

Desenvolvimento de sensor para a estimativa da quantidade de proteína no soro de leite baseado em espectroscopia UV-Vis

Mauricélio L. de Oliveira Jr.*,
Lucas dos S. A. Claudino**, Giancarlo M. G. Lopes**.

**Polo Pirapora/MG, Universidade Pitágoras - UNOPAR,
Av. Comandante Santiago Dantas, 294 - 39270-000, Pirapora – MG, Brasil
(e-mail: mauricelio@interpira.com.br)*

***Núcleo de Educação a Distância, Universidade Pitágoras - UNOPAR,
Rua Tietê, 1208 - 86025-230, Londrina – PR, Brasil
(e-mail: lucas.claudino@kroton.com.br, giancarlo.lopez@kroton.com.br)*

Abstract: Whey is considered a by-product of cheese production, which usually makes it disposable. However, whey can be a raw material for manufacturing processes. Whey protein quantification is essential for whey quality characterization. The protein quantification, among other techniques, can be done via spectroscopy methods. This work presents a development and calibration technique for photosensors to work with protein complex and whey. The technique establishes a methodology to relate protein concentration and the energy absorbed by the phototransistor. The calibration was developed with help of an electronic circuit composed of photo transmitter, photo receiver and signal conditioning circuitry, which was applied to two different protein complexes. Obtained results demonstrate high reliability for both cases, with calibration curves having mean squared error lower than 0.17 and coefficient of determination greater than 0,98.

Resumo: Pode-se considerar o soro de leite como um subproduto da produção de queijos, o que o leva muitas vezes a ser descartado; porém, o soro de leite pode servir como matéria prima para produção de outros produtos. A quantificação da quantidade de proteína no soro de leite é essencial para a caracterização da qualidade do soro. Essa quantificação pode, entre outras formas, ser realizada através de técnicas de espectroscopia. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sensor fotossensível e sua calibração para trabalhar na quantificação de proteína em complexos proteicos e no soro de leite. A técnica estabelece uma metodologia para relacionar a concentração de proteína à energia absorvida por um fototransistor. A calibração foi aplicada através do desenvolvimento de um circuito eletrônico com transmissor, receptor e condicionamento de sinais, que foi aplicado a dois complexos proteicos com características distintas. Os resultados obtidos demonstram alta confiabilidade da calibração em ambos casos de aplicações, com curvas de calibração que apresentam erro quadrático médio inferior a 0,17 e coeficiente de determinação maior que 0,98.

Keywords: whey; spectroscopy; visible spectrum; protein quantification; photo transistor.

Palavras-chaves: soro de leite; espectroscopia; espectro visível; quantificação de proteína; fototransistor.

1. INTRODUÇÃO

Em diversas situações, o soro de leite é considerado um subproduto lácteo da indústria de laticínios. A sua principal forma de obtenção ocorre a partir da coagulação do leite, após a fabricação de queijos ou de caseína. No caso da fabricação de queijos, para cada quilo produzido, são necessários 10 litros de leite e, deste total, 9 litros se transformam de soro após o processo de fabricação (Moreira et al., 2010; Teixeira; Fonseca, 2008).

O montante de soro produzido anualmente no Brasil está na casa dos 1,72 milhões de toneladas, das quais 1,58 milhões

de toneladas são descartadas ao meio ambiente. Isto significa uma perda de 11,7 mil toneladas de proteína/ano (Antunes, 2013). Assim, fica perceptível que a taxa de utilização do soro de leite como matéria prima para novos produtos é muito baixa. Além disso, estima-se que 40 % do total de soro produzido seja descartado de forma inadequada, sem qualquer tipo de tratamento, poluindo o meio ambiente (Marquardt et al., 2012).

O descarte do soro produzido por um laticínio no seu processo produtivo foi por muito tempo considerado usual. Hoje já existem diversos estudos que comprovam o potencial do soro do leite, em especial por conta de sua composição. Teixeira e Fonseca (2008) acreditam que após processamento

adequado, o soro pode ser transformado em um produto de alto valor agregado. Outros autores indicam que conforme o tipo de soro (doce ou ácido), ele pode ser utilizado como substrato para a produção de queijos frescos (tipo cottage ou ricota), concentrados proteicos, isolados proteicos, biocombustíveis, entre outros. (Lin et al., 2014; Mirabella et al., 2014).

