

PROTÓTIPO PARA DETECÇÃO DE ADULTERAÇÃO DE LEITE CRU COM ÁGUA COM CIRCUITO DE DETECÇÃO SÍNCRONO

Email:

Abstract— The freezing point is the main test for detection of added water in raw milk. However, other adulterants can be used to mask fraud in cryoscope. The near-infrared spectroscopy is an alternative technique for identification of water addition fraud since it is a fast, non-destructive and widespread method for compounds determination. This work presents a prototype for raw milk analysis that identifies added water. The sampling method is based on diffuse reflectance associated with an integrating sphere, which was developed from low-cost materials, avoiding the expensive commercial solutions. The prototype uses LEDs as infrared light sources and an InGaAs photodiode for detection. A synchronous conditioning circuit transform sensor's response (microvolts) in a DC signal that it is proportional to the amount of added water at samples.

Keywords— Spectroscopy, LEDs, diffuse reflectance, InGaAs photodiode sensor.

Resumo— O principal teste para verificação de adulteração de leite cru por água é o índice de crioscopia. Contudo, a adição de outros adulterantes podem mascarar a fraude perante o crioscópio. Uma técnica alternativa de análise de leite para identificação de adição de água é a espectroscopia NIR, por se tratar de um processo rápido, não destrutivo e muito utilizado na identificação de misturas. O objetivo deste trabalho é apresentar um protótipo para análise de leite cru, utilizando uma técnica de detecção síncrona, para verificar se a amostra contém água adicionada. A técnica de amostragem utilizada foi a refletância difusa, associada a uma esfera de integração feita em materiais de baixo custo, evitando um elevado investimento em esferas de integração comerciais. O protótipo utiliza LEDs como fontes emissoras de luz infravermelha e um sensor de InGaAs para detecção. Também foi implementado um circuito de condicionamento síncrono, que transforma a resposta do sensor (microvolts) em um sinal contínuo proporcional a quantidade de água adicionada na amostra.

Palavras-chave— Espectroscopia, LEDs, refletância difusa, fotodiodo de InGaAs.

1 Introdução

A verificação da qualidade do leite, ao chegar a indústria, é feita através de testes físico-químicos, sendo a crioscopia o teste mais importante para averiguar a presença de água adicionada. Contudo, outras substâncias com capacidade de diminuir o ponto de congelamento do leite, são usadas para mascarar a fraude perante o crioscópio. Buscando metodologias alternativas para análise de leite, a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) tem sido aplicada, por se tratar de um processo rápido, não destrutivo e muito utilizado na identificação de misturas. Essa técnica se baseia na observação da quantidade de luz absorvida ou refletida pela amostra em diferentes comprimentos de onda. Assim, é possível adquirir informações qualitativas e quantitativas sobre suas propriedades físicas e químicas.

A análise de leite cru utilizando espectrômetros comerciais já foi bastante explorada. Foram realizados testes para quantificar o teor de água com o infravermelho médio (MIR) (Hop et al., 1993), determinar a quantidade de gordura, proteína e lactose pela espectroscopia NIR (Artime et al., 2008; Laporte and Paquin, 1999; Wu et al., 2008), identificar adições de água e soro do leite pelo MIR (Kasemsumran et al., 2007), e detectar fraude no leite utilizando o infravermelho próximo com até três adulterantes (Ni et al., 2012). Portanto, foram obtidos excelentes resultados na identificação de substâncias utilizando espectrômetros comerciais devido a sua capacidade de determinar a quantidade de energia

absorvida pela amostra em muitos comprimentos de onda.

Uma evolução tecnológica na fabricação de dispositivos optoeletrônicos resultou em componentes menores, mais acessíveis e mais eficientes, como por exemplo, LEDs, lasers, grades de difração e sensores ópticos. Como consequência, houve um avanço no desenvolvimento de protótipos portáteis e de baixo custo para identificação de substâncias, utilizando o mesmo princípio que é aplicado em equipamentos comerciais (Fernandes et al., 2015; Veras et al., 2009; Taha et al., 2017; Bano et al., 2010). Contudo, verifica-se que os trabalhos apresentados utilizam comprimentos de onda menores que 1000 nm (região denominada de UV-VIS). Para radiação eletromagnética acima de 1000 nm, o processo de análise é mais complexo visto que a quantidade de energia absorvida pelas ligações químicas nessa região é menos intensa. Consequentemente, a relação sinal-ruído (SNR) para dispositivos que operam acima dos 1000 nm é menor e necessita de circuitos eletrônicos mais complexos. Essa afirmação é comprovada comparando o tratamento aplicado ao sinais gerados pelos sensores em equipamentos para as diferentes regiões. Para protótipos UV-VIS, autores utilizam apenas circuitos de conversão corrente-tensão e amplificadores (Fernandes et al., 2015; Alam et al., 2017). Já para a região NIR (900 nm - 2500 nm), circuitos de condicionamento são compostos por amplificadores Lock-in e filtros ativos (Yaqub et al., 2017; Wang et al., 2010).

