# S$^3$PR: um sensor SPR portátil e independente baseado no chip SPREETA e microcontrolador de placa única

**Nickson S. O. Lopes*, Leiva C. Oliveira*,****

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica – PPgEE UFERSA*
***Programa de Pós-graduação em Ciência de Computação – PPgCC UERN UFERSA*
*Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, Brasil*
*(e-mail: nickonsaymon@gmail.com, leiva.casemiro@ufersa.edu.br)*

**Abstract:** Since the announcement of the SPREETA chip, the construction of surface plasmon resonance (SPR) based sensors becomes less complex once this chip encapsulates the main optical-electronic components in a single casing. Associated with instrumentation based on single-board microcontroller (SBM), the development of portable and miniaturized SPR sensors is becoming more and more viable. However, many projects of SPR sensors that use SPREETA and SBM still require connection to a computer for control and operation, with incipient integration between hardware and software, leading to field-deployment applications being unfeasible. This work presents a stand-alone portable SPR sensor based on SPREETA and SBM Arduino. The sensor works without the need for other equipment, computers, or connections. Composed of modular parts, manufactured using a 3D printer, encapsulate the required components, the peristaltic pump, and the touchscreen. The embedded software was specially developed to perform the acquisition, control, processing, display, and storage of the SPR response. To demonstrate the sensor feasibility, experiments with aqueous solutions were carried out, reaching a sensitivity value of 123°/RIU, similar to other sensor designs.

**Resumo:** Com o surgimento do chip SPREETA a construção de sensores baseados na ressonância de plásmon de superfície (SPR) foi facilitada uma vez que este chip encapsula os principais componentes óptico-eletrônicos em um único invólucro. Associado com uma instrumentação usando microcontroladores de placa-única (SBM), o desenvolvimento de sensores SPR portáteis e miniaturizados torna-se cada vez mais viável. Contudo, muitos projetos de sensores que utilizam SPREETA e SBM ainda requerem conexão com um computador para sua operação, com integração entre hardware e software incipiente. Esse trabalho apresenta um sensor portátil independente baseado no SPREETA e SBM Arduino. O sensor funciona sem a necessidade de outro equipamento, computador ou conexão podendo ser utilizado em campo. Composto por partes modulares manufaturadas em impressora 3D, encapsulam os componentes, a bomba peristáltica e a tela *touchscreen*. O software embarcado foi especialmente implementado para realizar aquisição, controle, processamento, exibição e armazenamento da resposta SPR. Para demonstrar a viabilidade da solução, experimentos com soluções aquosas foram realizados, atingindo um valor de sensibilidade de 123°/RIU equivalente à de outros sensores.

*Keywords*: SPR sensor; portable sensor; SPREETA; Arduino SPR sensor; 3D printer optical sensor

*Palavras-chaves*: Sensor SPR; sensor portátil; SPREETA; sensor SPR-Arduino; sensor óptico 3D.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma infinidade de possibilidades e aplicações de campo necessitam observar/medir de forma rápida e precisa reações biomoleculares, sendo os sensores ópticos portáteis baseados na ressonância de plásmons de superfície (RPS, ou SPR do inglês *Surface Plasmon Resonance*) uma das principais soluções capazes de realizar tal tarefa. Os sensores SPR são construídos a partir de estruturas multicamadas contendo uma interface metal/dielétrico, onde ocorre a excitação desse fenômeno. Usualmente, esta interface é iluminada em condições específicas de reflexão total atenuada (Oliveira et al. 2019) em que a luz refletida é capturada por sensores de imagens, permitindo assim, o sensoriamento de substâncias líquidas e gasosas (Qu et al. 2020).

Uma das principais dificuldades para construção de sensores SPR portáteis é a instrumentação e o encapsulamento dos elementos óptico-eletrônicos necessários para excitação da SPR. O desenvolvimento de sensores SPR portáteis teve forte avanço com a comercialização do chip SPREETA$^{TM}$ no início dos anos 2000 (Melende et al 1996, TI 2000). Esse chip encapsula em um único invólucro, com dimensões bastante reduzidas, os principais elementos para a excitação óptica do fenômeno SPR (a saber: fonte de luz, detector de imagem, memória, lentes, polarizador, espelhos e camada metálica). Desde seu surgimento, diversos soluções e designs de sensores SPR baseados no SPREETA foram reportados na literatura. Brevemente, seu uso para detecção de agentes patógenos (Park et al. 2024), imunoensaios (Haasnoot et al 2006) e análise de substâncias químicas (Navrátilová and Skládal 2003) podem ser encontrados na literatura. Instrumentação adaptada para a construção de sensores portáteis (Wang et al. 2016, Chinowsky et al. 2007, Marchesini et al. 2007), para instalação em aeronaves (Naimushin et al. 2006), baseado em hardware reconfigurável e em instrumentos virtuais (Oliveira et al. 2011) foram

previamente reportados. Além disso, trabalhos que investigam a performance do SPREETA (Chinowsky et al. 2003), o processamento e a comparação de seus resultados com outros sensores SPR (Spangler et al 2001) e outras tecnologias (Sousa et al. 2014) também foram publicados. Outrossim, sua versatilidade possibilita a combinação com outras técnicas de espectroscopia (Matějka et al. 2003).

