

# Ferramenta computacional de análise e simulação do desempenho de unidades de conservação de carne através de frio industrial

R. Santos <sup>1</sup>, J. Nunes <sup>2</sup>, Pedro D. Silva <sup>1</sup>, P. D. Gaspar <sup>1\*</sup>, L. P. Andrade <sup>2</sup>

1 – Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Electromecânica, Rua Marquês d'Ávila e Bolama, 6200 Covilhã, Portugal.

Tel.: +351 275 329 759, Fax: +351 275 329 972

e-mail: dinis@ubi.pt

2 – Instituto Politécnico de Castelo Branco; Av. Pedro Álvares Cabral nº 12, 6000 Castelo Branco, Portugal

**Palavras-chave:** Eficiência energética, câmaras de frio, ferramenta computacional, *matlab*, *indústrias de matadouros*.

## Resumo

A carne fresca ou processada é um dos produtos alimentares preferidos pelos consumidores devido às suas características nutricionais e organolépticas. A conservação das propriedades da carne ao longo do tempo é habitualmente conseguida submetendo-a a ambiente de temperatura e de humidade controlada recorrendo para tal a sistemas de refrigeração. Estes sistemas são os principais responsáveis pelo consumo de energia eléctrica, apresentando em Portugal, valores de consumos específicos de energia eléctrica de 1208 kWh/ton-MR.

Com o intuito de promover uma melhoria do desempenho energético destas indústrias, foi desenvolvida uma ferramenta computacional para análise do comportamento de um conjunto de parâmetros relevantes, tais como, quantidade de matéria-prima tratada, área útil dedicada às câmaras de conservação, potência dos sistemas de refrigeração, entre outros. Os resultados preliminares da aplicação prática desta ferramenta evidenciam a sua utilidade na ajuda à tomada de decisões relativas à implementação de medidas de eficiência energética no sector agro-industrial..

## 1 Introdução

A sustentabilidade e segurança alimentar têm constituído grande preocupação para os consumidores nos últimos anos. Tem-se verificado uma procura crescente de alimentos assim como uma alteração dos hábitos de consumo. Para lidar com este novo padrão, verifica-se uma maior disponibilidade e variedade de alimentos com um tempo de vida superior em prateleira. Neste contexto, o arrefecimento desempenha um papel importante, não só pela sua capacidade de preservar os produtos com a manutenção das suas características físicas, químicas, nutricionais e organolépticas, mas também porque é uma ferramenta indispensável no processamento de alimentos perecíveis, com especial ênfase em produtos cárneos. A carne é um dos principais produtos alimentares na preferência do consumidor, devido às suas excelentes características organolépticas e nutricionais. Sendo um dos produtos mais importantes na alimentação, estima-se que a produção mundial atinja em 2050 um valor de 470 milhões de toneladas, um número que duplica as 229 milhões de toneladas registadas em 1999 [1]. Em Portugal, o grupo de indústrias de produtos cárneos foi em 2009, à semelhança do ano anterior, a que teve o maior índice de volume de negócios dentro do sector alimentar, atingindo cerca de 21,3% dos M€ 8267 alcançado por esse sector [2]. Em geral, o processo de fabricação dos produtos cárneos é realizado em ambientes artificiais, com um rígido controlo de temperatura, humidade e velocidade do ar, resultando no uso de sistemas que geram calor e frio, embora com os sistemas de refrigeração como os principais responsáveis pelo consumo de energia. Em termos energéticos, as indústrias alimentares são tipificadas por um consumo de energia não-intensivo, mas dado o elevado número destas indústrias, o consumo total de energia, mostra um peso significativo no sector industrial [3-4].

