ROTEIRO PARA A
DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR AGROALIMENTAR

PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO E DE DIGITALIZAÇÃO PARA O SETOR AGROALIMENTAR

PORTUGAL FOODS
Atlantic meets Mediterranean
desde 2009
INOVCLUSTER
Associação do Cluster Agro-industrial do Centro
PRR
Plano de Recuperação e Resiliência
REPÚBLICA PORTUGUESA
Financiado pela União Europeia
NextGenerationEU

Índice de conteúdos

1. Enquadramento 1

2. Inventário de tecnologias de descarbonização e de digitalização disponíveis para o setor 3

3. Descrição de tecnologias emergentes disponíveis para a descarbonização do setor 10

3.1 Secagem solar para intermediários orgânicos e polpas 11

3.2 Secadores industriais com bombas de calor 11

3.3 Aquecimento com micro-ondas 12

3.4 Aquecimento óhmico 13

3.5 Campos elétricos pulsados para aquecimento e pasteurização 14

3.6 Pasteurização por processamento de alta pressão 15

3.7 Refrigeração magnética 15

4. Conclusões 16

Índice de figuras

Figura 1- Esquema representativo de um desidratador solar. (Rahman & Hasanuzzaman, 2022) 11

Figura 2- Princípio de funcionamento de uma bomba de calor.(Vulcano, 2024) 12

Figura 3 - Espetro eletromagnético. (Khan Academy, 2024) 13

Figura 4 - Relação entre a intensidade do campo elétrico e o efeito térmico e de eletroporação celular (Astráin-Redín et al., 2024). 13

Figura 5 - Diagrama de tratamento de líquidos através de campos elétricos pulsados (câmara de tratamento). Inspirado em (Taha et al., 2022). 14

Figura 6 - Diagrama de operação de uma unidade HPP em modo batch, o produto é tratado na embalagem final. (Tomato News, 2024) 15

Figura 7 - Diagrama ilustrativo do princípio base da refrigeração magnética. (Kyle Magnetics, 2024) 15

1. Enquadramento

1 Enquadramento

Neste documento, numa primeira fase é feita a identificação das principais tecnologias emergentes de descarbonização e digitalização disponíveis para o setor agroalimentar e a avaliação do potencial impacto das mesmas em termos de redução de Gases de Efeito de Estufa (GEE), nomeadamente pela redução/poupança nos consumos de energia/calor.

A informação recolhida está estruturada em três tabelas diferentes, da seguinte forma:

- Estratégias e tecnologias com potencial de implementação num curto espaço de tempo e com um investimento associado baixo, na ordem de grandeza estimada de até 50 000€;
- Estratégias e tecnologias com potencial de implementação no médio prazo e com um investimento associado mais elevado, na ordem de grandeza estimada entre 50 000€ e 200 000€;
- Estratégias e tecnologias de maior investimento associado e/ou mais disruptivas, tendo o potencial de implementação no médio/longo prazo.

Numa segunda fase procedeu-se à seleção de tecnologias emergentes com maior potencial para contribuir para a descarbonização de processos produção de alimentos e bebidas. Como tal, estas tecnologias estão relacionadas com processos com uso intensivo de energia, como processos de:

- Secagem/desidratação;
- Aquecimento;
- Pasteurização;
- Separação;
- Refrigeração.

Caso as tecnologias apresentadas sejam aplicadas tanto individualmente como em conjunto de uma forma coerente permitirão obter ganhos de eficiência dos processos produtivos, com impacto potencial direto na redução da emissão dos gases com efeito de estufa (GEE).

Este documento tem como objetivo contribuir na definição de tecnologias a incorporar no Roteiro para a Descarbonização do Setor Agroalimentar, como proposta de medidas às empresas para a descarbonização do setor agroalimentar em Portugal.

