

Cool-OP: Cooling Optimization Program - Ferramenta computacional para avaliação da eficiência energética de empresas de frio industrial no sector alimentar

D. Neves¹, P.D. Gaspar², P.D. Silva³, J. Nunes⁴, L.P. Andrade⁵

^{1, 2, 3}-Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Eletromecânica, Rua Marquês d'Ávila e Bolama, 6200 Covilhã, Portugal. e-mail: ¹ diogopneves@gmail.com; ² dinis@ubi.pt; ³ dinho@ubi.pt

^{4, 5}-Instituto Politécnico de Castelo Branco; Av. Pedro Álvares Cabral n.º 12, 6000 Castelo Branco, Portugal. e-mail: ⁴ jnunes@ipcb.pt; ⁵ luispa@ipcb.pt

Tópico de Conferência - CT9

Resumo

O processamento de alimentos e a sua conservação representam fatores decisivos para a sustentabilidade do planeta dado o crescimento significativo da população mundial nas últimas décadas. Por esse motivo, a refrigeração dos produtos alimentares tem vindo a ser objeto de estudo e aperfeiçoamento de modo a ser possível garantir o abastecimento de alimentos com boa qualidade, controlando a qualidade do frio durante os processos de fabrico e armazenamento. Foi com o intuito de promover uma melhoria do desempenho energético das indústrias do frio que se desenvolveu uma ferramenta computacional para análise do comportamento de um conjunto de parâmetros característicos. Esta ferramenta computacional foi aplicada a três situações reais e os resultados são promissores.

Palavras-chave: Eficiência Energética, câmaras de frio, ferramenta computacional, Matlab, GUIDE, indústria de frio.

1. Introdução

São diversas as temáticas que são alvos de pesquisa ou estudos científicos, e tanto a sustentabilidade como a segurança alimentar não fogem à exceção. No início do século XX, a população mundial rondava 1500 milhões de pessoas, no entanto, com o passar de um século, o número de habitantes subiu para aproximadamente 7000 milhões [1]. Consequentemente, a procura de alimentos é cada vez maior, tornando-se imperativo encontrar soluções a curto prazo que visem a sustentabilidade do planeta e produtos alimentares com qualidade à população, colocando-se uma enorme pressão sobre a cadeia de produção alimentar e na conservação dos alimentos. É neste contexto que o arrefecimento desempenha um papel importante, permitindo fazer o armazenamento de alimentos em épocas de maior produção, quando o mercado não tem capacidade para escoamento do produto, ou apenas para que estejam disponíveis quando necessários. A refrigeração por si só é um processo com a capacidade de preservar os produtos garantindo que estes mantêm as suas características químicas, físicas e nutricionais, mas que também é indispensável no processamento de alimentos perecíveis, nomeadamente da carne e os seus derivados. Outra temática que também tem influência direta neste assunto é a energia, dado que representa um fator de máxima importância não só para a economia do país, mas sobretudo para o bem-estar dos seus cidadãos. Em 1971 registou-se um consumo mundial de eletricidade na ordem dos 439 Mtep e, em 2010, este valor subiu para 1536 Mtep [2], um aumento correlacionado com o aumento da população, sendo a indústria responsável por cerca de 35,2% do consumo de energia a nível mundial em 2010. Resumidamente, pode afirmar-se que a energia consumida a nível mundial em processos de refrigeração representa 15% do consumo de energia a nível mundial [1]. Para uma melhor noção da dimensão e da importância desta temática, verifica-se que a produção mundial de carne em 1999 foi cerca de 229 milhões de toneladas e estima-se que em 2050 este valor duplique para 470 milhões de toneladas [1]. No caso concreto de Portugal, foi a indústria da carne que em 2009 teve o maior índice de volume de negócios dentro do sector alimentar [1].

Assim, considera-se relevante o desenvolvimento de estudos e ferramentas que permitam melhorar a eficiência dos processos industriais de processamento e de refrigeração associados ao sector agroindustrial, garantindo-lhes uma melhor sustentabilidade. Porém, é de salientar

