



**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**  
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

# **Eficiência Energética em Estufas**

**Texto de apoio às aulas de Tecnologia de Estufas**

**Fátima Baptista**

**Novembro 2020**

## ÍNDICE

1. Objectivos da aula	3
2. Resumo dos conteúdos	3
3. Referências Bibliográficas	8

## 1. Objectivos da aula

Pretende-se nesta lição abordar a importância da utilização sustentável da energia quer do ponto de vista económico quer ambiental e caracterizar e analisar diferentes medidas de poupança de energia e de melhoria de eficiência energética na produção em estufa. No final da lição os alunos deverão conhecer as várias medidas, as suas vantagens e desvantagens, compreender as suas condicionantes e serem capazes de seleccionar as medidas mais adequadas em função da situação particular com que se deparem.

## 2. Resumo dos conteúdos

A sustentabilidade da produção em geral e em estufa em particular tem vindo a ser cada vez mais uma preocupação. Tal como salienta Torrellas et al. (2012) a produção intensiva é vista como uma actividade altamente poluidora devido às elevadas quantidades de factores de produção que necessita e também pela enorme quantidade de resíduos que gera. Importa salientar que quando nos referimos a sustentabilidade, estamos a falar dum conceito complexo que envolve questões energéticas, ambientais, sociais e económicas, interrelacionadas entre si.

Importa também não esquecer as enormes diferenças que existe entre a produção em estufa nos países frios do Norte da Europa e nos países amenos do Sul. De facto, no Norte os maiores impactos são devidos ao consumo de energia para aquecimento e iluminação enquanto no Sul estas exigências são muito menores (Golaszewski et al., 2012). López et al. (2006) referem que o consumo de energia em estufas de plástico com aquecimento é 10 a 20 vezes menor que o consumo nas estufas do Norte da Europa. Em Portugal em estufas não aquecidas os custos com energia directa (gasóleo e electricidade) representam cerca de 8% dos custos totais de produção (Meyer-Aurich et al., 2012). Num estudo considerando 5 regiões em Portugal e seis em Espanha, verificou-se que o consumo de energia estimado para aquecimento em Portugal é cerca de 50% do estimado para as regiões de Espanha (Baptista et al., 2012a).

Após a crise do petróleo no início dos anos 80 do século passado, o consumo da energia associada à produção em estufa tornou-se um tema de investigação, sobretudo no Norte da Europa. Mais recentemente, com as preocupações sobre o aquecimento global e alterações climáticas, os governos têm colocado na agenda política as questões relacionadas com o uso de combustíveis fósseis e também com a eficiência energética nos vários sectores, incluindo, embora recentemente, o sector agrícola.

Estima-se que o consumo de energia aumente significativamente nos próximos anos, com um importante impacto na economia em geral. Torna-se assim necessário desenvolver e avaliar tecnologias com potencial para se produzir utilizando menos energia ou produzir mais com a mesma energia, ou seja, melhorar a eficiência.

Os sistemas de produção agrícola estão ainda muito dependentes da utilização de energia de origem fóssil. Existe um consumo directo de gásóleo e electricidade, para realizar várias actividades agrícolas, mas também uma utilização de energia indirecta, pela via dos factores de produção como os fertilizantes, pesticidas e materiais diversos. Segundo Golaszewski et al. (2012) as estatísticas não reflectem o real consumo de energia na agricultura, por apenas se considerar o consumo de energia directa, deixando de fora p.e. os fertilizantes. Na avaliação dos consumos energéticos é importante considerar o consumo de energia directa e indirecta.

Os indicadores habitualmente utilizados para avaliar a eficácia da utilização da energia nos sistemas de produção são a relação entre energia produzida e energia consumida, a energia específica ( $\text{MJ t}^{-1}$ ) e a produtividade energética ( $\text{t MJ}^{-1}$ ). A melhoria na eficiência energética, ou seja, o aumento de produção por unidade de energia pode conseguir-se pela redução da energia e/ou pelo aumento da produção.

