00	20,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	23,64	20,00	20,00
<b>9</b>	20,00	20,00	26,00	26,00	26,00	27,19	28,03	28,54	26,00	26,00	20,00	20,00
<b>10</b>	25,90	26,00	26,00	26,00	27,02	30,22	31,31	31,97	29,96	26,89	26,00	25,34
<b>11</b>	26,00	26,00	26,40	27,87	29,96	32,72	34,02	34,71	33,55	30,97	26,17	26,00
<b>12</b>	27,81	28,42	29,82	30,77	32,45	34,83	36,15	37,08	36,54	34,91	30,80	28,55
<b>13</b>	31,87	31,77	32,54	33,12	34,36	36,47	37,76	38,86	38,96	38,27	35,17	31,71
<b>14</b>	31,36	32,77	33,74	34,34	35,40	37,47	38,74	39,98	40,36	39,99	34,26	30,52
<b>15</b>	26,00	26,00	26,00	29,38	31,36	33,82	35,46	36,39	35,69	29,52	26,00	26,00
<b>16</b>	20,00	25,73	26,00	27,45	29,68	32,81	34,27	35,19	33,05	27,14	24,71	20,00
<b>17</b>	20,00	20,00	23,46	26,00	26,64	30,77	31,49	32,28	28,74	26,00	20,00	20,00
<b>18</b>	13,67	20,00	20,00	20,00	24,80	28,33	27,15	27,99	23,18	20,00	16,11	14,56
<b>19</b>	13,43	13,11	13,60	20,00	20,00	24,85	22,53	23,29	20,15	18,19	15,87	14,31
<b>20</b>	13,19	13,00	13,29	14,22	15,66	20,00	19,67	20,64	19,77	17,88	15,63	14,08
<b>21</b>	13,00	13,00	13,00	13,83	15,24	17,56	19,20	20,18	19,41	17,57	15,39	13,85
<b>22</b>	13,00	13,00	13,00	13,46	14,85	17,03	18,76	19,74	19,06	17,28	15,17	13,63
<b>23</b>	13,00	13,00	13,00	13,11	14,48	16,53	18,34	19,33	18,73	17,01	14,96	13,42
<b>24</b>	13,00	13,00	13,00	13,00	14,14	16,09	17,96	18,96	18,43	16,76	14,77	13,23
<b>Máximo</b>	31,87	32,77	33,74	34,34	35,40	37,47	38,74	39,98	40,36	39,99	35,12	31,71
<b>Média</b>	18,01	18,87	19,45	20,81	21,90	24,69	25,38	26,18	24,76	22,72	19,62	18,18
<b>Mínima</b>	13,00	13,00	13,00	13,00	13,32	15,22	17,03	18,03	17,53	16,00	14,08	13,00

Tabela 17 – Temperatura interior da estufa com aquecimento, ventilação e sombra na cultura do tomate nos Açores

Mês	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hora												
1	13,00	13,00	13,00	13,00	13,86	15,72	17,64	18,64	18,17	16,54	14,59	13,06
2	13,00	13,00	13,00	13,00	13,63	15,45	17,38	18,38	17,94	16,35	14,44	13,00
3	13,00	13,00	13,00	13,00	13,46	15,28	17,18	18,19	17,76	16,20	14,31	13,00
4	13,00	13,00	13,00	13,00	13,35	15,22	17,07	18,07	17,63	16,09	14,21	13,00
5	13,00	13,00	13,00	13,00	13,32	20,00	17,03	18,03	17,55	16,03	14,14	13,00
6	13,00	13,00	13,00	20,00	20,00	22,18	20,00	20,00	17,53	16,00	14,09	13,00
7	13,00	20,00	20,00	20,00	20,00	26,00	26,00	26,00	20,00	20,00	14,08	13,00
8	20,00	20,00	20,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	23,64	20,00	20,00
9	20,00	20,00	26,00	26,00	26,00	27,19	28,03	28,54	26,00	26,00	20,00	20,00
10	25,90	26,00	26,00	26,00	27,02	30,61	32,00	32,46	30,45	26,89	26,00	25,34
11	26,00	26,00	26,40	27,87	30,43	32,70	34,29	34,98	33,69	30,40	26,17	26,00
12	27,81	28,42	29,15	30,05	32,10	34,28	35,86	36,84	36,09	33,11	29,00	28,55
13	29,00	29,00	30,52	31,31	33,26	35,42	37,04	38,25	37,88	35,11	30,93	29,00
14	29,00	29,00	30,83	31,74	33,78	36,03	37,76	39,07	38,68	35,75	31,47	29,00
15	26,00	26,00	26,00	29,00	31,24	33,53	35,49	36,27	34,99	29,52	26,00	26,00
16	20,00	25,73	26,00	27,45	29,18	32,19	33,82	34,49	32,02	27,14	24,71	20,00
17	20,00	20,00	23,46	26,00	26,64	29,83	30,63	31,32	28,74	26,00	20,00	20,00
18	13,67	20,00	20,00	20,00	24,80	28,33	27,15	27,99	23,18	20,00	16,11	14,56
19	13,43	13,11	13,60	20,00	20,00	24,85	22,53	23,29	20,15	18,19	15,87	14,31
20	13,19	13,00	13,29	14,22	15,66	20,00	19,67	20,64	19,77	17,88	15,63	14,08
21	13,00	13,00	13,00	13,83	15,24	17,56	19,20	20,18	19,41	17,57	15,39	13,85
22	13,00	13,00	13,00	13,46	14,85	17,03	18,76	19,74	19,06	17,28	15,17	13,63
23	13,00	13,00	13,00	13,11	14,48	16,53	18,34	19,33	18,73	17,01	14,96	13,42
24	13,00	13,00	13,00	13,00	14,14	16,09	17,96	18,96	18,43	16,76	14,77	13,23
Máxima	29,00	29,00	30,83	31,74	33,78	36,03	37,76	39,07	38,68	35,75	31,47	29,00
Mínima	13,00	13,00	13,00	13,00	13,32	15,22	17,03	18,03	17,53	16,00	14,08	13,00

A tabela 17 apresenta os resultados da simulação para a temperatura do ar conseguida com aquecimento, ventilação e sombra. Quanto ao valor máximo é 39,07°C conseguido com o recurso a sombra, o que permitiu baixar o valor máximo de 40,36°C para 39,07°C, que é um valor insuficiente para obter as condições adequadas à produção de tomate, uma vez que as temperaturas de referência são 20 e 21°C. Assim, será de todo necessário o recurso a técnicas de arrefecimento que permitam reduzir a temperatura do ar interior.

Após o estudo mais pormenorizado das temperaturas interiores da estufa nos Açores com actuação (ou não) de sistemas de climatização será feita uma breve análise

aos resultados das simulações das restantes regiões em estudo para as culturas do tomate, do pepino e da alface, respectivamente.

As temperaturas de referência nocturnas e diurnas para o período de aquecimento da cultura do tomate, sem nenhuma acção de sistemas de climatização existentes na estufa, não se verificam em nenhuma localidade em estudo, verifica-se que os Açores e a Madeira têm as maiores temperaturas mínimas do ar, com mais de 10°C e as temperaturas máximas são cerca de 46 a 54°C em Coruña e na Madrid, respectivamente.

A temperatura do ar máximo e mínima com aquecimento e ventilação para a cultura da alface, verificando que os valores das temperaturas não se encontram entre os 13 a 21 °C. Todas as regiões possuem mesmas temperaturas mínimas do ar, com 15 °C. Se não houver sombra e arrefecimento na estufa, a temperatura máxima atingirá valores com cerca de 47 a 54°C em Navarra e em Huelva, respectivamente.

Quando a temperatura do ar máximo e mínima com aquecimento, ventilação e sombra, a temperatura máxima atingirá valores com cerca de 36 a 40°C em Navarra e nos Açores, respectivamente

A temperatura do ar máximo e mínima com aquecimento, ventilação, sombra e arrefecimento para a cultura da alface, A temperatura máxima atingirá valores com cerca de 37 a 42 °C em Navarra e em Almeria, respectivamente

Os resultados mostram a necessidade de utilizar técnicas de controlo de climatização na produção da cultura do tomate em todas as regiões estudadas em pelo menos durante as épocas mais quente do ano.

Desta forma, as localidades localizadas a sul, como Almeria e Faro, possuem mais necessidades de sistemas de arrefecimentos nos períodos mais quentes do ano, principalmente nos meses de Julho e Agosto e as temperaturas mínimas são muitas próximas das temperaturas óptimas para o desenvolvimento da cultura do tomate. Ao passo que, as localidades localizadas a norte, como Navarra e Madrid, requerem sistemas de aquecimento nos meses mais frios, principalmente nos meses de Janeiro e Dezembro.

As regiões autónomas dos Açores e da Madeira como regiões insulares que possuem condições climáticas amenas deve-se ter apenas em atenção as temperaturas máximas.

Analisando, comparativamente, as diversas localidades em estudo em relação a cultura da alface. Em que se verifica tal como a cultura do tomate que as localizadas a sul, como Almeria e Faro, possuem mais necessidades de sistemas de arrefecimentos nos períodos mais quentes do ano, principalmente nos meses de Julho e Agosto e as temperaturas mínimas são muitas próximas das temperaturas óptimas para o desenvolvimento da cultura do tomate. Ao passo que, as localidades localizadas a norte, como Navarra e Madrid, requerem sistemas de aquecimento nos meses mais frios, principalmente nos meses de Janeiro e Dezembro.

As regiões autónomas dos Açores e da Madeira como regiões insulares que possuem condições climáticas amenas deve-se ter apenas em atenção as temperaturas máximas.

Tendo em conta as temperaturas de referência nocturnas e diurnas para o período de aquecimento da cultura do pepino, sem nenhuma acção de sistemas de climatização existentes na estufa, não se verificam em nenhuma localidade em estudo, em que as regiões autónomas dos Açores e da Madeira possuem as maiores temperaturas mínimas do ar, com mais de 10 °C e as temperaturas máxima são cerca de 46 a 54 °C em Coruña e na Madrid, respectivamente.

A temperatura do ar máximo e mínima com aquecimento e ventilação para a cultura da alface, verificando que os valores das temperaturas não se encontram entre os 16 a 24 °C. Todas as regiões possuem mesmas temperaturas mínimas do ar, com 16 °C. Se não houver sombra e arrefecimento na estufa, a temperatura máxima atingirá valores com cerca de 47 a 54 °C em Navarra e em Huelva, respectivamente.

Quando a temperatura do ar máximo e mínima com aquecimento, ventilação e sombra, a temperatura máxima atingirá valores com cerca de 36 a 40 °C em Navarra e nos Açores, respectivamente

A temperatura do ar máximo e mínima com aquecimento, ventilação, sombra e arrefecimento para a cultura da alface, Se não houver arrefecimento na estufa, a temperatura máxima atingirá valores com cerca de 37 a 42 °C em Navarra e em Almeria, respectivamente.

