

Construção de um mimetizador do tecido biológico de baixo custo para avaliação da qualidade da imagem de ultrassonografia no modo doppler

Construction of a low-cost biological tissue mimic for evaluating doppler ultrasound image quality

Francisco F. Gomes¹, Fábio A. R. Silva²

¹Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil

²Universidade Federal de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, Brasil

Resumo

A técnica de ultrassom *doppler* é amplamente utilizada na medicina, sendo essencial para a avaliação da função cardíaca dentre outras aplicações. Compreender os princípios físicos que fundamentam cada modalidade de exame diagnóstico e aplicá-los em um mimetizador de tecido biológico, também conhecido como fantoma, permite a análise da formação de imagens e a identificação de parâmetros de qualidade exigidos pela legislação sanitária. Este trabalho tem como objetivo descrever a construção de um protótipo de um mimetizador de tecido biológico de baixo custo para a avaliação dos parâmetros de qualidade da imagem em dispositivos de ultrassonografia no modo *doppler*. A metodologia foi desenvolvida em etapas que incluíram: estudo e desenvolvimento do material base e dos ductos que simulam tecidos biológicos, a construção do sistema eletrônico para bombeamento e monitoramento do fluxo, a montagem do protótipo, a aquisição de imagens estáticas e dinâmicas, e a análise qualitativa e quantitativa dos resultados. As análises indicam que o dispositivo reproduz de forma satisfatória a similaridade com tecidos biológicos, vasos sanguíneos e fluxo, além de demonstrar o fenômeno *doppler* na variação do fluxo nos dois sentidos. O mimetizador de tecido biológico também se mostrou útil para a calibração de equipamentos de ultrassonografia, com uma sensibilidade de 83% na avaliação da velocidade do fluxo sanguíneo.

Palavras-chave: *mimetizador de tecido biológico; ultrassonografia; doppler.*

Abstract

The *doppler* ultrasound technique is widely used in medicine, being essential for cardiac function assessment and other applications. Understanding the physical principles that underpin each diagnostic examination modality and applying them in biological tissue mimic (phantoms) allows for the analysis of image formation and the identification of quality parameters required by health regulations. This study aims to describe the construction of a low-cost biological tissue mimic prototype for evaluating image quality parameters in *doppler* ultrasound devices. The methodology was developed in stages that included: study and development of the base material and ducts simulating biological tissues, construction of the electronic system for pumping and monitoring flow, assembly of the simulator, acquisition of static and dynamic images, and qualitative and quantitative analysis of the results. The analyses indicate that the device satisfactorily reproduces the similarity to biological tissues, blood vessels, and flow, in addition to demonstrating the *doppler* phenomenon in flow variation in both directions. The biological tissue mimic also proved useful for the calibration of ultrasound equipment, with a sensitivity of 83% in the assessment of blood flow velocity.

Keywords: *biological tissue mimic; ultrasonography; doppler.*

1. Introdução

O fenômeno do efeito *doppler* na ultrassonografia pode ser descrito pelo princípio físico associado a alteração das frequências das ondas sonoras captadas quando um objeto se movimenta em relação ao transdutor. Quando o objeto e o transdutor se aproximam ou se afastam ocorre uma variação da frequência e do comprimento de onda da resposta do sinal sonoro captado permitindo o mapeamento do bombeamento do fluxo e refluxo sanguíneo (1)(2).

A técnica por ultrassom *doppler* é uma ferramenta fundamental na medicina, possibilitando a avaliação da função cardíaca, detecção de trombose venosa profunda, avaliação da circulação cerebral e fetal, além de monitoramento de transplantes de órgãos. Ela fornece informações em tempo real sobre a saúde e a eficiência do fluxo sanguíneo (3).

Para garantir a qualidade e o correto funcionamento dos equipamentos de ultrassonografia são usados

dispositivos do tipo mimetizador *de tecido biológico* de ultrassom, também conhecido como fantoma ultrassônico, que trata de um dispositivo projetado para simular características acústicas e estruturas anatômicas do corpo humano quando submetido a exames de ultrassom. Os mimetizadores de tecido biológico são usados para garantir a qualidade das imagens de ultrassom, calibrar equipamentos e fornecer um meio de treinamento para equipes multiprofissionais (4).

Especialmente, os mimetizadores *de tecido biológico* de ultrassom *doppler* são projetados para simular o fluxo sanguíneo em vasos sanguíneos, permitindo a avaliação de características *doppler*, como velocidade e direção. São usados para calibrar e testar equipamentos de ultrassom *doppler*, garantindo que eles forneçam medições precisas de fluxo sanguíneo (5) além disso, servem para serem usados em pesquisas para desenvolver e avaliar novas técnicas de ultrassom *Doppler*, e em

programas de treinamento para aperfeiçoar a interpretação das imagens (6).