Em Portugal, tal como noutros países, tem-se registado um aumento do consumo de energia na indústria alimentar, com particular ênfase no consumo de electricidade. De 1995 a 2007, o aumento do consumo total de energia neste grupo foi de 7,3%, atingindo em 2007 um valor de 24.584 TJ, enquanto o aumento do consumo de electricidade durante o mesmo período foi de 39%, registando-se em 2007 um valor de 6.573 TJ [5]. Dada a crescente preocupação com o consumo de energia, em particular, com a necessidade de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e o consumo de combustíveis fósseis, e atendendo ao forte aumento do custo de energia registado nos últimos anos, a sustentabilidade e competitividade destas indústrias depende em certa medida, da sua capacidade em utilizar a energia de um modo mais racional e eficiente. Existem vários estudos sobre o consumo de energia e sobre medidas de eficiência energética para a

indústria de processamento de carne, especificamente em matadouros industriais [6-11]. Em Portugal, não se encontraram estudos sobre o modo como essas indústrias cárneas utilizam a energia, nem sobre o potencial de poupança energética alcançável sem comprometer a produtividade e qualidade do produto. Apenas em Alpalhão [12] se descrevem os resultados de auditorias energéticas a este tipo de indústrias. Recentemente, Nunes *et al.* [13] desenvolveram um estudo com os objectivos de analisar o perfil do consumo de energia eléctrica nas indústrias de produtos cárneos, de determinar os indicadores de consumo específico de energia dessas indústrias, e de estudar o potencial de economia de energia, identificando um conjunto de medidas apropriadas para melhorar sua eficiência energética. No âmbito do presente estudo, mas com base no trabalho desenvolvido nesta última referência bibliográfica, foram construídas correlações analíticas de modo a representar o comportamento médio, numa perspectiva energética, dos matadouros existentes no interior de Portugal. Considerando as correlações representativas dos matadouros, desenvolveu-se uma ferramenta computacional que permite posicionar o comportamento energético de uma empresa em particular face à média nacional e que, simultaneamente, permite auxiliar na tomada de decisões com o intuito de melhorar o seu desempenho. Para tal, a ferramenta computacional foi desenvolvida no *software MATLAB*, que através do *GUIDE (Graphical User Interface Design Environment)* permite criar janelas de menus e janelas que ilustram graficamente as correlações, permitindo que qualquer utilizador visualize o estado actual da sua empresa em termos de consumo energético e possa verificar pontos sugestivos para redução do mesmo.

## 2 Parâmetros que caracterizam o desempenho de empresas do sector agro-industrial

Em Portugal, o consumo energético anual de uma empresa sector agro-industrial dedicada à produção e conservação da matéria-prima centra-se no consumo de energia eléctrica. Por isto, dimensionar as câmaras frigoríficas e como tal a potência de refrigeração necessária para as mesmas são parâmetros importantes a tratar. Para representar o consumo energético associado à produção e conservação de alimentos seleccionaram-se os seguintes parâmetros:

- quantidade de matéria-prima;
- consumo de energia eléctrica;
- volume total de câmaras;
- potência eléctrica dos compressores.

De maneira a executar medidas de eficiência energética, foi levado a cabo um estudo em 5 indústrias de carnes, mais especificamente em matadouros, que abrangem toda a área do interior de Portugal, por forma a reunir um conjunto de dados que caracterizam cada uma destas empresas relativamente à produção e conservação de matéria-prima.

O estudo consistiu em várias etapas para registo de informações específicas para estas indústrias: caracterização geral; quantidades de matérias-primas; volume de produção; consumo de energia (electricidade e outros); custos de energia; características das câmaras de conservação em frio e de congelação; características dos sistemas de refrigeração; requisitos ambientais e especificidades do processo produtivo. As informações recolhidas dizem respeito às actividades desenvolvidas durante o ano de 2008. O processo de recolha de dados foi realizado com visitas às indústrias, tendo feito parte da análise, o edifício, os equipamentos, as operações técnicas e os processos de fabricação.

Os dados recolhidos permitem parametrizar o desempenho e eficiência energética de todo o conjunto de matadouros da região da Beira Interior. A partir destes dados foram construídas correlações que contribuem para uma melhor compreensão do desempenho destas indústrias [13].

Somente os resultados da análise a matadouros com produção superior a 1000 toneladas anuais foram incluídos na correlação desenvolvida. O limite superior de produção foi fixado em 5000 toneladas por não existir qualquer registo de matadouros com tal valor de produção. Por outro lado, com base nos resultados da análise ao conjunto de matadouros descrito, impõe-se que um matadouro que produza anualmente 3000 toneladas irá consumir anualmente 475 MWh, deverá possuir compressores de refrigeração com aproximadamente 105 kW de potência mínima para manter em condições adequadas de conservação a referida quantia de matéria-prima e deverá possuir uma volumetria mínima das câmaras de conservação em frio de 1300 m<sup>3</sup>.