### 4.3 – Consumo Energético

O estudo dos resultados das simulações será baseado no comportamento energético a fim de analisar quais as necessidades de aquecimento e de arrefecimento nas épocas mais críticas do ano para um bom desenvolvimento das culturas no interior da estufa.

As tabelas 18, 20 e 22 apresentam os resultados do consumo energético da cultura do pepino, do tomate e da alface para o período de aquecimento. O período de aquecimento foi definido de Novembro a Abril, uma vez que são os meses que requerem mais ganhos de calor de forma a obter temperaturas mais elevadas.

As tabelas 19, 21 e 23 apresentam o consumo energético mensal da cultura do pepino, do tomate e da alface para o período de arrefecimento (Maio a Outubro), em que será avaliado a necessidade energética para reduzir os ganhos de calor de modo a obter temperaturas inferiores.

A tabela 18 apresenta o consumo energético anual da cultura do pepino para o período de aquecimento das simulações R1 e R2.

Quanto ao consumo energético no período mais frio do ano, o mês mais crítico é Janeiro, em que os valores mínimos e máximos da simulação R1 variam entre 28351 a 85112 Wh.m<sup>-2</sup>. Enquanto os resultados da simulação R2 variam entre 20548 a 77309 Wh.m<sup>-2</sup> na Madeira e em Navarra respectivamente. As necessidades energéticas na simulação R1 são superiores aos resultados da simulação R2 devido aos 2°C que diferem as temperaturas de referência.

No entanto, se se pretender maximizar a produtividade da cultura do pepino, uma análise custo-benefício é essencial de modo a decidir qual a temperatura adoptar sem prejudicar o desenvolvimento da cultura a fim de reduzir o consumo energético e, consequentemente, os custos de produção.

Os valores mínimos são 15241 Wh.m<sup>-2</sup> na Madeira na simulação R1 no mês de Novembro.

Tabela 18 – Consumo energético (Wh.m<sup>2</sup>) da cultura do pepino para o período de aquecimento das simulações R1 e R2.

Mês	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Novembro		Dezembro	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
Açores	31746	23943	30253	24214	27534	20847	22812	17370	17815	10295	27628	19825
Faro	43179	35376	35988	29948	35857	29170	25964	20522	30665	23114	43774	35972
Madeira	28351	20548	25290	19250	23331	16644	19625	14184	15241	7689	24325	16522
Torres Vedras	48699	40896	39179	32131	34485	27798	27921	22480	32341	24790	46100	38297
Vila do Conde	53590	45787	43286	36238	38796	32109	29766	24324	37057	29506	50753	42950
Almeria	50917	43113	40860	34820	37686	30999	28518	23078	33052	25501	47502	39699
Castellón	65309	57505	53490	46442	46712	40025	34412	28972	45457	37906	64640	56837
Coruña	64572	56769	52026	44979	48132	41445	41477	36035	45389	37837	64164	56361
Huelva	49038	41235	39328	33288	35656	28969	27224	21783	32429	24877	47993	40190
Madrid	57531	66844	46605	54982	39273	47381	26886	33708	39571	48540	57521	67409
Navarra	85112	77309	69590	62542	61777	55089	46636	41197	64132	56590	87807	80003

As localidades mais exigentes em energia são Madrid e Navarra devido as características típicas da Zona do Interior (continental), em que o Inverno é muito frio. Os consumos de energia mínimos são a Madeira e os Açores, no mês de Novembro, devido às suas características climáticas insulares, uma vez que possuem um clima marítimo com temperaturas amenas.

Observando a tabela 19, o consumo energético mensal da cultura do pepino no período de arrefecimento varia entre 23791 a 42750 Wh.m<sup>-2</sup>, na Madeira e em Huelva, respectivamente, no mês de Agosto. Uma vez que neste período do ano há maior incidência da radiação solar e temperaturas do ar são mais elevadas.

Os consumos de energia mínimos oscilam entre os 0 a 4859 Wh.m<sup>-2</sup> e as localidades com estes valores são Coruña e Navarra, causando pelas suas temperaturas do ar baixas.

Tabela 19 – Consumo energético ( $\text{Wh.m}^{-2}$ ) da cultura do pepino para o período de arrefecimento das simulações R1.

Mês	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Localidade						
Açores	7248	15936	27771	29676	20088	6685
Faro	8548	22924	44765	45213	28527	12479
Madeira	7623	15790	21862	23791	17524	6605
Torres Vedras	7713	17676	31048	31867	23908	8758
Vila do Conde	8590	21829	35267	32429	24870	8511
Almeria	10156	21366	39509	41489	26604	9550
Castellón	8645	22913	42023	39963	24934	5242
Coruña	0	5334	10820	14087	8290	0
Huelva	13738	25880	41164	42750	29929	12136
Madrid	5406	21245	40074	34691	19359	2942
Navarra	0	4859	16075	13185	6718	0

A tabela 20 apresenta o consumo energético mensal da cultura do tomate para o período de aquecimento das simulações R1 e R2.

Quanto ao mês que se centram as maiores necessidades energéticas de aquecimento é o Janeiro, em que os valores mínimos e máximos da simulação R1 variam entre 4217 a 68916  $\text{Wh.m}^{-2}$ , na Madeira e Navarra respectivamente. Enquanto que os consumos energéticos da simulação R2 variam entre 12647 a 79736  $\text{Wh.m}^{-2}$  na Madeira e em Navarra, respectivamente. As necessidades energéticas médias da simulação R1 são 28280 e 35261  $\text{Wh.m}^{-2}$  nas localidades de Vila do Conde e de Coruña.

Analisando os meses cujas necessidades energéticas são inferiores verificam-se que os valores mínimos são 1734 e 2478  $\text{Wh.m}^{-2}$  nas simulações R1 e R2, respectivamente, no mês de Novembro.

As localidades mais exigentes em energia são Madrid e Navarra devido as características típicas da Zona do Interior (continental), em que o Inverno é muito frio. Os consumos de energia mínimos centram na Madeira e nos Açores, no mês de Novembro, devido as suas características climáticas insulares.

Tabela 20 – Consumo energético ( $\text{Wh.m}^{-2}$ ) da cultura do tomate para o período de aquecimento das simulações R1 e R2.

Mês	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Novembro		Dezembro	
Localidade	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
Açores	7110	15706	9157	16467	6505	13958	4931	10756	2043	4322	4337	11565
Faro	19556	28226	16047	23123	15007	22547	8414	14151	8624	16695	19841	28531
Madeira	4217	12647	4950	11959	3249	9857	3118	7785	1734	2478	3384	8487
Torres Vedras	23976	32942	17439	25447	13421	21002	9184	15622	9493	17850	21272	30236
Vila do Conde	28280	37433	21152	29251	17086	24859	10948	17423	14054	22442	25402	34553
Almeria	26806	35710	20728	27874	16559	24205	9815	16285	10566	18915	23234	32149
Castellón	39791	49061	31210	39310	25043	32880	15249	22074	21895	30460	38114	47376
Coruña	35261	44865	28598	36968	25538	33615	20627	27617	20870	29675	33046	43287
Huelva	25134	33827	19191	26343	14877	22418	9088	15121	10248	18496	23624	32540
Madrid	57531	66844	46605	54982	39273	47381	26886	33708	39571	48540	57521	67409
Navarra	68916	79736	50234	59844	44008	52585	33343	40755	43256	53622	63984	74788

Analisando a tabela 21, o consumo energético máximo para o período de arrefecimento da cultura do tomate varia entre 45213 a 42750 Wh.m<sup>-2</sup>, em Faro e Huelva respectivamente, uma vez que são as localidades com as temperaturas mais elevadas. Os maiores consumos energéticos verificam no mês de Agosto quando as temperaturas são mais superiores.

As localidades com necessidades de energia nulas são Coruña e Navarra nos meses de Maio e Outubro.

Tabela 21 – Consumo energético ( $\text{Wh.m}^{-2}$ ) da cultura do tomate para o período de arrefecimento das simulações R1.

Mês	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Localidade						
Açores	7248	15936	27771	29676	20088	6685
Faro	8548	22924	44765	45213	28527	12479
Madeira	7623	15790	21862	23791	17524	6605
Torres Vedras	7713	17676	31048	31867	23908	8758
Vila do Conde	8590	21829	35267	32429	24870	8511
Almeria	10156	21366	39509	41489	26604	9550
Castellón	8645	22913	42023	39963	24934	5242
Coruña	0	5334	10820	14087	8290	0
Huelva	13738	25880	41164	42750	29929	12136
Madrid	5406	21245	40074	34691	19359	2942
Navarra	0	4859	16075	13185	6718	0

A tabela 22 apresenta o consumo energético mensal da cultura da alface para o período de aquecimento das simulações R1 e R2.

Os valores mínimos e máximos da simulação R1 variam entre 3894 a 45490  $\text{Wh.m}^{-2}$ , em Janeiro, quando a temperatura do ar é mais baixa em todas as localidades em estudo. Ao passo que, os consumos energéticos da simulação R2 variam entre 41780 a 56310  $\text{Wh.m}^{-2}$  na região autónoma da Madeira e em Navarra, respectivamente.

Os valores mínimos são 1734  $\text{Wh.m}^{-2}$  nas simulações R1 e R2, respectivamente, no mês de Novembro, nos Açores.

As localidades mais exigentes em energia são Madrid e Navarra devido as características típicas da Zona do Interior (continental), em que o Inverno é muito frio. Os consumos de energia mínimos centram nas regiões autónomas da Madeira e dos Açores, no mês de Novembro, devido as suas características climáticas insulares.

Tabela 22 – Consumo energético ( $\text{Wh.m}^{-2}$ ) da cultura da alface para o período de aquecimento das simulações R1 e R2.

Mês	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Novembro		Dezembro	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
Açores	4451	5302	5391	6018	3786	4600	3805	4197	2043	3056	3826	5476
Faro	4867	6194	5695	6085	4778	5161	4208	4208	3157	3157	5407	6703
Madeira	3894	4178	4325	4895	3018	3760	3080	3587	1734	2017	3384	3589
Torres Vedras	6699	7125	4771	5309	4672	5128	4842	5679	3702	4613	6472	8764
Vila do Conde	8286	9675	5531	7658	5626	6745	5068	6369	4508	5423	7462	8985
Almeria	6753	11528	6670	9361	5228	5892	4873	4873	3493	3493	5942	8780
Castellon	16618	24175	10992	17105	7942	12193	6284	6967	5782	8362	15387	22498
Coruña	13031	19645	9101	14494	8400	12444	9199	10736	6666	7665	12383	17487
Huelva	6055	7540	6332	7106	4751	5229	4495	5138	3317	4175	6066	7540
Madrid	34104	45104	25445	34254	19291	20125	12221	20221	17108	18168	34095	46780
Navarra	45490	56310	29075	31090	23931	39425	17319	20555	20664	21790	40558	54570

Examinando a tabela 23, o consumo energético máximo para o período de arrefecimento da cultura da alface varia entre 34623 a 30818  $\text{Wh.m}^{-2}$ , em que Faro e Huelva são as localidades com maior necessidade energética devido a grande incidência da radiação solar e pelas temperaturas do ar elevadas. Os consumos mínimos estão entre os 8656 e 8062  $\text{Wh.m}^{-2}$  e as localidades com estes valores são Coruña e Navarra, causando pelas suas temperaturas do ar baixas.