Contudo, para o aproveitamento do soro do leite como matéria-prima, o seu perfil de qualidade microbiológica e físico-químico deve ser determinado. Isso se torna necessário devido ao fato da composição e tipo do soro gerado no laticínio variarem conforme o tipo de leite utilizado, o produto produzido e os processos empregados na produção (Teixeira; Fonseca, 2008).

Para determinar qual a melhor aplicação para o soro do leite, o principal componente a ser avaliado é a quantidade total de proteína presente. Para isso, é importante conhecer quais são as proteínas presentes no soro, o que irá indicar os melhores métodos para a quantificação. Tais proteínas apresentam uma estrutura globular ligadas através de pontes de dissulfeto e estão divididas em: beta-lactoglobulina (BLG), alfa-lactoalbumina (ALA), albumina do soro bovino (BSA), imunoglobulinas (Ig's) e glico-macropéptídeos (GMP) (Haraguchi; Abreu; de Paula, 2006).

A partir da explanação realizada, fica evidente a importância da quantificação das proteínas presentes no soro do leite de forma rápida, uma vez que os métodos convencionais utilizados são caros, complexos e/ou demorados, levando dias para se obter o resultado. Um dos métodos que pode ser aplicado é a quantificação via cromatografia líquida, que possui como desvantagem a utilização de um equipamento para análise com custo elevado. Uma outra opção é o método imunológico ELISA, que faz o uso de anticorpos na detecção e quantificação das proteínas. Outro método possível é embasado na atividade enzimática do soro, em que o volume de proteína é estimado tomando como base a quantidade de enzimas presentes (Le; Zhao; Larsen, 2019).

Além dos métodos citados, a quantificação de proteína no soro do leite também pode ser feita utilizando espectroscopia, que possui um custo mais acessível, chegando a ser até 3 vezes mais barato que outros métodos, permitindo que a análise seja feita com diferentes faixas do espectro de frequências. Esse método ainda torna possível a leitura de amostras na própria linha de produção, por ser um método rápido, simples e que não destrói a amostra.

O trabalho de Kucheryavskiy e Lomborg, 2014 indica que é possível se trabalhar com a espectroscopia na faixa do infravermelho próximo (NIR), determinando além da quantidade de proteína, a lactose, gordura e sólidos totais. Contudo, um espectrofotômetro que opera realizando análises nessa faixa de espectro ainda possui um custo maior quando comparado a um que trabalha na região do espectro ultravioleta e visível (UV-Vis). Dessa forma, a opção mais rentável para a quantificação de proteína é a UV-Vis, onde várias proteínas presentes no soro do leite possuem faixa de absorção (Schmid, 2001).

O desenvolvimento de equipamentos baseados em espectroscopia UV-Vis que tornem possível a análise de diferentes substâncias na própria linha de produção industrial é uma tendência mundial, que visa otimizar cada vez mais os processos produtivos com um todo (Liau, Baylor, O'Rourke, 2010). O desenvolvimento de um equipamento portátil e acessível que seja capaz de realizar essa análise em uma linha de produção que processe o soro do leite é algo relevante, como pode ser visto no trabalho de Berg et al, 2017. Nesse trabalho, uma célula de medição é ligada a um espectrofotômetro de bancada para que seja realizada a quantificação da proteína, algo que pode ser custoso devido ao custo do equipamento de bancada. Portanto, fica evidente que o desenvolvimento de um sistema específico, que realize a quantificação da proteína presente no soro do leite de forma confiável e que possa ser acoplado diretamente na linha de produção, trará grandes vantagens ao setor. Assim, o primeiro passo para o desenvolvimento de um sistema desse tipo é a criação de um sensor que seja capaz de quantificar a proteína e esteja corretamente calibrado.

Assim, esse trabalho apresenta o desenvolvimento de um sensor acoplado a um circuito de condicionamento para a quantificação das proteínas presentes no soro do leite. Esse sistema é caracterizado por analisar a faixa visível específica do espectro onde ocorre a absorção das proteínas, permitindo a sua quantificação de forma confiável.

No desenvolvimento do sistema são utilizados materiais acessíveis, com uma montagem compacta e resiliente, que permita, posteriormente, a conexão do sensor em uma linha de produção. O desenvolvimento do sistema está descrito nos capítulos a seguir.