## 3 Ferramenta computacional interactiva

O estado actual da ferramenta computacional permite ao utilizador inserir os dados relativos ao consumo de energia anual, da matéria-prima produzida, do volume das câmaras frigoríficas e da potência dos compressores, com intuito de analisar o estado presente da empresa (matadouro), através das seis opções gráficas, para que deste modo, o utilizador possa tomar decisões no sentido de melhorar o desempenho energético da sua empresa.

A concepção generalizada da ferramenta computacional representa uma estrutura em cadeia, permitindo aos utilizadores seleccionarem a indústria mais apropriada aos seus interesses, embora até ao momento esta esteja restrita aos matadouros. O programa inicia-se com a caixa representada na Figura 1, onde apresenta o nome da ferramenta, os seus objectivos e apresenta um quadro informativo que alerta os utilizadores sobre os dados da empresa a analisar. A necessidade dos parâmetros mencionados anteriormente é importante por forma a obter uma análise gráfica útil.



Figura 1. Caixa inicial representativa da ferramenta de simulação.

O utilizador ao premir "Continuar" (ver Figura 1) tem acesso à escolha da indústria que pretende analisar. Para o caso particular em estudo, o utilizador ao premir o botão "Carnes" no menu "Indústrias" (ver Figura 2-1), acede a outra caixa de selecção de indústrias mais específicas (ver Figura 2-2). Premindo o botão "Matadouros", a caixa das "Indústrias de Carne" encerra-se, e abre-se uma outra caixa que permite a introdução dos parâmetros mais importantes para a avaliação da situação energética do matadouro (ver Figura 2-3). Pode-se verificar ainda, através das Figuras 3 e 4, que todas as caixas dispostas em cadeia, contêm os botões necessários ("Sair" e "Voltar") à navegação do utilizador pelo programa de simulação caso pretenda analisar outro tipo de indústria.