Os maiores consumos energéticos incidem no mês de Agosto aquando as temperaturas são mais elevadas.

Tabela 23 – Consumo energético ( $\text{Wh.m}^{-2}$ ) da cultura da alface para o período de arrefecimento das simulações R1.

Mês	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Localidade						
Açores	24736	37277	51314	53292	38302	18120
Faro	8548	22924	44765	45213	28527	12479
Madeira	25626	25626	45043	46966	34995	18187
Torres Vedras	25093	39596	57478	56565	43877	22707
Vila do Conde	30818	50904	68185	63462	48897	25354
Almeria	28322	45530	65861	68087	47271	24372
Castellon	27012	47769	71819	66845	45359	18064
Coruña	8656	20569	31229	33422	22970	7875
Huelva	34623	51455	67550	69338	51380	29966
Madrid	22020	43773	68332	60259	37872	11029
Navarra	8062	22314	37672	33116	19881	2483

#### 4.3.1 – Comparação dos consumos energéticos

Na zona mediterrânea, principalmente no Sul, há maior dificuldade em arrefecer a estufa no Verão que a aquecer no Inverno. Uma vez que a energia solar não é suficiente para manter as condições adequadas, sendo necessário utilizar sistemas para controlar o ambiente. As necessidades energéticas são calculadas em função a diversas condições, tais como tipo de planta, o clima e a estrutura da estufa.

Desta forma, o maior valor de temperatura ocorre nos meses de Verão devido a uma depressão com origem térmica que ocorre na Península Ibérica e que transporta massas de ar continentais tropicais mais quentes e secas. Nestas circunstâncias o vento é normalmente predominante de NW e a intensidade aumenta durante a tarde. A temperatura mais baixa ocorre devido ao desenvolvimento do anticiclone na Península Escandinava, transportando massas de ar frio e seco do continente polar.

Posto isto, analisando as necessidades de consumo energético das simulações R1 e R2 para os períodos de aquecimento e arrefecimento, observando apenas alterações nos consumos energéticos de aquecimento.

Também é essencial referir que os locais posicionando mais a norte requerem mais consumo de energia em períodos de aquecimento do que os do sul. Enquanto que em períodos de arrefecimento verifica-se o oposto, na medida em que os locais mais a norte necessitam menos consumo energético de arrefecimento do que a sul.

Em suma, Navarra e Madrid são os maiores consumidores energéticos em períodos de aquecimento e os menores consumidores são as regiões autónomas da Madeira e dos Açores. Quanto ao consumo energético em períodos de arrefecimento, os maiores consumidores são Faro e Huelva e os menores consumidores são Coruña.

O gráfico 1 mostra o consumo de energia anual da cultura do tomate para o período de aquecimento, para o período de arrefecimento e o somatório para ambos os períodos para as localidades em estudo. Em Portugal, todas as localidades em estudo necessitam mais energia de arrefecimento do que aquecimento, uma vez que no Verão as temperaturas são mais elevadas e o Inverno é ameno. No entanto a energia de arrefecimento de estufa não é usado pelos produtores de tomate em Portugal devido ao seu custo. Em Espanha, Almeria e Huelva seguem o mesmo padrão das localidades de Portugal, enquanto que os restantes requerem mais energia de aquecimento do que arrefecimento.

Em relação ao aquecimento, as localidades com maior consumo são Madrid e Navarra com um valor superior do que 3000 MWh/ha. Com os valores menores do que 400 MWh/ha centram a região autónoma da Madeira, região autónoma dos Açores e a região de Faro.

Quanto ao arrefecimento, as regiões de Huelva e Faro possuem o maior consumo energético com mais de 1600 MWh/ha, ao passo que Navarra e Coruña têm consumos energéticos mínimos. Considerando todas as localidades de Portugal e Espanha, o consumo energético total situa-se entre 1190,7 a 4042,6 MWh/ha.

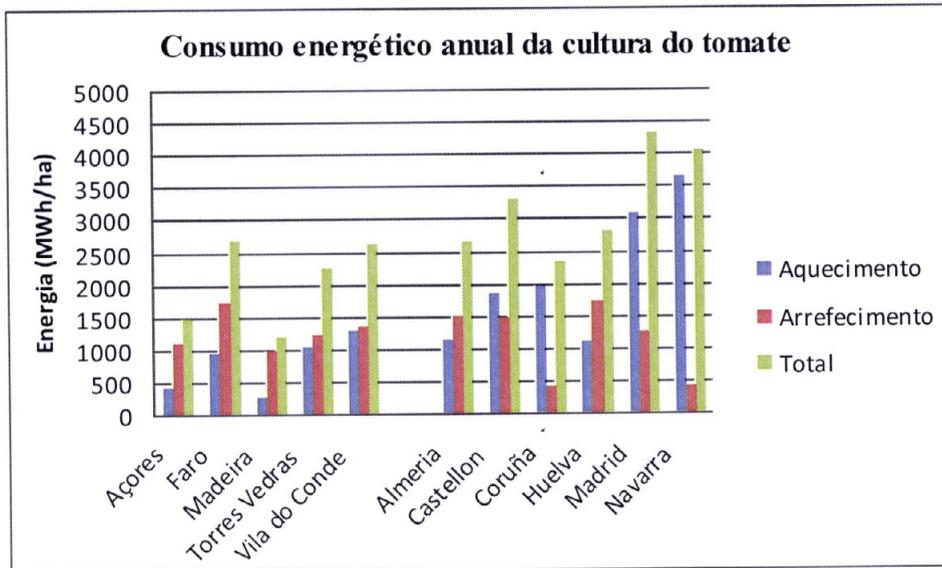


Gráfico 1 – Consumo energético anual da cultura do tomate.

O gráfico 2 mostra o consumo de energia anual da cultura do pepino para o período de aquecimento, para o período de arrefecimento e o somatório de ambos os períodos para as localidades em estudo. Todas as regiões dos países da Península Ibérica requerem mais energia de aquecimento do que a energia de arrefecimento.

Quanto ao aquecimento, as localidades com maior consumo são Madrid e Navarra com um valor superior do que 5000 MWh/ha. Com os valores menores do que 1500 MWh/ha estão região autónoma da Madeira, região autónoma dos Açores e a região de Faro.

Em relação ao arrefecimento, as regiões de Huelva e Faro possuem o maior consumo energético com mais de 1700 MWh/ha, Navarra e Coruña têm consumos energéticos mínimos. Considerando todas as localidades de Portugal e Espanha, o consumo energético total situa-se entre 2642,2 a 6783,6 MWh/ha.

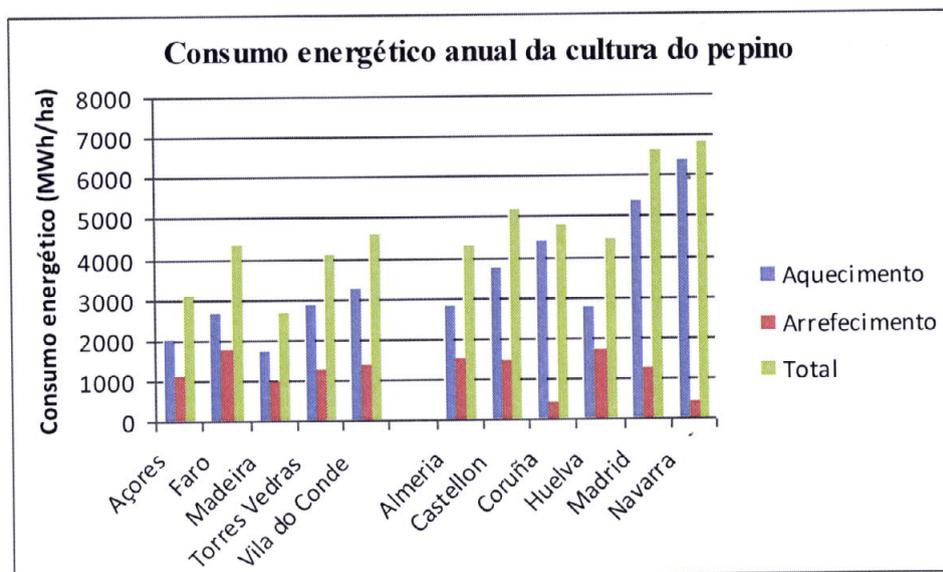


Gráfico 2 – Consumo energético anual da cultura do pepino.

O gráfico 3 mostra o consumo de energia anual da cultura da alface para o período de aquecimento, para o período de arrefecimento e o somatório de ambos os períodos para as localidades em estudo. Todas as regiões dos países da Península Ibérica, em exceção a região de Navarra, requerem mais energia de arrefecimento do que a energia de aquecimento.

Quanto ao aquecimento, a localidade com maior consumo é Navarra com um valor superior do que 2000 MWh/ha. Com os valores menores do que 250 MWh/ha centram a região autónoma da Madeira, região autónoma dos Açores e a região de Faro.

Em relação ao arrefecimento, a região de Almeria possuem o maior consumo energético com mais de 6000 MWh/ha, enquanto que Coruña tem consumo energético mínimo. Todas as localidades de Portugal e Espanha, o consumo energético total situam-se entre 203783 a 720940 MWh/ha.