Conhecendo os princípios físicos dos métodos diagnósticos por imagem, e fazendo a sua aplicação na interação com mimetizadores de tecido biológico, é possível entender a formação da imagem e identificar parâmetros de qualidade, conforme requisito sanitário previsto na Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 611/22 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Esta norma impõe diretrizes básicas de qualidade de funcionamento dos equipamentos de imagens médicas diagnósticas nos testes de controle de qualidade (7).

Uma das diretrizes apresentadas pela RDC nº 611/22 são as Instruções Normativas, as IN's, uma delas é a IN nº 96, que foi publicada pelo Ministério da Saúde através da Agência Nacional de Vigilância Sanitária em 27 de maio de 2021, que dispõe sobre os requisitos sanitários para garantir a qualidade de funcionamento dos equipamentos de ultrassom.

Além disso, a IN nº 96 estabelece a relação de testes de aceitação e de controle de qualidade nos serviços de saúde. Dentre os testes, tem-se os que tratam da acurácia da velocidade, sua magnitude e o teste da sensibilidade em modo *Doppler*, para realização desses testes é imprescindível o uso dos fantasmas (8).

Na literatura existem poucos estudos que tratam sobre a execução dos testes e da elaboração de mimetizadores de tecido biológico cuja aplicação seja o modo *doppler*, em um desses estudos Coiado (2008), trata da construção de simuladores para medição de fluxos de líquidos para o controle de qualidade em equipamentos de ultrassonografia, os resultados mostram que o dispositivo elaborado se mostrou apto para mimetizar o fenômeno Doppler e medir os batimentos cardíacos. Em um outro estudo, mais recente, Fonseca *et al.* (2021) traz no escopo do trabalho outra proposta de um *Phantom* para ser usado como mimetizador de imagens no modo Doppler visando a sua aplicação para fins didáticos em treinamentos (9,10).

Além das poucas referências bibliográficas, os produtos comercialmente disponíveis para esse fim, possuem valores muito onerosos para a sua aquisição, dificultando a aplicação dos testes pelas equipes de físicos médicos na sua rotina clínica.

Deste modo, o resultado apresentado pelo projeto visa avançar nos estudos sobre o efeito *doppler*, referente a construção de um dispositivo de baixo custo capaz de medir os parâmetros dinâmicos da imagem de ultrassom em duas propostas de níveis de deslocamento do fluido, simulando situações em que ocorre a variação da altura do fluxo e a disposição dos vasos no tecido, efetivar testes de controle de qualidade apresentando imagens e valores da velocidade do fluxo do fluido compatíveis aos que são apresentados pelos equipamentos de ultrassom no modo Doppler comerciais fomentando a discussão sobre a melhoria da qualidade da imagem de ultrassonografia no modo *Doppler*.

O objetivo principal deste estudo é efetivado pela elaboração de um dispositivo, mimetizador de baixo

custo, para avaliação de parâmetros de qualidade da imagem em aparelhos de ultrassonografia no modo *doppler*, contribuindo para a qualidade do diagnóstico médico baseado na detecção de fluxo sanguíneo e outras aplicações relevantes no contexto clínico.

2. Materiais e Métodos

O desenvolvimento do Mimetizador de Tecido Biológico de Ultrassom *Doppler* de baixo custo foi baseado em uma fundamentação teórica robusta, além disso, três modelos comerciais de *Simulador doppler* foram analisados para entender suas características: *Doppler Ultrasound Flow*, modelo 069A, *Cardiac Doppler Flow Phantom*, modelo ATS 523 A, e o *Doppler Flow Pump*, modelo 769. Para a condução deste estudo, em relação a aquisição das imagens de ultrassonografia, foi utilizado o sistema de Ultrassom Diagnóstico *Affiniti* (modelos *Affiniti 50* e *Affiniti 70*), instalados no Centro de Diagnóstico por Imagem do Hospital Universitário da UFS, localizado em Aracaju/SE.

A elaboração do protótipo foi estruturada em fases ou módulos distintos: Fase 1, escolha dos materiais e elaboração do tecido simulador biológico (material base), tubos condutores, e fluido comunicante; Fase 2, de avaliação dos princípios físicos dos materiais envolvidos em termos ultrassônicos; Fase 3, construção da base de suporte da estrutura do protótipo; Fase 4, elaboração do sistema de controle e análise do fluxo do fluido no sistema.