De um modo geral, as medidas para otimizar a eficiência energética, incidem sobre as diferentes componentes: energia directa (gásóleo, electricidade, gás) e energia indirecta (fertilizantes, pesticidas, materiais auxiliares). O uso racional da energia nas estufas depende muito da eficiência do sistema de controlo ambiental, que deve ser correctamente dimensionado e frequentemente verificado e mantido (Kittas et al., 2013). As práticas culturais e de gestão microclimática devem ter

como objectivos a redução do consumo de agro-químicos, de energia, de água e também a diminuição da produção de resíduos. Segundo Vox et al. (2011), estes objectivos podem ser atingidos através de: eficiente controlo dos parâmetros climáticos (radiação solar, temperatura e humidade do ar e nível de CO<sub>2</sub>, de modo a garantir condições apropriadas para a cultura e para a poupança de energia); recorrendo ao uso de energias renováveis em substituição dos combustíveis fósseis (co-geração: calor e electricidade, biomassa, biogás, solar); utilizando materiais de cobertura inovadores (que limitem as perdas de calor por radiação térmica e mais fáceis de reciclar); optimizando o uso da água e dos nutrientes (reduzindo as perdas); e recorrendo ao controlo integrado de pragas e doenças (redução no consumo de pesticidas). A utilização racional da energia e o recurso a medidas de poupança de energia está, de um modo geral, associado a melhorias na eficiência energética.

A maior parte da energia perde-se através do material de cobertura (por condução-convecção e por radiação térmica) e pela ventilação (calor sensível e latente). Melhorias no isolamento térmico e a redução da ventilação parecem à partida ser o primeiro passo para poupar energia. A utilização de materiais de cobertura com menor transmissão térmica resulta na redução das necessidades energéticas e logo do consumo de energia. Mesmo em estufas não aquecidas, pode ser importante a utilização de materiais de cobertura com menor coeficiente de transmissão térmica, já que isso contribui para obter melhores condições de temperatura e com isso aumentar a produtividade. Bot et al. (2005) citado por Kittas et al. (2013) num estudo realizado em estufas de vidro aquecidas, refere uma poupança de energia de mais de 50% utilizando a combinação de cobertura tripla e de material com baixa emissividade comparativamente ao vidro simples. No entanto, a desvantagem é a redução da transmissividade à radiação solar e o aumento da humidade. Em termos práticos o potencial de poupança de energia acaba por não ser conseguido, já que o produtor tentará compensar o aumento da humidade promovendo a desumidificação (Kittas et al., 2013). Os materiais de cobertura que combinam alta transmissividade à radiação solar e baixa transmissividade à radiação térmica são preferíveis, e nisso o vidro é o material de cobertura por excelência, já que tanto o polietileno como o etil-venil-acetato têm elevada transmissividade à radiação de comprimento de onda longo.

Durante a noite as perdas são sobretudo por radiação térmica, especialmente em noites de céu limpo. Técnicas de conservação de energia como a utilização de écrans térmicos, além de diminuírem as perdas de calor e aumentar a temperatura no interior também diminuem a taxa de ventilação, o que pode ter efeitos negativos, nomeadamente favorecendo o aumento da humidade. Nas estufas aquecidas é comum a utilização destes écrans térmicos que além das vantagens anteriores também diminuem o volume de ar a aquecer, podendo contribuir para a redução dos custos energéticos até 50% (Meneses e Baptista, 2011). Nos países do Sul, onde o consumo de energia é menor, os efeitos económicos da utilização de écrans acabam por ser menores. Os écrans podem ser fixos ou amovíveis, tendo os primeiros a desvantagem de reduzir a entrada de luz quando é necessária e favorecer o aumento da humidade, o que pode acabar por limitar a poupança de energia. Os écrans amovíveis, tem a vantagem de se utilizarem apenas quando necessário em função dos critérios definidos pelo produtor, e da intensidade da luz e humidade.