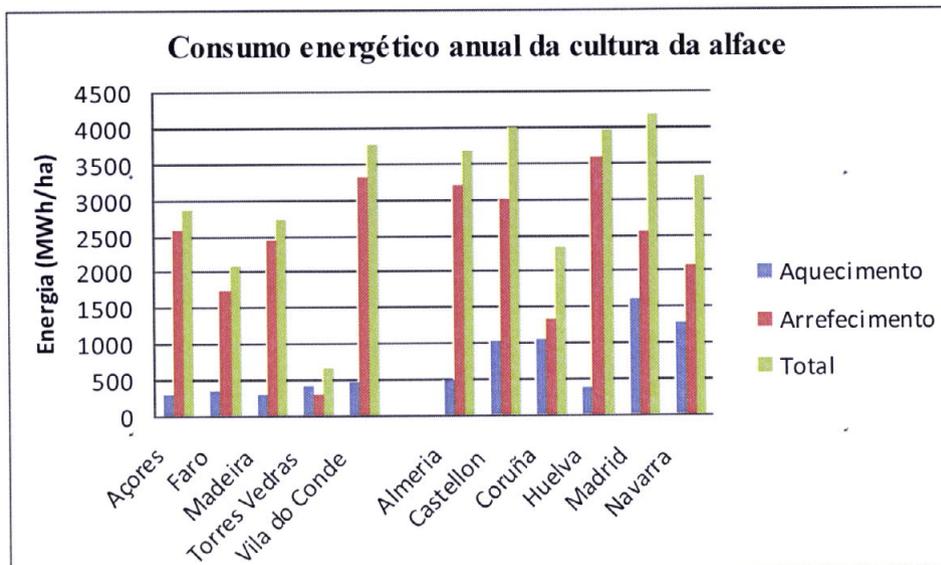


Gráfico 3 – Consumo energético anual da cultura da alface.

#### 4.4 – Análise de Sensibilidade

Os Gráficos 4, 5 e 6 demonstram a análise de sensibilidade do consumo energético anual para o período de aquecimento das culturas em estudo face as variações das temperaturas diurnas e nocturnas. Em que se definiu, previamente, a região e a respectiva cultura a analisar.

##### 4.4.1 – Cultura do tomate em estufa nos Açores

O gráfico 4 apresenta a análise de sensibilidade do tomate em estufa nos Açores. O tomate é uma cultura de clima quente, em que o seu cultivo normal é na Primavera e no Verão (Renae). Contudo as condições climáticas mais desfavoráveis para o bom desenvolvimento das plantas são, principalmente, os dias curtos e muito frios de Inverno e as temperaturas elevadas e humidade relativas baixas de Verão.

Fazendo uma análise mais geral do gráfico 4, o consumo energético varia entre 0 a  $17048 \text{ Wh.m}^{-2}$ , em que a necessidade energética máxima é de  $17048 \text{ Wh.m}^{-2}$  ( $T_d = 22 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $T_n = 9 \text{ }^\circ\text{C}$ ), o mínimo é de  $2584 \text{ Wh.m}^{-2}$  ( $T_d = 18 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $T_n = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ), no mês mais crítico, Janeiro. Os valores máximos diferem entre 626 (Agosto) a  $17048 \text{ Wh.m}^{-2}$  (Janeiro), enquanto que os valores mínimos de consumo variam entre 0 a  $2584 \text{ Wh.m}^{-2}$ .

Assumindo que se pretende maximizar a produção da cultura, quer em quantidade quer em qualidade dos frutos, a temperatura nocturna mínima deverá ser da ordem de 10°C, e nesse caso deverá ser feita uma análise benefícios-custos de modo a decidir (ou não) pela instalação de um sistema de aquecimento. Uma vez que é o limite mínimo a partir do qual ocorrem danos nos tecidos e desequilíbrios como malformações nas folhas e frutos defeituosos.

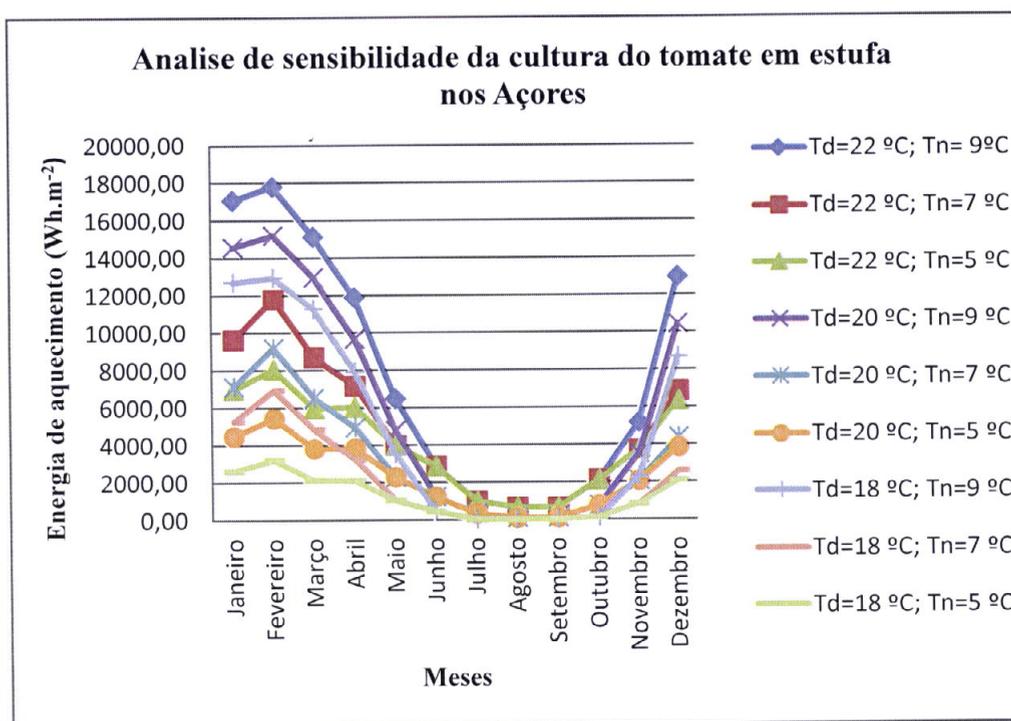


Gráfico 4 – Análise de sensibilidade da temperatura diurna face a nocturna em estufa nos Açores.

#### 4.4.2 – Cultura do pepino em estufa em Navarra

O gráfico 5 caracteriza a análise de sensibilidade da cultura do pepino na estufa na região de Navarra, cujas rectas seguem o mesmo padrão de consumo energético em função as diferentes temperaturas de referência.

Analisando o comportamento energético, a necessidade máxima é de 17048 Wh.m<sup>-2</sup> (Td= 22 °C e Tn = 9 °C), em que se verifica a produção máxima (Ferre, 2003). As necessidades mínimas são 2584 Wh.m<sup>-2</sup> (Td= 18 °C e Tn = 5 °C) e o valor médio é de 6635, 04 Wh.m<sup>-2</sup>, no mês mais crítico, Janeiro.

Para maximizar a produção da cultura, quer em quantidade quer em qualidade dos frutos, a temperatura nocturna mínima deverá ser da ordem de 10°C para não condiciona o bom

desenvolvimento das plantas, uma vez que as temperaturas baixas provocam malformações das folhas e frutos defeituosos.

Os resultados máximos diferem entre 626 (Agosto) a 17048 Wh.m<sup>-2</sup> (Janeiro), enquanto que os valores mínimos de consumo variam entre 0 a 2584 Wh.m<sup>-2</sup>. Concluindo que a cultura do pepino apresenta maior necessidade de energia de aquecimento no mês de Janeiro e menor consumo de aquecimento entre os meses de Julho e Setembro, no Verão.

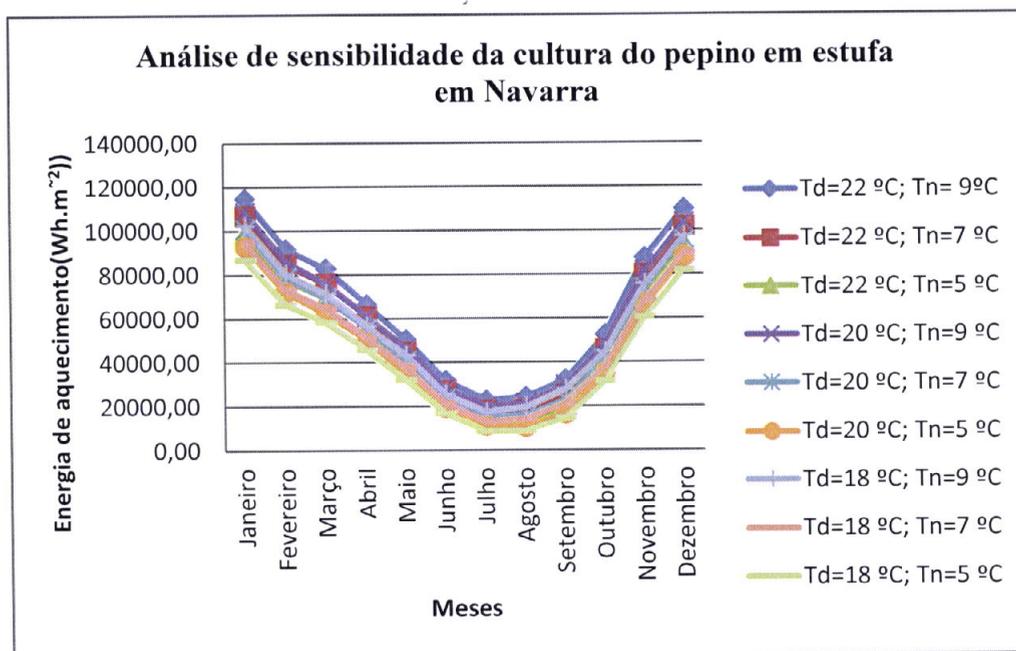


Gráfico 5 – Análise de sensibilidade da temperatura diurna face a nocturna em estufa em Navarra.

#### 4.4.3 – Cultura da alface em estufa em Torres Vedras

A alface é uma cultura sensível à geada e altas temperaturas. Embora exista uma grande diversidade de variedades adaptadas a um vasto leque de condições térmicas. A cultura com temperaturas abaixo de 16 °C, a taxa de crescimento é muito reduzida e expressões prolongadas a temperaturas inferiores a 6 °C podem causar danos pelo frio na planta. Temperaturas superiores a 30 °C inibem a síntese de licopreno, prejudicando a qualidade do fruto.

O crescimento das raízes é máximo entre 15 e 19 °C, diminuindo quando a temperatura sobe acima a 24 a 26 °C. Acima dos 20 °C observa-se uma degenerescência das raízes mais jovens.

Analisando o gráfico 6 verifica-se que a temperatura diurna mais baixa (18 °C) requer menor energia de aquecimento e que as temperaturas nocturnas não têm acções directa na necessidade de aquecimento. Em que o consumo energético máximo é de 11488 Wh.m<sup>-2</sup> (Td= 22 °C e Tn = 9 °C), o consumo energético mínimo é de 4609 Wh.m<sup>-2</sup> (Td= 18 °C e Tn = 5 °C) e o valor médio é de 7598,67 Wh.m<sup>-2</sup>, no mês mais crítico, Janeiro.

