



Aquecimento Óhmico: uma ferramenta ao serviço da biotecnologia

Ricardo N. Pereira, Rui. M. Rodrigues, José A. Teixeira e António A. Vicente

Centre for Biological Engineering, University of Minho, Campus de Gualtar, 4700-035 Braga, Portugal

E-mail: avicente@deb.uminho.pt

Uma tecnologia emergente

Atualmente, o aquecimento óhmico (OH) encontra-se no leque restrito das tecnologias consideradas emergentes no processamento alimentar. Sendo também designado por aquecimento por efeito de Joule, é o processo no qual a corrente elétrica passa num material (semi-)condutivo com o objetivo de o aquecer. A resistência que o produto oferece à passagem da corrente elétrica permite a geração interna de energia, dissipada sob a forma de calor, que faz com que esta tecnologia não esteja dependente de fenómenos de transferência de calor a partir de uma fonte externa [1]. A sua aplicabilidade em alimentos ficou sobretudo conhecida no século XX, com a pasteurização elétrica do leite. No entanto, a falta de conhecimento de princípios fundamentais e tecnológicos, assim como elevados custos operacionais, limitaram o seu desenvolvimento e aplicação. Atualmente, um sistema de OH pode facilmente ser integrado em linhas de processamento existentes, sendo constituído por uma tubagem oca que numa parte do seu percurso possui um par de elétrodos colocados em posições opostas ou em anéis integrados, que tem a função de aplicar o campo elétrico ao alimento que entre eles passa, de uma forma uniforme. Alguns dos marcos fundamentais para a disseminação da tecnologia de OH foram a utilização de materiais inertes adequados para construção dos elétrodos, a evolução de sistemas de alimentação elétrica de alta frequência (da ordem dos kHz), essenciais para minimizar corrosão e migração de matérias dos elétrodos para o alimento, e o desenvolvimento de ferramentas de controlo e automação do processo.

Aplicação industrial

São várias as vantagens desta tecnologia, sendo que a que tem despertado bastante mais interesse sob o ponto de vista de utilização industrial é a de reduzir a exposição do produto alimentar ao calor de forma dramática, diminuindo assim o tempo necessário para obter a temperatura-alvo de determinado tratamento térmico. Além disso, o OH tem ainda como vantagens:

- Ausência de superfícies quentes, com redução do sobreprocessamento do produto e do sujamento da superfície dos equipamentos;
- Elevada eficiência de aquecimento quer em termos de rapidez (princípio HTST, *high-temperature short-time*) quer em termos da uniformidade de temperatura do pro-

duto nos estados líquido e sólido, minimizando a perda de propriedades organolépticas e nutricionais;

- Ideal para o processamento de produtos viscosos, uma vez que permite um aquecimento uniforme não estando limitado aos fenómenos de condução e convecção;
- Elevada eficiência energética (superior a 90%);
- Tecnologia considerada amiga do ambiente, com baixo impacto ambiental;
- Baixo stress mecânico induzido no alimento, ideal para alimentos sensíveis (p.ex. pedaços de fruta) cuja integridade se pretenda preservar;
- Processo de base simples com baixos custos de manutenção.

Durante os últimos 15 anos o seu uso comercial é já uma realidade não só na União Europeia, mas também em países como Estados Unidos e Japão, uma vez que é evidente a sua menor agressividade face a processos convencionais. Em particular, ganhou terreno no processamento de carnes, frutas, vegetais e alimentos altamente fluidos como leite e sumos, tendo no entanto vindo a ser aplicado numa gama muito mais alargada de processos, como por exemplo: processamento asséptico para refeições prontas a comer de valor acrescentado, armazenadas à temperatura ambiente; esterilização UHT (ultra-high-temperature) de alimentos contendo partículas sólidas (até 2.5 cm); pasteurização de alimentos para enchimento a quente e enchimento asséptico; pré-aquecimento de produtos e, genericamente, processamento térmico de alimentos termo-sensíveis e de valor acrescentado. A tabela 1 identifica algumas unidades comerciais usadas à escala e industrial para o processamento de diversos produtos alimentares.

A nível nacional existem já unidades em funcionamento, bem como projetos de investigação e aplicação a nível piloto e industrial. Exemplo disto é o projeto NOVELTEC - Desenvolvimento de Novas Tecnologias de Suporte à Criação de Produtos Inovadores que reúne um total de 13 parceiros, estando 8 deles diretamente envolvidos no desenvolvimento e aplicação de aquecimento óhmico na indústria alimentar.

Um efeito elétrico - eletroporação

Durante as últimas décadas, e em resultado dos importantes avanços tecnológicos e conseqüente incremento da investi-

Tabela 1 - Exemplos de linhas de processamento da tecnologia de aquecimento ôhmico (OH).