A fase 1 aborda a escolha dos materiais para elaboração do material que simula o tecido biológico, os vasos sanguíneos e o sangue, para isso, foram usados para mimetizar o tecido humano a parafina gel, marca Gel Candle Ltda, como material base, sendo adicionado o acrílico em pó, marca Jet Clássico, e o grafite em pó, marca Vonder. O acrílico e o grafite em pó foram adicionados em uma concentração de 2% com relação a quantidade de parafina gel. A composição da mistura foi uniformizada em uma temperatura que variou entre 80 e 100°C. Para mimetizar o vaso sanguíneo foi usado tubo de látex natural não estéril com diâmetro de 3 mm, e com relação ao material mimetizador do sangue foi utilizado sulfato ferroso, marca ACS científica.

Na fase 2, as avaliações dos parâmetros físicos que caracterizam os materiais envolvidos para a formação das imagens de ultrassonografia foram indicadas pelos índices do nível de contraste, e uniformidade, obtidos pela intensidade de pixel da imagem em histogramas apresentados pelo *software imageJ*; Pelo parâmetro que considera a distribuição do brilho através do sinal de entrada e saída do som medido como potência sonora, tendo como unidade o decibel (dB); Pela velocidade de propagação do som, obtida pela relação entre a espessura da amostra e a espessura padrão de calibração do equipamento que é de 6 cm multiplicado pela velocidade de propagação do som de calibração do aparelho que é de 1540 m/s; A densidade do material obtida pela relação entre a massa e o volume da amostra, e impedância acústica encontrada pela

multiplicação entre a densidade e velocidade de propagação do som. Os parâmetros físicos de avaliação foram adquiridos através de metodologias encontradas na literatura tendo seguido autores de referência na construção de *phantoms* de ultrassom.

O critério de viabilidade econômica foi fundamental, assegurando que os materiais fossem acessíveis comercialmente e de baixo custo, sem comprometer a qualidade e a funcionalidade da proposta. A escolha dos materiais foi baseada em uma revisão detalhada da literatura científica, garantindo que atendessem às normas técnicas e proporcionassem uma simulação fiel dos tecidos humanos. Neste sentido, foram analisadas as informações de artigos que contemplam a construção de simuladores de tecido humano por ultrassom, como o artigo publicado pelos autores Madsen, et al (1982), intitulado por *Oil in Gelatin Dispersions for Use at Ultrasonically Tissue Mimicking Materials: Ultrasound in Medicine and Biology* (11), outro exemplo, é o artigo publicado por Kondo (2002) com o título *Ultrasound tissue mimicking materials using oil gel and measurement of their characteristics* (12), e informações obtidas pela dissertação de mestrado do autor Vieira (2005) intitulada por Desenvolvimento de um “phantom” para treinamento de biópsia de mama guiada por ultrassom (13).

Em referência a fase 3, foi pensado na estrutura base do protótipo do dispositivo proposto, tem-se assim a fase da modelagem 3D do *simulador*, que foi realizada utilizando o software *SketchUp*, permitindo a visualização detalhada e a manipulação das características físicas do dispositivo. Mesmo com as limitações da versão gratuita do software, foi possível desenvolver um protótipo digital preciso, incluindo os componentes internos do mimetizador, como os tubos que simulam o sistema arterial e venoso. A modelagem e a simulação digital foram essenciais para prever o comportamento do *simulador* e otimizar seu design antes da construção física.

Por meio da modelagem 3D do simulador *doppler* (Figura 1), foi possível otimizar a geometria do protótipo, garantindo que os componentes internos fossem integrados de forma eficiente.

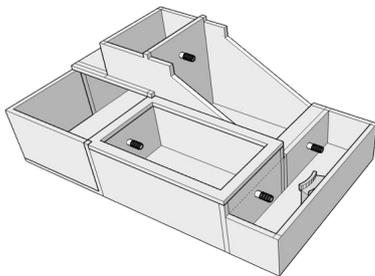


Figura 1. Imagem do protótipo 3D do mimetizador *Doppler* criado no *SketchUp Free*.

Após a modelagem e construção da estrutura base do protótipo do Mimetizador de Tecido Biológico *Doppler*, foram instalados os tubos que simulariam os vasos sanguíneos por onde passaria o fluido mimetizador do sangue. A figura 2 apresenta uma

vista anterior do protótipo enfatizando os tubos passando pelos dois espaços que contém o material base que simula o tecido biológico.

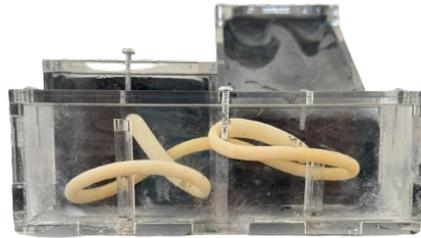


Figura 2. Vista anterior do *simulador* mostrando o tubo ligado aos reservatórios plano e inclinado.