2. ESPECTROSCOPIA DE LUZ VISÍVEL

A caracterização da composição de materiais pode ser realizada de diversas maneiras, como por exemplo processos químicos ou a espectroscopia. Essas técnicas buscam gerar de forma confiável dados que contenham informação sobre a composição do material.

Este trabalho propõe o uso da técnica de espectroscopia de luz visível devido à possibilidade de utilização de diversos tipos de transmissores e receptores de baixo custo e alta confiabilidade. O espectro da luz visível está contido entre os comprimentos de onda de 370 nm e 750 nm, que correspondem respectivamente às luzes de cor violeta e vermelha (Brand, 1995). Em termos de frequência, pode-se afirmar que a faixa de frequência visível é, aproximadamente, entre 400 e 810 THz. A luz amarela, utilizada neste trabalho, possui comprimento de onda entre 565 e 590 nm (Brand, 1995).

A espectroscopia de luz visível, assim como os demais tipos, obedece a Lei de Lambert-Beer, que estabelece uma relação matemática para a absorção de radiação em amostras que estejam em diferentes estados. Como os elementos possuem diferentes características, podem ser utilizadas diferentes regiões do espectro, sendo as mais comuns a ultravioleta, visível ou infravermelho do espectro eletromagnético

(Baldissera, 2014 apud Rocha; Teixeira, 2004). A partir de (1) é possível observar a medida de absorção de radiação:

$$A = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \epsilon bc \quad (1)$$

sendo: A a absorvância; I a intensidade da radiação que emerge da amostra e I_0 a intensidade da radiação monocromática que incide na amostra. A constante ϵ é a absorvância molar e é específica das características da amostra em análise. O termo c refere-se à concentração da amostra e o termo b é a distância que o feixe percorre pela amostra (Rocha; Teixeira, 2004).

O procedimento realizado para aquisição de dados, preparação de amostras, calibração e desenvolvimento do sensor estão descritos da Seção 3, enquanto a Seção 4 traz os resultados obtidos com as análises e curvas de calibração desenvolvidas.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O objetivo do procedimento experimental é elaborar uma metodologia precisa para análise de amostras com diferentes concentrações de proteína do soro do leite misturadas à água, com o intuito de quantificar eletricamente a concentração de proteína. Para isso, utilizou-se o princípio construtivo do espectrofotômetro de baixo custo para laboratórios (Ludke, 2010), que estabelece uma metodologia de criação de um dispositivo capaz de medir a absorção de luz utilizando dispositivos eletrônicos de fácil acesso.

O procedimento experimental consiste no projeto de uma estrutura que contenha um elemento transmissor de luz, um elemento fotossensível como receptor, a estrutura capaz de alocar a solução a ser analisada e um circuito de condicionamento de sinais. A seguir, cada uma dessas etapas será corretamente detalhada, além de enunciado também o procedimento utilizado para criação das amostras com diferentes concentrações de proteína, bem como qual foi a substância utilizada como base proteica para os experimentos.

3.1 Estrutura para amostragem

A estrutura utilizada para analisar a quantidade de proteína na mistura foi implementada com a finalidade de garantir que a luz emitida pelo LED possa incidir sobre a amostra e ser absorvida pelo fototransistor. Para isso, utilizou-se dois tubos de ensaio transparentes, sendo o tubo de 15x140 mm utilizado para fixação do emissor e inserção do líquido a ser amostrado, recoberto externamente com material isolante óptico, cuja finalidade é evitar a incidência de luz externa sobre a amostra. Um segundo tubo, de 10x120mm, foi utilizado para instalação de um fototransistor, sendo que uma de suas extremidades também foi revestida com material isolante óptico.

Os materiais escolhidos para a elaboração do aparato experimental foram: LED 5mm de colocação amarela (580

nm) e alto brilho, tubos de ensaio de alta transparência, revestimento óptico de dupla camada composto de policloreto de vinila e semicondutor fotossensível do tipo L14G.

A Figura 1.a contém o diagrama utilizado para a realização da prototipagem, e a Figura 1.b apresenta a montagem física realizada. O LED 5mm foi fixado à base de tubo de ensaio e corretamente vedado com silicone não reagente, a fim de garantir que não haja vazamento de amostra ou entrada de substâncias indesejadas que possam contaminar a amostra. Este tubo foi recoberto com duas camadas de material isolante óptico: a primeira camada possui propriedades reflexivas, para garantir melhor reflexão da luz emitida pelo diodo emissor de luz, e a segunda tem o objetivo de bloquear as luzes externas ao tubo de ensaio. O fototransistor foi inserido dentro do tubo de ensaio de 10x120mm, com sua face fotossensível voltada para uma das extremidades do tubo. A outra extremidade foi vedada e recoberta com material isolante óptico, para garantir que a luz externa não interfira na leitura do dispositivo semicondutor.

