

# Avaliação do desempenho dos sistemas de refrigeração nas indústrias agroalimentares da Beira Interior

## Performance evaluation of cooling systems in the agro-food industries of Beira Interior

*José Nunes*

Instituto Politécnico de Castelo Branco, Escola Superior Agrária, Castelo Branco, Portugal  
jnunes@ipcb.pt



### Abstract

The Agri-food industries are currently the largest sector of manufacturing industries. They are responsible for the manufacture of foods with nutritional and organoleptic characteristics much appreciated by consumers. These industries consume a lot of energy due to the high use of cooling systems.

To minimize power consumption, the industries are interested in implementing energy efficiency measures. In this study, we analyzed 86 agri-food industries in the Beira Interior region, in central Portugal, the meat row, dairy and horticultural products in order to assess how they use energy,

the list of energy efficiency measures to reduce energy consumption and quantify the potential energy savings that can be achieved with the implementation of these measures. The results showed many energy efficiency measures that can be applied in these industries, particularly in buildings, in the chambers and cooling systems.

The application of these energy efficiency measures in the industries of these three rows, allows for very significant energy savings.

**Keywords:** Agri-food industries; Cooling systems; Energy efficiency; Specific electricity indicator.

## Resumo

As indústrias agroalimentares são a nível Europeu e em Portugal, um dos maiores grupos das indústrias transformadoras. Elas são responsáveis pela disponibilização de uma grande diversidade de produtos alimentares de qualidade, seguros e nutritivos, para um mercado com mais 500 milhões de pessoas (Gregório, 2010). Segundo a CIAA (2010), o sector das indústrias agroalimentares é também caracterizado por ser líder na área do emprego na União Europeia, com 310 mil empresas, mais de 4,2 milhões de postos de trabalho, responsável pela compra e transformação de 70 % da produção agrícola e envolvendo um elevado número de Pequenas e Médias Empresas (PME) (CIAA, 2010).

De uma maneira geral, estas indústrias fabricam produtos com maior valor acrescentado, assentes em processos produtivos específicos, onde as matérias-primas são transformadas em produtos finais com características organoléticas muito apreciadas pelos consumidores. Contudo, a maioria destes processos envolve um conjunto de processos realizados em condições ambientais de temperatura e humidade relativa, muito diversificadas. Para além disso, as matérias-primas utilizadas são muito perecíveis necessitando de uma elevada aplicação do frio para garantir a sua conservação, implicando um enorme consumo de energia elétrica.

Atendendo ao dinamismo deste subsector, nos últimos anos registou-se um aumento do consumo de energia das indústrias alimentares, devido às alterações dos hábitos alimentares, com recurso a comida pré-preparada, fabrico de novos produtos alimentares e aumento das normas de segurança alimentar através de uma forte utilização dos sistemas de refrigeração. Esta tendência tem proporcionado, que na maioria dos casos, os custos com a energia seja a terceira parcela mais dispendiosa no funcionamento destas

indústrias a seguir aos custos com as matérias-primas e com o pessoal (Ramirez, 2006). Em Portugal, só no ano de 2012, as indústrias alimentares foram responsáveis pelo consumo de 12% dos 1,33MTep de energia elétrica consumida pelo conjunto das indústrias transformadoras do nosso país.

A tomada de consciência da problemática energética e ambiental na Europa e em Portugal, em particular, tem suscitado a necessidade da tomada de medidas de melhoria da eficiência energética nas indústrias. Para o efeito, em Portugal foi aprovada e implementada legislação específica, para a indústria, da qual se destaca o Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril, que obriga as indústrias que consomem anualmente mais do que 500 Tep, a realizarem auditorias energéticas e a implementarem planos de racionalização de energia.