A fase 4 foca na estrutura e integração do sistema eletrônico para autorregulação e análise do fluxo do fluido simulador de sangue no protótipo. O bombeamento do fluido foi projetado para gerar um fluxo contínuo e controlado através dos tubos. Para isso, foi desenvolvido um sistema eletrônico com diversos componentes, incluindo microcontrolador, circuito integrado para controlar a rotação do motor, motores de passo para o controle do fluxo e resistores para a calibração dos sensores, e regulador de tensão para alimentar parte do circuito.

O sistema foi programado para simular condições fisiológicas normais e patológicas baseadas na capacidade de detecção de alterações hemodinâmicas em vasos e artérias a partir do índice da velocidade sistólica máxima (PSV) que é um parâmetro dopplervelocimétrico muito utilizado em avaliações cardiovasculares, tendo como exemplo, a verificação da velocidade em artéria cerebral, que possui valores na ordem de grandeza variando de 10^1 a 10^2 cm/s (14).

No simulador proposto as medidas são obtidas em tempo real, demonstrando a variação do fluxo em duas situações distintas, num plano horizontal e em um plano inclinado, demonstrando a capacidade de entender a reação do fluxo do fluido em uma alteração geométrica e pela possibilidade de aumentar ou diminuir a pulsação do fluido alterando as condições de avaliação da velocidade permitindo ajustes precisos e a coleta de dados para análise posterior.

Para controle das alterações do fluxo “sanguíneo” no sistema, o circuito eletrônico inclui um *display* LCD para a visualização dos parâmetros de fluxo, facilitando a calibração e o ajuste do sistema durante os experimentos.

A análise qualitativa das imagens focou na clareza e definição das estruturas mimetizadas, especialmente na visualização dos fluxos sanguíneos simulados no tubo. Já a análise quantitativa da eficiência do mimetizador envolveu a medição da velocidade do fluxo sanguíneo utilizando as imagens *Doppler* no equipamento de ultrassom e a comparação com os valores estabelecidos no *display* do protótipo.

A sensibilidade das medidas no *simulador* foi avaliada pela sua capacidade de reproduzir variações sutis no fluxo sanguíneo.

3. Resultados

O processo de construção do protótipo do Mimetizador de Tecido Biológico de baixo custo para a avaliação da qualidade da imagem de ultrassonografia no modo *Doppler* apresentou resultados que indicam avaliações satisfatórias de desempenho na simulação das propriedades acústicas e estruturais dos tecidos biológicos, veias, e fluxo sanguíneo com valores dos parâmetros analisados muito próximos aos tecidos reais.

A avaliação do material base apresentou índices semelhantes ao do tecido mole com valores de velocidade de propagação em torno de 1535,6 m/s e impedância acústica com valores aproximados de $1,43 \times 10^6$ kg/m².s. As imagens obtidas com o protótipo foram comparadas com imagens reais do pescoço e da artéria carótida, permitindo uma análise crítica e detalhada das semelhanças entre os modelos simulados e as estruturas anatômicas reais. A figura 3, representa a imagem do protótipo.

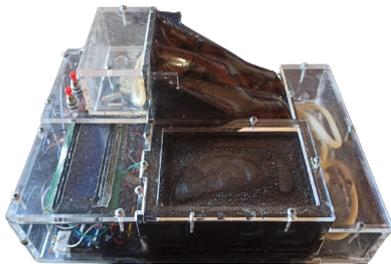


Figura 3. Imagem final do protótipo.

O protótipo físico tem a estrutura interna dividida em seis regiões funcionais (Figura 4).

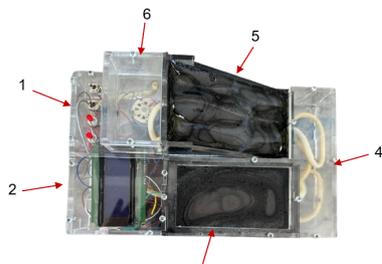


Figura 4. Regiões do protótipo.

As regiões do protótipo, conforme suas funcionalidades, são descritas por:

1. **Sistema de Bombeamento:** região abriga a bomba responsável pela movimentação do fluido mimetizador de sangue;
2. **Sistema Eletrônico:** área onde estão localizados os circuitos eletrônicos, incluindo o driver do motor, o display LCD e o sistema de controle automatizado;
3. **Reservatório Plano:** região preenchida com o material base que mimetiza as propriedades acústicas dos tecidos biológicos tendo internamente a passagem dos tubos, mimetizadores dos vasos sanguíneos;
4. **Frente do Simulador:** conecta o reservatório plano ao reservatório inclinado, por meio dos tubos;

5. **Reservatório Inclinado:** Similar ao reservatório plano, esta região também contém o material base e os tubos;
6. **Reservatório do Fluido Simulador de Sangue:** este compartimento armazena o fluido mimetizador de sangue, que circula pelo sistema e é detectado pelos equipamentos de ultrassonografia *doppler*.