No geral, os valores máximos diferem entre 872 (Setembro) a 11488 Wh.m<sup>-2</sup> (Janeiro), ao passo que os valores mínimos de consumo variam entre 0 a 4609 Wh.m<sup>-2</sup>. Concluindo que a cultura do tomate apresenta maior necessidade de energia de aquecimento no mês de Janeiro e menor consumo de aquecimento entre os meses de Julho e Setembro, no Verão.

Contudo, cultura do tomate apresenta maior necessidade de energia no mês de Fevereiro e menor necessidade de aquecimento entre os meses de Maio e Outubro.

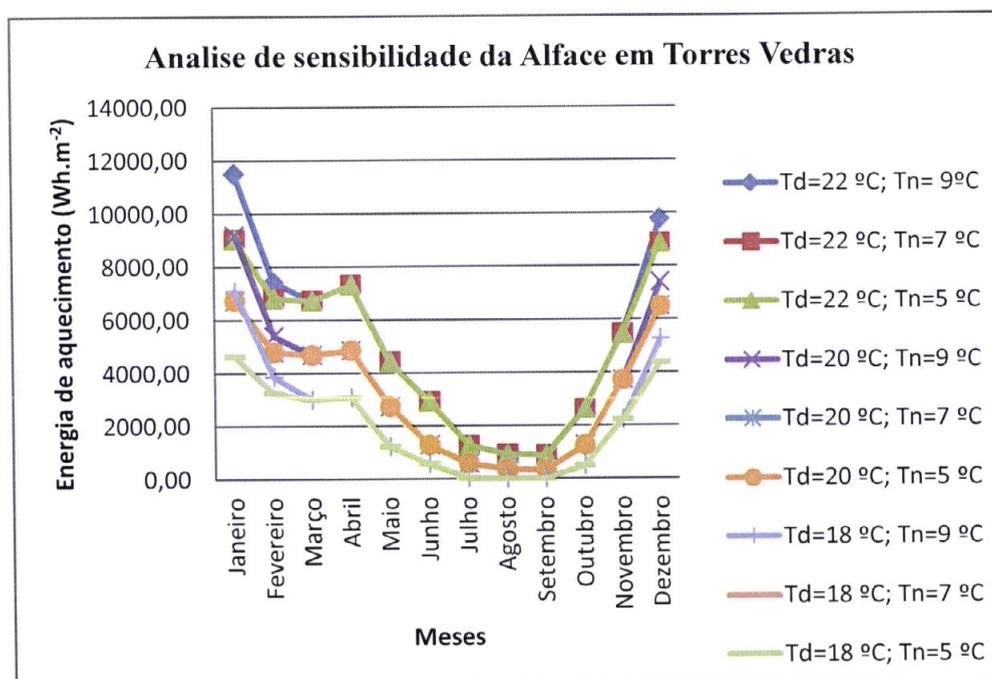


Gráfico 6 – Análise de sensibilidade da temperatura diurna face a nocturna em estufa em Torres Vedras.

## 4.5 – Cartas de Consumo Energético

A análise dos resultados, presente neste ponto, é a apresentação de cartas de comportamento energético dos países da Península Ibérica para os períodos mais frios do ano (quando há necessidade da incorporação de sistemas de aquecimento) e para os períodos mais quentes (ocasionalmente usa-se sistemas de arrefecimentos, quando a ventilação e as redes de sombra não resolvem as altas temperaturas), em que as unidades utilizadas são mega watt-hora por hectare ano (MWh/ha.ano), para a simulação R1, uma vez que o comportamento energético em ambas simulações segue o mesmo padrão.

O microclima da estufa é representado por grupo de factores climáticos, tais como a temperatura, humidade relativa e a concentração do dióxido de carbono, entre os quais afectam o bom desenvolvimento e crescimento da planta. Para obter um bom controlo do clima de estufa é necessário ter um bom conhecimento das variáveis que o influenciam, sendo possível definir as temperaturas internas devido as condições externas (radiação, vento e temperaturas), o que permite tomar medidas preventivas a fim de melhorar as condições para a cultura e otimizar os gastos energéticos com os sistemas de climatização.

O modelo climático utilizado, neste trabalho, para simular as necessidades energéticas médias mensais teve em conta as características climáticas, as características das culturas e as características da estufa e seu equipamento, em que é usado as propriedades termodinâmicas da estufa como sistema, traduzindo-se em equações de balanço de energia e massa. Os modelos de climatização facilitam o manuseio adequado do microclima da estufa, aumentando significativamente a produtividade.

Os sistemas de arrefecimento têm por base estratégias que visam utilizar as fontes frias existentes de forma a diminuir a temperatura no interior das estufas. Desta forma, os sistemas de arrefecimento podem eliminar ou diminuir consideravelmente a necessidade de um sistema de climatização convencional. A adopção de soluções que conduzam à prevenção e atenuação de ganhos de calor e de estratégias que dêem origem a processos de dissipação de calor traduzir-se-á assim numa redução das necessidades de arrefecimento e na melhoria das condições de conforto térmico.

Quanto aos sistemas de aquecimento, estes permitem proteger a cultura contra as geadas, aumentar da precocidade e da produtividade das culturas, como o cultivo de

culturas megatérmicas em climas ou épocas do ano com temperaturas desfavoráveis e evitando a condensação de água ou a ocorrência de doenças.

Os fluxos térmicos ocorrem fundamentalmente no período de Inverno, tratando-se neste caso de perdas térmicas, enquanto no Verão o sentido do fluxo tem tendência a inverter-se e, conseqüentemente tem ganhos térmicos.

Neste enquadramento, as análises realizadas terão por base os seguintes critérios:

- As regiões localizadas a norte requerem mais consumo de energia em períodos de aquecimento do que os do sul. Visto que as temperaturas são mais baixas;
- As regiões localizadas a sul requerem mais consumo energético em períodos de arrefecimento, uma vez que as temperaturas são mais elevadas.

Os diversos itens apenas ilustraram as diversas cartas de consumo energético para o período de aquecimento e para o período de arrefecimento para as diferentes simulações e culturas. E, posteriormente, estará descrito a discussão dos resultados dos mapas.

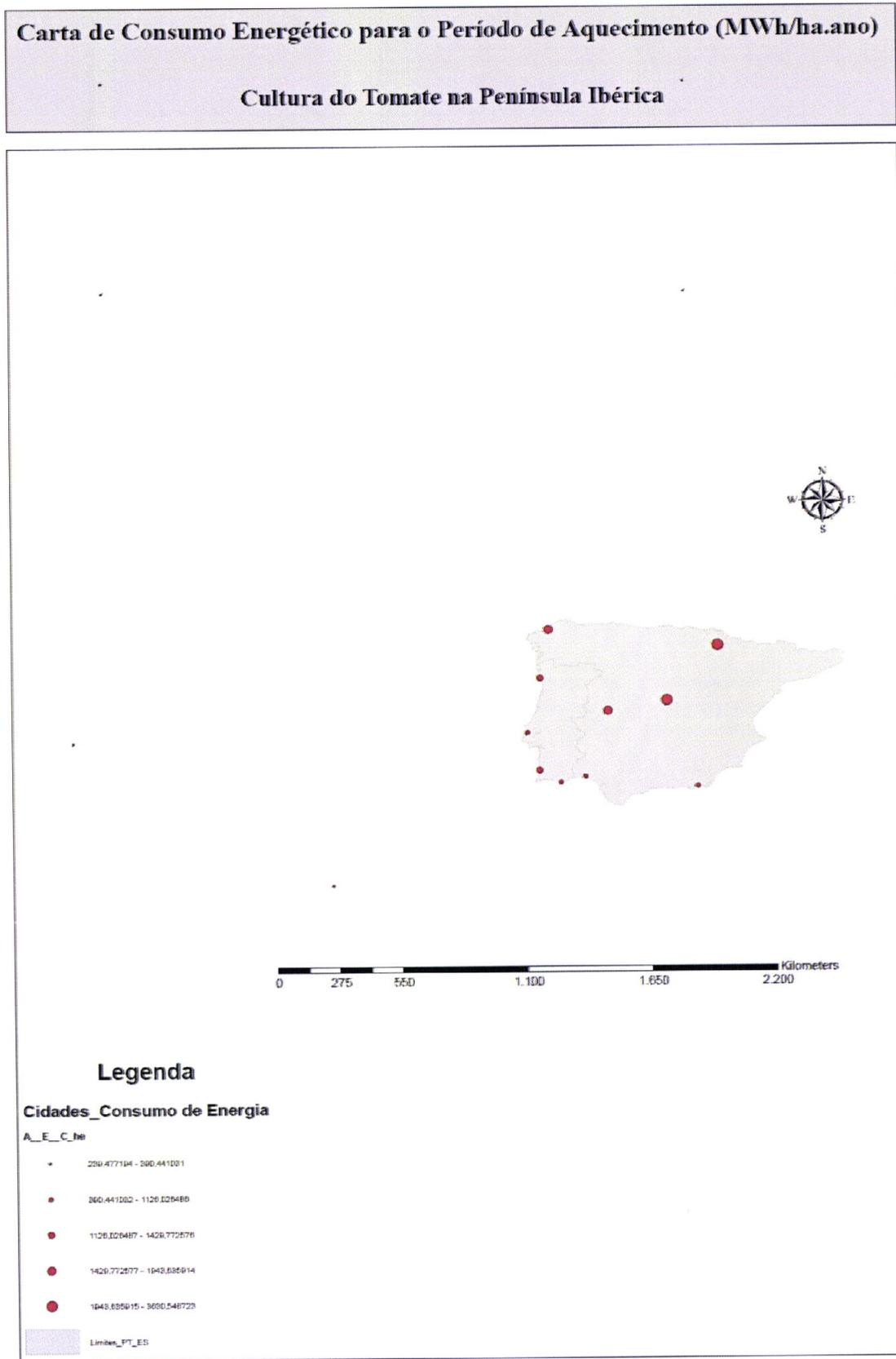


Figura 32 – Carta de Consumo energético para período de aquecimento da cultura do tomate

