

## MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO LEITE DE CABRA DURANTE A PASTEURIZAÇÃO E PROCESSAMENTO OHMICO USANDO SENSORES DE FIBRA ÓPTICA

MARTINS, R.C.<sup>1A</sup>, COELHO, A.M.<sup>1</sup>, LOPES, V.V.<sup>2</sup>, PEREIRA, R.N.<sup>1</sup>, TEIXEIRA, J.A.<sup>1</sup> E VICENTE, A.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA E BIOENGENHARIA, CENTRO DE ENGENHARIA BIOLÓGICA, UNIVERSIDADE DO MINHO

<sup>2</sup>LASEEB, INSTITUTO DE SISTEMAS E ROBÓTICA, INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

<sup>A</sup>*ruimartins@deb.uminho.pt*

**Sumário:** Este estudo avalia a viabilidade da espectroscopia UV-VIS-SWNIR na degradação da qualidade do leite de cabra durante a pasteurização e aquecimento Ohmico. Foram utilizados: i) leite de cabra cru; ii) leite não processado, mas passado pelas bombas do pasteurizador e aquecimento Ohmico; e iii) leite processado por pasteurização e aquecimento Ohmico. Os espectros são recolhidos por sensor de fibra óptica em comprimentos de onda UV-VIS e UV-SWNIR. As amostras foram realizadas a uma temperatura de  $(18 \pm 2.0^\circ\text{C})$ , e os dados foram registados em cada produto e para cada gama espectral. Os espectros das amostras foram então normalizados e corrigidos usando o algoritmo de correcção da robusta da dispersão de radiação, sendo depois decomposto utilizando o algoritmo de decomposição de valores singulares relevantes. Os resultados demonstram que a espectroscopia de reflectância dá-nos uma avaliação rápida das características do leite de cabra em vários cenários de produção, sendo um excelente sensor para a monitorização e automatização do processamento de lacticínios, em especial para o desenvolvimento da monitorização e controlo com a utilização de software de Tecnometria.

### 1 Introdução.

O leite de cabra é uma complexa emulsão de gordura em solução aquosa, contendo gordura, lactose, proteínas e minerais. A composição do leite é afectada pela raça da cabra, região e condições sanitárias (pastorícia ou cativoiro), características de alimentação, condições de saúde, condições sazonais de ordenha.

A maior variabilidade é observada no perfil dos ácidos gordos livres e na concentração das proteínas (caseínas e proteínas do soro). Aparentemente, a lactose e outros constituintes menores são menos afectados pelas variações biológicas e sazonais (Jandall, 1996). Além das variações inerentes à produção leiteira, o leite sofre variações durante o seu processamento.

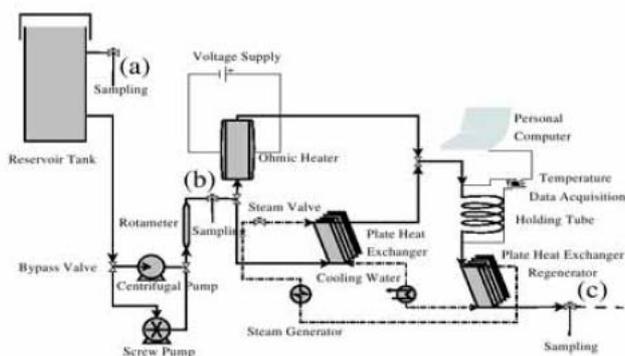
A pasteurização é conhecida por desnaturar as proteínas do soro (lactoalbuminas e lactoglobulinas), que coagulam em minúsculas partículas. Tal desnaturação, afecta a cor do leite e aumenta a capacidade para reflectir todo o espectro do visível. Até hoje, as interações dos ácidos gordos e das proteínas no leite, durante o processamento térmico, não foram completamente descritas (Vasbinder 2002).

A pasteurização também aumenta a reacção de Maillard, e consequentemente os compostos carbonílicos ou aldeídos insaturados,  $\alpha,\beta$  resultantes, podem conjugar-se com os grupos carbonílicos das proteínas, levando consequentemente a alterações de sabor e cor. Também os radicais livres produzidos por catalizadores metálicos podem conduzir a formação de aminoácidos carboidratados, sendo o grupo carbonilo um indicador da oxidação das proteínas do leite, o que mais tarde afecta a produção e qualidade sensorial dos produtos lácteos.

Além disso, ainda se desconhece de que forma os micelos de gordura são afectados durante a pasteurização e o aquecimento Ohmico, e se estes interagem na fase coloidal da caseína. Como as alterações físico-químicas do leite de cabra durante a pasteurização e o aquecimento Ohmico são altamente complexas, deve optar-se por uma estratégia técnica (multivariada e fusão de dados) de monitorização e controlo. Dadas as circunstâncias, o equipamento multivariado on-line ou em tempo real, tais como espectrofotómetros podem ser uma mais valia no diagnóstico e controlo do processamento.