O método de amostragem por refletância di-

fusa é uma técnica que analisa os raios refletidos de forma aleatória da amostra devido a irregularidade de sua superfície. Seu uso é indicado para substâncias sólidas, pós e líquidos não homogêneos, e, normalmente, a amostra necessita de pouca ou nenhuma preparação (Sun, 2009). Para coletar raios refletidos com grandes ângulos entre si, o design óptico permite uma área de amostragem pequena. Como consequência, os espectros podem ser um pouco diferentes, caso a substância analisada apresente tamanhos de partículas diferentes, cada vez que uma amostra é inserida. Esta ocorrência é denominada de erro de inserção. Contudo, um espectro mais representativo seria obtido com uma área de amostragem maior e com a coleta de todos os raios refletidos.

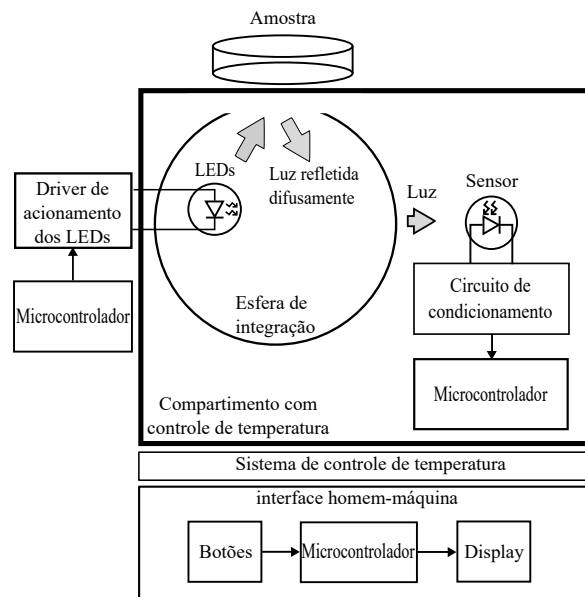
A esfera de integração é um acessório da técnica de refletância difusa, capaz de melhorar ainda mais os resultados. Ela permite uma extensão da área de amostragem, e coleta raios refletidos de todas as direções, assim, os efeitos relacionados a tamanho de partículas e não homogeneidade da amostra são minimizados. Além disso, a cada nova reflexão que a luz sofre no interior da esfera, ocorre um novo espalhamento, consequentemente, o fluxo luminoso apresentado ao sensor é uniforme (Kemeny, 2008). Contudo, o elevado custo de esferas de integração comerciais, muitas vezes, impedem a disseminação da técnica em diversas aplicações. Até o presente momento, não foi encontrado aplicações de esfera de integração separadas da utilização de espectrômetros comerciais. Portanto, um dos objetivos do trabalho foi desenvolver uma esfera de integração feita com materiais de baixo custo, com elevada refletância, para redução dos custos na utilização da espectroscopia.

Neste trabalho é apresentado um protótipo que tem por objetivo detectar amostras de leite cru fraudadas com adição de água, utilizando uma técnica difícil de ser enganada com a adição de outros adulterantes. O sistema de emissão é composto por LEDs e um *driver* de corrente para o acionamento das fontes. O sistema de detecção é composto por um sensor e um circuito de condicionamento, que utiliza uma técnica de detecção síncrona, para eliminar ao máximo o ruído presente no sinal e interferências de fontes de luz externas. Foi projetado um sistema de controle de temperatura para as fontes emissoras de luz e para o sensor, uma vez que esses elementos apresentam alterações de suas características com a variação de temperatura. Por fim, o usuário opera o protótipo através de botões e de um *display* alfanumérico 20×2.

2 Descrição do protótipo

O diagrama de blocos do protótipo é apresentado na Figura 1. A fonte emissora de luz infravermelha é formada por um conjunto de três LEDs,

Figura 1: Diagrama de blocos do protótipo.



com comprimentos de onda centrados em 1,200 nm, 1450 nm e 1,530 nm. Cada emissor é acionado individualmente através de um circuito fonte de corrente, que garante a mesma potência luminosa em todas as análises, com frequência de acionamento de 1 kHz. O controlador gera o sinal de acionamento e um potenciômetro digital determina o valor da corrente que flui sobre cada fonte.

Após a luz incidir na amostra, parte de sua energia é absorvida devido as características e quantidade das ligações químicas do material analisado, e outra parte é refletida e direcionada para o sensor pela esfera de integração. Também foi utilizado um circuito de condicionamento de sinal, que diminui a interferência do ruído e de fontes de luz externas no sinal de interesse.

Um sistema de controle de temperatura evita que o protótipo apresente medidas falsas devido a variação de temperatura nos emissores e no sensor. Assim, foi projetado um compartimento fechado, com isolamento de lã de vidro, e utilizado um atuador termoeletrônico, para evitar possíveis variações de temperatura nos componentes.