Sobre os sensores SPR portáteis baseados no SPREETA, em geral, estes necessitam de um computador para realizar as tarefas de processamento e exibição dos dados, mitigando sua aplicação em campo (Chinowsky et al. 2007, Marchesini et al. 2007); ou apresentam hardware de baixo poder computacional (Wang et al. 2016, Chinowsky et al. 2007, Bagi et al. 2018), com recursos limitados (Wang et al. 2016, Pramesta and Triyana 2015, Pramesta 2016), sem suporte e/ou obsoletos (Chinowsky et al. 2007, Bagi et al. 2018). Desse modo, a modernização do aparato computacional para construção de sensores baseados no SPREETA torna-se indispensável para inclusão de novos componentes, *upgrade* de softwares, escalabilidade e inclusão de novas funcionalidades e tarefas modernas tais como: processamento inteligente, conexões *wireless*, compartilhamento de dados em nuvem, sensoriamento colaborativo entre outras possibilidades.

O uso de instrumentação baseada em microcontrolador de placa única (MPU, ou SBM do inglês *Single-Board Microcontroller*) é uma alternativa para a modernização e portabilidade dos sensores SPR. Os sensores SPR baseados em Arduino apresentados na literatura (Pramesta and Triyana 2015, Pramesta 2016), além de requisitarem conexão com computadores, apresentam softwares com poucas funcionalidades e negligenciam as potencialidades da placa SBM a exemplo da não incorporação de hardware/software necessários em um sensor para aplicação em campo.

Diante do exposto, nesse trabalho é apresentado um novo sensor SPR *stand-alone* (independente) baseado no SPREETA e com SBM moderna como unidade computacional. Denominado de $S^3PR$ (em referência aos três "S" das siglas *SPR*, *SPREETA* e *SBM*), foi concebido para funcionar com plataformas Arduino. Apresentando funções para controle do chip SPREETA, processamento de dados, exibição de respostas gráficas, interface amigável e opções de armazenamento & entrega dos dados, permite que o sensor seja levado à campo sem a necessidade de conexão com computador. A estrutura mecânica do $S^3PR$ foi projetada para encapsular todos os componentes óptico-eletrônicos, como também o sistema fluídico (bomba). Além de permitir encaixar o *display* com tela sensível ao toque. Um software especialmente desenvolvido para atuar em conjunto com essa estrutura permite a aquisição e processamento dos dados, o controle da bomba, a interação com usuário e exibição de dados em tempo real.

## 2. O SENSOR $S^3PR$

A Fig. 1 apresenta a estrutura mecânica do $S^3PR$. Ela é composta por por três parte que podem ser construídas com impressora 3D, a saber: I) o *case* (invólucro) principal para encapsulamento de todos os componentes óptico-eletrônicos; II) o *case* adjacente para acomodação do SPREETA, bomba e célula de fluxo; e III) o adaptador para o *display* de 4.3".

O *case* principal possui estrutura trapezoidal de tamanho reduzido, medindo 141 mm x 88,4 mm x 70 (C x L x A). Este *case* possui encaixe retangular na parte frontal para acoplamento do adaptador do *display* (35 mm x 88 mm x 2,5 mm), contendo um buraco (Ø 1 mm) que permite a passagem do cabo para conexão do *display*, de modo a permitir que o usuário possa controlar o sensor com a tela em suas mãos. O *case* adjacente mede 75 mm x 100 mm x 70 mm e possui uma tampa superior para acesso aos elementos internos.