que são escassos os estudos ou projetos desenvolvidos nesta área, mais concretamente na criação de ferramentas computacionais que permitam fazer uma análise de diversos pontos relacionados com os processos de refrigeração (tanto a nível de consumos de energia como de impacto ambiental) e com as respetivas empresas com o objetivo de reduzir custos. Neste sentido, Gogou *et al.* [3] descrevem o FRISBEE (*Food Refrigeration Innovations for Safety, consumers Benefit, Environmental impact and Energy*), que consiste numa ferramenta computacional criada no âmbito de um projeto com o mesmo nome destinado à avaliação da qualidade, da energia e do impacto ambiental da cadeia de frio Europeia. Este programa permite prever a temperatura dos produtos sobre determinadas circunstâncias e de calcular a validade/qualidade de determinado alimento em diferentes estágios da cadeia de frio. Para se desenvolver um trabalho deste género é necessário recolher uma grande quantidade de informação e incorporá-la numa base de dados. Para tal, uma vez que se trata de um projeto europeu, foi criada uma plataforma na internet para facilitar a recolha e o tratamento dos mesmos, que conta já com mais de 5500 registos [3]. Os dados introduzidos nesta plataforma são organizados de acordo com os seguintes campos: fase da cadeia de frio; intervalo de temperatura de armazenamento dos alimentos; caracterização do alimento; tipo de alimento; produto alimentar; embalagem; e país de origem. Esta ferramenta computacional é inovadora não só pelo seu próprio conceito ao permitir simular determinados comportamentos da cadeia de frio a nível europeu, mas principalmente porque possui três vertentes muito importantes na refrigeração: a qualidade do produto refrigerado, o consumo de energia para refrigerar o mesmo e o seu impacto ambiental. Note-se que este último é contabilizado quer através das emissões de CO₂ para a produção da eletricidade, quer pela escolha dos gases utilizados na refrigeração. O FRISBEE abrange cinco categorias de alimentos, nomeadamente a fruta, a carne, o peixe, os lacticínios e os vegetais [4] e é com base na seleção de determinada categoria que os resultados são apresentados. Os objetivos deste projeto para a gestão das cadeias de frio consistem na recolha de dados sobre as diferentes fases do processo da cadeia recorrendo à plataforma online dando depois entrada na base de dados. Seguidamente são construídas várias sequências de cadeias de frio desde o início até ao fim do processo de determinado produto. Esta informação é incorporada na ferramenta computacional criada, FRISBEE CCP (*Cold Chain Predictor*) [5], que posteriormente permitirá realizar simulações sobre condições específicas definidas pelo utilizador, construindo gráficos representativos da variação da temperatura ao longo do tempo e estimando o restante tempo de validade do produto. Estas simulações são realizadas com base no método de Monte Carlo [3] gerando distribuições de tempo/temperatura para a fase da cadeia de frio e o produto selecionado. Os resultados obtidos representam cenários realistas para o comportamento dos produtos alimentares e com base nestes torna-se possível tomar ações corretivas com o objetivo de otimizar a eficiência da cadeia de frio garantindo a qualidade dos produtos e aumentando a sua validade. Esta ferramenta destina-se a disponibilizar ferramentas e informação gratuita aos gerentes, designers e operadores da indústria do frio otimizando a eficiência das suas empresas. Neste mesmo contexto, Foster *et al.* [6] descrevem o ICE-E (*Improving Cold Storage Equipment in Europe*) [7] destinado à criação de ferramentas com os mesmos objetivos num outro projeto. Este visa a redução do consumo de energia e da emissão dos gases de estufa da indústria do frio através da aplicação de equipamentos mais eficientes e tendo sempre em conta as normas de energia e ambientais da EU. A base de dados deste projeto engloba não só pequenas e médias empresas mas também grandes multinacionais, sendo os dados recolhidos através de uma plataforma online. No entanto, é ainda possível solicitar uma auditoria no local a uma determinada empresa se assim se desejar, uma vez que está disponível uma equipa de 25 engenheiros com esse propósito [6]. Ao nível de complexidade, o FRISBEE é um projeto mais elaborado englobando cálculos e modelos matemáticos com maior rigor, uma base de dados extensa, e avalia não só a componente de eficiência energética e de impacto ambiental (poluição e emissões de CO₂) [7], tal como o ICE-E, mas também analisa a qualidade dos alimentos refrigerados com os respetivos indicadores de segurança e qualidade. Convém ainda referir que ambos englobam a utilização gratuita de ferramentas computacionais para que qualquer proprietário de uma empresa do sector possa fazer uma caracterização energética da sua empresa sabendo a poupança expectável caso o seu consumo seja excessivo. Adicionalmente, Eden *et al.* [8] descrevem o CHILL-ON [9], que consiste num projeto desenvolvido na mesma área e com preocupações semelhantes. No entanto, é de salientar

que este projeto foca-se sobretudo na qualidade dos produtos refrigerados, principalmente peixe e aves, fazendo um estudo profundo ao nível da microbiologia, tendo desenvolvida uma ferramenta computacional, o QMRA (*Quantitative Microbial Risk Assessment*) [10], que combinada com o princípio do *Hazard Analysis and Critical Control Points* permite melhorar a qualidade e a segurança dos alimentos numa abordagem preventiva. Mais concretamente, estas ferramentas permitem estimar o risco do crescimento de patogénicos com base nas temperaturas e nas características químicas e nutricionais dos alimentos. Como resultado desenvolveu-se o SLP (*Shelf Life Predictor*) [9], com capacidade para prever o verdadeiro e restante tempo de validade dos alimentos. Para além da qualidade e da segurança dos alimentos outra vertente deste projeto é o rastreamento (*traceability*) dos mesmos de modo a saber os locais onde se encontram em tempo real para que o consumidor possa usufruir de uma informação fidedigna quanto à origem dos alimentos e para que o seu processo de fabrico desde a recolha de matéria-prima até à ultimateção possa ser acompanhado ajudando assim a assegurar a qualidade e a segurança. Para além disso é ainda abrangido pelo CHILL ON, o desenvolvimento de novas tecnologias na área da refrigeração bem como a introdução de “*smart labels*”. Estas etiquetas são chamadas de TTIs (*Time Temperature Indicators or Integrators*) [10] e refletem o tempo e a temperatura a que determinado produto esteve sujeito. O seu princípio é baseado em fatores enzimáticos, microbiológicos e químicos dependentes da temperatura, variando assim a coloração das mesmas. Associando a esta tecnologia o RFID (*Radio Frequency Identification*), tornou-se possível enviar um sinal ótico e eletrónico através de uma ligação wireless diretamente para um software que calcula a restante validade do produto.