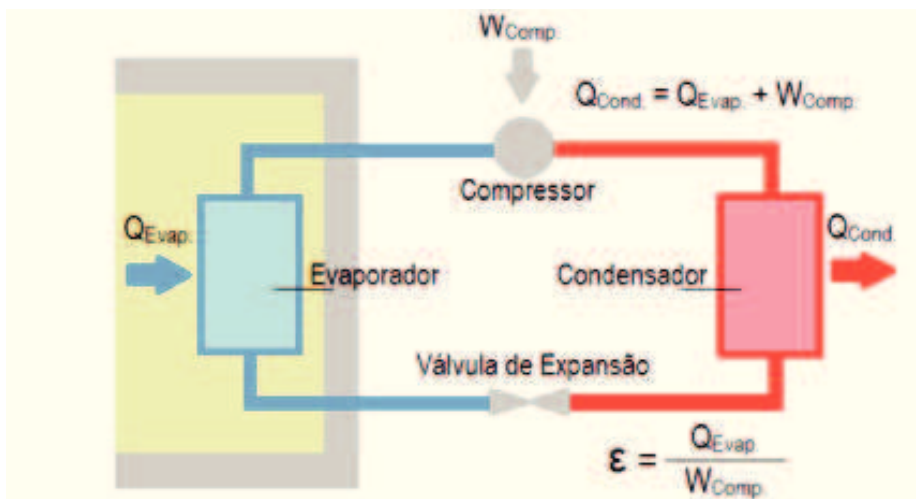
Com vista a avaliar o modo de utilização da energia e o potencial energético que é possível alcançar, mediante aplicação de medidas simples de eficiência energética, avaliaram-se 86 indústrias agroalimentares, localizadas na região do Interior do Centro de Portugal. Este estudo envolveu indústrias da fileira da carne (n=33), fileira dos laticínios (n=31) e da fileira das hortofrutícolas (n=23). Dentro de cada uma destas fileiras, as indústrias foram divididas em categorias de acordo com o seu processo produtivo e produtos obtidos da seguinte forma: matadouros, salsicharias, indústrias de presunto, indústrias de fabrico de queijo de modo artesanal e de modo industrial, indústrias de revenda de hortofrutícolas e finalmente centrais de fruta. A informação foi recolhida diretamente nas indústrias, através do preenchimento de um inquérito, uma análise física in loco das infraestruturas e processos de fabrico e a realização de auditorias energéticas. Para a medição das diferentes grandezas físicas utilizamos dois analisadores de energia de marca Circutor CIE-e3, uma pinça amperimétrica de marca Escort ECT-620, um equipamento digital Testo 435-2, com sonda multifunção de temperatura e humidade relativa, 8 Data-loggers de temperatura e humidade relativa, um medidor de distâncias de marca Bosch-DLE, de infravermelhos e uma câmara termográfica de marca Testo 880.

Para efeitos comparativos do desempenho energético das indústrias da mesma fileira ou com indústrias localizadas noutros países, realizamos também uma análise de benchmarking mediante a utilização do indicador específico de energia elétrica (IEEEelétrica), determinado pela equação 1:

$$\text{IEEEelétrico} = \frac{\text{Consumo de energia eléctrica anual (kWh)}}{\text{Quantidade de matéria prima anual transformada (ton.MP)}} \quad (1)$$

Nesta análise, os sistemas de refrigeração foram alvo de maior atenção pois são eles os responsáveis pela obtenção das condições ambientais utiliza-

das nas diferentes etapas no fabrico das carcaças, enchidos, presunto, queijo e arrefecimento e conservação das hortofrutícolas. O seu principal objetivo é obter a temperatura e humidade relativa, no interior de um ambiente ou câmara de refrigeração, retirando o calor aí gerado (fonte fria) e transferi-lo para outro local, nomeadamente o ar atmosférico ou a água (fonte quente). Esta operação é maioritariamente executada pelos sistemas de refrigeração de compressão mecânica a vapor que consomem muita energia elétrica para acionamento dos compressores e ventiladores dos condensadores e evaporadores e ainda bombas hidráulicas em sistemas secundários. Na figura 1 apresenta-se o esquema do sistema de refrigeração de compressão mecânica a vapor de circuito direto, constituído pelos quatro elementos principais: compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador.