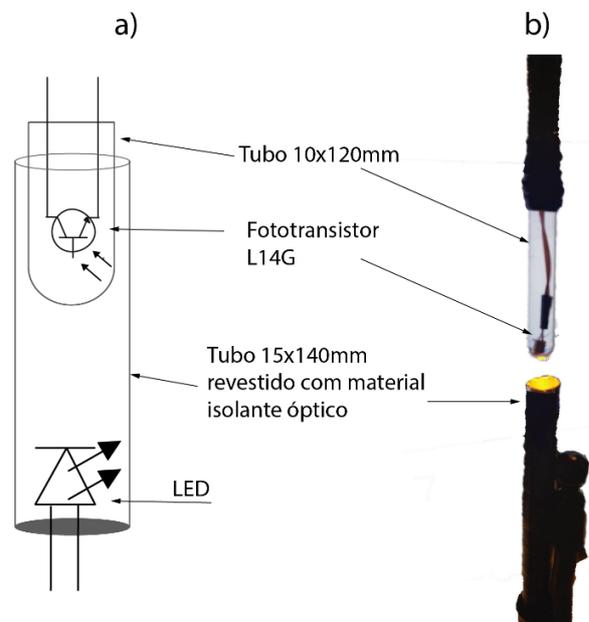


Fig. 1. Aparato experimental para realização das medições: a) diagrama e b) montagem realizada.

3.2 Condicionamento de sinais

O objetivo do procedimento experimental é averiguar a relação entre a energia luminosa absorvida pelo fototransistor e a quantidade de proteína contida na amostra. Para isso, é preciso utilizar um circuito adequado de condicionamento de sinais. O circuito utilizado está representado na Figura 2, aonde o sinal de entrada é aquele produzido pelo fototransistor e a saída é lida por um instrumento de medição de tensão – utilizou-se um osciloscópio devido a sua melhor característica de impedância de entrada, precisão de leituras e filtragem de sinais. O circuito proposto possibilita ajustes de ganho e offset através de potenciômetros independentes. O amplificador escolhido foi o TL081 em conjunto com o

semicondutor fotossensível utilizado, o fototransistor do tipo L14G.

No circuito da Figura 2, a condução de corrente entre coletor e emissor do fototransistor varia conforme a luz recebida. Essa variação de condução é convertida em variação de tensão pelo resistor de *pull-up* de 47 kΩ. Tal tensão é aplicada em um circuito amplificador montado com amp-op, que também permite a aplicação de um offset ao sinal. O ganho do amplificador é ajustado por um trimpot de precisão de 47 kΩ, ligado na malha de realimentação negativa do amp-op. O offset é ajustado pelo trimpot de 100 kΩ. Estes dois trimpots foram configurados para permitir a máxima variação da tensão de saída com as amostras, sem que ocorra a saturação do amplificador.

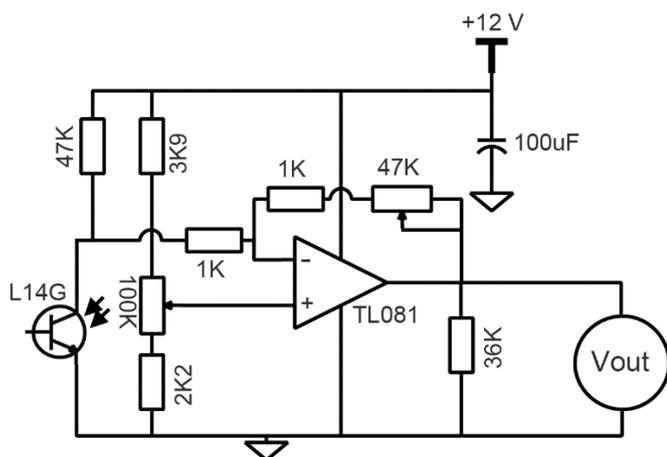


Fig. 2. Circuito de condicionamento de sinais.