Butler *et al.* [11] descrevem um outro projeto europeu, o NIGHT WIND, que se pode relacionar com estas temáticas. O seu principal objetivo consiste na redução do consumo de energia da indústria do frio. O conceito deste projeto é muito simples, passando por fazer das câmaras de frio existentes, “baterias” gigantes que irão acumular frio [11], ou seja, energia. Propõe-se a criação de um software que faça a gestão da temperatura dos armazéns de frio tendo em conta o preço da eletricidade e o perfil de consumo diário da empresa. Por outras palavras, pode-se indicar que os compressores irão trabalhar durante os períodos em que a eletricidade é mais barata por ter uma procura menor, de modo a acumular energia na forma de frio para utilizar racionalmente nas horas de pico [12]. No entanto, este procedimento é somente aplicável caso as instalações tenham capacidade para armazenar o frio necessário durante o dia.

2. Projeto InovEnergy

É neste contexto que se justifica a implementação de um projeto com a natureza e os objetivos do InovEnergy, dirigido precisamente à identificação dos perfis de consumo energético atuais das unidades agroindustriais e à promoção e desenvolvimento de ações que contribuam para uma melhoria efetiva da eficiência energética e da competitividade deste sector. Trata-se de um projeto financiado pelo governo Português e carácter nacional. O trabalho desenvolvido e apresentado neste artigo insere-se numa das atividades do projeto e tem por objetivo a elaboração e implementação de um algoritmo de análise, denominado Cool-OP (*Cooling Optimization Program*), para ser validado com empresas fora do universo das empresas visitadas/estudadas, sendo considerado uma ferramenta de apoio à tomada de decisões estratégicas, a nível empresarial, permitindo perspetivar o desempenho energético de uma empresa utilizadora de frio, apontando soluções que conduzam a uma melhoria efetiva da eficiência energética. O projeto InovEnergy conta com parcerias entre cinco Universidades e três Associações com o objetivo de caracterizar a indústria Portuguesa no que toca ao sector agroindustrial. Reforça-se a ideia de que o projeto não visa a caracterização individual das várias unidades utilizadoras de frio no seu processo produtivo, mas sim a caracterização por fileira, nomeadamente na fileira das carnes, do peixe, dos lacticínios, dos hortofrutícolas, do vinho e vinha e da distribuição de forma a obter dados reais que possam constituir no input do modelo/algoritmo.

Convém referir que no caso concreto de Portugal, em 2011, o número de pequenas e médias empresas rondava os 1.112.000, oferecendo emprego a cerca de 78,5% da população portuguesa empregada [13], fator que caracteriza a economia portuguesa. Para além disso,

de acordo com um estudo efetuado pela OCDE (Organização para a Cooperação do Desenvolvimento Económico), Portugal foi considerado, em 2005, como um dos países cuja população possuía menos habilitações literárias ficando ao nível do Brasil e da Turquia. No estudo foram inquiridos indivíduos entre os 25 e os 65 anos de idade pertencentes à população ativa, e 59% destes possuíam habilitações literárias inferiores ao sexto ano de escolaridade [14], enquanto na Dinamarca, país europeu, este valor era de apenas 1%. Esta conjuntura foi tida em consideração para o desenvolvimento da ferramenta computacional descrita no presente artigo. Neste contexto, foi criada uma ferramenta computacional extremamente simples, intuitiva e de fácil compreensão de modo a estar acessível a todos os operários da indústria do frio independentemente das suas habilitações.

Após uma recolha intensiva de dados no terreno sobre as características de uma determinada amostra de empresas, foram desenvolvidas correlações analíticas baseadas no trabalho de Nunes *et al.* [15] de modo a representar o comportamento médio, numa perspetiva energética, na indústria da carne existente no interior de Portugal.

Considerando as correlações representativas das diferentes fileiras, 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. Neste artigo irá aplicar-se a ferramenta na fileira das carnes, isto é, para a indústria dos matadouros, das salsicharias e dos presuntos.

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 atual da sua empresa em termos de consumo energético e possa verificar pontos sugestivos para redução do mesmo.

As correlações utilizadas foram criadas estatisticamente e incidem sobre vários parâmetros essenciais que caracterizam as empresas deste tipo de indústria, nomeadamente: a matéria-prima processada; o consumo de energia; o volume das câmaras de refrigeração; e a potência nominal dos compressores. Note-se que o parâmetro do consumo de energia contabiliza não só a energia consumida para a refrigeração ou processamento dos produtos, mas também os restantes gastos da empresa (iluminação, escritório e outros). Uma vez que as correlações que incorporam o programa foram desenvolvidas com base em valores reais recolhidos em empresas, torna-se imperativo definir o domínio de cada um dos parâmetros para que os resultados sejam válidos. Estas restrições de utilização da ferramenta computacional encontram-se expostas na Tabela 1.

Tabela 1 - Domínio de aplicação de cada um dos parâmetros da ferramenta computacional.