Todos os módulos possuem um controlador MC9S08JM32, da *Freescall*, e a comunicação entre eles foi estabelecida por uma rede CAN, que apresenta uma capacidade de registro de erros, gerando atuações no sistema e garantindo a recepção correta. Outras características importantes do CAN é a *Multicast*, que permite que a mensagem seja transmitida a um conjunto de receptores simultaneamente, e a multi-mestre, em que vários nós podem pedir acesso ao barramento. Desta forma, não foi necessário ter um único microcontrolador trabalhando como mestre de todo o sis-

tema. Foi utilizado o transreceptor MCP25625, da *Microchip*, que faz a interface da rede CAN com o periférico SPI dos microcontroladores.

2.1 Sistema óptico

A estrutura óptica projetada para o protótipo está apresentada na Figura 2. O sistema é composto pelo porta amostra (placa de Petri de quartzo), vidro de isolamento de borossilicato (mantém o compartimento de temperatura isolado do ambiente mas permite a passagem de luz), sensor, suporte para o sensor, fontes emissoras de luz infravermelha, e pela esfera de integração.

Esferas de integração comerciais apresentam diâmetro de 50 mm a 250 mm. Quanto maior o raio, mais homogêneo é o fluxo luminoso apresentado ao sensor, todavia, menor é sua potência. Para construção de uma esfera, são estabelecidas algumas recomendações que garantem um bom funcionamento do dispositivo, entre elas, a área de furos não pode ser superior a 5% da área total da esfera e o ângulo de incidência da luz infravermelha na amostra não pode ser superior a 10° (Torrent and Barron, 2008).

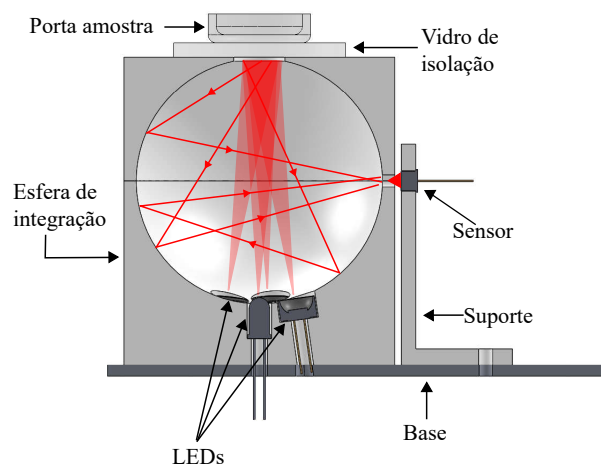
A esfera de integração desenvolvida neste trabalho foi projetada em software CAD e impressa em plástico ABS por uma impressora 3D com precisão de 0.15 mm. Ela foi feita em duas partes, permitindo que as fontes de luz fossem posicionadas pela parte interna. A parte inferior apresenta o local de instalação dos LEDs. Já a parte superior, apresenta o orifício para exposição da amostra aos raios. Um orifício na lateral permite o direcionamento da luz ao sensor. Dada a baixa potência dos LEDs, o diâmetro adotado foi de 60 mm, de forma a obter a máxima potência de luz no sensor, ao mesmo tempo em que são respeitadas as recomendações de construção, com uma área de furos de 4.61% e ângulo de incidência das fontes de 8°.

Pelo fato do plástico ABS apresentar um coeficiente de refletância baixo, a esfera foi revestida por uma tinta feita de sulfato de bário (BaSO_4), que apresenta um alto índice de refletância devido a suas características de cristalização. Sua fabricação foi feita utilizando sulfato de bário P.A. (Vetec, Sigma Aldrich[®], Brasil), água destilada, álcool etílico 99% (Qhemis[®], Brasil) e álcool polivinílico (PVA) com massa de 85-124 e pureza 99% hidrolisado (Sigma Aldrich[®], EUA).

2.2 Acionamento dos LEDs

De acordo Buning-Pfaue (2003), as bandas mais intensas de absorção de água correspondem aos comprimentos de onda de 970 nm, 1,190 nm, 1,450 nm e 1,940 nm. Assim, para a quantificação de água adicionada na amostra, foram utilizados os LEDs apresentados na Tabela 1. Dois LEDs apresentam comprimentos de onda em bandas carac-

Figura 2: Sistema óptico.



terísticas de absorção de água. Já o LED15-PR, apesar de não estar centrado em uma banda, emite energia na faixa de absorção de 1450 nm dada sua largura de banda.

Tabela 1: LEDs adotados

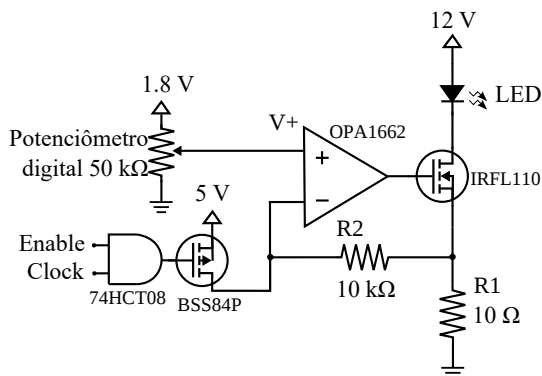
Componente	λ (nm)	Potência (mW)	FWHM ¹ (nm)
LED1200	1200	5.0	100
LED1450	1450	2.5	100
LED15-PR	1530	2.5 - 5.0	125

¹ *Full Width at Half Maximum* - Largura de banda a meia potência.