Outra possibilidade é utilizar paredes duplas, de vidro ou de plástico, aumentando a resistência à passagem de calor e reduzindo as perdas por condução-convecção. Alguns estudos mostram ser possível poupanças de 40% (Vox et al., 2011). No entanto, tem a desvantagem de reduzir a transmissão da luz em cerca de 10% (Meneses e Baptista, 2011). Valera et al. (2008) refere ainda a utilização de microtúneis interiores, que usados no início da cultura, possibilitam o aumento da temperatura junto das plantas ao limitarem as perdas de calor por convecção. O aumento da estanquicidade da estufa permite também poupanças entre 5 e 40%, dependendo se se trata de uma estufa nova mais hermética ou não. O vento é também um factor muito importante nas perdas de calor, pelo que sempre que a velocidade do vento seja demasiado elevada deve-se optar por colocar barreiras corta-vento que minimizem as perdas por convecção.

Nos países do Sul, durante o período do Verão, a produção em estufa é limitada pelo excesso de radiação solar e temperatura demasiado elevada, sendo necessário recorrer a sistemas de arrefecimento. A ventilação natural é a técnica primeiramente utilizada, tendo em atenção que é muito importante o correcto dimensionamento e localização das aberturas. Aberturas localizadas a barlavento são mais eficientes que a sotavento, pelo que se recomenda aberturas maiores do

lado do vento (Kittas et al., 2013). O recurso a redes de sombra é outra técnica que permite reduzir os ganhos de calor pela radiação solar, nos períodos de excessiva radiação. Podem ser sistemas fixos ou móveis, colocados dentro ou fora da estufa. Nas regiões do Sul os sistemas móveis exteriores são muito eficientes. Uma outra possibilidade é pintar a cobertura de branco de modo a aumentar o índice de reflexão da radiação solar, mas tem a desvantagem de atrasar a cultura.

Outra possibilidade é recorrer a estratégias de controlo ambiental, que passam p.e. por fazer o controlo integrado da temperatura, que se baseia no facto de que o efeito da temperatura no crescimento das plantas e na sua produção depende da média das 24 h e não na temperatura do dia ou da noite (desde que esteja dentro dos limites para a cultura, p.e. para o tomate  $>15^{\circ}\text{C}$  e  $<30^{\circ}\text{C}$ , de modo a prevenir a redução da qualidade e da produção). Nos países do Sul esta estratégia pode ser implementada usando p.e. temperatura para ventilar superior ao normal para maximizar os ganhos com a radiação solar durante o dia e depois durante a noite permitir que a temperatura seja menor que o normal. De facto, a aplicação deste método geralmente conduz a temperatura mais alta durante o dia e mais baixa durante a noite. Em estufas aquecidas, este método permite ainda conjugar as temperaturas de referência para a ventilação com as do aquecimento e com a utilização de écrans térmicos no período nocturno. O objectivo é maximizar os ganhos com a radiação solar e quando necessário usar aquecimento durante a noite com os écrans térmicos colocados. Tal representa um potencial de poupança de energia de cerca de 20% (Kittas et al., 2013).

Além das medidas relacionadas com aspectos construtivos e de controlo ambiental, também algumas práticas culturais podem ser melhoradas e com isso contribuir para a melhoria da sustentabilidade e eficiência energética. Torrellas et al. (2012) referem como soluções possíveis o melhor ajuste do balanço de água e nutrientes, a utilização de sistemas fechados e o aumento da produtividade para 20 a 30 kg m<sup>-2</sup> com recurso a uma melhor ventilação. Por outro lado, Baptista et al. (2012b) mostrou que em estufas não aquecidas, a ventilação nocturna contribui para reduzir a severidade da podridão cinzenta em cerca de 50%, com vantagens na redução do consumo de fungicidas.

Vários estudos mostram que é possível racionalizar o uso de fertilizantes e de água usados na produção de tomate em estufa. Montero et al. (2012) refere uma

redução de cerca de 30% nos fertilizantes e Tuzel et al. (2009) de 20% na quantidade de água aplicada. Também a utilização de sistemas de controlo integrado que permitem controlar automaticamente os sistemas de rega e de fertirega, os sistemas de controlo ambiental, as bombas, o consumo de energia, etc., podem contribuir para a poupança de cerca de 20% de água e de energia. Recorre-se aos resultados obtidos no projecto AGREE para mostrar como várias tecnologias alternativas permitem melhorar a eficiência da utilização da energia, reduzir custos de produção e ainda diminuir os impactos ambientais (Meyer-Aurich et al., 2012).