Industria	Matéria-prima [ton]	Volume das Câmaras [m ³]	Potência dos compressores [kW]
Matadouros	1000-5000	500-3000	25-300
Salsicharias	50-1100	10-1000	10-100
Presuntos	50-2500	1500-11000	80-350

3. Cool-OP - ferramenta computacional de previsão do desempenho energético

Como mencionado anteriormente, o programa permite avaliar o desempenho energético global de uma empresa no sector agroindustrial, sabendo que as câmaras frigoríficas são responsáveis por cerca de 60 a 70% [16] do consumo total, sendo por isso alvo de grande análise. O programa apresentado neste estudo surge na sequência do trabalho desenvolvido no mesmo projeto por Santos *et al.* [17-18] e contém correlações apenas de empresas da Beira interior desenvolvidas por Nunes *et al.* [15]. Inicialmente é apresentada uma janela contendo uma breve descrição do programa, informando o utilizador sobre os dados a introduzir (inputs) de modo a estar apto a fazer uma simulação nos passos seguintes (ver Figura 1).



Figura 1 - Janela inicial da ferramenta computacional.

No menu seguinte é possível seleccionar qual a indústria em que se enquadra a empresa a analisar (ver Figura 2-a)), nomeadamente a indústria da carne, do peixe, da fruta/vegetais e dos produtos derivados de leite. Dentro de cada uma das diferentes fileiras deste sector existem subcategorias e no caso concreto que se vai analisar, Indústria da Carne, encontram-se os matadouros, as salsicharias e os presuntos (ver Figura 2-b)). Posteriormente é exibida uma janela onde são introduzidos os valores dos parâmetros que irão caracterizar a empresa: quantidade de matéria-prima processada anualmente [ton], consumo de energia eléctrica anual [MWh], volume total das câmaras de refrigeração [m³] e potência nominal dos compressores [kW]. Note-se que é sempre possível voltar ao menu anterior ou fechar a janela utilizando os respetivos botões de navegação. Qualquer uma das subcategorias da indústria de carne abre uma janela idêntica à da Figura 2-c), solicitando os mesmos elementos.



Figura 2 - a) Janela do Menu; b) Janela do menu das Carnes; c) Janela de introdução de parâmetros para os Matadouros.

Após a introdução correta dos dados respeitando as unidades do sistema e o domínio válido de cada parâmetro, prime-se o botão “Continuar” para que o utilizador tenha acesso aos resultados gerais que sumarizam o estado energético atual da empresa. Na presente janela (ver Figura 3) o programa processa de imediato a informação introduzida anteriormente, gerando os gráficos que relacionam os diversos parâmetros de avaliação da empresa. Todos os gráficos apresentados possuem um sombreado a verde que representa um intervalo de confiança de 5% tendo em conta os valores estatísticos utilizados para criar as correlações. Para além disso, é ainda exibido em cada gráfico o valor percentual do desvio do ponto em análise (ponto da empresa) face ao valor da média nacional portuguesa. Caso se queira analisar um gráfico em particular, é possível pressionar o botão acima do mesmo abrindo uma nova janela.

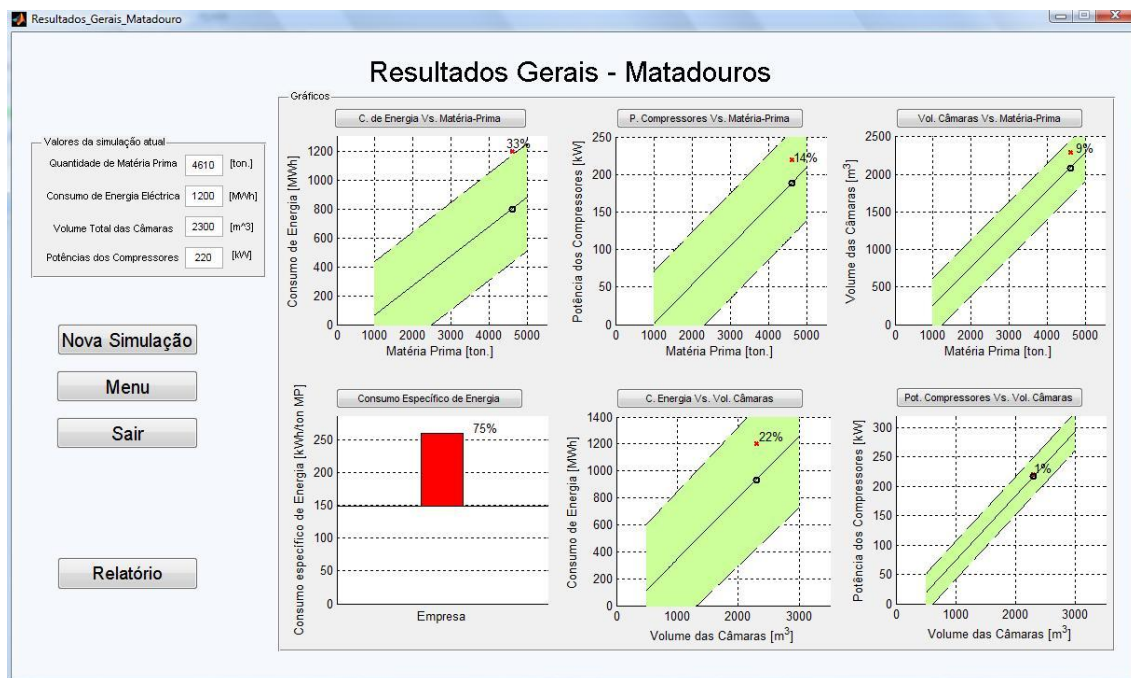


Figura 3 - Janela dos resultados gerais com um exemplo de simulação.