3.3 Preparação das amostras

O preparo das amostras se baseou na concentração média de proteínas encontradas no soro do leite, que fica entre 4 e 10 mg/ml, variando conforme o produto originário (Haraguchi; Abreu; de Paula, 2006). Assim, as amostras foram criadas no entorno dessa faixa de concentração.

Para a preparação das amostras do primeiro experimento, selecionou-se um complexo proteico do tipo *whey protein* isolado, que apresenta uma concentração de 87% de proteínas isoladas do soro de leite por porção. A solução inicial foi preparada com 30 gramas de *whey protein* dissolvidos em 300 mililitros de água, gerando uma mistura com concentração de 87 gramas de proteína para cada litro de solução. Para elaboração dessa solução foi utilizada uma balança de precisão, garantindo a maior acurácia da quantidade de solvente e soluto adicionados à mistura.

A partir da dissolução da solução inicial de concentração de proteína igual a 87 g/l, foram criadas 7 amostras com diferentes concentrações de proteína, variando de 2,90 a 20,30 g/l, o que consegue abranger com facilidade a faixa de valores usuais de concentração de proteínas no soro do leite. Com o auxílio de uma micropipeta, as 7 amostras foram criadas de tal forma que cada tubo de ensaio conteve exatamente 15 ml de dissolução com diferentes concentrações. A Tabela 1 contém a quantidade de solução

inicial e a concentração final de proteína de cada uma das amostras elaboradas.

Tabela 1. Concentração de proteína nas amostras da solução à base de *whey protein*.

Número da amostra	1	2	3	4	5	6	7
Volume de solução inicial [ml]	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Quantidade final de solução [ml]	15	15	15	15	15	15	15
Concentração de proteína [g/l]	2,90	5,80	8,70	34,80	11,60	14,50	20,30

Os valores contidos na Tabela 1 mostram que o processo utilizado para a geração das amostras foi sempre manter a quantidade final de líquido da solução, alterando-se, portanto, a proporção entre quantidade de solução inicial e água adicionadas a cada tubo de ensaio.

A fim de validar o método experimental, implementou-se um segundo experimento que utiliza outra fonte de proteína para geração das soluções. Nesta etapa escolheu-se a gelatina em pó incolor sem sabor, devido a suas características de alta concentração proteica por dose, fácil aquisição e baixo custo. O produto utilizado possui 10 gramas de proteína para cada 12 gramas de gelatina em pó, conforme indicado nas informações nutricionais do rótulo. O passo inicial foi a elaboração da solução base através da dissolução de 13 gramas de gelatina em pó em 300 ml de água, gerando uma amostra inicial com concentração de 36,11 g/l.

Devido às características físicas da mistura à base de gelatina, foi necessário garantir que a solução inicial ficasse a uma temperatura de 50°C, retirando-se apenas a quantidade necessária para criação de cada uma das amostras a serem utilizadas na medição. Caso essa condição não fosse atendida, a solução começaria a sofrer mudanças de estado físico, aumentando sua viscosidade. De maneira similar ao primeiro experimento, a Tabela 2 contém a quantidade de solução inicial e a concentração final de proteína de cada uma das amostras elaboradas.

Tabela 2. Concentração de proteína nas amostras da solução à base de gelatina incolor sem sabor.

Número da amostra	1	2	3	4	5	6	7
Volume de solução inicial [ml]	0,5	1,0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Quantidade final de solução [ml]	10	10	10	10	10	10	10
Concentração de proteína [g/l]	1,81	3,61	7,22	9,03	10,83	12,64	14,44

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As soluções puderam ser facilmente elaboradas com o uso da solução inicial e auxílio de uma balança de precisão e uma micropipeta. Porém, devido às características de baixa solubilidade do complexo proteico escolhido, foi necessário utilizar um agitador laboratorial mecânico (vortex), com o intuito de garantir a mistura mais homogênea possível. Contudo, as amostras de maior concentração de proteína ainda apresentaram partículas não dissolvidas na água. Esse fato levou à necessidade de garantir que cada amostra fosse vigorosamente agitada no instante imediatamente precedente à leitura, pois assim as partículas podem ficar mais uniformemente distribuídas na solução. Esse procedimento foi adotado para os dois experimentos realizados

O resultado parcial das soluções elaboradas com *whey protein* está contido na Figura 3, aonde é possível observar 6 soluções com diferentes concentrações de complexo proteico, e consequentemente diferentes concentrações de proteína dissolvida à água.