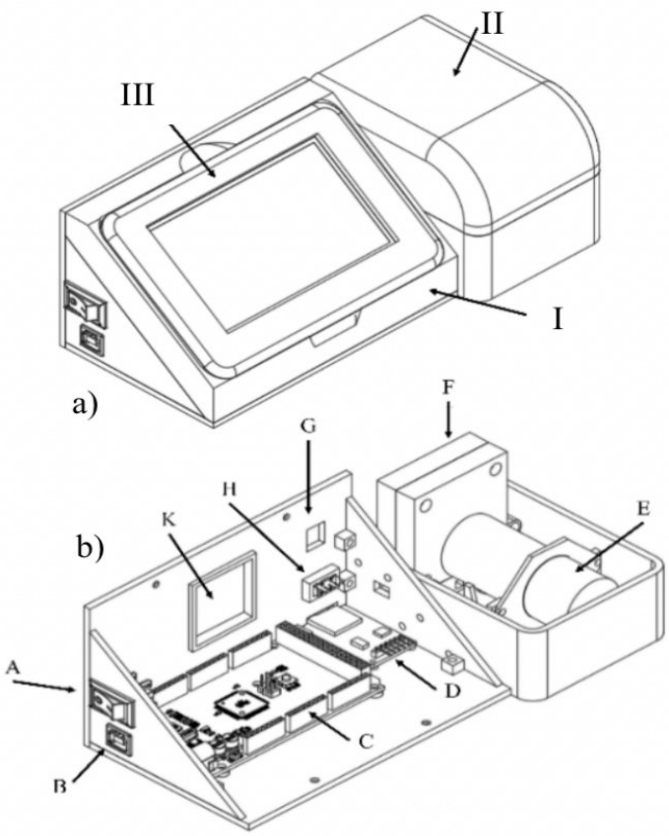
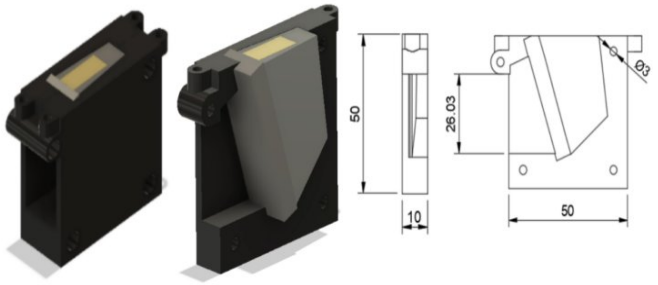



Fig. 1 a) Estrutura mecânica do $S^3PR$: I) *case* trapezoidal (principal) para encapsulamento dos componentes, II) *case* adjacente para o SPREETA e sistema fluídico e III) adaptador para o *display touchscreen*. b) Disposição dos elementos internamente.

No interior do *case* principal (ver Fig. 1b) são acomodados os seguintes elementos: a chave ON/OFF (A), a entrada USB (*Universal Serial Bus*) (B) para o SBM (C). A placa para *datalogger* por cartão de memória (*shield* SD) e comunicação *bluetooth* (D) para exportar os dados adquiridos; a entrada de alimentação da fonte 12V (G); chave de seleção para modo de programação do microcontrolador (H) e dissipador de calor do regulador de tensão 5V (K). No interior do *case* adjacente acomodam-se a mini bomba peristáltica de 12V modelo WRS-385SA-14156 (E) e o suporte desenvolvido para o sensor SPREETA (F).

Para acomodação do SPREETA de forma prática, um suporte envolvente foi desenvolvido. Como apresentado na Fig. 2, o suporte envolvente possui duas partes unidas por parafusos que encapsulam o chip SPREETA, permitindo acesso a

superfície metálica. Possui angulação interna complementar à geometria do chip, de modo a posicionar horizontalmente sua superfície metálica. Tal estratégia permite a operação do sensor por gotejamento de soluções líquidas, facilidade no acoplamento de célula de fluxo e a diminuição de vazamentos (Sommers, 2002). Ademais, possui uma abertura frontal permitindo acesso seus pinos.




a) b) c)

Fig. 2 a) Suporte envolvente para o chip SPREETA especialmente desenvolvido para posicionamento horizontal da superfície metálica. Detalhe para sua visão interna. Vistas b) lateral e c) superior de partes do suporte, indicando suas dimensões em mm.

Por fim, o S$^3$PR contempla uma célula de fluxo projetada com a finalidade de permitir o contato entre a substância a ser analisada e a camada metálica. A Fig. 3 apresenta a célula de fluxo e seus elementos. A célula é fixada a parte superior do suporte do chip SPREETA. Possui dois canais laterais para entrada/saída do fluido líquido. Para garantir uma boa vedação entre os elementos, um par de *o-rings* (anéis de vedação de borracha) foram utilizados. O anel de vedação interno emoldura o volume da célula de aproximadamente 9,2μL, enquanto o anel externo garante a selagem da estrutura. O design apresenta uma pequena ranhura para indicar o posicionamento correto de encaixe no chip. Com a célula montada, ocorre a sobreposição e fixação diretamente no suporte do chip através de parafusos.

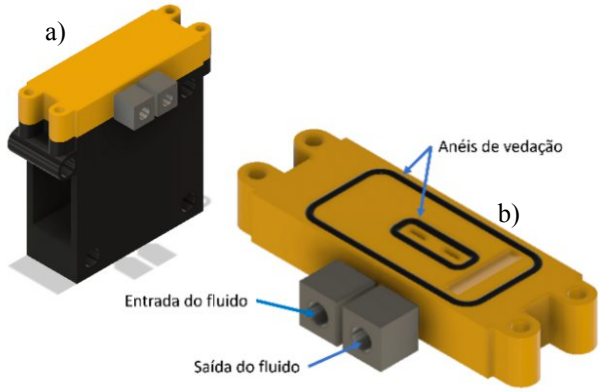



Fig. 3 Modelo 3D da célula de fluxo do S$^3$PR. a) Visão geral do modelo: conjunto célula de fluxo e suporte envolvente do chip. b) Célula de fluxo e seus elementos constitutivos.