**Carta de Consumo Energético para o Período de Aquecimento (MWh/ha.ano)**

**Cultura do pepino na Península Ibérica**

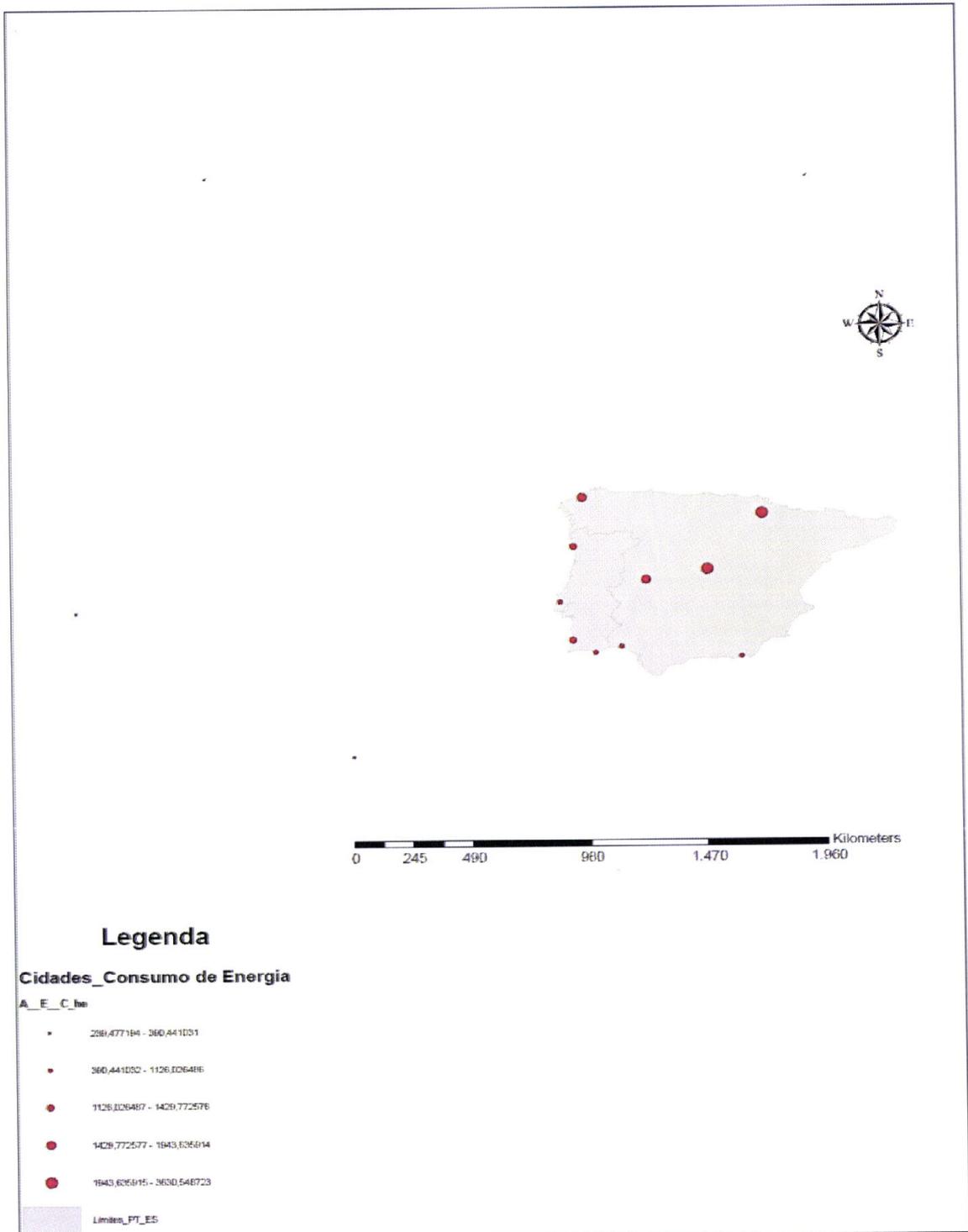


Figura 33 – Carta de Consumo energético para período de aquecimento da cultura do pepino

### Carta de Consumo Energético para o Período de Arrefecimento (MWh/ha.ano)

#### Cultura da Alface na Península Ibérica

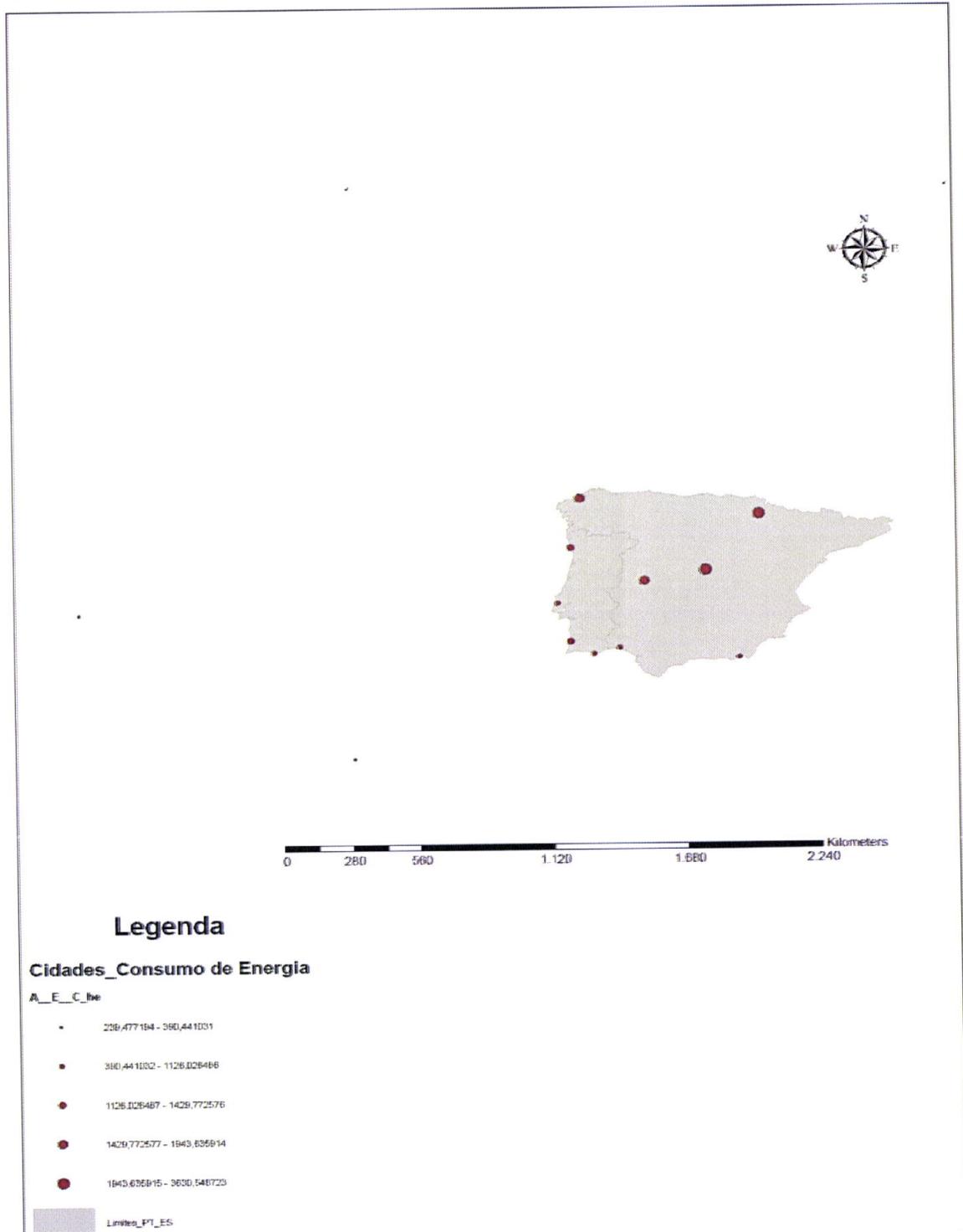


Figura 34 – Carta de Consumo energético para período de aquecimento da cultura da alface

**Carta de Consumo Energético para o Período de Arrefecimento (MWh/ha.ano)**

**Cultura do Tomate na Península Ibérica**

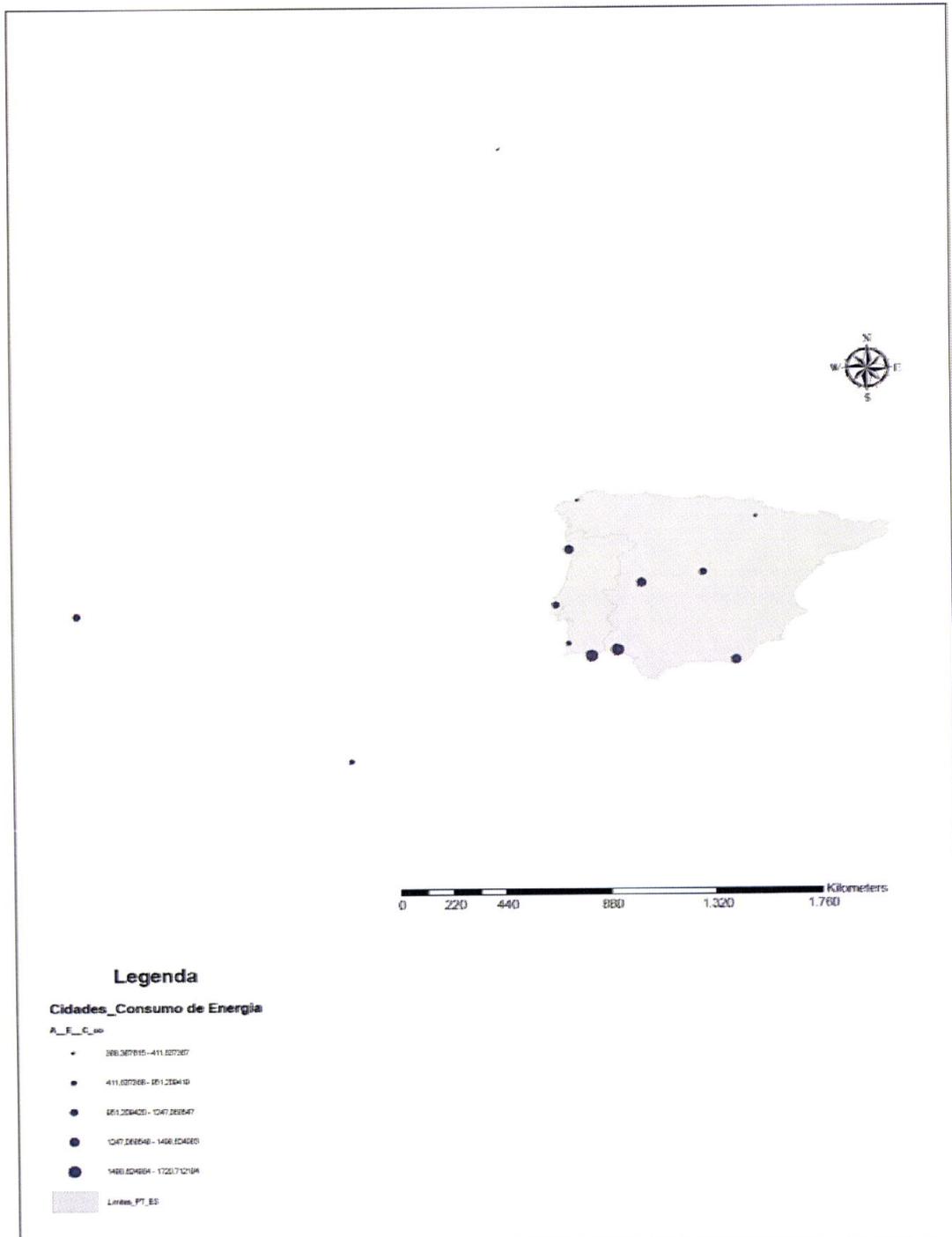


Figura 35 – Carta de Consumo energético para período de arrefecimento da Cultura do Tomate