2. Inventário de tecnologias de descarbonização e de digitalização disponíveis para o setor

2 Inventário de tecnologias de descarbonização e de digitalização disponíveis para o setor

Nesta secção apresenta-se a informação estruturada na forma de tabelas com a compilação de várias estratégias e tecnologias com potencial significativo para contribuírem para a descarbonização do setor agroalimentar, nas suas diferentes fileiras.

Na tabela 1 é feita a enumeração de várias estratégias e tecnologias com potencial de implementação num curto espaço de tempo e com um investimento associado na ordem de grandeza de até 50 000€.

Área de atuação	Estratégia/ Tecnologia	Fileira aplicável	Restrições	Requisitos e/ou barreiras para implementação	Potencial de redução de emissões
Sistemas de Gestão de energia [c]	Sistemas para a recolha e monitorização de dados relacionados com o uso de energia. Os sistemas fornecem análises sobre o uso de energia e identificam oportunidades para aumentar a eficiência.	Todas. *	Aplicável em plantas novas e já existentes. Aplicável em plantas pequenas e grandes.	Não existem requisitos nem barreiras específicas.	Poupança energética até 15%.
Fornecimento através de painéis fotovoltaicos [b]	Uso de painéis fotovoltaicos para gerar energia na planta.	Todas. *	Específico da localização.	Saída intermitente – pode exigir investimento adicional em baterias para armazenamento de energia.	Reduções estimadas de energia superiores a 10%.
Baterias combinadas com fontes de renováveis de energia [c]	Baterias para aumentar o uso de energia de fontes de renováveis.	Todas. *	Sem restrições técnicas.	Não existem requisitos nem barreiras específicas.	Reduções estimadas de energia superiores a 10%.
Arrefecimento através de fontes renováveis (energia) [b]	Arrefecimento fornecido por bombas de calor.	Todas. *	Sem restrições técnicas.	Não existem requisitos nem barreiras específicas.	Reduções estimadas de energia superiores a 10%.

Área de atuação	Estratégia/ Tecnologia	Fileira aplicável	Restrições	Requisitos e/ou barreiras para implementação	Potencial de redução de emissões
Recolha do calor de refrigeração [c]	Recolha e reutilização de calor residual que pode ser utilizado em diferentes processos.	Todas. *	Consideraçõ es relacionadas com o ar.	As oportunidades para recolha de calor devem ir de encontro à necessidade.	Reduções estimadas de energia superiores a 10%.
Otimização da voltagem [c]	Otimização de voltagem fixa ou eletrodinâmica para equipamentos na planta	Todas. *	Sem restrições técnicas	- Análises das características elétricas (voltagem, corrente, energia ativa) e qualidade da energia (distorção harmónica e eventos de baixa ou sobre carga energética). - Custos de instalação e disrupção do processo.	Poupança energética até 10%

[a] digitalização; [b] tecnologia de descarbonização; [c] metodologia de gestão.

* Carnes (CAE 1010, 10120, 10130, 10411, 10911, 10912); Lacticínios (CAE 10510); Bebidas alcoólicas (CAE 11011, 11012, 11013, 11030, 11040, 11050, 11060); Bebidas não alcoólicas (CAE 11071, 11072); Preparação e conservação de frutos e produtos hortícolas (CAE 10310, 10320, 10391, 10392, 10395); Cereais e Panificação (CAE 10611, 10612, 10613, 10620, 10711, 10712, 10720, 10730, 10891).

Na tabela 2 é feito o inventário de diversas estratégias e tecnologias com potencial de implementação no médio prazo e com um investimento estimado na ordem de grandeza entre 50 000€ e 200 000€.

