

## **FLUXÔMETRO URINÁRIO PORTÁTIL**

Lucas Sebastião de Araújo  
Graduando em Sistemas Biomédicos pela Fatec Bauru  
lucassmais@gmail.com.br

Rubens de Oliveira Filho  
Graduando em Sistemas Biomédicos pela Fatec Bauru  
rubens.oliveira11@fatec.sp.gov.br

Milena Mesquita da Silva  
Graduando em Sistemas Biomédicos pela Fatec Bauru  
milena.silva40@fatec.sp.gov.br

Orientador: Rogerio Thomazella  
Doutorado em engenharia clínica e docente na Fatec Bauru  
rogerio.thomazella@fatec.sp.gov.br

### **RESUMO**

A urofluxometria é um exame não invasivo amplamente utilizado para diagnosticar disfunções do trato urinário inferior, por meio da análise de parâmetros como o fluxo urinário máximo ( $Q_{max}$ ), médio ( $Q_{med}$ ), volume expelido e tempo de micção. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um fluxômetro urinário portátil, de baixo custo e fácil utilização, com o objetivo de permitir o monitoramento domiciliar e auxiliar no acompanhamento clínico contínuo. O dispositivo proposto utiliza um microcontrolador Atmega32u4, um sensor de carga com o módulo HX711, um relógio de tempo real (RTC) e um display LCD, possibilitando a medição precisa da vazão urinária e o armazenamento de dados em cartão SD. Os dados podem ser convertidos em gráficos por meio de uma interface em HTML, permitindo a análise visual dos padrões miccionais. O protótipo foi desenvolvido respeitando normas técnicas de segurança (IEC 60601 e Resolução RDC 573/2022), e suas aplicações são direcionadas principalmente ao monitoramento domiciliar de pacientes com disfunções miccionais e à prática clínica. A solução contribui para diagnósticos mais precisos, melhora a adesão ao tratamento e promove maior autonomia ao paciente.

Foram conduzidos experimentos utilizando uma garrafa PET contendo água, com orifícios de diferentes diâmetros, a fim de simular o escoamento de líquidos. Os dados obtidos no gráfico de vazão indicaram que a taxa de fluxo não se mantém constante ao longo do tempo o experimento foi fundamental para validar o desempenho do sensor de fluxo, além de proporcionar uma melhor compreensão sobre as variações no padrão de vazão durante processos reais de esvaziamento, como ocorre durante a micção.

**Palavras-chave:** fluxômetria urinária; urofluxômetro portátil; monitoramento domiciliar; disfunções miccionais; engenharia biomédica.

## 1. INTRODUÇÃO

A urofluxometria, ou simplesmente fluxometria, é uma ferramenta essencial na avaliação urodinâmica, fornecendo dados objetivos e quantitativos sobre possíveis disfunções no esvaziamento vesical. Trata-se de um exame não invasivo que avalia o padrão do fluxo urinário, mensurando parâmetros como fluxo máximo ( $Q_{max}$ ), fluxo médio ( $Q_{med}$ ) e volume urinário total, permitindo uma análise precisa da função miccional.

Esse procedimento é amplamente utilizado na identificação de alterações no trato urinário inferior, como obstruções uretrais ou fraqueza do detrusor, possibilitando diagnósticos mais rápidos, eficazes e embasados em evidências. Sua simplicidade, baixo custo e rápida execução tornam a fluxometria uma importante aliada na prática clínica urológica (OLIVEIRA et al., 2008).

Diante disso, este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um fluxômetro urinário de alta precisão, voltado para o monitoramento e registro do fluxo urinário, a fim de contribuir com diagnósticos mais ágeis e eficientes, promovendo maior acessibilidade ao acompanhamento clínico.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Oliveira *et al* (2008) onde realizaram um estudo com 205 pacientes atendidos na UNIFESP, com idades variadas, que apresentavam disfunções do trato urinário inferior e realizaram um estudo urodinâmico. A pesquisa focou na avaliação de fluxos urinários máximo e médio, além das pressões de abertura do detrusor e vesical, e sua relação com a idade e os diagnósticos. A importância do equipamento que permite a análise precisa dos fluxos urinários e pressões, fornecendo dados cruciais para o diagnóstico e acompanhamento de doenças urológicas, especialmente em diferentes faixas etárias.