Foi utilizado um circuito fonte de corrente para o acionamento de cada LED, garantindo uma potência luminosa igual em todas as análises. O circuito esquemático da fonte de corrente é apresentado na Figura 3. O sinal identificado como *Clock* determina a frequência de acionamento dos LEDs e o sinal *Enable* habilita a saída. Isto ocorre pois quando os dois sinais estão em alto, o transistor de canal P não entra em condução, assim, o resto do circuito se comporta como um circuito de fonte de corrente controlado por tensão, onde a tensão no terminal *Source* do transistor de canal N possui o mesmo valor da tensão na entrada não inversora, V_+ , do amplificador operacional. Portanto, a corrente que flui sobre o resistor R1, que corresponde a mesma corrente sobre o LED, é determinado pelo valor da tensão V_+ , dividido por sua resistência. O controle da corrente é feito pelo potenciômetro digital MCP4341, uma vez que a tensão da entrada não inversora é proporcional ao ajuste do tap. Por conseguinte, a corrente que flui sobre o LED é de

$$V_+ = \frac{390.625n}{50 \times 10^4} 1.8 \quad (1)$$

Figura 3: Fonte de corrente para acionamento de um LED.



onde n corresponde ao número do tap ($0 \leq n \leq 128$). A vantagem desta configuração é que a corrente pode apresentar valores entre 0 A e 0.18 A, sendo o ajuste feito via *software*. Quando um dos sinais *Enable* ou *Clock* está em nível lógico baixo, a saída da porta lógica também é baixa e o transistor de canal P grampeia a tensão de 5 V na entrada inversora do amplificador operacional. Por apresentar um valor de tensão superior a entrada não inversora, a saída do amplificador é de 0 V, uma vez que sua alimentação é assimétrica. Logo, o transistor de canal N se mantém em corte e não flui corrente sobre os LEDs.

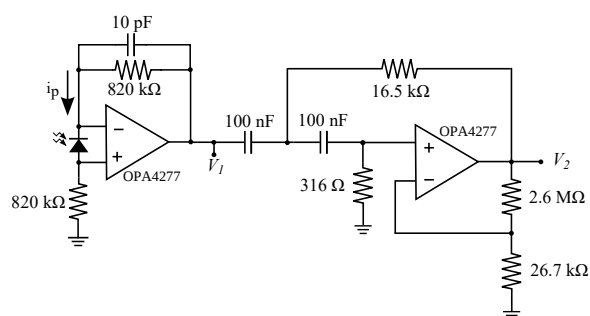
2.3 Sistema de recepção

O sensor utilizado para detectar o sinal luminoso gerando um sinal elétrico correspondente, foi o PD24-03, da *Roithner LaserTechnik*, fabricado com um substrato de GaInAsSb e com sensibilidade nos comprimentos de onda de 1.0 - 2.43 μm .

Após a sensibilização do sensor com a energia refletida pela amostra, foi necessário implementar um circuito de condicionamento, com o objetivo de eliminar interferências de sinais ruidosos e fontes de luz externas, antes do conversor A/D. Para isto, foi utilizada uma abordagem de detecção síncrona normalmente implementada em transdutores com baixa amplitude de sinal. O circuito de condicionamento é composto de três estágios: circuito de transimpedância, filtro passa-altas e amplificador Lock-in.

O primeiro estágio do circuito de condicionamento corresponde a ligação do sensor a um amplificador operacional na configuração de transimpedância, que transforma o sinal de corrente, gerado pela intensidade luminosa que chega ao sensor, em tensão. Em seguida, o sinal é submetido ao segundo estágio, que trata-se de um filtro passa-altas de segunda ordem com topologia Sallen-Key. Seu objetivo é filtrar as componentes de baixas frequências, para apresentar um sinal CA à entrada do amplificador Lock-in. Os componentes

Figura 4: Circuito de transimpedância e filtro passa-altas Sallen-Key de segunda ordem.



foram ajustados para apresentar uma frequência de corte de aproximadamente 700 Hz com resposta *Butterworth*, uma vez que o sinal de interesse possui 1 kHz. O filtro também amplifica o sinal na banda de passagem em 39,8 dB. O esquemático do circuito de transimpedância e do filtro passa-altas são apresentados na Figura 4.