4. Apresentação das empresas e simulação de resultados

Para validar a ferramenta foram selecionadas três empresas, doravante denominadas de empresa A, empresa B e empresa C, uma para cada subcategoria da indústria da carne, e que não tenham feito parte dos dados estatísticos utilizados no desenvolvimento dos algoritmos.

A empresa A, consiste num matadouro com 12 anos de atividade, tendo no seu quadro 13 trabalhadores. De acordo com a legislação portuguesa é classificada como sendo uma micro empresa e dedica-se à produção de carnes, processando anualmente cerca de 1473 toneladas de matéria-prima onde se inclui carne de bovino e de suíno. Nas suas instalações encontram-se nove câmaras de frio (exclusivamente para refrigeração) com um volume global de cerca de 638 m³. Os compressores existentes nas instalações possuem uma potência nominal total de 43 kW distribuída igualmente por quatro compressores Bitzer (circuito central direto). O consumo global de energia anual é de 209 MWh. Introduzindo estes valores na ferramenta computacional obtêm-se os resultados expostos na Figura 4.

A empresa B trabalha no sector da carne, mais concretamente com presuntos, e conta com uma experiência de 24 anos de atividade tendo no seu quadro técnico 15 trabalhadores. De acordo com a legislação portuguesa é classificada como sendo uma pequena empresa e dedica-se à produção de carnes, processando anualmente cerca de 2029,5 toneladas de matéria-prima exclusivamente carne de suíno. Nas suas instalações encontram-se dezoito câmaras de frio (congelamento, refrigeração e secagem artificial) com um volume global de cerca de 6668 m³. Os compressores existentes nas instalações possuem uma potência nominal total de 221 kW distribuída por 18 compressores da marca Bitzer, Copeland e Dorin (circuitos de refrigeração individual). O consumo global de energia anual é de 1662.05 MWh. Introduzindo estes valores na ferramenta computacional obtêm-se os apresentados na Figura 5.

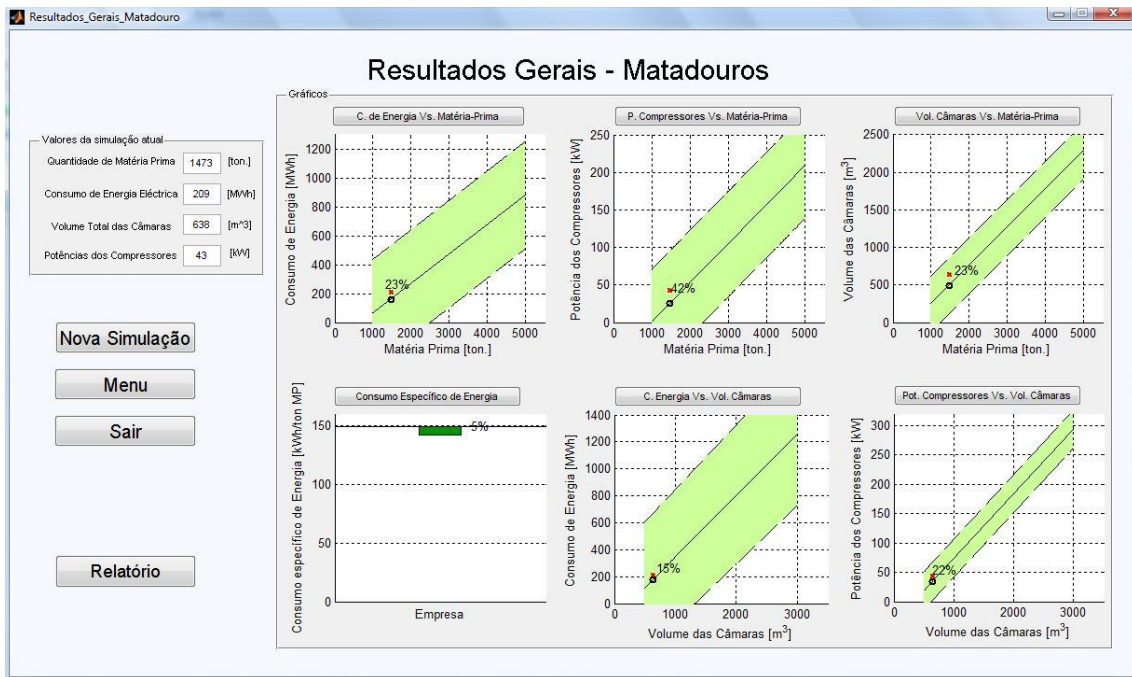


Figura 4 - Resultados gerais Empresa A.

A empresa C consiste numa salsicharia com 15 anos de atividade, tendo no seu quadro 4 trabalhadores. De acordo com a legislação portuguesa é classificada como sendo uma micro empresa e dedica-se à produção de carnes, processando anualmente cerca de 44,8 toneladas de matéria-prima nomeadamente carne de suíno. Nas suas instalações encontram-se três câmaras de frio (apenas refrigeração) com um volume global de cerca de 142 m³. Os compressores existentes nas instalações possuem uma potência nominal total de 10,52 kW distribuída por 4 compressores da marca Bitzer (circuitos de refrigeração individual). O consumo global de energia anual é de 22,1 MWh. Introduzindo estes valores na ferramenta computacional obtêm-se os apresentados na Figura 6.