A urofluxometria é um exame simples e essencial no diagnóstico dos distúrbios funcionais do trato urinário inferior (DTUI), permitindo a análise do padrão de fluxo urinário e a correlação entre volume e tempo de micção. Seu registro gráfico identifica padrões como contínuo, intermitente ou "staccato", sendo especialmente útil em crianças, onde pode evidenciar a incoordenação vesico esfinteriana, um sinal de micção disfuncional grave. Além disso, o exame possibilita avaliar o resíduo pós-miccional, fornecendo dados importantes para o diagnóstico precoce. Embora o estudo urodinâmico completo seja mais abrangente, a urofluxometria é preferida na avaliação inicial devido à sua simplicidade e eficácia em identificar alterações significativas.

O controle do sistema nervoso central sobre a micção e a continência urinária tem avançado rapidamente nos últimos anos, embora ainda não seja completamente compreendido. A continência urinária é um processo fisiológico

complexo e um marco social importante, envolvendo a coordenação entre o cérebro, a medula espinhal, a musculatura lisa da bexiga, o colo vesical e a musculatura estriada do esfíncter externo. Essa integração permite uma continência inconsciente contínua e o início voluntário da micção. (Vasconcelos *et al.* 2013)

A bexiga desempenha duas funções principais, armazenar e eliminar a urina. Seu principal componente, o músculo detrusor, permite o armazenamento inconsciente de grandes volumes de urina com alta complacência e mínima alteração na pressão intravesical. Durante o enchimento, a musculatura estriada do esfíncter é ativada reflexamente, mantendo a continência mesmo na capacidade máxima da bexiga. O esvaziamento completo ocorre quando o detrusor se contrai e o esfíncter uretral relaxa de forma reflexa e coordenada. (Vasconcelos *et al.* 2013)

## 2.1 Prevenção e diagnóstico

O fluxo urinário pode apresentar variações que oferecem informações importantes sobre o funcionamento do trato urinário. Um fluxo reduzido pode ser causado por fatores como o aumento do tamanho da próstata, que comprime a uretra, dificultando a passagem da urina, ou por obstruções em outras partes do aparelho urinário, como estreitamentos na uretra. Além disso, a capacidade reduzida da bexiga de se contrair adequadamente pode comprometer a expulsão da urina. Por outro lado, um fluxo urinário elevado pode indicar contrações excessivas das estruturas musculares ou distúrbios na capacidade de continência, resultando em um volume maior de urina expelido. A avaliação da taxa de fluxo máximo ( $Q_{max}$ ) é um parâmetro relevante para determinar a gravidade das condições clínicas e auxiliar no diagnóstico. (Dias, 2012)

Os gráficos desempenham um papel essencial no monitoramento dos sintomas do trato urinário inferior, oferecendo uma abordagem simples, não invasiva e de baixo custo para essa avaliação. Eles fornecem dados valiosos que quando combinados com as informações obtidas pelo escore internacional de sintomas prostáticos e pelo exame físico, permitem um entendimento abrangente das diversas características clínicas associadas a essa condição. Seu uso regular como ferramenta de monitoramento inicial é indispensável no manejo da hiperplasia prostática benigna, pois contribui significativamente para o acompanhamento e a personalização do tratamento. (Dias, 2012)

Um estudo realizado por Oliveira, Marinheiro e Silva (2011) analisou as disfunções do trato urinário inferior em mulheres com queixas urinárias e sua relação com o diabetes. Os resultados mostraram que mulheres diabéticas apresentam maior frequência de alterações urodinâmicas, como incontinência urinária de esforço e hiperatividade do músculo detrusor, em comparação às não diabéticas. O exame urodinâmico destacou-se como uma ferramenta essencial para o diagnóstico dessas alterações, oferecendo uma visão mais detalhada das condições clínicas e contribuindo para o planejamento de tratamentos mais eficazes e personalizados.