O terceiro estágio do circuito de condicionamento corresponde a um amplificador Lock-in, Figura 5, que é muito utilizado para detectar e medir sinais CA da ordem de nanovolts ou nanoamperes, mesmo que o sinal esteja imerso em um ruído centenas de vezes maior. Tal efeito é obtido usando um sistema de detecção síncrona, ou seja, o sinal desejado deve apresentar uma frequência fixa e de valor igual ao sinal de referência. Essencialmente, ele se comporta como um filtro com largura de banda estreita, que elimina a maioria dos ruídos do sistema quando sintonizado na frequência do sinal medido. As principais etapas deste processo é a multiplicação do sinal de entrada por um sinal de referência de mesma frequência, seguido por um filtro passa-baixas. Essa combinação de circuitos é denominada de detector sensível de fase, que é responsável por apresentar um sinal CC proporcional a amplitude do sinal de interesse e do sinal de referência, com uma componente alternada de frequência 2ω ¹. A implementação física do amplificador *Lock-in* foi feita utilizando o circuito integrado AD630, da *Analog Devices*. O filtro passa-baixas apresenta frequência de corte de aproximadamente 1 Hz, e a digitalização do sinal é feita pelo CI MCP3204 com resolução de 12 bits.

2.4 Controle de temperatura

A escolha do setpoint foi motivada principalmente pelos LEDs, uma vez que o pico de intensidade de emissão da luz corresponde ao valor nominal apenas para 25 °C. Para os demais valores, pode ocorrer uma variação de até 40 nm em torno do valor nominal. Para permitir o aquecimento ou

¹ ω corresponde a frequência do sinal de interesse e do sinal de referência.

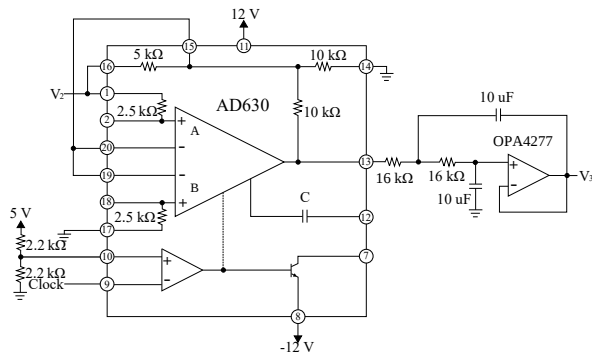


Figura 5: Esquemático do circuito do amplificador Lock-in.

resfriamento do sistema, de acordo com a temperatura ambiente, foi utilizada uma pastilha termoeletrica que funciona devido ao efeito Peltier, ou seja, quando aplicada uma tensão em seus terminais, um gradiente de energia é gerado na junção de dois condutores, acarretando no aquecimento de um lado, e no resfriamento do outro. A inversão da polaridade da tensão faz com que o fluxo de energia da pastilha termoeletrica seja invertido, consequentemente, o lado quente começa a resfriar, e vice-versa.

Para permitir o acionamento da pastilha nos dois sentidos, foi projetado um circuito ponte H alimentado em 12 V. Foram utilizados 4 transistores IRFZ44N para implementação da ponte, e utilizou-se dois drivers IR2108 para o controle do acionamento dos MOSFETs. O sinal de alimentação dos drivers é proveniente de um microcontrolador e apresenta modulação por largura de pulso (PWM), permitindo controlar a potência desenvolvida pela pastilha termoeletrica. Contudo, o sinal pulsado reduz a eficiência e vida útil da pastilha. Sua implementação se deu exclusivamente pela simplicidade do circuito e pelo fato da temperatura apresentar pouca variação no ambiente de testes.

A estrutura de isolamento térmica foi feita utilizando madeira MDF e lâ de vidro. Para acelerar a estabilização da temperatura no compartimento controlado, foi instalado um dissipador e uma ventoinha no interior da caixa. Para dissipar o fluxo de energia gerado no lado oposto ao ambiente controlado, evitando que o coeficiente de performance da pastilha decaia, usou-se um tarugo de alumínio para conduzir a energia entre a isolamento, e um dissipador e uma ventoinha, que aceleram a dissipação desse fluxo para o ambiente.

3 Resultados Experimentais

O protótipo desenvolvido é apresentado na Figura 6. No lado esquerdo, foi instalada a estrutura que apresenta a temperatura interna controlada, e que contém o sistema óptico e de recepção, responsá-

Figura 6: Protótipo desenvolvido - vista superior.