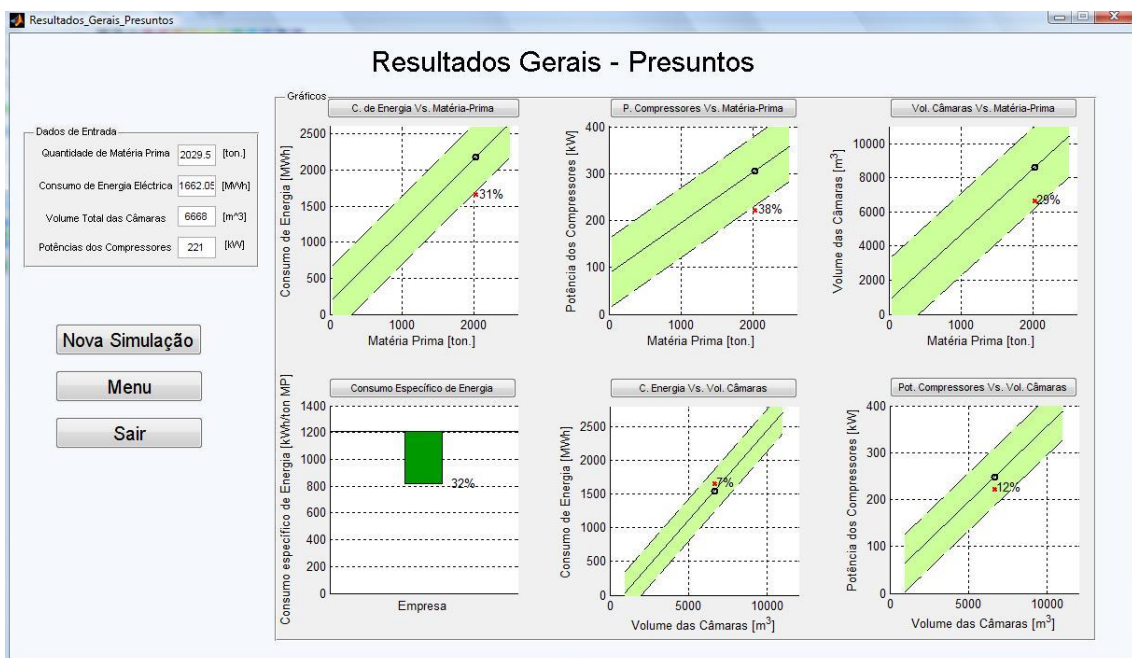


Figura 5 - Resultados gerais Empresa B.

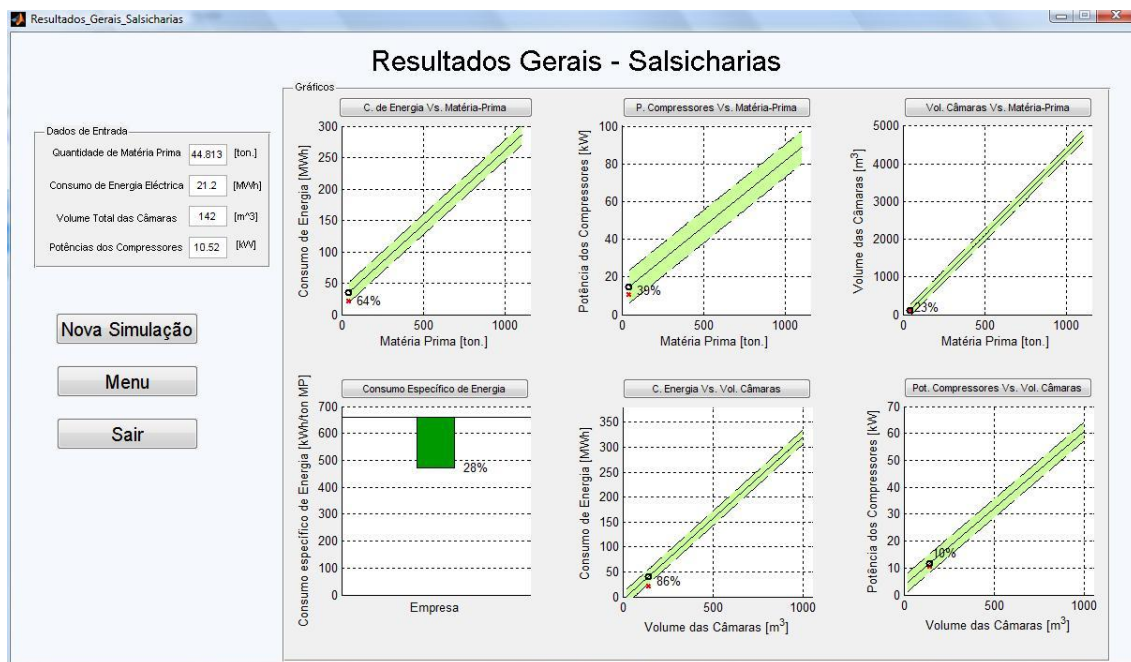


Figura 6 - Resultados gerais Empresa C.