A utilização de um fluxômetro doméstico representa uma importante inovação no monitoramento da saúde urinária. Ao permitir a identificação de alterações iniciais no fluxo urinário, o dispositivo promove o acompanhamento de condições, como

obstruções, infecções ou outras disfunções do trato urinário. Essa abordagem pode levar aos especialistas intervenções rápidas, reduzindo o risco de complicações e contribuindo para melhores desfechos clínicos. Além disso, o acesso domiciliar a essa tecnologia pode aumentar a adesão ao cuidado contínuo, beneficiando tanto pacientes quanto profissionais de saúde na gestão efetiva dessas condições.

## 2.2 Praticidade e acessibilidade

Este projeto tem como objetivo desenvolver um equipamento de fácil uso no ambiente doméstico para a coleta periódica de informações sobre a urina do paciente. Essas informações permitirão ao médico obter um histórico mais detalhado durante as consultas, facilitando uma avaliação mais precisa da condição do paciente. Além disso, o equipamento ajudará a monitorar o desenvolvimento e as mudanças fisiológicas ao longo do tempo, contribuindo para um acompanhamento clínico mais eficaz. Com base nessas funcionalidades, o equipamento será projetado para ser compacto, acessível e de uso simples, garantindo praticidade ao usuário. Também incluirá recursos de armazenamento de dados, permitindo que o histórico de informações seja mantido de forma organizada. Dessa forma, o dispositivo auxiliará tanto na previsão de alterações quanto no planejamento de intervenções precoces e no acompanhamento a longo prazo.

A construção do equipamento para monitoramento urinário domiciliar oferece vantagens significativas, especialmente em casos como os relatados por Caldas *et al.* (2010), onde o diário miccional é utilizado como ferramenta de acompanhamento. O dispositivo visa automatizar a coleta e o registro dos parâmetros miccionais, reduzindo as dificuldades relatadas por alguns pacientes ao preencher manualmente o diário. Isso torna o processo mais acessível, eficiente, preciso e com mais informações, permitindo um acompanhamento contínuo e confiável.

Ao armazenar automaticamente o histórico de dados miccionais, o equipamento proporciona ao médico uma visão detalhada e longitudinal das mudanças nos padrões urinários do paciente. Essa funcionalidade facilitaria a identificação de melhorias clínicas, como a redução da frequência miccional, da urgência para urinar e das perdas involuntárias, critérios já reconhecidos por Caldas *et al.* (2010) como indicadores de progresso no tratamento da incontinência urinária. Assim, o dispositivo proporciona um manejo mais efetivo da condição, melhorando a adesão dos pacientes e contribuindo para intervenções terapêuticas mais bem fundamentadas.

A avaliação precisa de parâmetros urológicos é fundamental para um diagnóstico eficaz para os pacientes, destacando a importância da urofluxometria na avaliação de disfunções do trato urinário inferior, onde a precisão das medições é essencial para diagnósticos confiáveis, e a utilização de equipamentos que aprimorem a coleta de dados clínicos beneficia médicos e pacientes. (Oliveira *et al.* 2008)

## 2.3 Objetivo do projeto

O objetivo geral deste projeto é desenvolver um fluxômetro urinário funcional, seguro e de fácil utilização. Para isso, foram estabelecidos objetivos específicos, como monitorar e medir o fluxo urinário com precisão, garantindo que o dispositivo seja compacto, portátil e de fácil manuseio. Além disso, o aparelho deve registrar informações essenciais, como o tempo até iniciar a micção, a taxa de fluxo urinário máximo ( $Q_{max}$ ) em mililitros por segundo, a taxa de fluxo urinário médio ( $Q_{med}$ ) em mililitros por segundo, o tempo até atingir o fluxo máximo ( $TQ_{max}$ ), a quantidade total de urina expelida (em mililitros) e o tempo total de duração da micção. Que são dados utilizados no trabalho de Oliveira *et al.* (2008)

Para atender a esses objetivos, foram definidos requisitos e especificações. Entre os requisitos funcionais, destacam-se a presença de sensores para medir o fluxo e o volume de urina, a capacidade de registro de dados em intervalos de tempo definidos e a possibilidade de armazenamento desses dados para consultas futuras. Já entre os requisitos não funcionais, é fundamental que o dispositivo seja fabricado com material biocompatível, tenha facilidade de uso e manutenção, seja de fácil desmontagem para higienização. Além disso, o fluxômetro urinário deve atender às normas e certificações regulamentares, como as exigidas pela ANVISA e IEC 60601, garantindo conformidade com as regulamentações de dispositivos médicos.