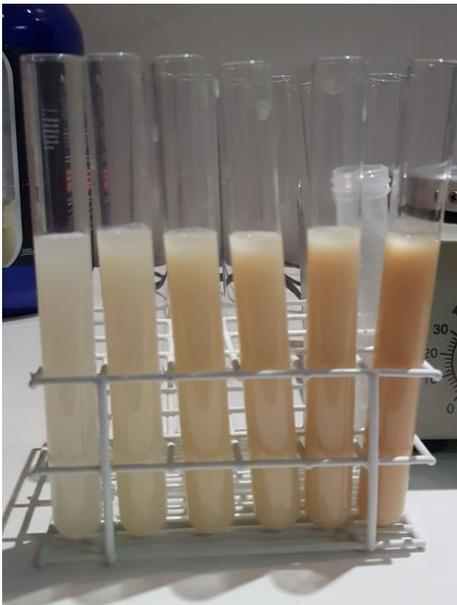


Fig. 3. Soluções imediatamente após o processo de mistura feito no agitador do tipo vortex.

Após a criação do processo de elaboração das soluções, foi possível aplicar cada uma delas ao aparelho construído. Para cada leitura, 3 ml da solução de interesse foram retirados e inseridos no aparelho, garantindo assim que a intensidade luminosa do diodo emissor de luz pudesse ser absorvida pelo fototransistor. Como resultado, foram obtidos os valores de tensão de saída em função da concentração de proteína da solução sob análise, assim como ilustra a Tabela 3.

Tabela 3. Relação entre concentração de proteína e tensão de saída do circuito.

Amostra	Volume de solução inicial [ml]	Concentração de proteína [g/l]	Tensão de saída [V]
1	0,5	2,90	1,28

Amostra	Volume de solução inicial [ml]	Concentração de proteína [g/l]	Tensão de saída [V]
2	1,00	5,80	1,36
3	1,5	8,70	1,52
4	2,0	11,60	1,64
5	2,5	14,50	1,72
6	3,0	17,40	1,96

A análise dos dados obtidos levou à utilização de algoritmos de regressão linear para encontrar equações que estimem a relação entre tensão e concentração de proteína. Como resultado, foi obtida uma equação composta por um polinômio de primeiro grau. Os coeficientes foram obtidos com uso do método Least Squares e os resultados estão contidos em um intervalo de confiança de 95%. A Figura 4 contém o resultado gráfico das análises, sendo que a curva tracejada azul contém os dados obtidos na amostragem e a curva de linha contínua vermelha representa a aproximação por polinômio linear.

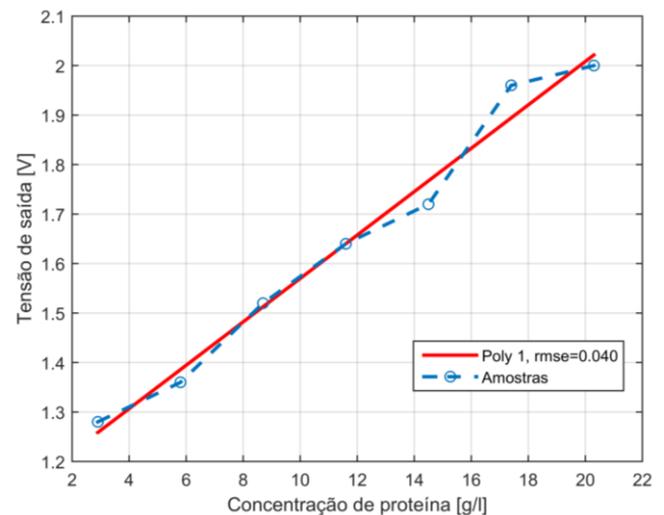


Fig. 4. Dados de tensão de em função da concentração de proteína e a regressão linear.

O polinômio linear obtido que relaciona a concentração de proteína x_p e a tensão de saída V_1 é representado por (2):

$$V_1 = 0,04384 \cdot x_p + 1,131 \quad (2)$$

A acurácia do polinômio pode ser comparada em termos do erro quadrático médio (RMSE – *Root Mean Squared Error*) em relação aos dados reais de tensão obtidos. O polinômio linear em (1) apresenta RMSE igual a 0,0404 e coeficiente de correlação linear R^2 igual a 0,9823. Portanto, pode-se afirmar que, para a faixa de concentração de proteína analisada, a função linear fornece resultado com alto grau de acurácia para representação dos resultados das amostras. Sendo assim, devido a sua simplicidade de aplicação, pode-se afirmar que a função obtida é uma opção de baixo custo computacional e confiável.