## 3. ASPECTO SOBRE SOFTWARE DO S$^3$PR

O software em linguagem C++ foi especialmente desenvolvido para interagir com a estrutura do sensor. As interfaces do software e são apresentadas na Fig. 4.

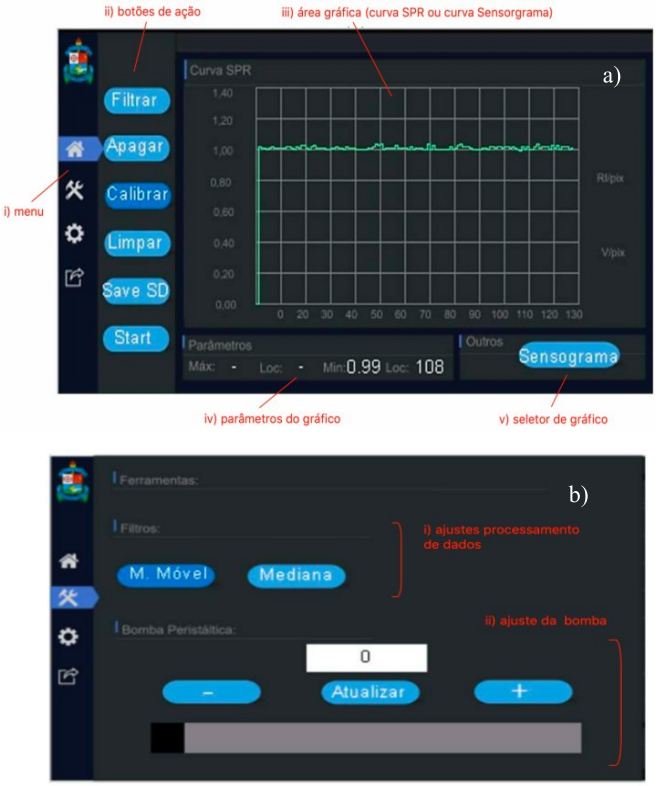



Fig. 4 Captura de tela para o software do S$^3$PR. a) Interface para o menu "inicial" apresentando o gráfico para a curva SPR. Indicação dos seus principais componentes. b) Menu "Ferramentas".

Resumidamente, o software embarcado inicia exibindo o "menu inicial" (i) com a área gráfica (iii) para a curva SPR em destaque; a curva SPR é expressa pelo gráfico refletividade normalizada *vs*. pixel. Os botões de ação (ii) permitem realizar as funções para aquisição do sinal (Start), suavização do sinal (Filtrar), calibração (Calibrar/Apagar), e armazenar/exportar os dados (Save SD). Além disso, com o botão (Limpar) é possível limpar tanto as opções de suavização escolhidas quanto a área gráfica. Na tela também é apresentado ao usuário os parâmetros (iv) extraídos da curva SPR ou do Sensorgrama; e um botão seletor (v) para escolher qual gráfico será exibido: curva SPR ou Sensorgrama (pixel mínimo *vs*. tempo). Cumpre destacar que o sinal da curva SPR é tipicamente obtido pela normalização dos sinais de tensão elétrica referentes a substância em análise e da calibração (resposta do sensor quando há apenas Ar em contato com a superfície metálica), expresso da forma:

$$\mathrm{SPR} = \mathrm{Sinal}^*_{\mathrm{substânica}} / \mathrm{Sinal}^*_{\mathrm{Ar}} \tag{1}$$

em que o sinal suavizado $\mathrm{Sinal}^*$ é obtido com a aplicação da função de filtragem no sinal bruto, da forma $\mathrm{Sinal}^* = \mathrm{filtro}\left(\mathrm{Sinal}_{\mathrm{bruto}}, \mathrm{w}\right)$. No menu "Ferramentas" (ver Fig. 5b) é possível escolher entre os algoritmos de filtragem da Média Móvel e da Mediana para uma janela (w) de 5 pontos. As posições de máximo e mínimo referentes ao local da ressonância são extraídas por meio do algoritmo de caça-ao-mínimo da curva SPR. Para maiores detalhes sobre os algoritmos implementados, indicam-se as referências (Oliveira et al. 2019, Sousa et al. 2014, Tobiška and Homola 2005). Nesse menu, também é possível controlar a velocidade

de rotação da bomba peristáltica através do método PWM (*Pulse Width Modulation*) definindo os valores tanto pelos botões "-", "Atualizar" e "+", quanto por uma barra deslizante. Por fim, no menu "Configurações" do *display*, é possível reiniciar, calibrar e ajustar o brilho da tela. A Fig. 5 apresenta o fluxograma simplificado do software embarcado.