De acordo com a RDC nº 751 (2022), da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), dispositivos médicos que não são invasivos e que têm a finalidade de monitoramento de parâmetros fisiológicos são classificados como Classe I, por representarem o menor risco associado dentro do sistema de classificação de risco regulatório. Portanto, um fluxômetro urinário é classificado como Classe I (risco baixo) por ser um dispositivo médico não invasivo, utilizado para monitoramento fisiológico, sem apresentar riscos significativos ao paciente.

Um fluxômetro urinário é um dispositivo utilizado para medir o fluxo urinário de pacientes, auxiliando na avaliação de possíveis disfunções do trato urinário inferior, este equipamento é considerado de baixo risco ao paciente, pois sua função é monitorar parâmetros fisiológicos sem interferir diretamente no organismo ou emitir energia que possa causar danos.

A escolha da alimentação por bateria visa eliminar a conexão direta com a rede elétrica, oferecendo maior segurança elétrica ao paciente, especialmente em ambientes hospitalares, onde múltiplos equipamentos estão conectados simultaneamente. Com base na norma ABNT NBR IEC 60601-1, o equipamento se classifica como Classe II (proteção elétrica por isolamento duplo), por ser eletricamente isolado da rede e não exigir aterramento, e como Parte Aplicada Tipo B, já que não possui contato direto com o paciente, sendo a urina o único meio de transferência indireta entre o corpo e o sistema de medição.

A norma ABNT NBR IEC 60601-1:2010 estabelece requisitos gerais para a segurança básica e o desempenho essencial de equipamentos eletromédicos, incluindo fluxômetros urinários. A seguir, destacam-se as aplicações de seções específicas da norma relevantes ao equipamento que será projetado.

Como o equipamento é portátil, é necessário implementar medidas que minimizem danos decorrentes de quedas ou impactos, realizando testes de

resistência mecânica para assegurar a durabilidade do equipamento. Além disso, o equipamento deve possuir mecanismos de proteção contra condições de corrente e tensão excessivas, realizando testes para verificar a eficácia desses mecanismos. Os interruptores de alimentação também devem ser claramente identificados, utilizando simbologia padrão para indicar as posições de ligado e desligado.

### 3.METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 Pesquisa e análise: estudo de mercado e análise de dispositivos semelhantes

Para dar início ao desenvolvimento deste projeto, avaliamos diversos modelos de equipamentos disponíveis no mercado e na internet, analisando suas funções e design para criar um dispositivo semelhante. Com base nessa análise, implementamos as funcionalidades conforme a necessidade identificada nas pesquisas e a disponibilidade de componentes no mercado. A seguir, apresentamos as imagens dos modelos similares.

Figura 1- Equipamento Flowstar;



Fonte: <https://www.laborie.com/product/uflowmetersandaccessories>

Figura 2-Equipamento Danflow wave;



Fonte: <https://www.medicaspa.com/businessunits/prod/medicale/diagnostica/flowzig>

Figura 3- Equipamento Flow Zig;



Fonte: <https://www.medicalexpo.com/pt/prodmedksonsultmedic altechnology/produt-45781081139008.html>

Figura 4- Equipamento Smartflow;



Fonte: <https://www.creomedical.com/en/products/smartflow>

O Flowstar é um urofluxômetro digital compacto, ideal para clínicas que buscam praticidade e precisão. Ele conta com início automático de gravação, escalas ajustáveis de fluxo/volume e tempos de pré e pós-fluxo configuráveis. Possui uma impressora integrada para geração de gráficos Siroky e um sensor de peso digital de alta precisão, que pode ser posicionado em um suporte ajustável ou sob uma cadeira de micção. O Flowstar está ilustrado na Figura 1.