A estrutura segmentada em seis regiões funcionais permitiu a integração eficiente dos sistemas de bombeamento e controle eletrônico, além de possibilitar a disposição do fluido mimetizador de sangue para a obtenção de imagens por ultrassom *Doppler*.

O controle do sistema eletrônico do dispositivo foi projetado para gerenciar o fluxo do fluido mimetizador de sangue, além de monitorar e controlar o desempenho do sistema de bombeamento. O painel de controle do protótipo (Figura 5), é composto por uma série de chaves e botões que permitem o ajuste fino das condições operacionais.

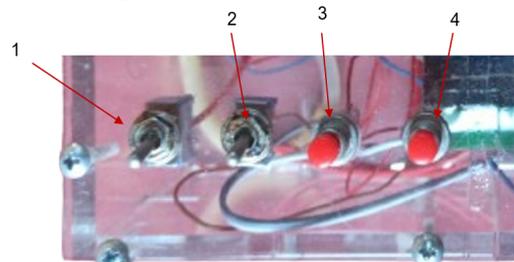


Figura 5. Painel de controle do protótipo.

As funções das chaves e botões no painel de controle são descritas a seguir:

1. **Chave liga/desliga do motor da bomba;**
2. **Chave de seleção de alimentação do circuito;**
3. **Botão de redução da rotação;**
4. **Botão de aumento da rotação.**

Para avaliação dos dados obtidos, o monitoramento pode ser realizado de duas maneiras: A primeira é através do display integrado ao sistema (Figura 6), posicionado acima do circuito eletrônico, que fornece informações detalhadas e em tempo real sobre o desempenho do sistema de circulação do fluido mimetizador de sangue. Este display permite a visualização imediata de parâmetros críticos, facilitando ajustes rápidos e precisos. A segunda forma de monitoramento é via interface USB conectada a um computador, possibilitando a visualização de dados em tempo real por meio de softwares específicos.

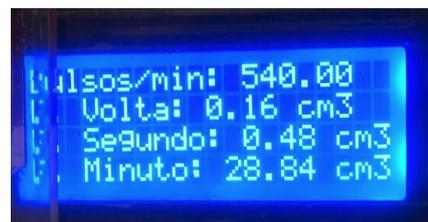


Figura 6. Display de monitoramento do Simulador.

O display apresenta as seguintes informações de monitoramento do mimetizador:

- **Pulsos/min:** Número de pulsos por minuto.
- **F. Volta (Fluxo por Volta):** Quantidade de fluido que passa por cada rotação completa do motor.
- **F. Segundo (Fluxo por Segundo):** Quantidade de fluido que passa por segundo.
- **F. Minuto (Fluxo por Minuto):** Quantidade total de fluido que passa em um minuto.

Em relação a avaliação das imagens, inicialmente, foram adquiridas imagens estáticas do mimetizador utilizando ultrassonografia em modo B, posicionando o transdutor nas orientações longitudinal (Figura 7) e transversal (Figura 8) em relação aos tubos que mimetizam veias e/ou artérias.

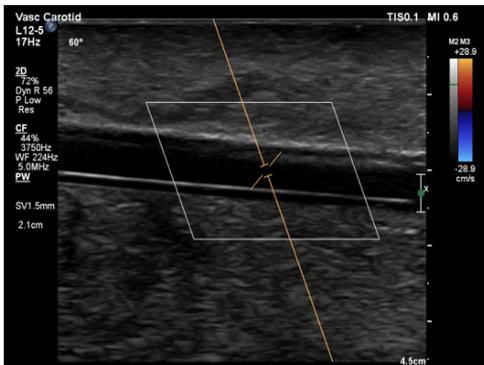


Figura 7. Imagem do tubo no plano longitudinal.



Figura 8. Imagem do tubo no plano transversal

As imagens apresentam os dois planos, onde é possível identificar a seção circular do tubo imerso no material base. A mimetização de uma artéria ou veia neste plano evidencia a capacidade do dispositivo de reproduzir as interfaces típicas encontradas em ultrassonografia clínica de vasos sanguíneos.

Após a análise das imagens estáticas foram adquiridas imagens ultrassonográficas utilizando o modo *Doppler*. A primeira imagem, exibida na Figura 9, demonstra claramente o fluxo do líquido mimetizador de sangue em cor azul. A segunda imagem, apresentada na Figura 10, ilustra o fluxo do líquido simulador de sangue em cor vermelha.