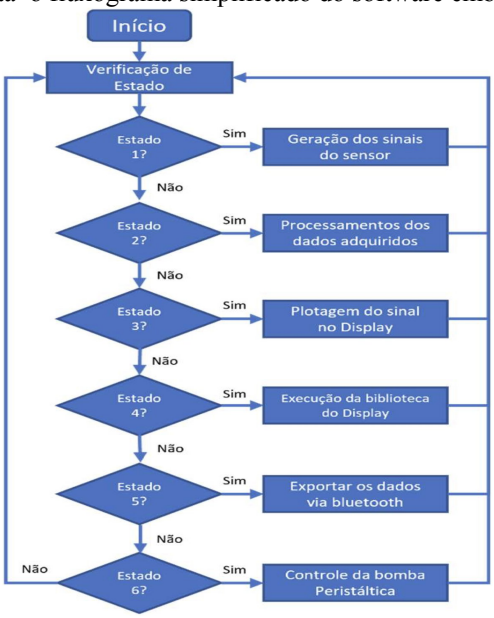



Fig. 5 Fluxograma simplificado das ações/estados do software para: 1.geração do sinais de controle do SPREETA; 2.processamento do sinal recebido; 3.exibição de dados; 4.*refresh* da tela; 5. armazenamento da informação; e 6.controle da bomba.

## 4. PROTÓTIPO DO S$^3$PR E RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Um protótipo para o sensor S$^3$PR confeccionada através da impressora 3D Creality Ender 3, usando filamentos de PLA (Ácido Poliláctico) pode ser visualizado na Fig. 6. A associação precisa entre o *case* principal e o *case* adjacente encapsulam precisamente os elementos óptico-eletrônico-fluídicos. Na parte frontal é acomodado o display Nextion NX4827T043 de 4.3", por meio do adaptador destacável especialmente desenvolvido para permitir ergonomia e facilidade de operação do sensor, sendo este conectado por cabo de 80 cm. Sua escolha de deve a sua facilidade de uso e programação, além da possibilidade de ser controlado via comunicação serial. As fotografias da Fig. 6(c)-(d) apresentam a célula de fluxo e o suporte envolvente presos por parafusos, garantindo a fixação de todas as partes.

Para os experimentos, foram utilizados o chip TSPR1A170100 SPREETA (TI, 2000) e o SBM Arduino Mega 2560. A escolha pelo Arduino Mega se deu por sua capacidade de processamento, facilidade de programação, custo, disponibilidade de *gadgets* e dispositivos (a exemplo de display *touchscreen* e módulo *bluetooth*), além da existência de uma comunidade de suporte. O código não bloqueante embarcado no SBM é responsável pela geração de sinais para o SPREETA, comunicação serial com o *display*, geração de sinal PWM para controle da bomba peristáltica e comunicação com *shield* de armazenamento (micro SD) e transmissão (módulo *bluetooth*). A Fig 7. apresenta uma fotografia da placa de circuito impresso (PCI) especialmente confeccionada para conexão de todos esses elementos. Além disso, o layout da PCI permite fácil manutenção com acesso simplificado para habilitar a programação da SBM e aos demais componentes eletrônicos (a exemplo do regulador de tensão usado para o controle apropriado do motor da bomba).

A adequação dos níveis de tensão e potência entre o Arduino e motor da bomba foi realizado por intermédio do *driver* de potência L293D que dispõe de duas pontes H's, e pode operar até 4 motores de corrente contínua ou 1 motor de passo com tensão de operação de até 36V e 800mA. Também foi adicionado um regulador de tensão com circuito integrado LM 7805 para todos os componentes que necessitam de 5V (SBM, *display* e chip SPREETA) .

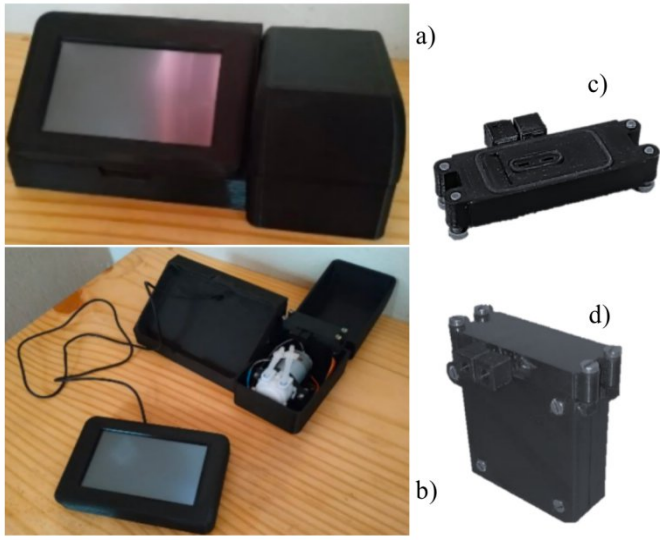



Fig. 6 Fotografias do Sensor S$^3$PR e suas principais partes. a) Sensor fechado, b) Sensor com a tela destacada permitindo ergonomia de manuseio e case adjacente aberta. Imagens da c) Célula de fluxo e d) do suporte envolvente para o chip SPREETA.