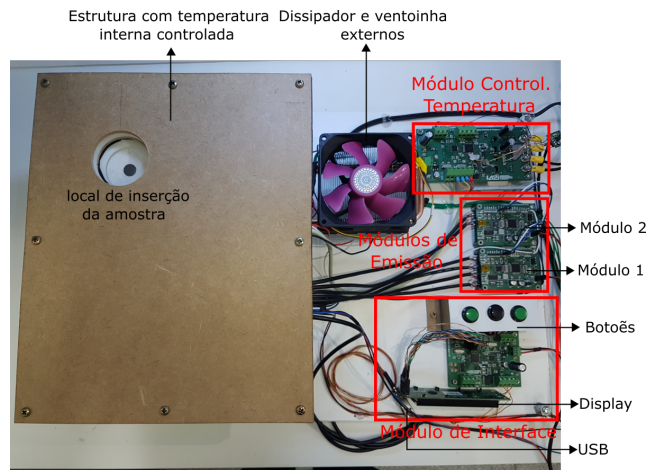
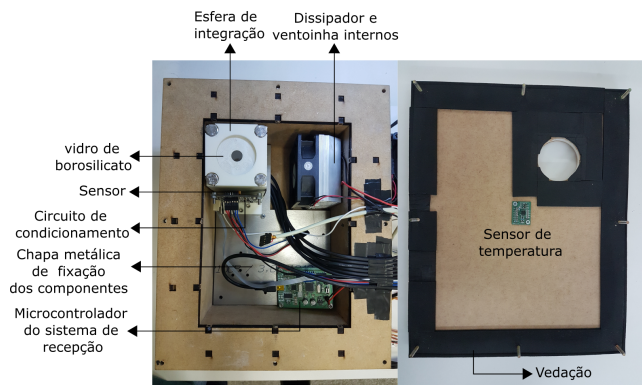


Figura 7: Interior da caixa de isolamento - sistema óptico e de recepção.



veis pela medição da energia absorvida pela amostra. Já no lado direito, foram fixadas as placas do módulo de interface, emissão e controle de temperatura. Os botões, o *display* e o cabo USB se apresentam em torno da placa de interface.

Na Figura 7 é observado o interior da caixa de isolamento. Para melhorar a vedação entre a caixa e a tampa, evitando que pequenas frestas possibilitem uma troca de energia mais rápida com o ambiente, foi instalada uma fita de espuma adesiva nas bordas da tampa e no entorno do local de apresentação da amostra. Por possuir certa capacidade de compressão, a fita permite que os cabos passem entre a tampa e a caixa, sem provocar frestas.

O fornecimento de energia para todos os módulos do sistema foi feito por uma fonte de alimentação linear variável, com dois canais de saída. Os canais foram conectados em série, permitindo fornecer uma alimentação simétrica (+12 V/-12 V) para o circuito de condicionamento, e uma alimentação assimétrica (+12 V/0 V) para os demais

Figura 8: Sinal de saída do circuito de transimpedância.

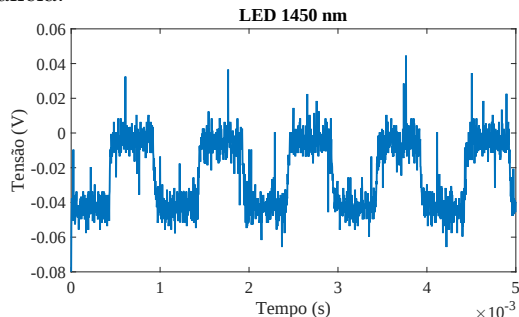
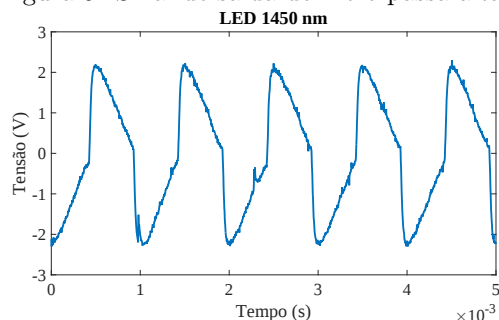


Figura 9: Sinal de saída do filtro passa-altas.



circuitos. A capacidade de corrente de cada canal é de 5 A, porém, a máxima corrente drenada pelo circuito, com o sistema de controle de temperatura operando em capacidade máxima, foi de aproximadamente 4 A.

Na Figura 8 está apresentado o sinal de saída do circuito de transimpedância para uma amostra de leite pura para o acionamento de um LED. O sinal praticamente não apresentou níveis de tensão com o LED apagado, contudo, com a fonte de luz acesa, a tensão de saída foi de aproximadamente 45 mV negativos. Verificou-se a presença de ruído devido a ativação da comunicação USB, com amplitude significativa nesta etapa. Também verificou-se que o sinal de saída deste estágio estava totalmente em fase com o sinal de acionamento dos LEDs, apresentando uma frequência de 1 kHz.

A Figura 9 apresenta o sinal de saída do filtro passa-altas *Sallen-Key* de segunda ordem para a mesma amostra citada a pouco. Verificou-se que o sinal manteve a frequência de 1 kHz, não houve defasagem de fase de 180 graus, contudo, pelo fato da frequência de corte do filtro ser de 700 Hz, há uma deformação da onda de saída. A amplitude do ruído é menos significativa nesta etapa, e o sinal presente na banda passante obteve um ganho de 94 vezes (39,5 dB), visto que a amplitude de pico-a-pico foi de aproximadamente 4,23 V.

A informação perdida com a filtragem do sinal não apresenta risco na determinação da quantidade de energia absorvida pela amostra. De

Figura 10: Sinal de saída do filtro passa-altas no domínio da frequência para três amostras de leite.