Área de atuação	Estratégia/ Tecnologia	Fileira aplicável	Restrições	Requisitos e/ou barreiras para implementação	Potencial de redução de emissões
Aquecimento com micro-ondas [b]	Aquecimento com micro-ondas.	Todas. *	Distribuição de temperatura não-uniforme. Dependente das propriedades dielétricas dos alimentos.	Não existem requisitos nem barreiras específicas.	Reduções estimadas de calor superiores a 10%.
Eletrificação dos processos de pasteurização/ esterilização [b]	Eletrificação dos processos de pasteurização e esterilização.	Todas. *	Sem restrições técnicas.	Não existem requisitos nem barreiras específicas.	Reduções estimadas de calor superiores a 10%.
Separação com membranas (em vez de calor) [c]	Membranas poliméricas e cerâmicas utilizadas para separação no processamento alimentar e de bebidas e que contribuem para baixas temperaturas de operação.	Bebidas não alcoólicas (CAE 11071, 11072) e Lacticínios (CAE 10510).	Sem restrições técnicas.	Não existem requisitos nem barreiras específicas.	Poupança estimada de calor entre 5-10%.
Secadores industriais com bombas de calor [c]	Utilização de novas tecnologias de bombas de calor que utilizam calor excedente para produzir temperaturas adequadas para processos de secagem industrial.	Cereais e Panificação (10620).	As temperaturas produzidas atingem apenas os 160 ˚C. Se forem necessárias temperaturas mais elevadas, esta tecnologia poderá não ser adequada.	Não existem requisitos nem barreiras específicas.	Poupança estimada de calor entre 5-10%.

Área de atuação	Estratégia/ Tecnologia	Fileira aplicável	Restrições	Requisitos e/ou barreiras para implementação	Potencial de redução de emissões
Campos elétricos pulsados para pasteurização e esterilização [b]	Campos elétricos pulsados (do inglês PEF, Pulsed Eletric Fields) promove a eletroporação celular, um efeito não térmico que cria poros em membranas celulares, com grande eficiência na inativação microbiana e melhoria de transferência de massa em matrizes alimentares.	Todas. * (para conservação de líquidos, processos de extração ou modificação de textura)	Bolhas de ar levam a tratamento não-uniforme. Dependente do espaçamento dos elétrodos e intensidade de campo elétrico.	Elevado investimento inicial.	Consumo de energia pode ser reduzido até 40%.
Aquecimento óhmico [b]	Processo no qual uma corrente elétrica atravessa um determinado material com o objetivo principal de aquecê-lo.	Bebidas não alcoólicas (CAE 11071, 11072).	Depende da condutividade e densidade dos alimentos.	Matrizes alimentares com elevada viscosidade ou elevada concentração de açúcares, sais e lípidos interferem com o campo elétrico.	Reduções estimadas de energia de até 50%.

[a] digitalização; [b] tecnologia de descarbonização; [c] metodologia de gestão.
* Carnes (CAE 1010, 10120, 10130, 10411, 10911, 10912); Lacticínios (CAE 10510); Bebidas alcoólicas (CAE 11011, 11012, 11013, 11030, 11040, 11050, 11060); Bebidas não alcoólicas (CAE 11071, 11072); Preparação e conservação de frutos e produtos hortícolas (CAE 10310, 10320, 10391, 10392, 10395); Cereais e Panificação (CAE 10611, 10612, 10613, 10620, 10711, 10712, 10720, 10730, 10891).

A tabela 3 compila diferentes estratégias e tecnologias com potencial de implementação no médio/longo prazo e classificadas como de maior investimento associado e/ou mais disruptivas.