O DANFLOW Wave, desenvolvido pela MMT, é um medidor de caudal avançado que se destaca pela confiabilidade e integração tecnológica, permitindo conexão sem fio com computadores via um adaptador de rádio USB. Com o software UDMvision, possibilita urofluxometria automática ou manual, oferecendo controle total das medições em tempo real com curvas e imagens detalhadas. Além disso, é compatível com redes hospitalares como DICOM e HL7, tornando-se uma solução versátil para diversas aplicações clínicas. O DANFLOW Wave está ilustrado na Figura 2.

O Flow Zig, da Medica S.p.a., é um medidor de fluxo urinário sem fio que utiliza tecnologia Bluetooth para comunicação. Compatível com computadores Windows e equipado com software dedicado, destaca-se pelo baixo consumo de energia, alcance de até 50 metros em campo aberto e suporte para análise de urofluxometria automática ou manual. Além disso, suporta volumes máximos de 2000 ml, possui frequência de amostragem de 10 Hz e permite ajustes automáticos ou manuais da escala. O Flow Zig está ilustrado na Figura 3.

O SmartFlow é um urofluxômetro de alta tecnologia com transmissão sem fio de até 30 metros, é projetado para estudos de urofluxometria em diferentes faixas etárias, incluindo adultos e crianças. O dispositivo pode operar de forma autônoma ou conectado a um PC, permitindo integração com software especializado, análise de dados e geração de relatórios personalizáveis. O SmartFlow está ilustrado na Figura 4.

### 3.2 Definição dos componentes utilizados

O desenvolvimento deste projeto tem como objetivo monitorar a micção de um paciente e registrar os resultados de forma precisa e eficiente. Para isso, será utilizada uma balança de alta precisão para medir o peso do líquido eliminado durante a micção. Um display será integrado ao sistema para fornecer orientações claras e intuitivas ao usuário durante o uso do equipamento. Além disso, o projeto contará com um sistema de conversão que transformará os dados de peso em volume (ml) e um módulo para armazenar os dados coletados. Esses registros

poderão ser analisados posteriormente por profissionais de saúde, facilitando o acompanhamento médico de maneira prática e acessível.

O processamento das informações e o gerenciamento dos módulos serão realizados por um R3 Microcontrolador Atmega32u4. Este modelo foi escolhido por sua boa velocidade de processamento, ampla versatilidade com módulos disponíveis no mercado e uma capacidade de memória suficiente para armazenar e processar os dados coletados durante o funcionamento do sistema.

O módulo selecionado para acompanhar o peso é o módulo AD de carga HX711, equipado com uma célula de carga de 1KG. Esta capacidade foi escolhida com base em informações técnicas, incluindo referências dos estudos de Ceratti e Beghetto (2021), que indicam que ela atende perfeitamente às necessidades do projeto.

O HX711 possui uma interface simplificada para comunicação com microcontroladores através de um barramento serial de apenas dois fios, o que facilita a integração com sistemas e reduz a complexidade do projeto. Além disso, conta com um conversor analógico-digital de alta precisão, que transforma os sinais analógicos de sensores de carga em valores digitais, garantindo medições confiáveis e de alta resolução para aplicações que exigem exatidão. Outro diferencial é seu amplificador de sinal integrado, capaz de amplificar o sinal do sensor até um fator máximo ajustável, permitindo o uso de sensores com baixa amplitude de saída e assegurando maior sensibilidade e precisão nas medições.

Para registrar as medições com precisão temporal, será utilizado um Módulo Relógio de Tempo Real RTC, que oferece uma solução eficiente e de baixo custo para garantir que todos os dados coletados sejam devidamente carimbados com data e hora além disso, o sistema contará com um botão para facilitar o uso dedicado a iniciar o processo de medição.

Para interagir com o usuário, será integrado um display LCD 16x2 com módulo I2C que exibirá mensagens de orientação e os resultados do monitoramento. Adicionalmente, um display gráfico será utilizado para apresentar visualmente o gráfico do fluxo total e a vazão da urina, tornando a análise mais intuitiva e compreensível.