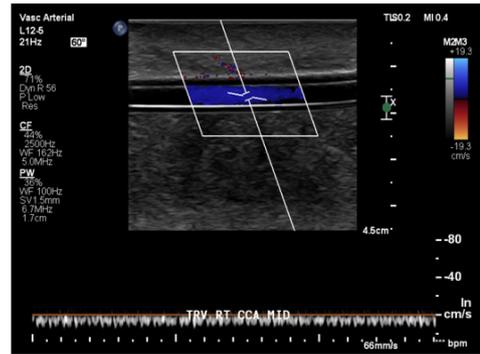


Figura 9. Imagem do fluxo do líquido mimetizador de sangue em azul.

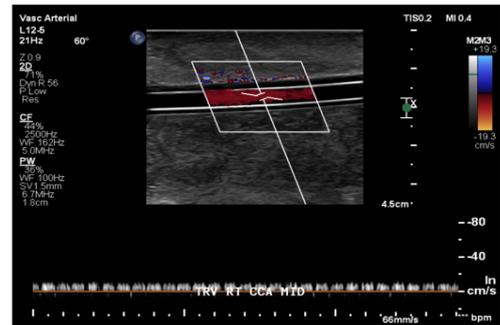


Figura 10. Imagem do fluxo do líquido mimetizador de sangue em vermelho.

As imagens adquiridas com o modo *Doppler* foram analisadas para verificar a representação do fluxo sanguíneo mimetizado. Os resultados mostraram que o dispositivo foi capaz de reproduzir com precisão as características de ecotextura dos tecidos biológicos, refletindo adequadamente as propriedades acústicas dos tecidos reais e o fluxo sanguíneo nas artérias e veias.

A imagem capturada pelo aparelho de ultrassonografia *Philips Affiniti 70* (Figura 11) exibe os parâmetros do sistema circulatório do mimetizador.

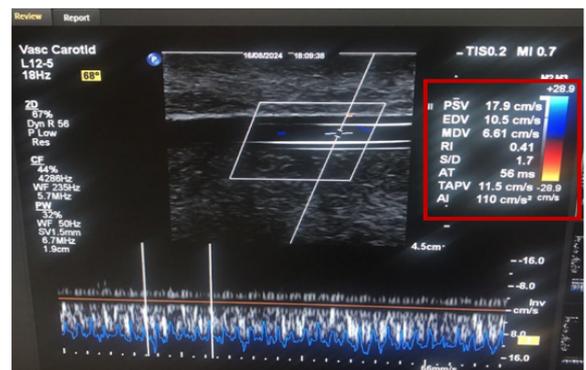


Figura 11. Dados do fluxo do líquido adquirido em modo *doppler*.

Na parte direita da imagem, contornado por um retângulo vermelho, são apresentados dados quantitativos referentes ao fluxo do líquido mimetizador de sangue, adquiridos em modo *doppler*. Esses parâmetros são amplamente utilizados na avaliação hemodinâmica para determinar as condições do fluxo sanguíneo em vasos, como a artéria carótida.

Os parâmetros apresentados na imagem são descritos a seguir:

- **PSV (Peak Systolic Velocity):** Velocidade sistólica máxima do fluxo sanguíneo, expressa em cm/s.
- **EDV (End Diastolic Velocity):** Velocidade diastólica final, medida em cm/s.
- **MDV (Mean Diastolic Velocity):** Velocidade média durante a diástole.
- **RI (Resistive Index):** Índice de Resistência.
- **S/D (Systolic/Diastolic Ratio):** Relação entre as velocidades sistólica e diastólica.
- **AT (Acceleration Time):** Tempo de aceleração.
- **TAPV (Time-Averaged Peak Velocity):** Velocidade média ponderada do pico ao longo de um ciclo cardíaco, expressa em cm/s.
- **AI (Acceleration Index):** Índice de Aceleração.

A análise comparativa entre os dados gerados pelo mimetizador e as medições realizadas pelo equipamento de ultrassonografia *doppler* são essenciais para validar a precisão e eficiência do *dispositivo* e garantir a confiabilidade dos resultados obtidos. A Tabela 1 apresenta os valores quantitativos que comparam as informações exibidas no display do protótipo com as medições realizadas pelo equipamento de ultrassom.

Para realizar essa comparação, foi necessário converter o fluxo volumétrico apresentado no display do dispositivo em velocidade linear do fluido, utilizando os dados geométricos do tubo. Essa conversão permitiu a avaliação direta da velocidade do fluido gerado pelo mimetizador em relação à velocidade registrada pelo ultrassom *Doppler*.