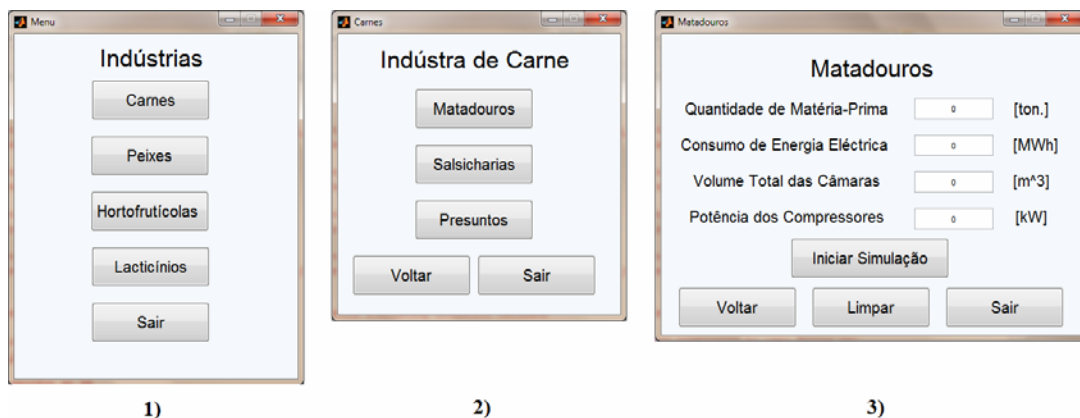
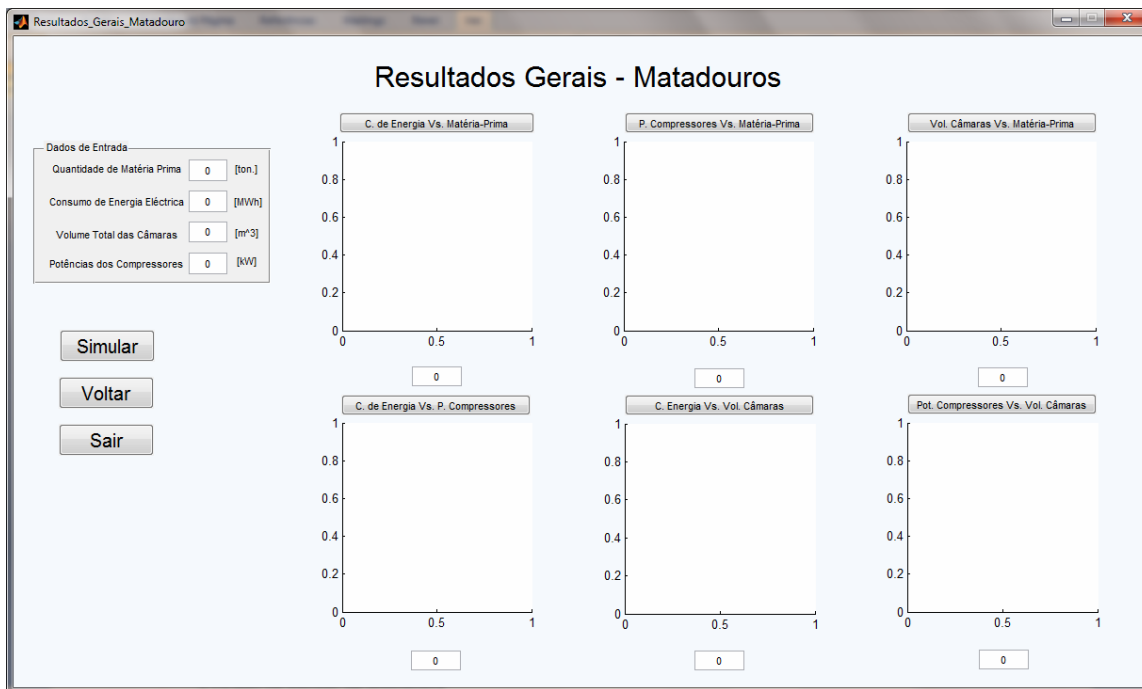
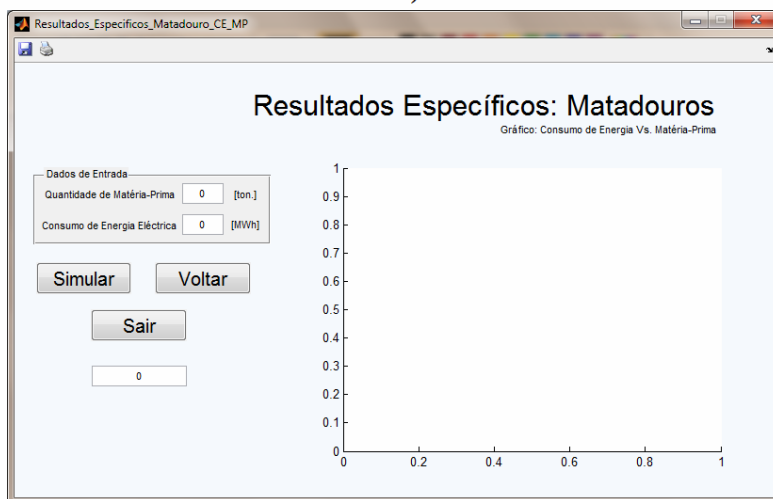


Figura 2. 1) Caixa de menu que permite a selecção da indústria; 2) Caixa que de selecção do tipo de indústria de carne; 3) Caixa específica para matadouros onde os valores correspondentes poderão ser introduzidos.

Na caixa de menu "Matadouros", depois de introduzir os parâmetros apropriados, respeitando o sistema de unidades representada, e premindo o botão "Iniciar Simulação", o utilizador terá acesso a resultados gerais que resumem o estado energético actual da empresa em questão. Posteriormente, para acesso ao relatório geral, o utilizador terá que premir o botão "Simular" na caixa de menu "Resultados Gerais – Matadouros" (ver Figura 3-1), de forma a iniciar a construção gráfica geral. Se, porventura, o interesse do utilizador seja visualizar aleatoriamente um gráfico em particular, basta, para isto, premir botão que se encontra sobre o gráfico e terá acesso a uma caixa do mesmo, ampliada. Para posterior visualização deste gráfico o utilizador deverá premir novamente "Simular" e a construção gráfica iniciar-se-á (ver Figura 3-2).