Por fim, para armazenar os dados coletados, será empregado um módulo SD Card compatível com sistemas FAT32 de até 4GB, garantindo espaço suficiente para salvar os registros de forma organizada e acessível e para alimentar os componentes do projeto, uma bateria de 9V é suficiente para atender às necessidades do arduino e dos demais módulos, sendo incorporada ao dispositivo para evitar o uso de fontes inadequadas.

### **3.3 Código de programação**

O funcionamento do sistema segue uma sequência lógica iniciada ao ligar com sua inicialização, etapa em que são configurados todos os componentes essenciais, como o display LCD, a balança (célula de carga), o botão de controle e o módulo de tempo real (RTC). Após essa configuração, o sistema permanece em



estado de espera, aguardando o acionamento do botão para dar início ao processo de medição.

Quando o botão é pressionado, a balança é automaticamente tarada, ou seja, zerada, preparando-se para registrar apenas o peso líquido do volume a ser inserido. A partir desse momento, o sistema entra em um estado de monitoramento contínuo para identificar a presença de líquido.

Durante a etapa de detecção de líquido, o sistema verifica se o volume medido ultrapassa o limite mínimo de 1,0 ml. Ao confirmar a presença de líquido em quantidade suficiente, o sistema inicia a medição formal.

Na fase de início da medição, o sistema calcula em tempo real o volume acumulado e a vazão (fluxo) do líquido. Essas informações são exibidas no display durante todo o processo, permitindo o acompanhamento contínuo por parte do usuário.

O sistema então realiza verificações constantes para saber se o volume se estabilizou, utilizando como critério um tempo mínimo de 10 segundos sem variações significativas. Caso o volume ainda esteja variando, a medição continua. Se for identificado que o volume está estável, o sistema encerra o processo de medição.

Com a medição concluída, ocorre a etapa de finalização, em que é gerado um relatório e salvo no sd para futuras visualizações por fim, o sistema retorna ao estado de espera, pronto para aguardar um novo acionamento do botão e iniciar novamente o ciclo de medição.

Para o código ser configurado foi necessária uma calibração de referência de densidade da urina e foi utilizado a referência de 1.02 que é a média da orientação citada por (Nakamae *et al.* [s.d.])

A vazão (Q) é uma medida do volume de líquido que passa por um determinado ponto em um intervalo de tempo. No contexto do código fornecido, a vazão é calculada como a variação do volume ( $\Delta V$ ) dividida pela variação do tempo ( $\Delta t$ ). Por fim, foi desenvolvido um código em HTML para interpretar os dados registrados no cartão SD, possibilitando a geração de gráficos e relatórios que facilitam a visualização e o entendimento dos resultados.

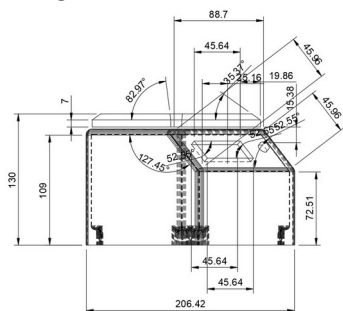
### 3.4 Protótipo

O desenho técnico da figura 5 a seguir apresenta todas as cotas necessárias para o desenvolvimento e construção do projeto, garantindo sua funcionalidade e a precisão nas medições de volume e vazão urinária.

A figura 6 representa o modelo 3D do projeto desenvolvido antes da impressão, sendo uma etapa fundamental para a visualização e compreensão da estrutura final do dispositivo. Esse recurso permitiu avaliar o design, ajustar dimensões e posicionamentos dos componentes, além de oferecer uma previsão precisa do resultado final, otimizando o processo de construção e reduzindo possíveis erros durante a impressão e montagem do protótipo.