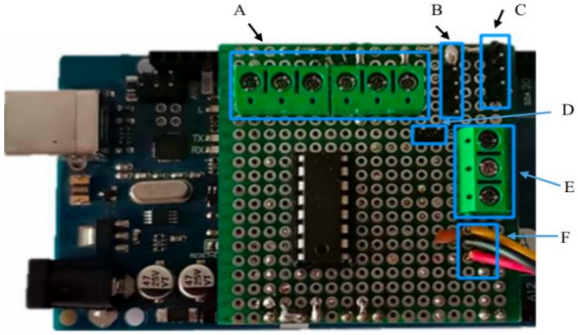



Fig. 7 Imagem da PCI integrada ao SBM para controle dos componentes do S$^3$PR. Destaque para as principais conexões elaboradas: A-SPREETA, B- Display, C- Módulo *bluetooth*/SD, D-Chave de programação, E-Bomba/motor e F-regulador de tensão.

Para os experimentos, as substâncias água deionizada e degaseificada, obtida com a sistema Milipore Direct Q3, e a solução de NaClO foram utilizadas. Os experimentos foram realizados a temperatura ambiente mantida em 25°C, uma vez que a temperatura pode influenciar na resposta do chip SPREETA (Moreira et al. 2008). Contudo, a estrutura

modular do $S^3PR$ valendo-se do *case* adjacente consegue minimizar a troca de calor oriunda do *case* principal.

Curvas SPR

A Fig. 8 apresenta as curvas SPR experimentais obtidas para cada uma das substâncias em contato com área sensível do chip. As curvas apresentam o gráfico de dispersão entre o a refletividade normalizada *vs.* pixel. Os parâmetros extraídos das curvas estão sumarizados na Tabela 1. A curva SPR para a água ($H_2O$) apresenta posição de ressonância no pixel 84 e contraste/profundidade de 50%, enquanto a curva SPR para a solução de NaClO tem ressonância no pixel 77 e contraste/profundidade de 40%. São apresentados os principais parâmetros morfológicos da curva: largura ($C_R$ + $C_L$) e assimetria ($C_R$/ $C_L$), os quais são expressos em termos de $C_R$ e $C_L$ que representam a distância entre a posição do mínimo e a borda direita ($C_R$) e esquerda ($C_L$) da curva, ambos extraídos na largura à meia altura FWHM (do inglês *Full Width at Half Maximum*).

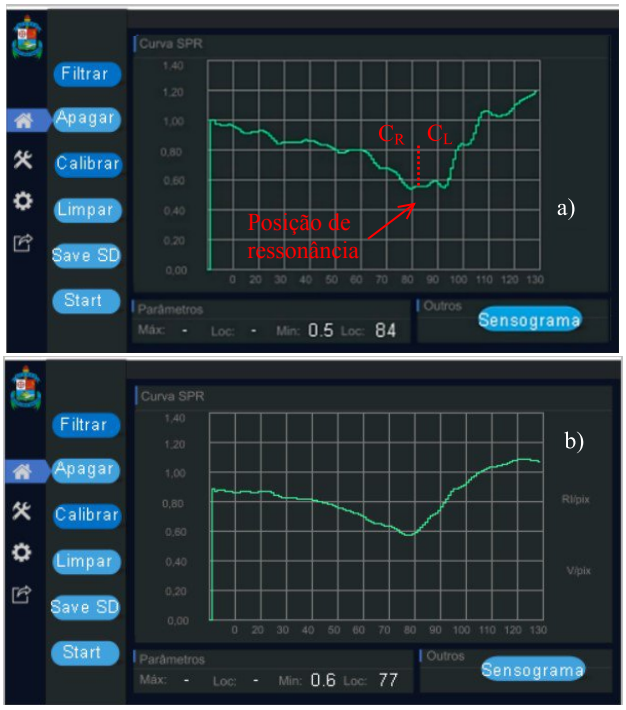



Fig. 8 Curvas SPR experimentais (gráfico refletividade x pixel) para a) $H_2O$ e b) NaClO. Captura de tela do menu inicial. Indicação da posição de ressonância. Parâmetros $C_R$ e $C_L$ indicados na figura.

Sabendo que o ângulo de ressonância para a água é de 68°, obtém-se a relação linear entre o pixel de menor intensidade (p) e o ângulo de ressonância, expressa por :

$$\theta(p) = -0{,}352 \times p + 97{,}65 \quad (2)$$

Sensorgrama

Em seguida, o protocolo experimental composto pelo ciclo $H_2O \rightarrow NaClO \rightarrow H_2O \rightarrow NaClO \rightarrow H_2O$ foi realizado e o sensorgrama obtido é apresentado na Fig. 9.