5. Análise de resultados

Com base nos valores apresentados nos resultados, é de notar que todas as empresas apresentam valores de consumo específico de energia abaixo da média, caracterizando-as como empresas competitivas. No caso concreto da empresa A, repare-se que em todos os gráficos lineares da Figura 4 que comparam dois parâmetros existe sempre um pequeno incremento face à média nacional, como por exemplo no Consumo de energia em ordem à matéria-prima, sendo o valor de 23% acima da média. Deste gráfico conclui-se que para o consumo de energia anual da empresa, 209 MWh, seria expectável que processasse mais matéria-prima (aproximadamente 2000 toneladas). No gráfico que relaciona o volume das câmaras com a matéria-prima torna-se perceptível que as câmaras têm capacidade para armazenar mais 23% da carne processada anualmente. Algo importante de salientar consiste no facto de que todos os valores dos pontos de análise em cada gráfico se encontram dentro do intervalo de confiança de 5% (sombreado a verde). Por fim, o gráfico do consumo específico de energia permite concluir que esta empresa tem um consumo de 5% abaixo da média nacional sendo por isso mais eficiente e competitiva tendo vantagem face às restantes com consumo superior, podendo praticar preços mais competitivos.

Relativamente à empresa B, é de referir que das empresas analisadas esta é a que possui um quadro técnico com mais pessoal e laborando há mais tempo no sector, sendo por isso de maior dimensão. Posto isto é de esperar que os valores dos parâmetros introduzidos sejam também superiores. Numa primeira análise observa-se que a maioria dos valores expostos nos gráficos da Figura 5 se encontra dentro do intervalo de confiança ou mesmo abaixo deste. No primeiro gráfico, onde se compara o consumo de energia com a matéria-prima processada, nota-se que a empresa tem um consumo 31% abaixo do esperado, podendo logo apontar que é uma empresa competitiva. No entanto, ao analisar os restantes gráficos, nomeadamente o gráfico que compara a potência nominal dos compressores com a quantidade de matéria-prima é evidente que a potência dos mesmos é 38% inferior ao padrão nacional. No que toca ao consumo elétrico de energia e à potência nominal dos compressores quando comparado com o volume das câmaras, os valores encontram-se dentro do intervalo de confiança, sendo de 7% acima da média e de 12% abaixo da média, respetivamente. Estes valores são justificáveis como um possível consumo de energia em excesso e uma potência dos compressores inferior ao esperado, porque no gráfico que compara o volume das câmaras com a quantidade de matéria-prima prevê-se um valor 29% abaixo do esperado, permitindo à empresa processar mais matéria-prima caso seja necessário, ajustando assim os valores do

quinto e do sexto gráficos. No entanto é de realçar que todos estes valores se encontram dentro do intervalo de confiança. O consumo específico de energia da empresa B assume um valor 32% abaixo da média nacional, sendo por isso a empresa mais eficiente das analisadas neste artigo.

A salsicharia analisada que corresponde à empresa C é a mais pequena das estudadas. Corresponde a uma micro empresa e os valores a introduzir nos parâmetros de avaliação do desempenho energético encontram-se no limite do domínio de validade dos resultados. No primeiro gráfico da Figura 6 observa-se que o consumo de energia se encontra 64% abaixo da média face à quantidade de matéria-prima processada. Nos restantes gráficos, as conclusões que se retiram são semelhantes sendo todos os valores analisados inferiores à média. A potência dos compressores é inferior ao previsto em 39% quando comparada com a matéria-prima, do mesmo modo que o volume das câmaras também é inferior em 23% quando comparado com a mesma. Observando agora o quinto e o sexto gráfico, onde se compara o consumo de energia elétrica e a potência nominal dos compressores com o volume das câmaras de refrigeração nota-se que os valores analisados são inferiores à média 86% e 10% respetivamente. O valor do quinto gráfico (86%) encontra-se fora do intervalo de confiança, o que se deve ao facto de a quantidade de matéria-prima processada ser inferior em 23% face à capacidade do volume das câmaras, diminuindo assim o consumo de energia numa grande variação face ao previsto. Recorrendo novamente ao gráfico 1 é evidente que se a empresa processar mais quantidade de matéria-prima, o consumo de energia irá aumentar. Por fim, ao avaliar o gráfico que representa o consumo específico de energia, esta empresa desfruta de um gasto de energia inferior em 28% quando comparado com a média prevista.

É de salientar que estas conclusões são meramente indicativas, e permitem aos gerentes de empresas do sector agroindustrial tomar conhecimento sobre o posicionamento da sua empresa relativamente à média nacional em termos de eficiência energética. Porém, qualquer modificação na empresa ou alteração dos processos deverá ser baseada num estudo *in-situ* detalhado sobre os consumos de energia dos diferentes dispositivos que fazem parte do processo produtivo e de refrigeração, tendo em consideração as diferentes ineficiências que poderão existir.

6. Conclusões

Este artigo apresenta uma versão da ferramenta computacional dirigida à fileira das carnes. A fim de demonstrar a sua aplicabilidade, casos de estudos de empresas nas subfileiras dos matadouros, indústria dos presuntos e salsicharias são apresentados. A partir da análise gráfica dos resultados de previsão são apresentadas algumas conclusões sobre o posicionamento do desempenho da empresa em relação à média nacional.

A ferramenta computacional Cool-OP permite fazer uma avaliação do desempenho energético de empresas do sector agroindustrial comparando diferentes parâmetros com os valores médios nacionais de modo a que o utilizador tenha a capacidade de concluir quais os possíveis pontos fracos ou fortes da entidade empresarial. O gráfico do consumo específico de energia é bastante conclusivo uma vez que relaciona o consumo de energia por tonelada de matéria-prima. No entanto é de mencionar que o programa desenvolvido consiste apenas numa ferramenta de auxílio a ser utilizada na análise do desempenho energético, sendo por isso necessário que o utilizador tenha sensibilidade para identificar possíveis problemas de origem técnica nas instalações da empresa.