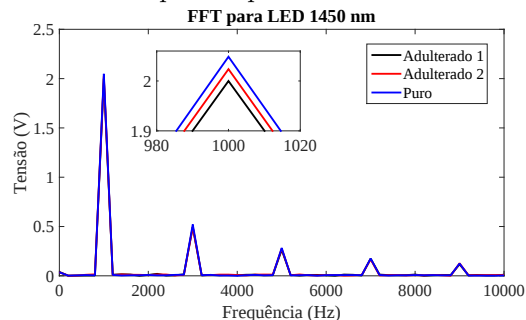
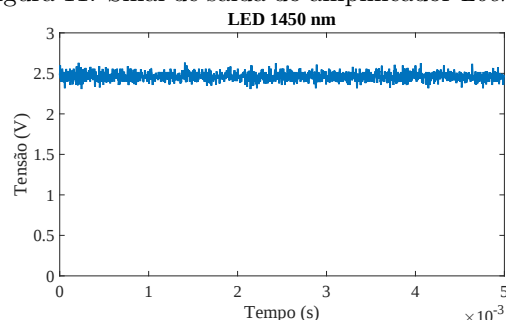


Figura 11: Sinal de saída do amplificador *Lock-in*.



acordo com a Figura 10, praticamente toda a informação desejada está contida na frequência de 1 kHz e seus harmônicos, portanto, a deformação do sinal não prejudica a análise. A grande dificuldade do sistema apresentado, é que a variação do sinal para uma amostra de leite puro em relação a amostras com adulterações de água é muito pequena, conforme é apresentado na Figura 10.

Por fim, a Figura 11 apresenta o sinal de saída posterior ao amplificador *Lock-in*. Como era esperado, o sinal de saída possui valor contínuo cuja amplitude é proporcional à amplitude do sinal de entrada.

Foi realizado um teste para analisar a capacidade do protótipo em detectar água adicionada em amostras de leite cru, em diferentes concentrações. Para isso, foram preparadas 44 amostras, com concentrações de água adicionada de 0% a aproximadamente 29%, em duplicatas. Os resultados são apresentados nas Figuras 12, 13 e 14, demonstrando a relação entre o código de saída do conversor analógico-digital e a porcentagem de água adicionada na amostra para, respectivamente, LED1200, LED1450 e LED15-PR. Verifica-se que para todos os LEDs, quanto maior a concentração de água adicionada, menor é a tensão apresentada ao conversor A/D. Ou seja, a resposta obtida comprova a teoria, que diz que quanto maior a concentração da substância de interesse, maior é a absorção de energia pela amostra, consequentemente, menor a energia apresentada ao sensor.

Figura 12: Relação entre o código de saída do conversor A/D e a quantidade de água adicionada para o LED1200.

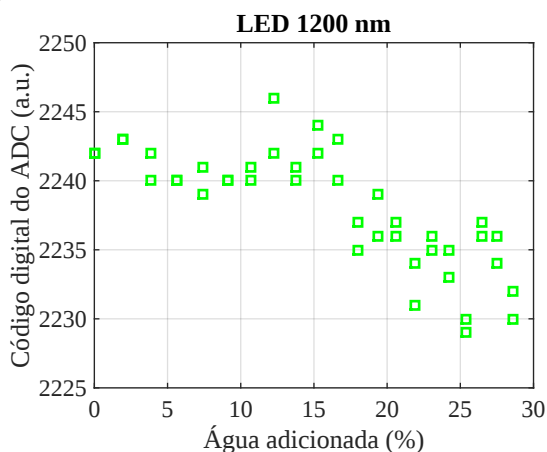
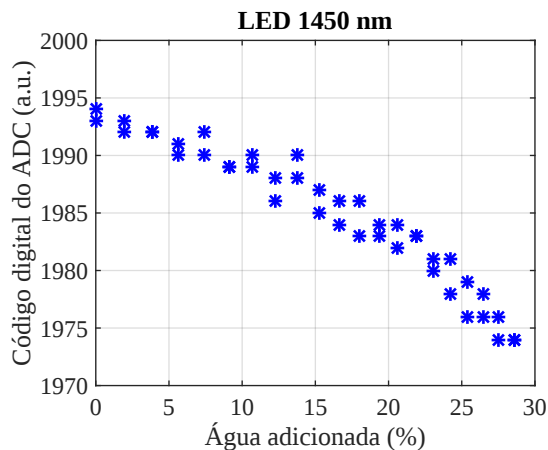


Figura 13: Relação entre o código de saída do conversor A/D e a quantidade de água adicionada para o LED1450.