Tabela 1. Resultados experimentais obtidos com o $S^3PR$ para as substâncias analisadas.

| Substância → | $H_2O$ | NaClO |
|---|---|---|
| Pixel mínimo | 84 | 77 |
| $\theta_R$ | 68.08° | 70.54° |
| Profundidade da curva | 50% | 40% |
| **Parâmetros morfológicos (em pixel)** | | |
| Largura | 38 | 30 |
| Assimetria | 1,41 | 1,07 |
| **Performance (sensibilidade)** | | |
| $S_\theta$ = 123°/RIU | | |

O gráfico de Sensorgrama é escolhido através do botão v) seletor de gráfico (ver Fig. 4). Os botões presentes na tela Sensorgrama servem para iniciar a aquisição dos dados (botão "Start"), adquirir o sinal como referência ("Ref."), apagar a memória com relação ao sinal de referência ("Apagar") e limpar a tela ("Limpar"). Além disso, durante o processo de aquisição da curva Sensorgrama é possível definir a quantidade de pontos (do sinal bruto) utilizados para calcular o mínimo. O valor da média de 250 pontos é definido como padrão por apresentar bom desempenho entre estabilidade e velocidade de atualização do gráfico. É possível incrementar ou decrementar o valor padrão com os botões "+250" e "-250", respectivamente, e confirmar com o botão "Atualizar".

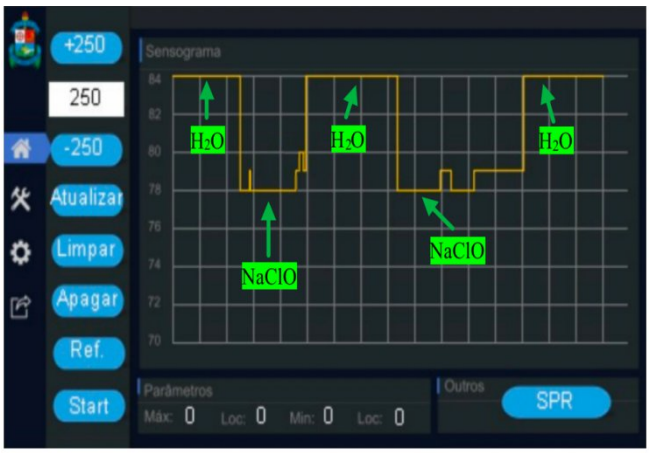



Fig. 9 Sensorgrama experimental para a posição do pixel de ressonância extraída das curvas SPR variantes no tempo. Setas indicando o regimento permanente de cada substância.

A transição entre $H_2O \rightarrow NaClO$ causa um incremento no índice de refração de $\Delta IR = 3.0 \times 10^{-2}$ RIU (unidade de índice de refração), levando a uma variação na posição de ressonância de 7 pixels. Os resultados correspondem a uma variação no ângulo de ressonância de $\Delta\theta_R = 2.46°$. O valor de Sensibilidade ($S_\theta$) expressa pela razão entre a variação de ângulo de ressonância com a variação do índice de refração, definida pelo diferencial $S_\theta = |\Delta\theta_R/\Delta IR|$, atinge o valor de 123°/RIU.

Os resultados apresentados são equivalentes aos reportados por outros sensores para as mesmas substâncias (Chinowsky et al. 2003, Sousa et al. 2014), demonstrando a correta

geração dos sinais, controle e processamento dos dados obtidos com o SPREETA. A curva SPR para $H_2O$ apresentou maior largura. A implementação de algoritmos mais estáveis para detecção do mínimo da curva baseados em ajuste polinomial, centroide, linha base entre outros (Oliveira et al. 2019, Tobiška and Homola 2005) podem ser implementados para melhorar a performance do sensor.

## 5. CONCLUSÕES

Um novo sensor SPR portátil baseado em microcontrolador de plana-única para o chip SPREETA foi apresentado. Denominado de $S^3PR$, é um sensor que pode ser levado à campo sem a necessidade de conexão com computador e foi especialmente projeto para trabalhar com a plataforma Arduino. Com estrutura construída em impressora 3D, garante uma geometria precisa para todas as peças, leveza, custo acessível e facilidade de reparos/substituições de partes.

O sensor possui um design modular, composto por um invólucro (*case*) principal, um *case* adjacente e um adaptador destacável para o tela, permitindo a correta excitação do fenômeno e ergonomia no manuseio. Um software embarcado foi especialmente desenvolvido para essa estrutura, provendo as principais funcionalidades de controle, processamento e exibição das informações, por meio da interface *touchscreen*. Os resultados experimentais com substâncias líquidas apresentam gráficos para a curva SPR, gráfico de tempo-real para o Sensorgrama, parâmetros morfológicos da curva (mínimo, profundidade, largura e assimetria) e valores de performance, demonstrando a factibilidade da solução proposta.