Tabela 1. Comparação dos Valores Obtidos no dispositivo e no Equipamento de Ultrassom

Medição	Dados do Display	Velocidade calculada	PSV (Ultrassom)	Diferença
1º	28,84 cm ³	15,31 cm/s	17,9 cm/s	14,47 %
2º	23,13 cm ³	12,27 cm/s	15,12 cm/s	18,86 %
3º	21,22 cm ³	11,26 cm/s	13,5 cm/s	16,59 %
4º	20,59 cm ³	10,93 cm/s	13,5 cm/s	19,04 %
5º	22,59 cm ³	11,99 cm/s	14,27 cm/s	16,01 %

Fonte: O autor (2025).

A comparação entre os dados de fluxo volumétrico fornecidos pelo dispositivo e as velocidades medidas pelo ultrassom *Doppler* revelou uma correlação razoável, mas com discrepâncias significativas, com um erro médio em torno de 16,99 %.

Os resultados indicam que o mimetizador simula fluxos com velocidades na mesma ordem de grandeza às observadas em sistemas fisiológicos. No entanto, as diferenças entre os valores calculados e medidos podem ser atribuídas a vários fatores, como a variabilidade temporal de aquisição dos dados.

A aquisição sequencial das imagens do ultrassom e dos dados do display do dispositivo introduziram flutuações que comprometeram a precisão das comparações. Essa variabilidade temporal é inerente ao processo e pode estar relacionada a flutuações no fluxo, instabilidades no sistema de aquisição ou até

mesmo a imprecisões na sincronização entre as leituras nos dois dispositivos.

A análise comparativa entre a imagem ultrassonográfica do tecido biológico real (Figura 12) e a obtida no protótipo (Figura 13) demonstra uma notável similaridade, evidenciando que as imagens reais de tecidos biológicos do pescoço e as imagens obtidas do mimetizador são correspondentes.

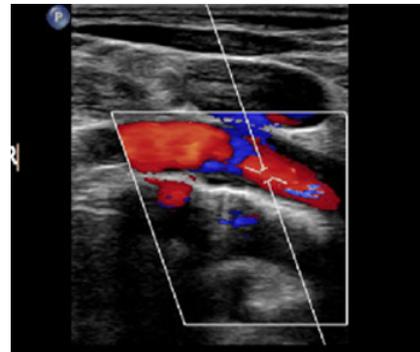


Figura 12. imagem ultrassonográfica do tecido biológico real. Fonte (8).

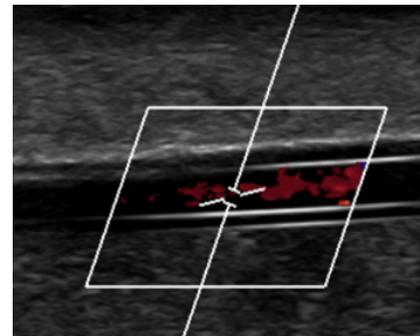


Figura 13. Dados do fluxo do líquido adquirido em modo Doppler.

4. Discussão

Os resultados deste estudo indicam que o protótipo *Doppler* de baixo custo desenvolvido é uma ferramenta eficaz para a mimetização das propriedades acústicas e hemodinâmicas, bem como para a avaliação da qualidade da imagem em ultrassonografia *doppler*. A capacidade do dispositivo de reproduzir fluxos com velocidades na mesma ordem de grandeza às observadas em sistemas fisiológicos valida sua aplicação em contextos de calibração de equipamentos e treinamento clínico.

No entanto, as discrepâncias observadas entre os valores calculados e medidos apontam para desafios que ainda precisam ser superados, pois, o protótipo ainda passará por etapas de validação e análise por profissionais que estão na rotina clínica dos equipamentos de ultrassom *doppler* oportunizando sugestões que irão ocasionar mudanças e aperfeiçoamentos. Embora esses fatores tenham impactado a exatidão dos resultados, a correlação razoável observada confirma o potencial do mimetizador de tecido biológico como uma ferramenta valiosa para a avaliação hemodinâmica do fluxo sanguíneo.

5. Conclusões

A proposta do mimetizador de tecido biológico em ultrassonografia no modo *doppler* é algo que pode suprir algumas necessidades, como a de acessibilidades de empresas de física médica em adquirir o produto já que os mimetizadores *de tecido biológico* certificados e disponíveis no mercado são comercializados por importadoras, impetrando um alto valor agregado na sua aquisição para uso na rotina desses profissionais, ou mesmo, na necessidade de ser utilizado para o treinamento de médicos e equipes que utilizam o ultrassom na pesquisa de imagens anatômicas e patológicas do sistema cardiovascular.