A espectroscopia UV-VIS não tem sido tão utilizada para analisar a composição do leite como o NIR e MIR. No entanto, as propriedades físicas do espectro UV-VIS-SWNIR das moléculas orgânicas fornecem um grande potencial na monitorização das alterações físico químicas do leite descritas na bibliografia durante o processamento e o armazenamento. Estes já foram em parte explorados na região NIR/MIR, sendo contudo as suas aplicações maioritariamente laboratoriais. Consequentemente esta investigação pretende determinar a eficácia do UV-VIS-SWNIR como técnica de monitorização do controlo da pasteurização e aquecimento ohmico através de tecnometria. No nosso estudo, através da espectroscopia, registam-se os efeitos em: i) bombas; ii) permutador de calor; iii) severidade do tratamento do aquecimento Ohmico, e iv) o armazenamento refrigerado.

**Figura 1.** Instalação piloto de pasteurização e aquecimento ohmico: (a), (b) e (c) são pontos de recolha de amostras, respectivamente



### 2 Materiais e Métodos

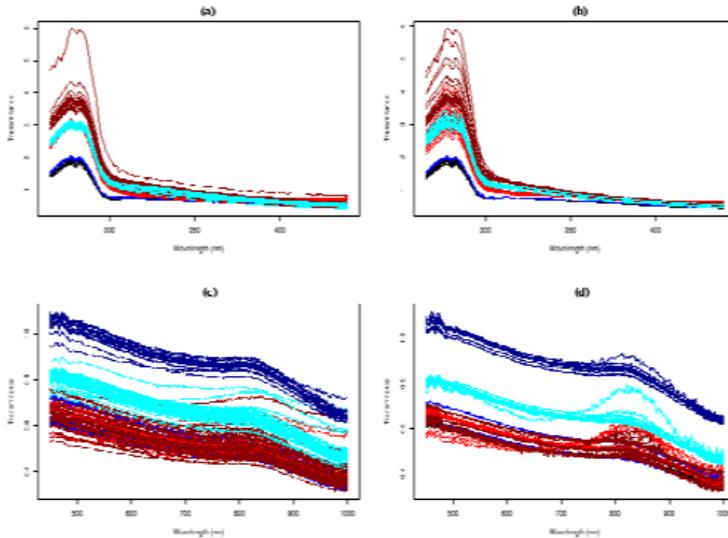
**2.1 Amostras.** As amostras do leite de cabra foram recolhidas no dia da entrega na unidade local de processamento diária e processadas no laboratório piloto, sendo previamente homogeneizadas. Para cada batch recebido o leite de cabra diferentes amostras foram processadas no laboratório piloto (Figura 1): i) sem tratamento (leite cru controlado no local de amostragem); ii) passagem através de bombas centrífugas (amostra para registrar os efeitos da bomba no local da amostragem); iii) pasteurização ( $15\text{s}$ ,  $75^\circ\text{C}$ )/prato de permutador de calor e processamento Ohmico ( $15\text{s}$ ,  $75^\circ\text{C}$ )/prato de permutador de calor. Para cada local amostragem e fases de processamento, cinco replicações das amostras foram obtidas para análise espectroscópica.

**2.2 Espectroscopia.** Os espectros são recolhidos por sensor de fibra óptica em comprimentos de onda UV-VIS e UV-SWNIR ( $200\text{-}400\text{nm}$  e  $400\text{-}1200\text{nm}$ , respectivamente). As amostras foram realizadas a uma temperatura de  $(18 \pm 2.0^\circ\text{C})$  e a foi sempre verificado a formação de resíduos de gordura no sistema evanescente. Os tempos de retenção foram programados para  $25\text{s}$  e  $4\text{s}$  para a recolha de espectros UV-VIS e VIS-NIR, respectivamente.

**2.4 Análise de dados.** O espectro recolhido foi processado utilizando a decomposição de valores singulares, sendo utilizadas as componentes principais para classificar e diferenciar a combinação de factores que afectam a qualidade do leite de cabra após a normalização e correcção robusta da difracção dos espectros originais, sendo apresentados em transmitância. Os números de signi-

ficância dos componentes principais foram obtidos através de randomização (Krzanowski, 1998). Todos os dados foram processados no software de tecnometria OpenPAT (OpenPAT, 2006).

**Figura 2.** Correção dos espectros UV-VIS e VIS-SWNIR de leite de cabra: (a) UV-VIS; (b) UV-VIS corrigido; (c) VIS-SWNIR; (d) VIS-SWNIR corrigido.