País	Ano	Produto Alimentar	Fabricante	Energia (kW)
E.U.A.	1997	Ovo líquido e sumos	Ratzek	10
Grécia	1998	Fatias de pêssego	Emmepiemme	158
França	1999	Leite, ovos, sumos e purés de fruta	Alfa-Laval	44
França	2001	Couve-flor	APV Baker	10
México	2002	Processamento de morangos	Emmepiemme	250
França	2003	Carne	Emmepiemme	50
Itália	2004	Tomate pelado e em pedaços	Emmepiemme	480
Itália	2005	Vegetais	Emmepiemme	60
Irlanda	2009	Carne	C-Tech	3.5
Portugal	2012	Sumos, polpas de fruta e leite	Alfa-Laval	60
Portugal	2012	Sumos, polpas de fruta e ovo líquido	Emmepiemme	30

Fonte: adaptado de Leadley, C. (2008) [9]

gação fundamental relacionada com o processamento elétrico têm sido colocadas diversas questões ao nível dos efeitos de algumas variáveis elétricas, como a frequência e a intensidade do campo elétrico, que assumem um papel preponderante na validação da tecnologia. Haverá um eventual efeito elétrico, adicional ao efeito térmico, sobre enzimas ou até mesmo microrganismos? Quais são as possíveis interações entre os campos elétricos e a funcionalidade tecnológica de algumas biomacromoléculas de base alimentar?

Alguns estudos comprovam a existência de efeitos não-térmicos associados ao OH e a presença inerente de campo elétricos moderados, na ordem dos 1 – 1000 V/cm, também conhecidos como MEF (Moderate Electric Fields). Em concreto, a aplicação dos MEF pode induzir efeitos ao nível das estruturas celulares, promovendo por exemplo a inativação de microrganismos contaminantes à temperatura ambiente [2, 3], devido à eventual formação de poros nas membranas celulares - fenómeno também conhecido por eletroporação. Neste sentido, e no âmbito de operações como pasteurização ou esterilização, a aplicação de MEF faz com que seja necessário um tempo inferior de operação a uma determinada temperatura para garantir os níveis necessários de inativação microbiana, acrescentando evidentes benefícios na qualidade nutricional e organoléptica do produto final. Outras potencialidades do fenómeno de eletroporação promovido pela aplicação dos MEF residem na permeabilização e rutura de tecidos vegetais em processos biotecnológicos, facilitando por exemplo a extração de compostos celulares de interesse e promovendo a difusão de solutos [4, 5].

As proteínas do soro leite, um caso de estudo

Devido ao seu elevado valor nutricional e funcional, as proteínas do soro podem ser usadas como ingredientes numa grande variedade de aplicações na indústria alimentar. O OH, quando comparado com o aquecimento indireto (dito convencional), determina alterações de comportamento ao nível termodinâmico assim com uma menor taxa de desnatura-

ção das proteínas do soro (até um diferencial 30%), no intervalo de temperaturas entre situado entre os 75 e 90 °C [6], que é normalmente utilizado nos processos de pasteurização alimentar. Recentemente, foi igualmente reportado [7] que o processamento térmico quando acoplado com a aplicação de MEF reúne o potencial necessário para controlar à nano-escala o tamanho das partículas de proteína através de alterações no equilíbrio entre forças atrativas e repulsivas durante o processo de agregação e gelificação das proteínas desnaturadas. Os géis de proteína desempenham um papel importante nas propriedades texturais de alimentos (por exemplo, substituindo as gorduras), uma vez que dão uma sensação agradável na boca, e permitem a retenção de água e outros ingredientes numa matriz. A utilização de MEF encerra em si um grande potencial para o desenvolvimento de hidrogéis GRAS (geralmente reconhecidos como seguros) com diferentes características mecânicas, microestruturais e, consequentemente, texturais (ver Figura 1). A tecnologia MEF foi igualmente utilizada para a produção de filmes edíveis de proteínas de soro [8]. A aplicação de MEF promoveu ainda alterações ao nível molecular, afetando a distribuição das estruturas secundárias das proteínas na matriz dos filmes. Os resultados demonstram que os filmes produzidos por MEF podem apresentar um decréscimo até 10% nos valores de permeabilidade ao vapor de água, em comparação com os filmes edíveis produzidos a partir de métodos convencionais. Tendo em conta estes resultados, a utilização de MEF pode estender-se à produção de filmes ou revestimentos edíveis que, nos últimos anos, têm sido considerados uma das tecnologias com maior potencial para aumentar o tempo de prateleira dos alimentos, assegurando a sua segurança microbiana e protegendo-os da influência de fatores externos.

Conclusões

A tecnologia de OH abre um novo paradigma no processamento térmico e não-térmico. Para além de nos últimos anos ter consolidado a sua associação ao processamento de alimentos de elevado padrão qualidade, surge agora como