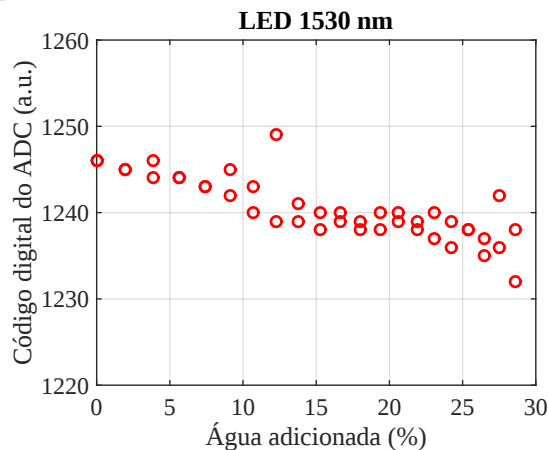


4 Conclusões

Foi apresentado neste trabalho, os resultados preliminares do desenvolvimento de um protótipo para detecção de adulteração de leite cru com água adicionada. Para isso, foi utilizado um circuito de detecção síncrona, capaz de atenuar sinais ruidosos ou sinais provenientes de fontes de luz externa. Os resultados dos testes iniciais mostram que o sistema consegue extrair informações sobre a quantidade de água adicionada nas amostras de leite cru.

No decorrer da pesquisa, será estudado um método de calibração para a criação de um sistema de predição, que posteriormente pode ser implementado no sistema embarcado, para que o protótipo apresente de forma direta a quantidade de água adicionada em uma amostra de leite cru após a análise.

Figura 14: Relação entre o código de saída do conversor A/D e a quantidade de água adicionada para o LED15-PR.



Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a CAPES pelo apoio financeiro e ao LIPOA pelo fornecimento de amostras de leite cru.

Referências

- Alam, A. E., Islam, R. and Faria, I. J. (2017). Development and validation of a low-cost visible light spectrophotometer, *International conference on advances in Electrical Engineering (ICAEE)*.
- Artime, C. E. C., de la Fuente, J. A. B., Garcia, M. A. P., Vega, R. M. and Blanco, N. C. (2008). On-line estimation of fresh milk composition by means of VIS-NIR spectrometry and partial least squares method (PLS), *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*.
- Bano, S., Altaf, T. and Akbar, S. (2010). Microcontrolled based spectrophotometer using compact disc as diffraction grid, *IEEE Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition*.
- Buning-Pfaue, H. (2003). Analysis of water in food by near infrared spectroscopy, *Food Chemistry* **82**: 107–115.
- Fernandes, J., Pimenta, S., Soares, F. O. and Minas, G. (2015). A complete blood typing device for automatic agglutination detection based on absorption spectrophotometry, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement* **64**(1): 112–119.
- Hop, E., Luinge, H. J. and Hemert, H. V. (1993). Quantitative analysis of water in milk by FT-IR spectrometry, *Applied Spectroscopy* **47**(8): 1180–1182.

- Kasemsunran, S., Thanapase, W. and Kiatsoonthon, A. (2007). Feasibility of near-infrared spectroscopy to detect and to quantify adulterants in cow milk, *Analytical Sciences* **23**: 907–910.
- Kemeny, G. (2008). Application for the integrating sphere in the near-infrared spectral region, *Technical report*, Pike Technologies.
- Laporte, M.-F. and Paquin, P. (1999). Near-infrared analysis of fat, protein and casein in cow's milk, *Food Chemistry* **47**(7): 2600–2605.
- Ni, L. J., Zhang, L. G., Tang, M. Y., Xue, Z. B., Zhang, X., Gu, X. and Huang, S. (2012). Discrimination of adulteration cow milk by improved v-support vector machines (v-SVM) and near infrared spectroscopy, *IEEE International Conference on Natural Computation*.
- Sun, D.-W. (ed.) (2009). *Infrared spectroscopy for food quality analysis and control*, Elsevier.
- Taha, S., Rafat, G., Aboshosha, F. and Mansour, F. R. (2017). A simple homemade spectrophotometer, *Journal of Analytical Chemistry* **72**(2): 239–242.
- Torrent, J. and Barron, V. (2008). Diffuse reflectance spectroscopy, *Methods of Soil Analysis*, Soil Science Society of America.
- Veras, G., Silva, E. C., Lyra, W. S., Soares, S. F. C., Guerreiro, T. B. and Santos, S. R. B. (2009). A portable, inexpensive and micro-controlled spectrophotometer based on white led as light source and cd media as diffraction grid, *Talanta* **77**: 1155–1159.
- Wang, Z., Ling, Z., Li, S., Liu, J., Liu, H., Liu, R. and Liu, Z. (2010). Development of arm-based measure & control analysis system of portable near-infrared spectrometer, *International conference on computer, mechatronics, control and electroonic engineering (CMCE)*.
- Wu, D., Feng, S., Chen, X., Yang, H. and He, Y. (2008). Short-wave near-infrared spectroscopy of milk powder: quantitative analysis of fat content, *IEEE International Congress on Image and Signal Processing*.
- Yaqub, M. A., Bhutta, M. R., Park, J. and Hong, K. (2017). Development of a dual wavelength 32-channel functional near-infrared spectroscopy based neuroimaging system, *International Conference on Control, Automation and Systems*.