1)



2)

Figura 3. 1) Caixa de resultados gerais; 2) Caixa de resultados específicos / forma gráfica ampliada.

#### 4 Caso de estudo: Matadouros

Com o intuito de proporcionar uma demonstração geral de como o programa de simulação funciona e quais as conclusões se podem retirar com a leitura dos gráficos principais, é de seguida apresentado um caso de estudo relativo a um matadouro em particular, cujos parâmetros se expõem na Tabela 1.

Parâmetros	Unidade	Valor
Matéria-prima produzida	ton	4610
Energia eléctrica consumida	MWh	1200
Volume total de câmaras	M <sup>3</sup>	2300
Potência eléctrica total dos compressores	kW	220

Tabela 1. Parâmetros de teste: matadouro.

Os valores que figuram na Tabela 1 são relativos à matéria-prima processada durante um ano (4610 ton)., para um consumo anual de energia eléctrica correspondente de 1200 MWh. O mesmo matadouro possui câmaras frigoríficas com uma volumetria total de 2300 m<sup>3</sup> e com uma potência instalada dos compressores de 220 kW.

Figura 4. Caixa de entrada de dados.

Introduzindo os dados expostos na Tabela 1 na caixa de entrada de dados respeitante a matadouros, como se ilustra na Figura 4, o utilizador ao premir "Iniciar Simulação", tem acesso a um conjunto de gráficos (ver Figura 5). Os gráficos resultantes ilustram a situação actual do matadouro numa perspectiva energética (circulo vermelho) e também aquilo que poderá ser designado como a situação que corresponde ao desempenho médio nacional (circulo negro) para esse parâmetro.

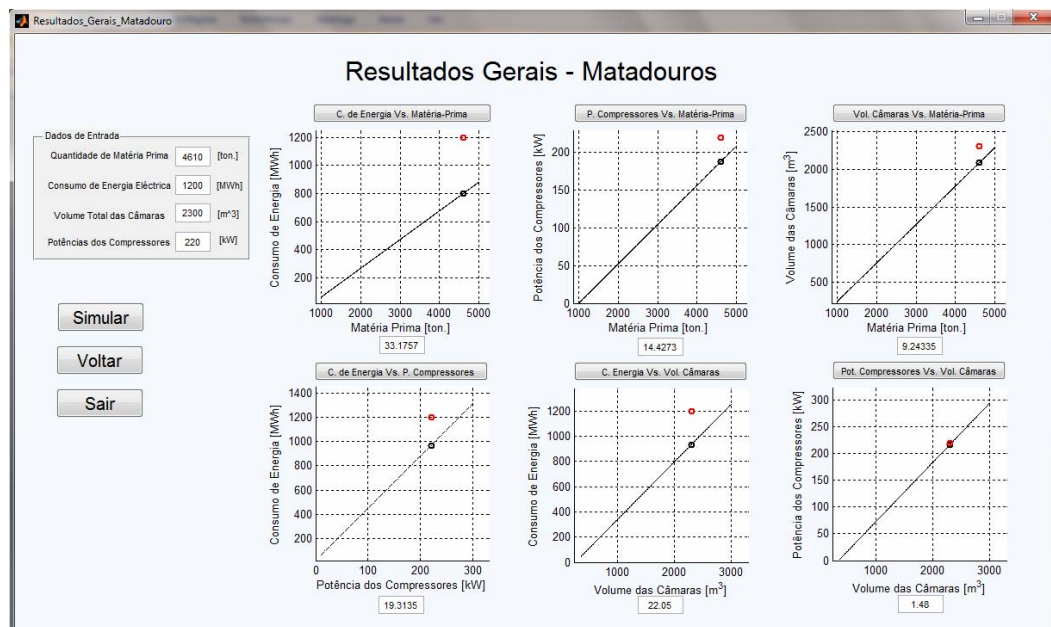


Figura 5. Resultados gerais para o matadouro em análise.

Os gráficos que se obtiveram com a simulação (Ver Figura 5), permitem esboçar algumas conclusões para esta empresa em particular.