Área de atuação	Estratégia/ Tecnologia	Fileira aplicável	Restrições	Requisitos e/ou barreiras para implementação	Potencial de redução de emissões
Refrigeração alternativa (magnética) [b]	A refrigeração magnética utiliza o efeito magnetocalórico em sólidos magnéticos, onde certos tipos de metal (como gadolínio) aquecem quando magnetizados e arrefecem quando desmagnetizados. É utilizado um líquido para a transferência de calor quando o metal é magnetizado e posteriormente substituído por mais líquido para a fase de desmagnetização que absorve o arrefecimento e é utilizado para refrigeração.	Todas. *	Sem restrições técnicas.	Não existem requisitos nem barreiras específicas.	Refrigeração magnética é 30% mais eficiente do que a tecnologia convencional de refrigeração. Reduções estimadas de energia superiores a 10%.
Combustíveis verdes (H_2) [b]	Uso de hidrogénio e tecnologia de célula de combustível para produzir energia.	Todas (plantas grandes). *		- Hidrogénio verde competitivo, a baixo custo. - Infraestruturas de elevado custo.	Reduções estimadas de calor superiores a 10%.
Recuperação de calor [c]	Uso de alternadores de calor e bombas de calor para recuperar calor.	Todas. *	A recuperação de calor não é aplicável onde não existe procura que corresponda à curva de produção.	Não existem requisitos nem barreiras específicas.	Poupança estimada de calor entre 5-10%.

Área de atuação	Estratégia/ Tecnologia	Fileira aplicável	Restrições	Requisitos e/ou barreiras para implementação	Potencial de redução de emissões
Calor e energia solar concentrada [b]	Tecnologia que utiliza espelhos para concentrar e recolher calor. Pode ser utilizada diretamente ou utilizada para produzir energia.	Todas. *	Falta de opções em pequena escala para aplicações rurais/ fora da rede.	Elevados custos de investimento iniciais. Manutenção dos sistemas: espelhos têm de ser limpos a cada três ou quatro semanas.	Poupança estimada de calor entre 5-10%.
Biocombustíveis (biogás, por exemplo através de digestão anaeróbica) [c]	Utilização de biogás produzido por digestão anaeróbica ou tratamento anaeróbico de águas residuais, como combustível. Por exemplo, num motor a gás ou caldeira.	Todas. *	Sem restrições técnicas.	O motor/ caldeira é sensível a sulfito de hidrogénio e assim sendo tem de existir um sistema de purificação a montante para remoção deste composto.	O gás metano produzido pelo digestor anaeróbico é convertido numa fonte de energia. Adicionalmente, o digestor anaeróbico utiliza resíduos para os converter em produtos de valor acrescentado.
Tecnologias de pasteurização não térmica: - Pasteurização/ esterilização por processamento por alta pressão (HPP) [b]	Método de processamento de alimentos por pressão extremamente elevada para inativar microrganismos patogénicos, prolongando a vida útil e mantendo a qualidade.	Todas. *	Não inativa esporos. Alimentos têm de ter pelo menos 40% de água.	- Elevado custo de implementação. - Enquadramentos regulamentares para algumas categorias de produto.	-

a digitalização; b tecnologia de descarbonização; c metodologia de gestão.

* Carnes (CAE 1010, 10120, 10130, 10411, 10911, 10912); Lacticínios (CAE 10510); Bebidas alcoólicas (CAE 11011, 11012, 11013, 11030, 11040, 11050, 11060); Bebidas não alcoólicas (CAE 11071, 11072); Preparação e conservação de frutos e produtos hortícolas (CAE 10310, 10320, 10391, 10392, 10395); Cereais e Panificação (CAE 10611, 10612, 10613, 10620, 10711, 10712, 10720, 10730, 10891).

3. Descrição de tecnologias emergentes disponíveis para a descarbonização do setor

3 Descrição de tecnologias emergentes disponíveis para a descarbonização do setor

3.1 Secagem solar para intermediários orgânicos e polpas

A secagem direta de produtos alimentares com recurso a energia solar pode levar a contaminações dos produtos, devido a microrganismos transmissíveis por via aérea ou contaminação por poeiras. Com o avanço da tecnologia e de processos, os desidratadores solares aparecem como uma alternativa para secagem de baixo custo apesar do investimento inicial e, que garante um menor risco de contaminação dos produtos alimentares.