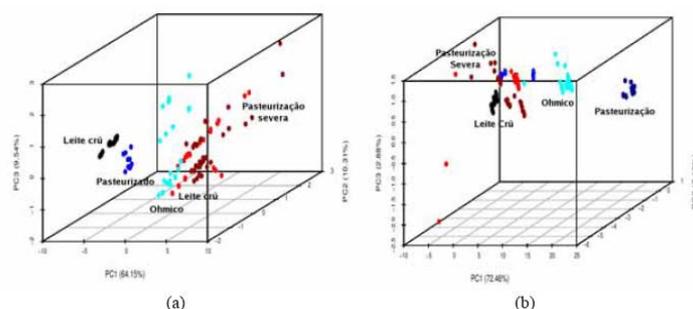
### 3 Resultados e discussão

**3.1 Pré-processamento e avaliação descritiva.** A correção robusta da dispersão espectro foi capaz de remover produtos de dispersão do espectro UV-VIS-SWNIR. Também foi mostrado que este espectro tinha alta variância nos comprimentos de onda 260-320nm. Esta região é dada por n- $\pi$  transições electrónicas (grupo carbonilo) que reflecte maior diferenças maiores não apenas na composição de ácidos gordos no leite bem como proteínas, significância "holding" e informação valiosa para a monitorização da qualidade do leite de cabra durante o processo de armazenagem.

Além disso o espectro mostrou que os diferentes batches de leite de cabra apresentam diferenças significativas na quantidade de ácidos gordos totais na observação da variação de transmitância na região observada, como o leite foi obtido de Setembro para Dezembro 2007, sendo a quantidade de gordura mais alta nesta época do ano (Gomes et al. 2004). Uma análise qualitativa directa do espectro não revela se as proteínas do leite na região UV sofreram qualquer mudança para o vermelho ou azul.

Na região VIS-NIR, a maior variação foi observada em todo o espectro desde 450 aos 1000nm. Nesta região ambos os absorvem os cromatóforos, carbonilos, bem como N-H, C-H e O-H na SWNIR, provando a grande variabilidade do leite de cabra perante as condições severas de processamento. Além disso, o espectro do leite depois de apresenta maior transmitância, devido à coagulação das proteínas do soro. Um pequena devio para o vermelho é igualmente observado com o processamento Ohmico (Vasbinder 2002).

**Figura 3.** Três primeiras decomposições singulares do espectro corrigido: (a) UV-VIS e (b) VIS-SWNIR.



**3.2 Análise da decomposição do espectro.** A maioria da variância UV-VIS foi apanhada nas três primeiras decomposições PC1 (64.15%), PC2 (10.31%) e PC3 (9.45%) sendo 84.00% da variância no espectro. A análise PCA apresenta claras diferenças entre o leite cru, passado pelas diferentes bombas, pasteurização simples ou dupla, ou ainda sujeito a aquecimento Ohmico conduz a espectros diferentes da pasteurização.

Além disso, diferenças significativas foram também observadas nos espectros durante o armazenamento +5°C por três dias, quando comparado o leite cru, assegurando talvez a actividade microbiológica, bioquímica e química de ambos durante a armazenagem. As maiores partes da variância no VIS-NIR foram capturadas nos primeiros 3PC's PC1 72.46% PC2 7.13% e PC3 2.88%, totalizando 82.47% da variância observada.



### 4. Conclusão

Este estudo preliminar permite-nos concluir que: i) existe grande vantagem em corrigir os efeitos da dispersão; ii) os resultados mostram que a espectroscopia UV-VIS (230-420nm) e VIS-SWNIR (450-1000nm) podem ser usadas para caracterizar diferentes amostras de leite de cabra e registar diferentes relevantes na composição do leite e propriedades físicas dos efeitos de dispersão; e iii) este estudo preliminar está a seu sujeito de a tratamentos estatísticos na tentativa de desenvolver sistemas on-line que permitem controlar a qualidade do leite de cabra durante a pasteurização e aquecimento Ohmico.



### 5. Referências Bibliográficas

- Jandall, J.M. 1996. Comparative aspects of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research* 22: 177-185.
- Vasbinder, A.J. 2002. Casein-whey protein interactions in heated milk. PhD thesis, Universiteit Utrecht, The Netherlands.
- Krzanowski, W.J. 1998. Principles of Multivariate Analysis. Oxford University Press, Oxford England.
- Gomes, V., Libera, A.M., Madureira, K.M., Araujo, W.P. 2004. Influence of lactation stage on goat (*Capra hircus*) milk composition. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 4: ~339-342.
- OpenPAT. 2006. OpenPAT: The Open Source Process Analytical Technometrics Software. In: *Techmetrics - Industrial Data Analysis WorkShop*, Penafiel - Portugal.