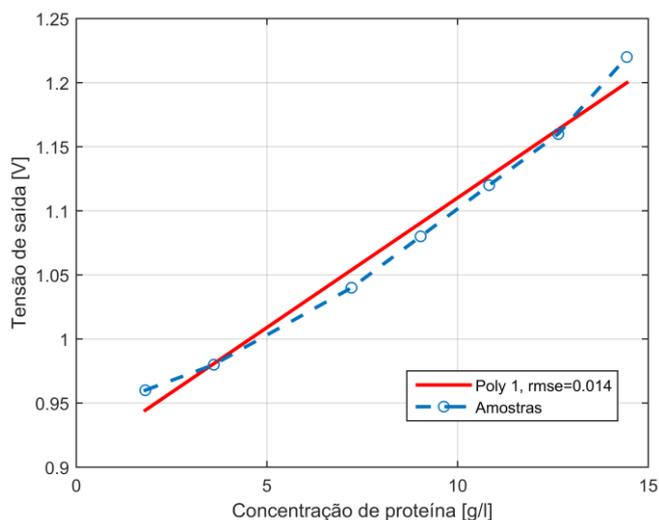
Para a execução das análises com a solução à base de gelatina incolor realizou-se o mesmo processo do experimento

anterior, sendo que, para cada leitura, 3 ml da solução de interesse foram retirados e inseridos no aparelho construído, garantindo assim que a intensidade luminosa do diodo emissor de luz pudesse ser absorvida pelo fototransistor. Como resultado, foram obtidos os valores de tensão de saída em função da concentração de proteína da solução sob análise, assim como ilustra a Tabela 4.

Tabela 4. Relação entre concentração de proteína e tensão de saída do circuito para a solução a base de gelatina incolor em pó.

Amostra	Volume de solução inicial [ml]	Concentração de proteína [gg/l]	Tensão de saída [V]
1	0,5	1,81	0,96
2	1,00	3,61	0,98
3	2,0	7,22	1,04
4	2,5	9,03	1,08
5	3,0	10,83	1,12
6	3,5	12,64	1,16
7	4,0	14,44	1,22

A Figura 5 contém o resultado gráfico das medições, aonde a curva tracejada azul contém os dados obtidos na amostragem, a curva de linha contínua vermelha representa a aproximação por polinômio linear.



O resultado de aproximação linear para os dados obtidos é representado (3).

$$V_1 = 0,02024 \cdot x_p + 0,9078 \quad (3)$$

Neste experimento, o polinômio de primeiro grau gerou um erro quadrático médio de 0,0142 e R^2 igual a 0,9812.

A partir dos dados apresentados é possível afirmar que os resultados obtidos mostram que o sensor desenvolvido é eficiente e confiável. Analisando as curvas de tendência obtidas para os dois experimentos fica claro que com o ajuste do ganho e offset do circuito de condicionamento elas se

tornarão iguais ou muito próximas. Isso mostra que a fonte de luz e o sensor utilizados possuem repostas muito parecidas para as diferentes fontes de proteína analisadas. Além disso, o coeficiente de determinação obtido para ambas as retas é superior a 0,98, mostrando uma efetiva linearidade na resposta do sensor, facilitando a sua aplicação em um sistema de medição.

5. CONCLUSÕES

O procedimento criado estabeleceu uma metodologia de baixo custo para estimativa da concentração de proteína do soro de leite dissolvida em solução aquosa. Para validar a hipótese levantada foram realizados dois experimentos, utilizando diferentes fontes de proteína, que apresentaram resultados semelhantes. Isso mostra a capacidade do sensor utilizado em quantificar a proteína nas condições testadas.

Para se chegar aos resultados apresentados, foi desenvolvido um protótipo capaz de fornecer as condições necessárias para as análises, garantindo que a intensidade luminosa do LED fosse suficiente para ser absorvida pela amostra e analisada pelo fototransistor, sem a interferência de luminosidade externa. Somado a isso, se conclui que a escolha dos componentes utilizados no protótipo foi acertada, considerando a qualidade dos resultados obtidos.