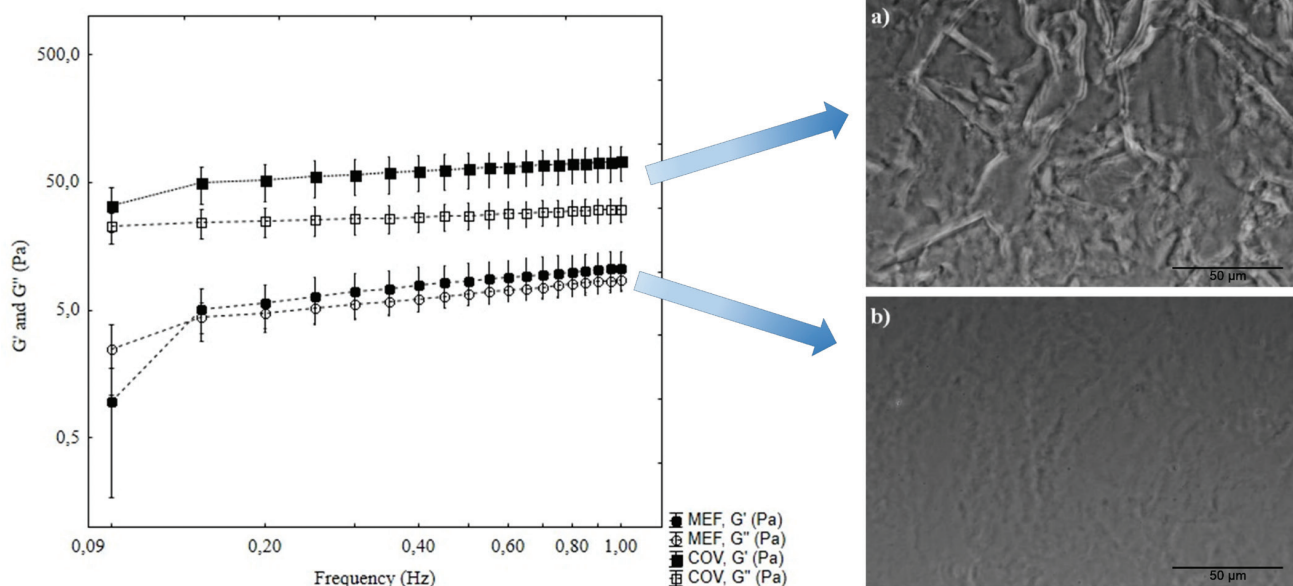


Figura 1 – Comportamento viscoelástico e micrografias de contraste de fase (ampliação de 40x) de géis de isolado de proteína do soro produzidos por: a) aquecimento convencional (COV); b) aplicação de campos elétricos moderados (MEF).

uma ferramenta promissora ao serviço de biotecnologia com efeitos já comprovados quer ao nível de estruturas celulares assim como na alteração funcional de macromoléculas de elevada importância nutricional, como são as proteínas do soro do leite. Estes resultados abrem novas perspetivas para a utilização do OH não só na área da tecnologia alimentar, mas também para aplicações nas áreas de bioprocessos e farmacêutica. O principal desafio coloca-se na necessidade de uma investigação fundamental e multidisciplinar que promova um melhor entendimento acerca de como os campos elétricos podem interagir ao nível molecular com os diversos produtos-alvo de interesse.

Agradecimentos

Ricardo N. Pereira agradece à FCT através bolsa de pós-doutoramento (com a referência SFRH/BPD/81887/2011) e do Projeto Estratégico PEst-OE/EQB/LA0023/2013. Agradece-se ao Projeto “BioEnv - Biotechnology and Bioengineering for a sustainable world”, REF. NORTE-07-0124-FEDER-000048, cofinanciado pelo Programa Operacional Regional do Norte (ON.2 – O Novo Norte), ao abrigo do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

Referências

- [1] Knirsch, M. C., et al., *Ohmic heating – a review*. Trends in Food Science & Technology, 2010. 21(9): p. 436-441
- [2] Machado, L. F., et al., *Moderate electric fields can inactivate Escherichia coli at room temperature*. Journal of Food Engineering, 2010. 96(4): p. 520-527
- [3] Cho, H. Y., A. E. Yousef, and S. K. Sastry, *Kinetics of inactivation of Bacillus subtilis spores by continuous or intermittent ohmic and conventional heating*. Biotechnol Bioeng, 1999. 62(3): p. 368-72
- [4] Kulshrestha, S. A. and S. K. Sastry, *Changes in permeability of moderate electric field (MEF) treated vegetable tissue over time*. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010. 11(1): p. 78-83
- [5] Sensory, I. and S. K. Sastry, *Extraction Using Moderate Electric Fields*. Journal of Food Science, 2004. 69(1): p. FEP7-FEP13
- [6] Pereira, R. N., J. A. Teixeira, and A. A. Vicente, *Exploring the Denaturation of Whey Proteins upon Application of Moderate Electric Fields: A Kinetic and Thermodynamic Study*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011. 59(21): p. 11589-11597
- [7] Rodrigues, R. M., et al., *Influence of moderate electric fields on gelation of whey protein isolate*. Food Hydrocolloids, 2015. 43(0): p. 329-339
- [8] Pereira, R. N., et al., *Effects of Electric Fields on Protein Unfolding and Aggregation: Influence on Edible Films Formation*. Biomacromolecules, 2010. 11(11): p. 2912-2918
- [9] Leadley, C., *Novel Commercial Preservation Methods*, in *Biodeterioration and Preservation*, G. S. Tucker, Editor 2008, Blackwell Publishing: Oxford. p. 211-244