**Figura 1** – Esquema do sistema de refrigeração de compressão mecânica a vapor de circuito direto

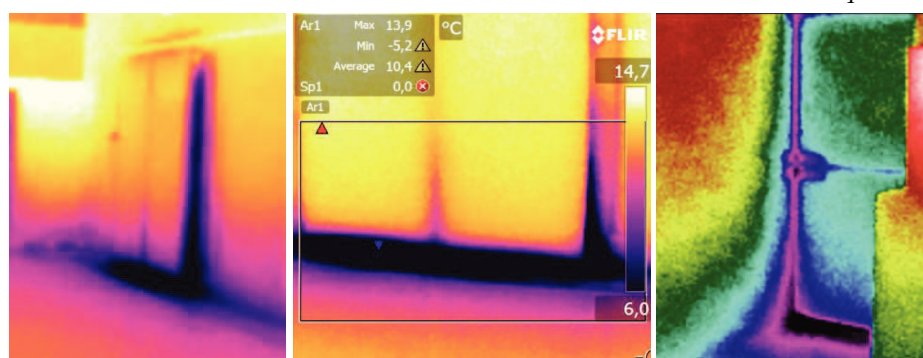
O consumo de energia elétrica destes sistemas depende de vários fatores, dos quais se destacam os seguintes: características das infraestruturas, cargas térmicas, características dos sistemas, características das câmaras, tipo de fluido refrigerante, tipo de utilização, qualidade da instalação, manutenção e tempo de operação (Reindl *et al.*, 2005).

Em relação às infraestruturas das indústrias das três fileiras, constatamos que 80% possuem uma área coberta inferior a 2000 m<sup>2</sup>, os materiais das paredes são de alvenaria (87%), as coberturas são maioritariamente de chapas de fibrocimento (60%), os desvãos são pouco arejados ou até fechados (50%), a idade é superior a 10 anos e existem muitas câmaras de refrigeração construídas em alvenaria (50%), muitas destas, com um elevado estado de degradação.

Também verificamos que existe uma grande diferença do número de câmaras de refrigeração nas indústrias das três fileiras, sendo em média igual 3, para a fileira das hortofrutícolas, 8 para a dos laticínios e 18 para as indústrias de presunto da fileira da carne. De igual modo, a sua volumetria também é variável, sendo em média igual a 277 m<sup>3</sup> para a dos matadouros, 264 m<sup>3</sup> para a dos laticínios e 638 m<sup>3</sup> para a das centrais de fruta. A espessura das paredes das câmaras de refrigeração construídas em painéis de poliuretano são em média iguais a 60 ou 80 mm e as de alvenaria entre 250 a 300 mm. Para além de se ter constatado que esta espessura é reduzida, acresce ainda que num elevado número de câmaras, as suas paredes apresentam fissuras e as vedações das portas estão degradadas, que cumulativamente, são fatores que contribuem muito para o aumento das cargas térmicas no seu interior.

Os problemas encontrados no domínio das infraestruturas e da actividade, que contribuem para aumentar o indicador específico de energia, IEEE, foram: degradação avançada das infraestruturas e sobredimensionamento dos edifícios; deficiente isolamento térmico das envolventes e das câmaras de refrigeração; desvãos pouco ventilados onde se registam temperaturas muito elevadas; inexistência de antecâmaras; realização da actividade a carga parcial; existência de fontes de calor próximo das entradas das câmaras de refrigeração; abertura excessiva das portas das câmaras e mau isolamento das portas e a não utilização de cortinas de ar e fitas de plástico.

Na figura 2, apresentamos três imagens termográficas representativas da deficiência das vedações das portas das câmaras de refrigeração, permitindo a saída de ar frio do seu interior e simultaneamente a entrada de ar quente.



**Figura 2** – Imagens termográficas com indicação da infiltração de ar através das portas das câmaras frigoríficas

Os sistemas de refrigeração utilizados nas indústrias das três fileiras são muito diversificados e distribuídos pelos seguintes tipos: sistemas indivi-

duais, centrais de frio direto, centrais de frio indireto, unidades de condensação, unidades compactas e unidades de tratamento do ar. As unidades de condensação são muito utilizadas pela sua simples configuração e facilidade de instalação, mas é o tipo de sistema que apresenta maiores consumos de energia. As unidades de tratamento do ar, são muito utilizados nas indústrias das salsicharias, de fabrico de presunto e do queijo, porque permitem obter as condições ambientais de temperatura e humidade relativa adequadas para realizarem as operações de secagem e estufagem específicas de cada um dos processos de fabrico e apresentam também elevados consumos de energia. Os principais problemas encontrados nestes sistemas e que contribuem para aumentar o indicador específico da energia elétrica, IEEE, são o elevado tempo de operação dos equipamentos (idade) e falta de manutenção; localização deficiente dos equipamentos (locais quentes como sótãos e recintos); deficiente isolamento das condutas de aspiração (sobreaquecimentos elevados); falta de sistemas de comandos automáticos e variadores de velocidade; utilização de saltos térmicos elevados; mau isolamento dos tanques e das condutas das centrais de água gelada; utilização de sistemas e equipamentos de refrigeração subdimensionados; não aproveitamento do calor sensível e latente do fluido frigorígeno e a não utilização de sistemas automáticos de gestão de energia.