Todavia, a análise não elimina a necessidade de um estudo mais detalhado para determinar as condições particulares que podem ser melhoradas, pois ao comparar os resultados obtidos nas várias simulações com uma visita no campo às respetivas empresas tornou-se claro que estas apresentaram condições de trabalho adequadas bem como a devida manutenção dos equipamentos, desde os compressores, às canalizações de refrigerante e o seu devido isolamento, até à qualidade e conservação das câmaras de refrigeração.

O estado atual da ferramenta computacional permite que o utilizador insira os dados de consumo anual de energia, matéria-prima processada anualmente, volume de câmaras de refrigeração e potência nominal dos compressores. Com estas previsões de desempenho, o utilizador pode decidir como melhorar o desempenho energético da sua empresa. A aplicação prática desta ferramenta demonstra a sua utilidade em ajudar a tomada de decisão na

implementação de medidas de eficiência energética. No futuro, esta ferramenta irá incluir outras fileiras do setor agroindustrial, tais como: peixe, laticínios, hortofrutícolas, vinha e do vinho, distribuição, entre outros. Além disso, e tendo em consideração a fileira em que se integra a empresa em análise, irá fornecer sugestões automáticas para a melhoria do desempenho energético.

Agradecimentos

Este trabalho enquadra-se no projeto âncora “InovEnergy- Eficiência Energética no Setor Agroindustrial” inserido no Plano de Ação do InovCluster: Associação do Cluster Agroindustrial da região Centro. O estudo foi financiado pelo Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN 2007-2013) - COMPETE/POFC (Programa Operacional de Fatores Competividade), SIAC-Sistema de Apoio a Ações Coletivas: 01/SIAC/2011, Ref:18642.

Referências

- [1] Pachai, A.C.: "From Cradle to table - cooling and freezing of food". *ICCC 2013*, Paris, France, 2013.
- [2] IEA: 2012 *Key World Energy Statistics*, International Energy Agency (IEA), 2012.
- [3] Gogou, E., Katsaros, G., Derens, E., Li, L., Alvarez, G., Taoukis, P.: "Development and applications of the European Cold Chain Database as a tool for cold chain management", *ICCC 2013*, Paris, France, 2013.
- [4] Food Refrigeration Innovations for Safety, consumers Benefit, Environmental impact and Energy optimisation along the cold chain in Europe.
- [5] Stahl, V., Alvarez, G., Derens, E., Hoang, H. M., Lintz, A., Hezard, B., El Jabri, M., Lepage, J. F. Ndoye, F. T., Thuault, D., Gwanpua, S. G., Verboven, P., Geeraerd, A.: "An essential part of the frisbee software tool: Identification and validation of models quantifying the impact of the cold chain on the RTE pork products", *ICCC 2013*, Paris, France, 2013.
- [6] Foster, A., Zilio, C., Corradi, M., Reinholdt, L., Evans, J.: "Freely available cold store energy models", *ICCC 2013*, Paris, France, 2013.
- [7] *ICE-E Improving cold storage equipment in europe*, 2013.
- [8] Eden, M., Colmer, C.: "Improved Cold Chain Management: efficiency and food safety through international project results", *Food Safety and Technology* 24(1) (2010), pp. 30- 32.
- [9] Welcome to the Chill-on Project, <http://www.chill-on.com/>.
- [10] Colmer, C., Kuck, M., Lohmann, M., Bunke, M.: "Novel Technologies to improve safety and transparency of the chilled food supply chain", *Innovation in the nordic marine sector*, Maio, 2009.
- [11] Butler, D.: "Fridges could save power for a rainy day", *Nature*, 2007.
- [12] Saint Trofee - Refrigeration Tools, <http://www.nightwind.eu/night-wind.html>
- [13] IAPMEI, PME em números, <http://www1.ionline.pt/conteudo/37754-populacao-activa-portuguesa-e-das-que-tem-menos-habilitacoes-literarias->
- [14] Ionline, <http://www1.ionline.pt/conteudo/37754-populacao-activa-portuguesa-e-das-que-tem-menos-habilitacoes-literarias->
- [15] Nunes, J., Silva, P.D., Andrade, L.P.: "Energetic efficiency evaluation in refrigeration systems of meat industries", *Proc. 23rd International Congress of Refrigeration - ICR 2011*, August 21 - 26, Prague, Czech Republic, 2011.
- [16] Evans, J.A., Hammond, E.C., Gigiél, A.J., Reinholdt, L., Fikiin, K., Zilio, C.: "Improving the energy performance of cold stores", *ICCC 2013*, Paris, France, 2013
- [17] Santos, R., Nunes, J., Silva, P.D., Gaspar, P.D., Andrade, L.P.: "Ferramenta computacional de análise e simulação do desempenho de unidades de conservação de carne através de frio industrial", *Proc. VI Congreso Ibérico y IV Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío (CYTEF-2012)*, Madrid, Spain, February, 2012.
- [18] Santos, R., Nunes, J., Silva, P.D., Gaspar, P.D., Andrade, L.P.: "Computational tool for the analysis and simulation of cold room performance in perishable products industry", *ICCC 2013*, Paris, France, 2013.