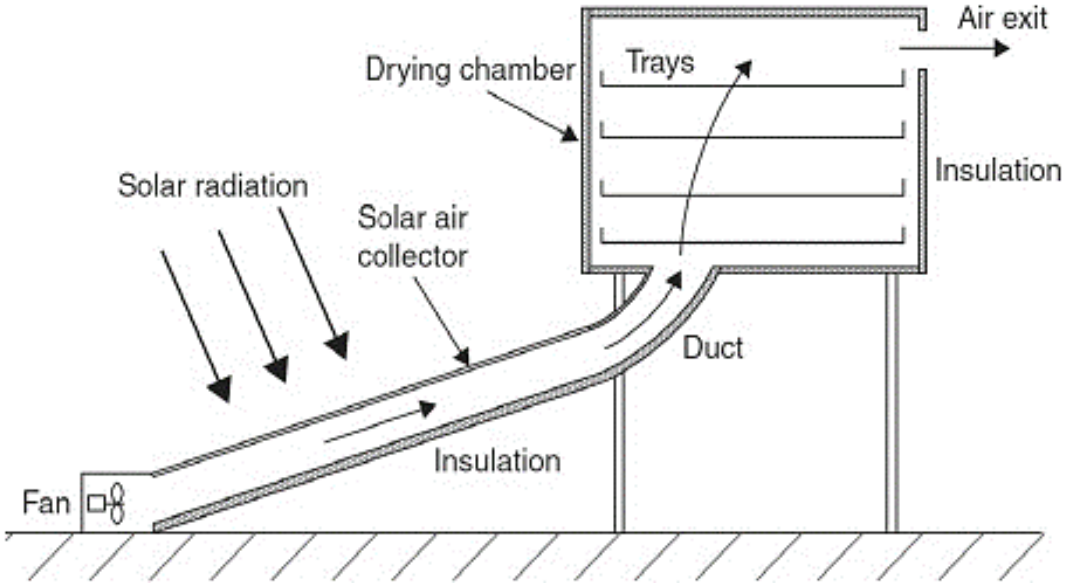

Figura 1- Esquema representativo de um desidratador solar. (Rahman & Hasanuzzaman, 2022)

3.2 Secadores industriais com bombas de calor

O recurso a secadores industriais com integração de bombas de calor é um método eficaz de garantir a secagem dos produtos com uma menor emissão de gases com efeito de estufa e consumo de combustível. As bombas de calor têm como princípio a aerotérmica, que é um sistema de climatização que utiliza a energia contida no ar e converte-a em aquecimento ou

arrefecimento. É uma tecnologia eficiente visto que é capaz de extrair cerca de 75% da energia do ar para o seu funcionamento.