A média anual do consumo de energia elétrica realizado por categoria de indústria, foi de 491,1 MWh para os matadouros, 127,1 MWh para as salsicharias, 1034 MWh para as indústrias de fabrico de presunto, 397,7 MWh e 78,8 MWh para as indústrias de fabrico de queijo de modo industrial e artesanal, respetivamente, e finalmente, 53,1 MWh e 68,6 MWh para as indústrias de revenda ou centrais de hortofrutícolas, respetivamente. Os valores do Indicador Especifico de Energia Elétrica, IEEE, estimados para as diferentes categorias de indústrias foram iguais a 149 kWh/ton.MP, para os matadouros, 660 kWh/ton.MP para as salsicharias, 1208 kWh/ton.MP, 169 kWh/kl.MP para as indústrias de fabrico artesanal de queijo, 283 kWh/kl.MP para as indústrias de fabrico de queijo de modo industrial, 82 Kwh/ton.MP para as indústrias de revenda de hortofrutícolas e finalmente 60,8 kWh/ton.MP para as centrais de fruta. Comparativamente com indústrias da mesma categoria, de outros países, encontramos valores de IEEE inferiores, nomeadamente, 139 Kwh/ton.MP para os matadouros (UNIDO, 2010), 465 kWh/ton.MP para as salsicharias e 336 kWh/ton.MP para as indústrias de fabrico de presunto em Espanha (EREN, 2008). Estes resultados indiciam que as nossas indústrias podem melhorar a sua eficiência energética, através da aplicação de medidas de eficiência energética.

Com os resultados obtidos, concluímos que, se todas as indústrias que apresentam valores de IEEE acima do valor médio encontrado para cada uma das categorias de indústrias, implementassem medidas simples de eficiência energética, para atingirem o respetivo valor de referência de IEEE médio, os valores anuais de poupança de energia alcançados em cada uma dessas categorias, seriam iguais a 17% (200 MWh) para os matadouros, 24% (337,1 MWh) para as salsicharias, 16,7% (1039,2 MWh) para as indústrias de fabrico de presunto, 19,4% (391 MWh) para as indústrias de fabrico de queijo artesanal, 29,7% (68,3 MWh) para as indústrias de fabrico de queijo de modo industrial, 18,9% (28,3 MWh) para as indústrias de revenda de hortofrutícolas e finalmente 17,2% (223,1 MWh) para as Centrais de fruta.

**Palavras-chave:** Indústrias agroalimentares; Sistemas de refrigeração; Eficiência energética; Indicador específico de energia elétrica.

## Bibliografia

- Gregório, J.P.P., 2010. Medição do Desempenho na Cadeia de Abastecimento Agro-industrial, Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial. Universidade de Aveiro, Aveiro.
- CIAA, 2010. Data & trends of the European Food and Drink Industry -2009. Confederation des Industries Agro-Alimentaires de l'Union Européenne, Bruxelas.
- EREN, 2008. Plan de Assistencia Energética en el Sector Cárnico, Ente Regional de la Energía de la Castilla Y León. Madrid.
- Reindl, D.T., Jekel, T. B., Elleson, J.S., 2005. Industrial Refrigeration Energy Efficiency Guidebook. IRC, Industrial Refrigeration Consortium. The University Wisconsin, Madison.
- Ramírez, C.A., Patel, M., Blok, K., 2006. How much energy to process one pound of meat? A comparison of energy use and specific energy consumption in the meat industry of four European countries. Energy 31, 2047-2063.
- UNIDO, 2010. Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking, United Nations Industrial Development Organization, Austria.