O dispositivo proposto foi elaborado com materiais de baixo custo, encontrados facilmente no mercado, com um fator monetário de aquisição relativamente baixo, o que torna a proposta altamente viável financeiramente para o desenvolvimento de uma perspectiva comercial futura.

Desta forma, os resultados obtidos corroboram para que o protótipo desenvolvido seja uma ferramenta eficaz e econômica para a avaliação da qualidade da imagem em ultrassonografia no modo *doppler*. A capacidade demonstrada de mimetizar com precisão as propriedades acústicas dos tecidos humanos, combinada com a simplicidade de fabricação e o baixo custo dos materiais, fazendo da proposta uma opção viável para os objetivos amplamente explicitados.

Os resultados mostram em análises, tanto qualitativa como quantitativa, a relação do dispositivo em apresentar à similaridade com os tecidos biológicos, de vasos e fluxo sanguíneo, a relação em demonstrar o fenômeno *doppler*, na variação do fluxo do fluido nos dois sentidos, e os fatores que podem ser usados na calibração dos equipamentos de ultrassom na aquisição de dados quantitativos para avaliação da velocidade do fluxo sanguíneo com uma sensibilidade de 83%.

Como perspectivas futuras da proposta, o desenvolvimento do mimetizador passará por algumas fases de aprimoramento: na aquisição dos dados numéricos, na relação de tornar esses dados mais estáveis e acessíveis, na disponibilidade do uso do dispositivo para análise crítica de médicos radiologistas e cardiologistas, e por fim, ser submetido em um processo de validação e submissão de patente junto ao Instituto Nacional de Propriedade Intelectual, INPI.

Agradecimentos

Ao Hospital Universitário de Aracaju – HU-UFS/EBSERH, a Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares – EBSERH e aos profissionais da Física Médica, o Dr. Cássio Costa Ferreira e a MSc. Marcela Costa Alcântara Estácio.

Referências

1. Carvalho C-F, Chamas M-C; Cerri G-G. Princípios Físicos do Doppler em ultrassonografia. Clínica e Cirurgia – Cienc. Rural 2008; 38(3).
2. Bushberg J-T, Boone J-M. The Essential Physics of Medical Imaging. Lippincott Williams & Wilkins 2012;
3. Scorza A, Pietrobon D, Orsine F, Andrea S. A Preliminary Study on A Novel Phantom Based Method for Performance Evaluation of Clinical Colour Doppler Systems 2017.
4. Walker A. Performance Testing of Ultrasound Doppler Equipment. Institute of Technology Linköpings Universit, Sweden 2003.
5. Dewerd L-A, Lawless M. The Simulators of Medical and Health Physics. Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering 2013.
6. Brasil, Ministério da Saúde, Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC Nº 611. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 de março de 2022;
7. Brasil, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa – IN nº 96. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 de maio de 2021;
8. Del Valle C-E, Ferreira L-F-T, Bragato P-H, Oliveira S-L, Mauro F-O, Araújo W-J-B. Inversão total do fluxo em artéria carótida interna direita em paciente com estenose grave do tronco braquicefálico. J Vasc. Bras. 2020; Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1677-5449.190124>. Acessado em: 18 de agosto 2024;
9. Coiado O-C. Simuladores para medição de fluxo de líquidos por efeito Doppler para controle de qualidade de equipamentos de ultrassonografia. Universidade Estadual de Campinas 2008.
10. Fonseca J- A, Carvalho M-S, Amâncio N-S. Criação de um Phantom utilizando aplicações no modo Doppler. Faculdade de Tecnologia de Ribeirão Preto 2021.
11. Madsen E-L, Zagzebski J-A, Frank G-R. Oil-in-gelatin dispersions for use as ultrasonically tissue-mimicking materials. Rev Ultrasound in Medicine & Biology 1982. Vol 8. Issue 3. Pgs 277-287.
12. Kondo T, Fujimoto H. Ultrasound Tissue-Mimicking Materials using Oil Gel and Measurement of Their Characteristics. Japanese Journal of Applied Physics 2002. Vol 41. nº 5S. DOI 10.1143/JJAP.41.3598.
13. Vieira S- L. Desenvolvimento de um phantom para treinamento de biópsia de mama guiada por ultrassom. Universidade de São Paulo 2005.
14. Da Costa A-G, Gadelha P-S, Lima M-E-A, Lima G-P. Velocidade sistólica máxima na artéria cerebral média de fetos normais durante a segunda metade da gestação. Revista Saúde & Ciência 2010. Vol 1. Nº 1.

Contato:

Francisco Farias Gomes
Departamento de Física/Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil
Av. Marechal Rondon, s/n - Jardim Rosa Elze, São Cristóvão - SE, 49100-000
E-mail: franciscofg@academico.ufs.br