O ponto mais importante foi o estabelecimento de uma relação entre a concentração de proteína na amostra e a intensidade luminosa detectada pelo fototransistor. Essa relação pôde ainda ser analisada e proporcionou o desenvolvimento uma reta de tendência capaz de associar a concentração de proteína e a absorção de luminosidade através do uso do semiconductor fotosensível. As retas obtidas nos dois experimentos apresentaram resultados satisfatórios para a faixa de concentração de proteína utilizada.

O presente trabalho é apenas o início de uma pesquisa, pois através dos resultados obtidos será possível expandir as análises para outros tipos de complexos proteicos e também estabelecer análises em outras faixas de concentração de proteína. Uma das ambições é criar análises mais aprofundadas na faixa de concentração de proteínas presente no soro do leite. Para isso, deverão ser estudadas outras tecnologias de análise de proteínas com objetivo de gerar resultados de comparação e assim verificar a qualidade do protótipo criado. Além disso, deve-se também melhorar a qualidade da metodologia de análise e profissionalização do instrumento criado.

REFERÊNCIAS

- Antunes, A. J. (2003) *Funcionalidade de proteínas do soro de leite bovino*. Ed. Manole, São Paulo, p.142.
- Baldissera, D.B. *Espectrofotometria aplicada na análise de nanocarreadores lipídicos contendo ativos para lipodistrofia ginoide*. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Franciscana.

- Berg, T.H.A. et al. Inline UV-Vis spectroscopy to monitor and optimize cleaning-in-place (CIP) of whey filtration plants. *LWT*, v. 75, p. 164-170, 2017.
- Brand, J., *Lines Of Light: the sources of dispersive spectroscopy*. CRC Press, 1995.
- Liau, M.A.; Baylor L.C.; O'Rourke, P.E. (2010) *Process Analytical Technology: Spectroscopic Tools and Implementation Strategies for the Chemical and Pharmaceutical Industries*, Second Edition, Chapter 4 - UV-Visible Spectroscopy for On-Line Analysis. John Wiley & Sons, Wiltshire, Great Britain.
- Haraguchi, F.K.; Abreu, W.C. de; de Paula, H.. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. *Revista de Nutrição*. [online]. v. 19, n. 4, p. 479-488, 2006.
- Kucheryavskiy, S.; Lomborg, C.J. Monitoring of whey quality with NIR spectroscopy—A feasibility study. *Food Chemistry*, v. 176, p. 271-277, 2015.
- Le, T.T.; Zhao, D.; Larsen L.B. (2019) *Whey Proteins: From Milk to Medicine*, Chapter 5 - Analytical Methods for Measuring or Detecting Whey Proteins. Academic Press. Online.
- Lin, C.S.K. et al. Current and future trends in food waste valorization for the production of chemicals, materials and fuels: a global perspective. *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, v. 8, p. 686-715, 2014.
- Ludke, E. Um espectrofotômetro de baixo custo para laboratórios de ensino: aplicações no ensino da absorção eletrônica e emissão de fluorescência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.32, n.1, p. 1506-1508, 2010.
- Marquardt, L. et al. Indústrias lácteas: alternativas de aproveitamento do soro de leite como forma de gestão ambiental. *Tecno-Lógica*, v. 15, n. 2, p. 79-83, 2012.
- Mirabella, N., Castellani, V., Sala, S. Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of Cleaner Production*, v. 65, p. 28-41, 2014.
- Moreira, R.W.M. et al. Avaliação sensorial e reológica de uma bebida achocolatada elaborada a partir de extrato hidrossolúvel de soja e soro de queijo. *Acta Scientiarum*, v. 32, n. 4, p. 435-438, 2010.
- Rocha, R. P. F.; Teixeira, L. S. G. Estratégias para aumento de sensibilidade em espectrofotometria uv-vis. *Química Nova*, v. 27, n. 5, p. 807-812, 2004.
- Teixeira, L.; Fonseca, L. Perfil físico-químico do soro de queijos mozzarella e minas padrão produzidos em várias regiões do estado de Minas Gerais. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec*, v. 60, n. 1, p. 243-250, 2008.
- Schmid, F.-X. (2001). *Biological Macromolecules: UV-visible Spectrophotometry*. eLS. American Cancer Society, [online].