- (1) Do primeiro gráfico, que representa o consumo anual de energia eléctrica em função da matéria-prima utilizada, prevê-se um consumo excessivo de energia para a produção, especificamente, 33% superior à média nacional.
- (2) Do segundo gráfico, onde se apresenta a relação entre potência instalada dos compressores e a matéria-prima processada, identifica-se um alerta, pois a potência instalada para a conservação da matéria-prima é 14% superior à média nacional.
- (3) Do gráfico onde se compara o volume das câmaras frigoríficas em função da matéria-prima, indica-se um excesso de 9%, o que demonstra que as câmaras são o suficiente para armazenar tal quantidade de matéria-prima.
- (4) No que respeita à relação entre o consumo de energia e a potência dos compressores para produção de frio, verifica-se um consumo acima do esperado para aquela potência de frio instalada. No entanto, os resultados do último gráfico, onde se figura a potência dos compressores e o volume de câmaras de frio no matadouro, indicam um valor consistente: a potência dos compressores (220 kW) é suficiente para refrigerar o volume das câmaras existente (2300 m<sup>3</sup>). A diferença deste comportamento poderá dever-se à existência de outros factores que

contribuem para o aumento do consumo de energia como por exemplo, iluminação, perdas térmicas nas câmaras de conservação, entre outros. Uma sugestão ao departamento de manutenção passaria pela verificação do estado global dos isolamentos térmicos e do encerramento adequado das portas das câmaras frigoríficas.

Caso o utilizador pretenda uma análise gráfica em particular, como por exemplo, do consumo de energia anual em função da matéria-prima produzida (ver Figura 6), basta premir no botão correspondente ao gráfico. Observando o gráfico, prevê-se um afastamento de 33% entre a posição do matadouro (círculo vermelho) com a média nacional (círculo preto).

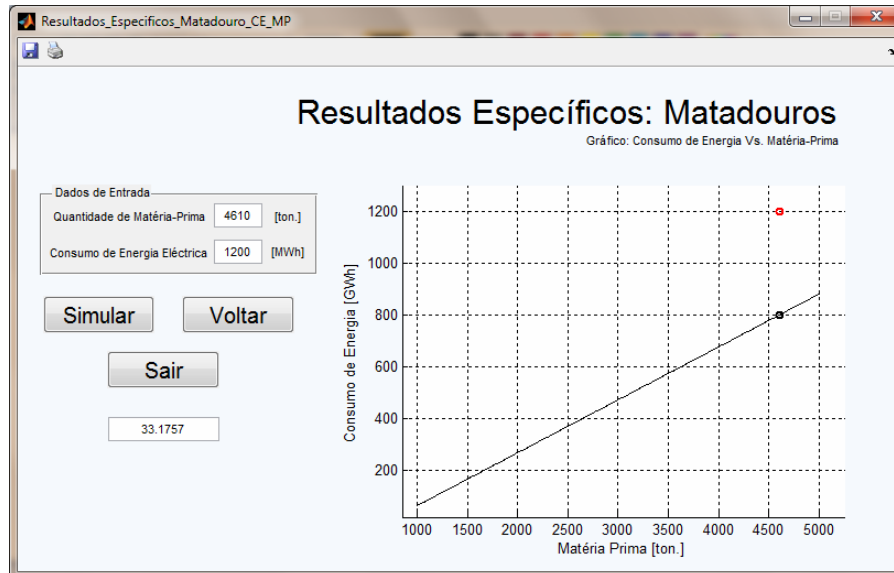


Figura 6. Resultado específico: consumo de energia vs. matéria-prima produzida para matadouros.

Contudo, este é um exemplo particular para ilustrar as funcionalidades da ferramenta computacional, podendo ser analisado um outro qualquer matadouro que se encontre abaixo da linha correlativa, fornecendo neste caso a indicação de uma posição de desempenho superior à média nacional.

## 5 Conclusões

Apresenta-se neste artigo uma ferramenta computacional de análise do comportamento de um conjunto de parâmetros relevantes, que traduzem o desempenho face à média nacional. Esta ferramenta computacional foi desenvolvida no *software MATLAB*, fazendo uso do *GUIDE (Graphical User Interface Design Environment)* com o intuito de disponibilizar um ambiente gráfico ao utilizador simples e de consulta rápida.