Oportunidades e melhorias podem ser futuramente desenvolvidas a exemplo da construção de uma célula de fluxo com material de melhor estanqueidade; implementação novos algoritmos de detecção da posição mínima da curva SPR e de aplicação e teste com novas substâncias.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a CAPES, CNPq e UFERSA pelo apoio concedido a pesquisa.

## REFERÊNCIAS

Bagi, A. and et al. (2018) Implementing Morpholino-Based Nucleic AcidSensing on a Portable Surface Plasmon Resonance Instrument for Future Application in Environmental Monitoring. Sensors, v. 18, p. 1-17.

Chinowsky, T.M. and et al. (2003). Performance of the Spreeta 2000 integrated surface plasmon resonance affinity sensor. *Sen. and Act. B*., v. 91, p. 266-274.

Chinowsky, T.M. and et al. (2007). Portable 24-analyte surface plasmon resonance instruments for rapid, versatile biodetection. *Bios and Bioelec.*, v. 22, p. 1908-1915.

Haasnoot, W. and et al. (2006). Spreeta-based biosensor immunoassays to detect fraudulent adulteration in milk and milk powder. *J. AOAC Int*., v. 89(3), p. 849-55.

Matějka, P. and et al. (2003). Surface plasmon resonance and Raman scattering effects studied for layers deposited on Spreeta sensors. *Anal Bioanal Chem.,* v. 375. p. 1240–1245.

Marchesini, G.R. and et al. (2007). Spreeta-based biosensor assays for endocrine disruptors, *Bios and Bioelec*, v. 22, pp. 1908-1915,.

Melendez, J. and et al. (1996). A commercial solution for surface plasmon sensing. *Sen. and Act. B*., v. 35-36, p. 212-216.

Moreira, C.S. and et al. (2008) Influence of temperature effects on sensitivity of surface plasmon resonance sensors. In *2008 IEEE I2MTC Proceedings*, v. 1, p. 1-6.

Naimushin, A.N. and et al. (2005). Airborne analyte detection with an aircraft-adapted surfaceplasmon resonance sensor system. *Sen. and Act. B*., v. 104, p. 237-248

Navrátilová, I. and Skládal, P. (2003). Immunosensor for the measurement of human serum albumin in urine based on the Spreeta surface plasmon resonance sensor, *Supramolecular Chemistr*y, v. 15, p. 109-115.

Oliveira L.C. and et al (2019). *Surface Plasmon Resonance Sensors: A Materials Guide to Design, Characterization, Optimization, and Usage*. Springer, 2nd edition, Berlin.

Oliveira, L.C. and et al. (2011). Controller for surface plasmons resonance based biosensor using Reconfigurable Computing and Virtual Instruments. In: *XVIIIth IMEKO TC4 Conference Proceedings,* v. 1, p. 1-6.

Park, S.G. and et al. (2024) Aptamer Based SPREETA Sensor for the Detection of Porphyromonas gingivalis G-Protein. *J Microbiol Biotechnol*., v. 34(2), p. 289-295.

Pramesta, E.E. (2016). *Rancang Bangun Sistem Pengamatan Surface Plasmon Resonance (SPR) Dengan Menggunakan Labview Dan Sensor Spreeta 2001E* ([PT] "Projeto de um sistema de observação de Ressonância Plasmon de Superfície (SPR) usando Labview e sensor Spreeta 2001E"). *Jurnal Penelitian*, v. 19 (2), p. 1-5.

Pramesta, E.E. and Triyana, K. (2015). Building up of surface plasmon resonance instrument using spreeta 2000 and Arduino Mega 2560, *App Mec and Mat.*, v. 771, p. 25-28,

Qu, J.H. and et al. (2020). Advancements in spr biosensing technology: An overview of recent trends in smart layers design, multiplexing concepts, continuous monitoring and in vivo sensing, *Anal. Chim. Acta.*, v. 1105 (5), pp. 10–27.

Sommers, D.R. et al. (2002). Investigation of SPR technology using Texas Instruments' Spreeta/sup TM/sensor," *Sensors*, vol. 2, p. 1244-1249.

Sousa, T.A.T and et al. (2014). Evaluating the signal processing chain employed in surface plasmon resonance biosensing. In: *2014 IEEE I2MTC Conference Proceedings*, vol. 1, p. 1606-1611.

Spangler, B.D. and et al. (2001). Comparison of the Spreeta® surface plasmon resonance sensor and a quartz crystal microbalance for detection of Escherichia coli heat-labile enterotoxin. *Anal. Chim. Acta*, v. 444, p. 149-161.

TI - Texas Instruments (2000). TSPR1A170100 Spreeta Liquid Sensor datasheet.

Tobiška, P. and Homola, J. (2005). Advanced data processing for SPR biosensors. *Sen. and Act. B.*, v. 107, p. 162–169.

Wang, S. and et al. (2016) The Development of a Portable SPR Bioanalyzer for Sensitive Detection of Escherichia coli O157:H7. *Sensors*, v. 16, p. 1856.