**Carta de Consumo Energético para o Período de Arrefecimento (MWh/ha.ano)**  
**Cultura do pepino na Península Ibérica**

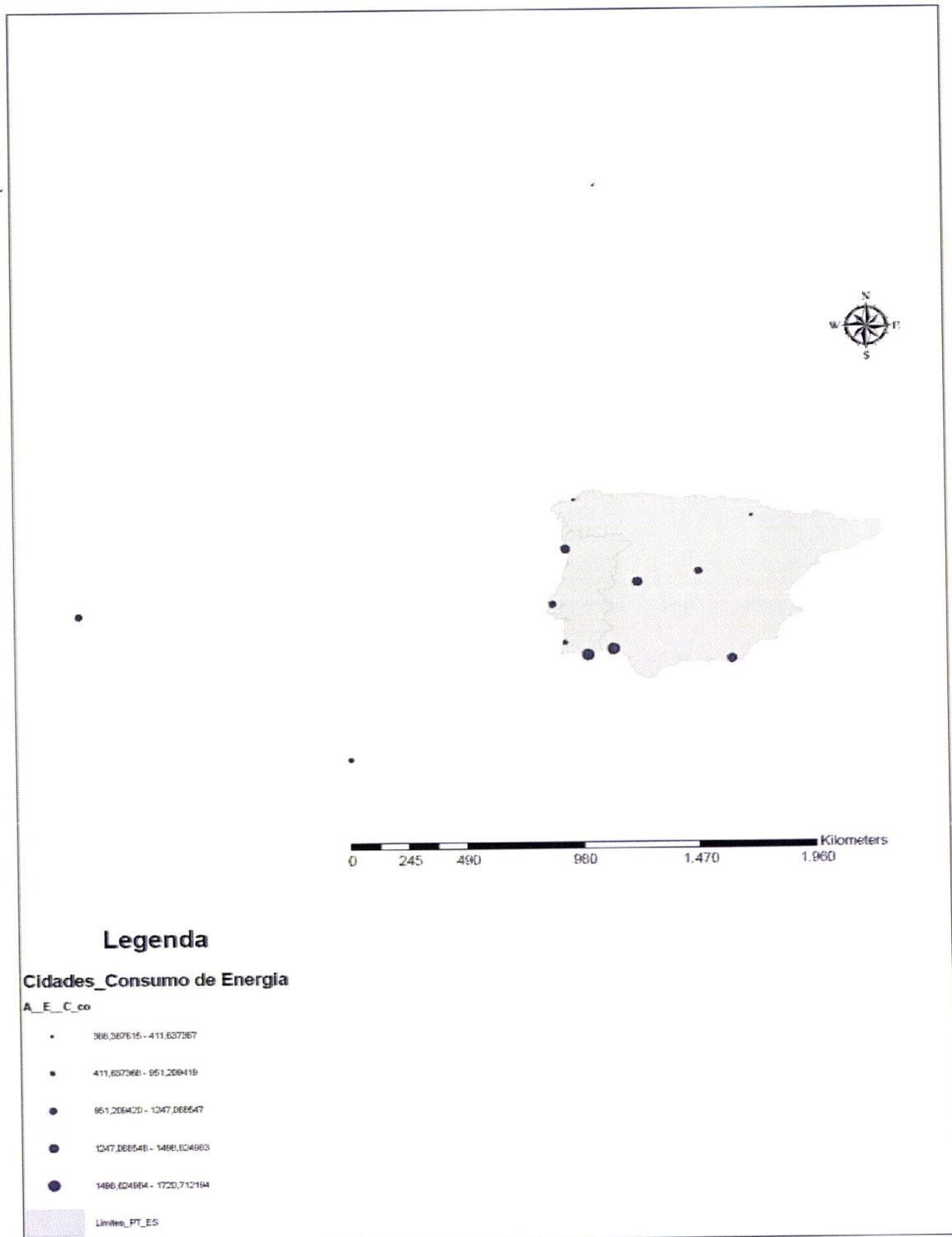


Figura 36 – Carta de Consumo energético para período de arrefecimento da Cultura do Pepino

### Carta de Consumo Energético para o Período de Arrefecimento (MWh/ha.ano)

#### Cultura da Alface na Península Ibérica

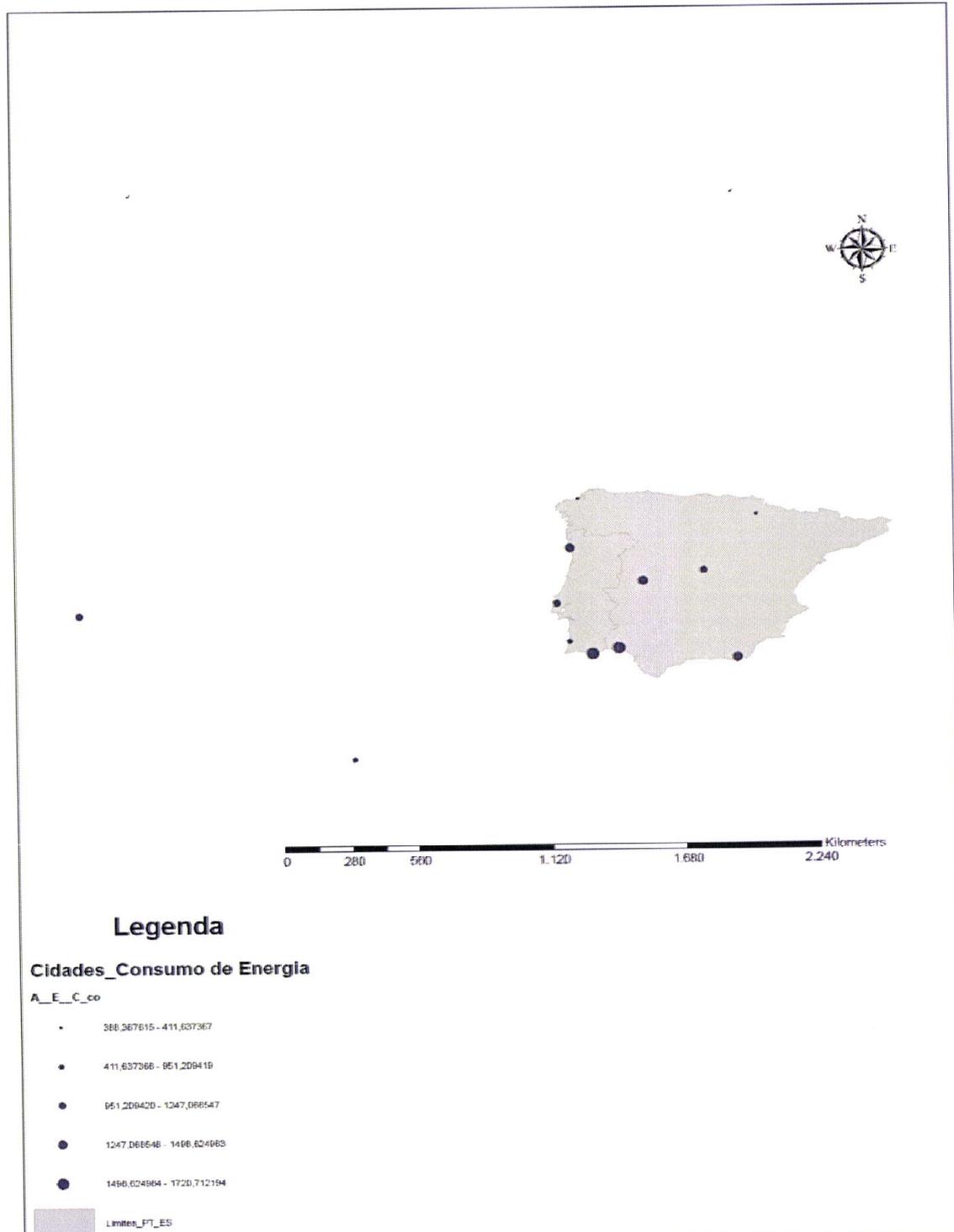


Figura 37 – Carta de Consumo energético para período de arrefecimento da Cultura da alface

Com o presente trabalho, como já foi referido anteriormente, efectuou-se duas simulações para cada cultura com diferentes temperaturas de referência pelo SCE, classificando-a por R1, em que se registou apenas variações nos resultados do período de aquecimento. Desta forma, foram elaborados seis cartas (figura 32, 33, 34, 35, 36 e 37) de consumo energético anual das culturas em estufas para o período de aquecimento e para o período de arrefecimento, pelo programa ArcView.

A interpretação dos resultados das cartas tem por base a análise de cada figura e comparar os valores do período de aquecimento das simulações R1.

Analisando a cultura do tomate no período de aquecimento (figura 32) da simulação R1, o consumo de energia anual é claramente superior aos 3000 MWh/ha.ano em Madrid e Navarra e inferior aos 1500 MWh/ha.ano em todas as localidades de Portugal como também nas localidades de Almeria e de Huelva. A necessidade energética é de 387,34 e 237,58 MWh/ha.ano nos Açores e na Madeira. Porém os valores são mais elevados, variando entre 951,2 a 4539 MWh/ha.ano.

Observando a carta de consumo energético anual da cultura do pepino para o período de aquecimento (figura 33), o consumo de energia anual é claramente superior aos 5000 MWh/ha.ano em Madrid e Navarra e inferior aos 2000 MWh/ha.ano em todas as localidades de Portugal como também nas localidades de Almeria e de Huelva.

Examinando o consumo energético anual da cultura da alface para o período de aquecimento (figura 34), o consumo de energia anual é claramente superior aos 1100 MWh/ha.ano em Madrid e Navarra e inferior aos 500 MWh/ha.ano em todas as localidades de Portugal como também nas localidades de Almeria e de Huelva. A necessidade energética varia entre os 279,5 e 225,4 MWh/ha.ano, em que os valores mínimos registam-se nas regiões autónomas dos Açores e da Madeira.

Concluindo que as regiões situadas mais a norte, como Navarra e Madrid, requerem mais energia de aquecimento uma vez que pertencem a zona continental, em que o clima caracteriza-se pelas chuvas pouco abundantes devido ao afastamento do mar, Verões muito quentes e Invernos muito frios.