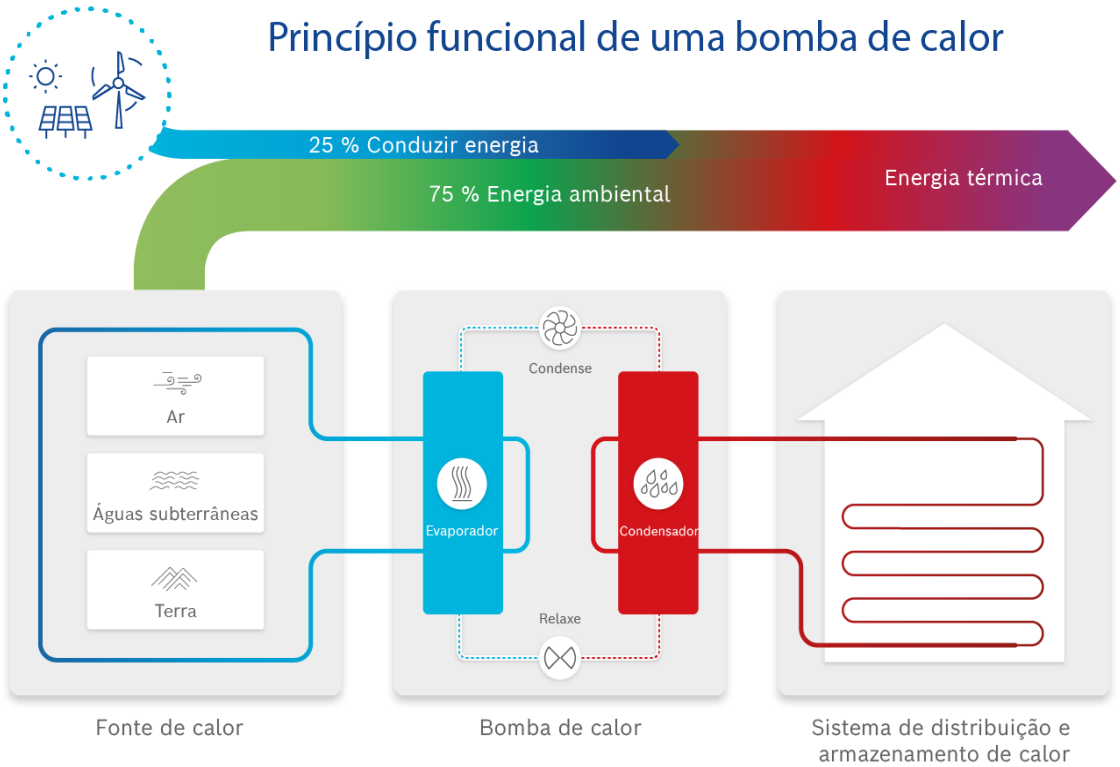

Figura 2- Princípio de funcionamento de uma bomba de calor.(Vulcano, 2024)

3.3 Aquecimento com micro-ondas

As micro-ondas consistem em ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda maiores do que os raios infravermelhos e menores do que o comprimento das ondas de rádio – Figura 3. Estas ondas são geradas por osciladores eletrónicos (válvulas magnetrão) e a frequência está relacionada com a sua capacidade de transportar energia.

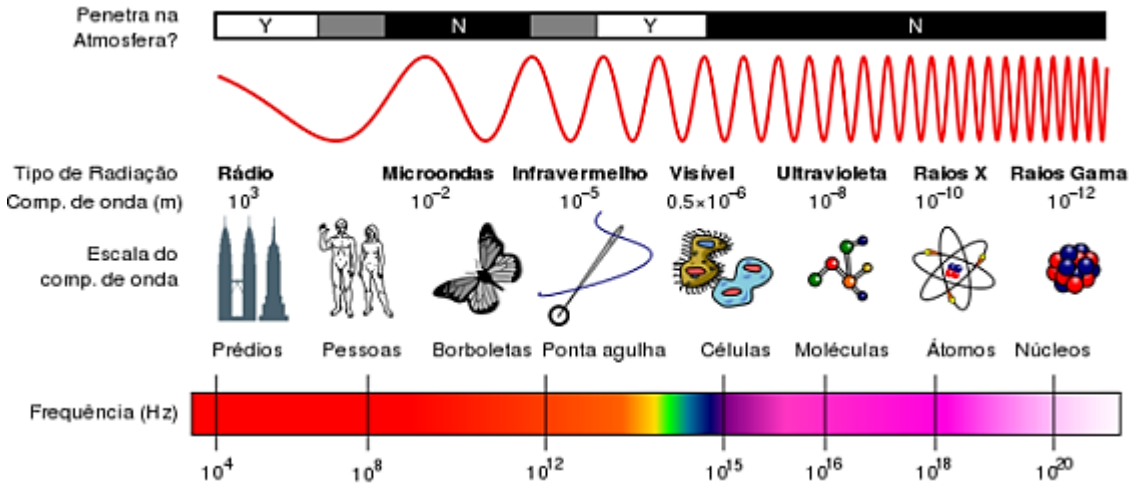

Figura 3 - Espetro eletromagnético. (Khan Academy, 2024)

3.4 Aquecimento óhmico

O tratamento térmico por aquecimento óhmico (OH) opera com campos elétricos baixos a moderados (<1000V/cm). A passagem da corrente elétrica pelo alimento, que lhe oferece resistência, leva à geração de calor no seu interior. Paralelamente, ao efeito do aquecimento por geração do calor, observa-se também o fenómeno de eletroporação, que consiste no rompimento celular induzido pela corrente elétrica – Figura 4.