### 3. Referências Bibliográficas

- Baptista F.J., Silva A.T, L. M. Navas, Guimarães A.C. and Meneses J.F. 2012a. Greenhouse Energy Consumption for Tomato Production in the Iberian Peninsula Countries. *Acta Horticulturae* 952:409-416;
- Baptista F.J., Bailey B.J. and Meneses J.F. 2012b. Effect of nocturnal ventilation on the occurrence of *Botrytis cinerea* in Mediterranean unheated tomato greenhouses. *Crop Protection* 32:144-149.
- Golaszewski J, De Visser C., Brodzinski Z., Myhan R., Olba-Ziety E., Stolarski M., Buissonjé F., Ellen H., Stanghellini C., Van Der Voort M., Baptista F.J., Silva L.L., Murcho D., Meyer-Aurich A., Ziegler T., Ahokas J., Jokiniemi T., Mikkola H., Rajaniemi M., Balafoutis A., Briassoulis D., Mistriotis A., Panagakis P., Papadakis G. 2012. State of the art on Energy Efficiency in Agriculture. Country data on energy consumption in different agro-production sectors in the European countries. AGREE Project Deliverable 2.1., 69 pp.
- Kittas C., Katsoulas N., Bartzanas T. and Bakker S. 2013. Greenhouse climate control and energy use. pp 63-95. *In Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops. Principles for Mediterranean climate areas.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 640 pp.
- López J.C, Baille A., Bonachela S., González-Real M.M. and Pérez-Parra J. 2006. Predicting the energy consumption of heated plastic greenhouses in south-eastern Spain. *Spanish journal of Agriculture Research* 4(4):289-296.
- Meneses, J.F. e Baptista F.J. 2011. Improving Greenhouse Heating in Portugal. *Acta Horticulturae* 893:209-216.
- Meyer-Aurich A., Jubaer H., Scholz L., Ziegler T., Daalgard T., Yli-Kojola H., Esala J., Mikkola H., Rajaniemi M., Jokiniemi T., Ahokas J., Golaszewski J., Stolarski M., Brodzinski Z., Myhan R., Olba-Ziety E., de Visser C., Van der Voort M., Stanghellini C., Ellen H., Klop A., Wemmenhove H., Baptista F.J., Murcho D., Silva L.L., Silva J.R., Peça J.O., Louro M., Marques C., Mistriotis A., Balafoutis A., Panagakis P., Briassoulis D. 2012. Economic and environmental analysis of energy efficiency measures in agriculture. Case Studies and trade-offs. AGREE Project Deliverable 3.1., 157 pp.
- Montero J.I., Antón A., Torrellas M., Ruijs M. 2012. Report on Economic & Environmental Profile of new technology greenhouses at the three scenarios. Project EUPHOROS (Efficient Use of Inputs in Protected Horticulture), KBBE-2007-1-2-04 European Commission, 63 pp.
- Torrellas M., Antón A., López J.C., Baeza E.J., Pérez-Parra J. Muñoz P and Montero J.I. 2012. LCA of a tomato crop in a multi-tunnel greenhouse in Almeria. *Int. j. Life Cycle Assess* 17:863-875.



- Tüzel I.H, Tüzel Y., Meric M.K., Whalley R. and Lock G. 2009. Response of cucumber to deficit irrigation. *Acta Horticulturae* 807:259-264.
- Valera D., Molina F.D. e Álvarez A.J. 2008. Ahorro y eficiencia energética en invernaderos. IDEA, Madrid. 66 pp.
- Vox G., Teitel M., Pardossi A., Minuto A., Tinivella F. and Schettini E. 2011. Sustainable Greenhouse Systems. pp.1-80. In *Sustainable Agriculture: Technology, Planning and Management*. Eds. Augusto Salazar and Ismael Rios. 438 pp.

Escrito de acordo com a antiga ortografia