Quanto ao período de arrefecimento do tomate (figura 35), o consumo de energia anual regista o valor acima dos 1500 MWh/ha.ano na localidade de Huelva e abaixo dos 500 MWh/ha.ano em Coruña e Navarra. A necessidade energética das regiões em estudo varia entre 388,4 a 1721 MWh/ha.ano.

Observando o consumo energético anual do pepino (figura 36), verificam-se que os valores acima dos 1500 MWh/ha.ano nas localidades de Faro e Huelva e abaixo dos 500 MWh/ha.ano em Coruña e Navarra. Uma vez que as regiões localizadas mais a sul, como Faro, requerem mais energia de arrefecimento, principalmente, nos meses quentes do Verão. Visto que, pertencem à zona mediterrânea, caracterizando-se por Invernos suaves, Verões quentes, secos e de fraca precipitação.

Examinando o consumo energético anual da cultura da alface para o período de arrefecimento (figura 37), observam-se que os valores acima dos 300 MWh/ha.ano na localidade de Huelva e abaixo dos 1000 MWh/ha.ano em Torres Vedras.

## 5- Conclusão

### 5.1 – Conclusões gerais

Com o presente trabalho elaborou-se cartas de consumo energético médio anual para manter as exigências térmicas das culturas em estufa, aplicando diferentes técnicas de climatização como também os valores de referência nas diferentes zonas.

Os resultados obtidos são uma mais-valia na tomada de decisão dos agricultores para regular o clima interior face à produção que pretendem obter, com menor consumo de energia.

Os dados obtidos para este trabalho tiveram por base: uma estufa multitúnel de 1ha, com cobertura de plástico em diferentes localidades dos Países da Península Ibérica, como Açores, Almeria, Castellon, Coruña, Huelva, Faro, Madeira, Madrid, Navarra, Torres Vedras e Vila do Conde.

- **Energia necessária no sistema de aquecimento**

As três culturas em estudo seguem o mesmo padrão de exigência de energia de aquecimento nas regiões seleccionadas. As regiões com menor necessidade de energia em todos os meses são a Madeira e os Açores. Os locais que exigem uma energia média são Vila do Conde e os que requerem maior quantidade de energia são Navarra e Madrid.

Na simulação R1, os Intervalos de energia necessária para cada cultura são:

- Em tomate, as temperaturas de referência foram 20 °C temperatura diurna e 13 °C temperatura nocturna e as energias de aquecimento oscilaram entre o 237,58 a 3631 MWh/ha.ano.
- Em pepino, as temperaturas de referência foram 24 °C temperatura diurna e 18 °C temperatura nocturna e as energias de aquecimento oscilaram entre o 1691 a 6372 MWh/ha.ano.
- Em alface, as temperaturas de referência foram 20 °C temperatura diurna e 7 °C temperatura nocturna e as energias de aquecimento oscilaram entre o 227,2 a 1604 MWh/ha.ano.

Na simulação R2, os Intervalos de energia necessária para cada cultura são:

- Em tomate, as temperaturas de referência foram 21 °C temperatura diurna e 15 °C temperatura nocturna e as energias de aquecimento oscilaram entre o 599,08 a 4539 MWh/ha.ano.
- Em pepino, as temperaturas de referência foram 24 °C temperatura diurna e 16 °C temperatura nocturna e as energias de aquecimento oscilaram entre o 1159 a 4641 MWh/ha.ano.
- Em alface, as temperaturas de referência foram 20 °C temperatura diurna e 9 °C temperatura nocturna e as energias de aquecimento oscilaram entre o 277,2 a 2067 MW/ha.ano.
- **Energia necessária no sistema de arrefecimento**

As culturas têm o mesmo padrão de exigência de energia de arrefecimento nas regiões seleccionadas. Todas as culturas precisam para todos as regiões de aquecimento, ventilação, sombreamento e em alguns casos arrefecimento.

Para diminuir a temperatura interior é necessário ajustar as temperaturas de referência para executar as seguintes acções em todas as áreas de cultivo:

- No tomate, a ventilação é o sistema de controlo da temperatura 26 °C, se chegar aos 29 °C activa-se o sistema de sombreamento e a partir de 32 °C exige refrigeração activa. As necessidades de refrigeração oscilam entre 388,4 a 1721 MWh/ha.ano entre os meses Abril e Novembro.
- No pepino, a ventilação é o sistema de controlo da temperatura 27 °C, se chegar aos 30 °C é activado o sistema de sombreamento e a partir de 32 °C exige refrigeração activa. As necessidades de refrigeração oscilam entre 408,37 a 1707,06 MWh/ha.ano entre os meses Abril e Novembro.
- Na alface, a ventilação é o sistema de controlo da temperatura a 23 °C, se chegar aos 26°C activa-se o sistema de sombreamento e acima de 27 °C

exige refrigeração activa. As necessidades de refrigeração oscilam entre 277,3 a 3578 MWh/ha.ano entre os meses Abril e Novembro.

- **Conclusões das cartas de consumo energético**

As regiões localizadas a norte requerem mais consumo de energia em períodos de aquecimento do que as do sul. Visto que as temperaturas são mais baixas. Enquanto que, os períodos de arrefecimento verifica-se o oposto, uma vez que os locais mais a norte necessitam menos consumo energético de arrefecimento do que a sul.

## **5.2– Limitações do Simulador Climático de Estufas**

O simulador climático de estufas não faz uma previsão em tempo real das possíveis alterações climáticas que vão ocorrendo no interior da estufa, uma vez que são utilizados dados climáticos médios de longos períodos de tempo. Além disso, o cálculo da humidade relativa do ar é delimitada pelo intervalo de 0% a 100%, ajustando os valores à realidade. Porém os resultados da simulação dão valores irreais ao longo do ano porque assume humidade relativa de 0%. Outro factor a considerar é que as plantas amadurecem ao longo do ano, contudo não há nenhuma possibilidade de simular, tendo em conta as variações de temperatura e humidade relativa do ar necessário a cada etapa de desenvolvimento da planta, como floração, a polinização, etc. Que são diferentes da planta adulta em produção.

## **5.3– Perspectivas de trabalhos futuros**

Para futuros estudos sugiro a determinação da sustentabilidade económica dos sistemas de climatização para estas regiões e expandir este procedimento para outros locais da Península ou mesmo do mundo, a fim de reduzir os custos de produção e os impactos negativos do meio ambiente.

Havendo também a possibilidade da realização de cartas de áreas de igual consumo energético.

## 6- Referências bibliográficas

- Afonso, J. [et al.], 2007.** Utilização de sistemas de aquecimento por ar e por água quente em estufas localizadas em zonas mediterrâneas - Évora : Rev. Ciências agrárias.
- Almeida, D. e Reis, M.** 2010. Aquecimento de Estufas. Vida Rural.
- Almeida, P.F. e Reis, M.** 2010. Ventilação e arrefecimento de estufas. Vida Rural.
- Baptista, F, [et al.], 2011.** Greenhouse Energy Consumption for Tomato production in the Iberian Peninsula Countries. Proc. Greensys 2011, Greece. *Acta Horticulturae (In Press)*.
- Baptista, F.** 2007. Modelling the Climate in Unheated Tomato greenhouses and predicting Botrytis cinerea infection. - Universidade de Évora : Tese de Doutoramento.
- Batchelor, B.** 1994. Models as metaphors: The role of modeling in pollution prevention. - [s.l.] : Waste Management.
- Briceño-Medina, L.Y., Ávila-Marroquín, M.V. e Jaimez-Arellano, R.E.** 2011. SIMICROC: Modelo de simulación del microclima de un Invernadero. - Venezuela : Agrociencia.
- Castañeda, R., Ruiz G.H. e Escalante, J.J.G.** 2003. Modelación Física de un Invernadero para el Desarrollo de un Sistema de Control Climático - México : Sunserver.
- Castilla, N.** 2007. Invernaderos de Plástico. Tecnología y manejo [Livro]. - Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, Vol. I.
- Comandante Conceição e Silva** [www.eb23-cmdt-conceicao-silva.rcts.pt](http://www.eb23-cmdt-conceicao-silva.rcts.pt) [Online]. - Janeiro de 2009. - Fevereiro de 2010. - <http://www.eb23-cmdt-conceicao-silva.rcts.pt>.
- Djevic, M. e Dimitrijevic, A.** 2009. Energy consumption for different greenhouse constructions [Relatório]. - Serbia : Elsevier
- Ferre, F.C.** 2003. Técnicas de Producción en Cultivos Protegidos [Livro]. - Almeria : Cajamar - Vol. II.
- Grayson, R.B., Moore, I.D. e MacMahon, T.A.** 1992. Physically - based hydrologic modeling: Is the concept realistic?.
- Hatirli, S.A. [et al.] 2005.** Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production - Turkey : Elsevier.
- López, J.C [et al.] 2001.** Incorporación de Tecnología al Invernadero Mediterráneo - Almeria : Cajamar.

- Machado, R.E.** 2002. Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento - São Paulo : Universidade de São Paulo.
- Matallana, A. e Montero, J.I.** 2010. · Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación - Madrid : Ediciones Mundi-Prensa.
- Naika, S.K. [et al.]** 2006. Cultura do Tomate [Livro]. - Wageningen : Barbara Van Dan - Vol. I.
- Navas Gracia, L.M. [et al.]** 2003. Tetrageneración: El Acoplamiento eficiente de los invernaderos a las pantas de cogeneración eléctrica - Madrid : Agricola Vergel.
- Nuez, F.** 2001. El cultivo del tomate - Madrid : Ediciones Mundi-Prensa.
- Prilux** [www.prilux.pt](http://www.prilux.pt) [Online]. - Junho de 2010. - <http://www.prilux.pt>.
- Programa Disqual XXI** [www2.esb.ucp.pt/twt/disqual/pdfs/disqual\\_alface.pdf](http://www2.esb.ucp.pt/twt/disqual/pdfs/disqual_alface.pdf) [Online]. - 2005. - 2010. - [http://www2.esb.ucp.pt/twt/disqual/pdfs/disqual\\_alface.pdf](http://www2.esb.ucp.pt/twt/disqual/pdfs/disqual_alface.pdf).
- Renae** [Online]. - Julho de 2010. - [http://www.renae.com.pt/\\_fich/22/FormRen05\\_RAguiar.pdf](http://www.renae.com.pt/_fich/22/FormRen05_RAguiar.pdf)
- Sánchez-Guerrero, M. [et al.]** 2010. Manejo del clima en el Invernadero Mediterráneo [Livro]. - Andalucía : IFAPA- Vol. I.
- Tejedor, E.** 2010. Simulación Climatic del Invernaderos en diferentes regiones de Portugal: estimación de indicadores de viabilidade enerfético y económica, y del riesgo de propagación de enfermedades- Évora : Universidade de Évora.

## 7- Anexo

As simulações efectuadas para realizar o presente trabalho estão gravadas ao Cd.