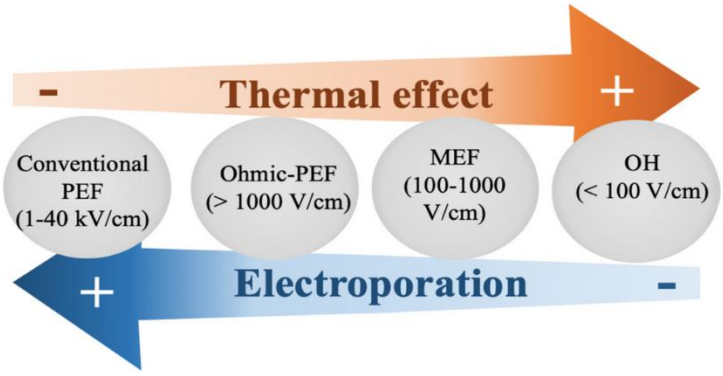

Figura 4 - Relação entre a intensidade do campo elétrico e o efeito térmico e de eletroporação celular (Astráin-Redín et al., 2024).

3.5 Campos elétricos pulsados para aquecimento e pasteurização

A tecnologia de campos elétricos pulsados (PEF) está demonstrada cientificamente para aplicações alimentares e biomédicas, nomeadamente para o aumento da transferência de massa a partir do conteúdo celular e na inativação de microrganismos. Esta tecnologia baseia-se no fenómeno de eletroporação em que são aplicados campos elétricos de modo a aumentar a permeabilidade da membrana celular. Os PEF, tecnologia emergente na área de processamento alimentar, são um método não térmico e não evasivo que consiste na aplicação de pulsos curtos de elevadas cargas elétricas (10-80 kV/cm) – Figura 5.

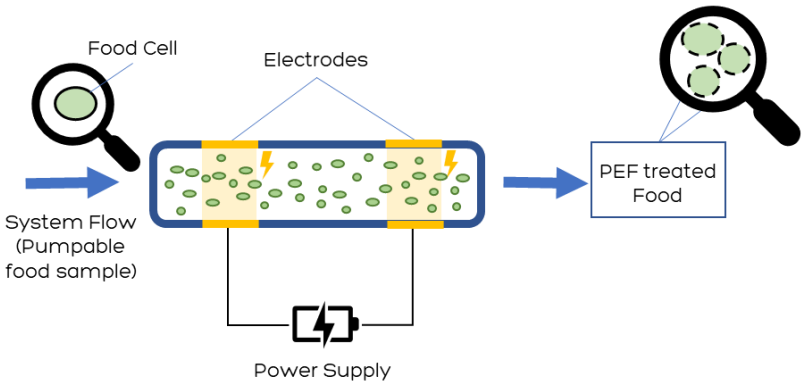

Figura 5 - Diagrama de tratamento de líquidos através de campos elétricos pulsados (câmara de tratamento). Inspirado em (Taha et al., 2022).

3.6 Pasteurização por processamento de alta pressão

A pasteurização por processamento de elevada pressão (HPP) é uma tecnologia não térmica (5˚C – 20˚C) para produtos alimentares e bebidas, que garante a segurança alimentar e aumenta o tempo de prateleira de produtos enquanto garante os atributos organoléticos e nutricionais de produtos frescos.