Com o intuito de demonstrar a aplicabilidade da ferramenta computacional, é apresentado um caso de estudo para um matadouro em particular. Com base nos resultados são indicadas quais poderão ser as conclusões a retirar da análise gráfica do posicionamento do desempenho relativamente às correlações desenvolvidas que traduzem a média nacional. Os resultados por si só fornecem uma indicação do desempenho de um matadouro relativamente aos resultados oriundos do trabalho desenvolvido por Nunes *et al.* [13], não desprezando a necessidade de um estudo particular mais detalhado para investigar condições a melhorar.

O estado actual da ferramenta computacional permite ao utilizador inserir os dados relativos ao consumo de energia anual, da matéria-prima produzida, do volume das câmaras frigoríficas e da potência dos compressores, com intuito de analisar o estado actual do desempenho, para que deste modo, o utilizador possa tomar decisões no sentido de melhorar o desempenho energético da sua empresa. Os resultados preliminares da aplicação prática desta ferramenta a um caso de estudo evidenciam a sua utilidade na ajuda à tomada de decisões na implementação de medidas de eficiência energética.

Futuramente, esta ferramenta computacional incluirá a análise a outras indústrias do sector das carnes, como sejam as salsicharias, as indústrias de presuntos, assim como a indústrias de outras fileiras do sector agro-industrial: peixe, lácteos, horto-frutícolas, vinho e vinha, distribuição, entre outros. Terá a capacidade de dar sugestões automatizadas no que se refere aos pontos a actuar para redução da factura energética. Em termos de *software*, a ferramenta de simulação será convertida num programa executável em qualquer computador.

## Agradecimentos

Este estudo encontra-se enquadrado nas actividades do projecto-âncora "InovEnergy – Eficiência Energética no Sector Agro-Industrial" englobado no Eixo Estratégico II - Plataformas para a Inovação e Intermediação e Transferência do Programa de Acção da associação INOVCLUSTER: Associação do Cluster Agro-Industrial do Centro.

O estudo foi financiado pelo Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN 2007-2013) - COMPETE/POFC (Programa Operacional Factores de Competitividade), SIAC - Sistema de Apoio a Acções Colectivas: 01/SIAC/2011, Ref.: 18642).

## Referências

- [1] FAO. *The state of food and agriculture-Livestock in the balance*. Italy. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 2009.
- [2] INE. *Estatísticas da Produção Industrial 2009*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, 2010.
- [3] Muller DCA, Marechal FMA, Wolewinski T, Roux PJ. *An energy management method for the food industry*. Applied Thermal Engineering 27, 2677-2686, 2007.
- [4] Ramírez CA, Patel M, Blok K. *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, 2006.
- [5] INE. *Consumos de electricidade*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, 2009.
- [6] AlQdah K. *Potential opportunities for energy savings in a Jordanian poultry company*. Energy Conversion and Management 51, 1651-1655, 2010.
- [7] Fritzson A, Berntsson T. *Efficient energy use in a slaughter and meat processing plant- opportunities for process integration*. Journal of Food Engineering 76, 594-604, 2006.
- [8] Fritzson A, Berntsson T. *Energy efficiency in the slaughter and meat processing industry-opportunities for improvements in future energy markets*. Journal of Food Engineering 77, 792-802, 2006.
- [9] Gígiel A, Collett P.. *Energy consumption, rate of cooling and weight loss in beef chilling in UK slaughter houses*. Journal of Food Engineering 10, 255-273, 1989.
- [10] Gígiel A, Hoder D.. *The energy consumption in meat plants with slaughterhouses*. ICHEME symposium series n.º, pp. 309-314, 1992.
- [11] Herbert LS, Anderson J, Buhot JW, Larnach WK. *Test of an electrical energy saving technique in an Australian abattoir*. International Journal of Refrigeration 7, 190-193, 1984.
- [12] Alpalhão F. *Estudo Sectorial da Indústria de Alimentação e Bebidas*, in: CCE, DGE (Eds.), Lisboa, 1997.
- [13] Nunes J, Silva PD, Andrade LP. *Energetic efficiency evaluation in refrigeration systems of meat industries*. 23<sup>rd</sup> International Congress of Refrigeration - ICR 2011, August 21 - 26 - Prague, Czech Republic, 2011.