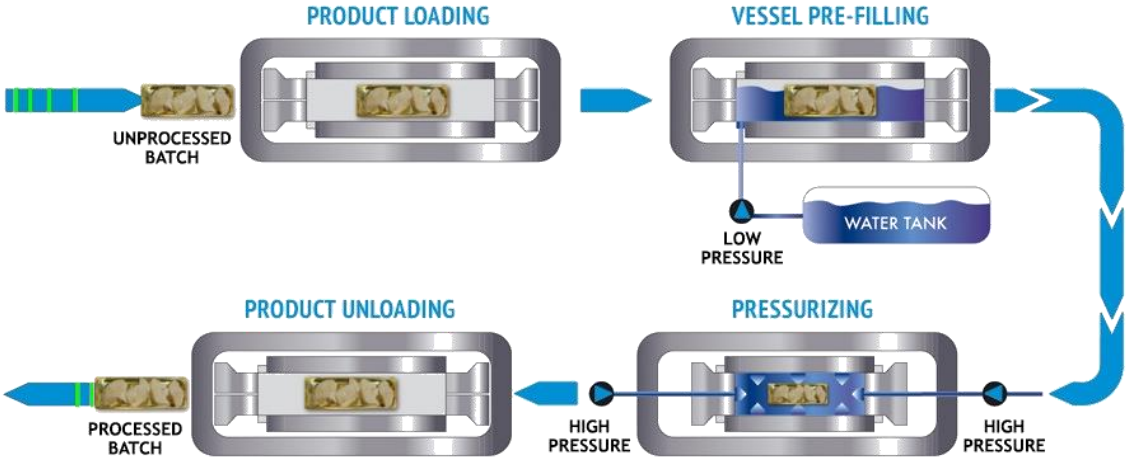

Figura 6 - Diagrama de operação de uma unidade HPP em modo batch, o produto é tratado na embalagem final. (Tomato News, 2024)

3.7 Refrigeração magnética

A refrigeração magnética é uma tecnologia alternativa para a aplicação de diferentes temperaturas, seja para aquecimento ou arrefecimento, baseada no efeito magnetocalórico. Este efeito ocorre devido a uma variação instantânea na temperatura de um material magnético quando submetido a uma variação do campo magnético externo.

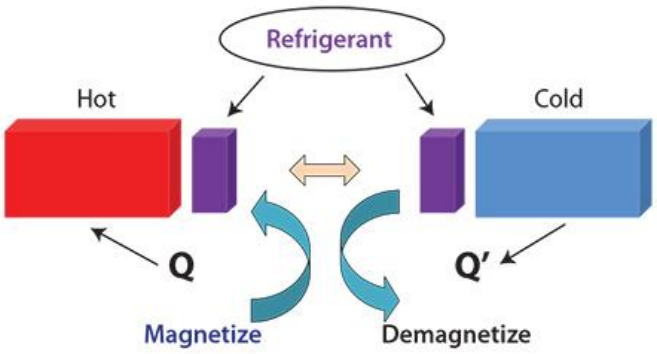

Figura 7 - Diagrama ilustrativo do princípio base da refrigeração magnética. (Kyle Magnetics, 2024)

4. Conclusões

4 Conclusões

O processo de descarbonização do setor agroalimentar, na fase de processamento e produção de alimentos, passa pela eletrificação de processos, melhoria da eficiência de equipamentos, transição para energia proveniente de fontes 100% renováveis e atualização de equipamentos e processos, tendo em conta as constantes inovações.

Neste documento fez-se a identificação e caracterização de estratégias e tecnologias emergentes com maior potencial de aplicação para a descarbonização do setor agroalimentar.

A maior parte das tecnologias apresentadas já têm aplicabilidade a nível industrial, resultando em poupanças significativas em termos de consumo de matérias e recursos energéticos.

PORTUGAL FOODS
Atlantic meets Mediterranean

desde 2009
INOVCLUSTER
Associação do Cluster Agro-Industrial do Centro

PRR
Plano de Recuperação e Resiliência

REPÚBLICA PORTUGUESA

Financiado pela União Europeia
NextGenerationEU