A figura 7 apresenta o protótipo finalizado e em pleno funcionamento, evidenciando a versão completa e operante do dispositivo desenvolvido

Figura 5 – Desenho



Fonte: Autores (2025)

Figura 6 – Modelo 3D



Fonte: Autores (2025)

Figura 7 – Protótipo

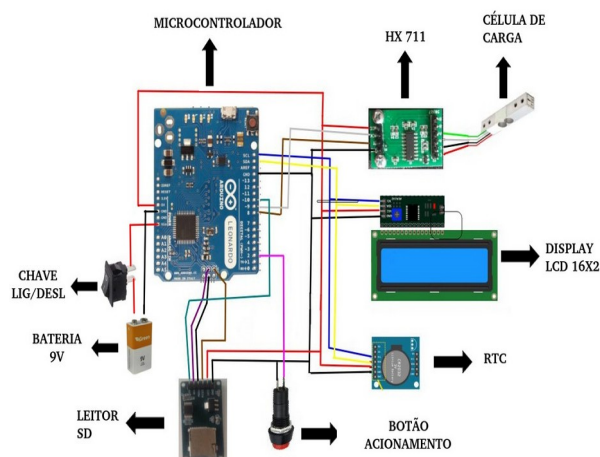


Fonte: Autores (2025)

A figura 7 apresenta o esquema elétrico dos componentes do projeto, destacando suas conexões e orientando eventuais manutenções. O diagrama evidencia a simplicidade do sistema e a clareza das ligações necessárias para seu correto funcionamento.

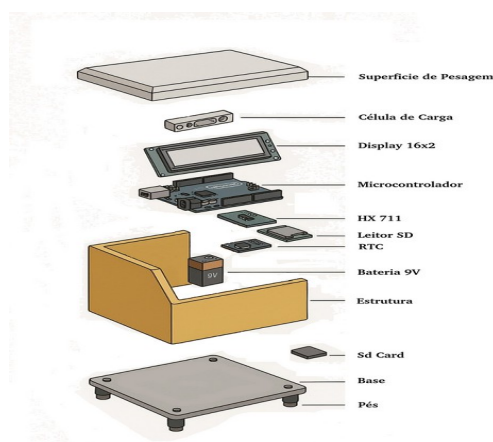
A seguir temos a figura 8 que apresenta uma vista explodida do projeto do fluxômetro urinário, destacando de forma clara e organizada todos os seus componentes. Do topo para a base, podemos ver a superfície de pesagem, que se apoia sobre a célula de carga responsável por medir o peso do líquido. Abaixo estão o display LCD 16x2, o microcontrolador, o módulo HX711 (amplificador de sinal da célula de carga), o leitor de cartão SD, o módulo RTC (relógio de tempo real) e a bateria de 9V que alimenta o sistema. Esses componentes estão encaixados na estrutura principal, que garante suporte e organização. Na parte inferior, a base com pés de apoio dá estabilidade ao conjunto.

Figura 7 – Diagrama elétrico



Fonte: Autores (2025)

Figura 8 - Vista expandida



Fonte: Autores (2025)

Tabela 1 – recursos materiais para construção do fluxômetro urinário com orçamento

| Recursos Materiais       | Preço | Frete | Impostos | Total  |
|--------------------------|-------|-------|----------|--------|
| Botão NA                 | 4,00  | .     | .        | 4,00   |
| Impressão 3D             | .     | .     | .        | 80,00  |
| Microcontrolador Arduíno | 38,58 | 4,34  | 19,44    | 62,36  |
| Card SD 2GB              | 25,00 | .     | .        | 25,00  |
| Modulo balança até 1 kg  | 14,62 | 4,34  | 6,96     | 25,92  |
| Modulo SD                | 13,59 | .     | .        | 13,59  |
| Display 16x2             | 26,00 | .     | .        | 26,00  |
| Modulo relógio           | 10,25 | 9,62  | .        | 19,87  |
| Bateria 9v               | 12,00 | .     | .        | 12,00  |
| Total                    |       |       |          | 268,15 |

#### 4.RESULTADO FINAL

O projeto de desenvolvimento de um fluxômetro urinário portátil e de baixo custo se apresenta como uma solução viável e inovadora para o monitoramento e diagnóstico de disfunções do trato urinário inferior. A metodologia adotada envolveu a pesquisa e análise de dispositivos similares no mercado, a definição de componentes eletrônicos adequados, como o microcontrolador Atmega32u4, o módulo de sensor de peso HX711 e o módulo relógio de tempo real RTC, além da programação de um sistema que calcula a vazão urinária com base na variação de volume e tempo. O protótipo foi desenvolvido com foco na praticidade, acessibilidade e precisão, utilizando materiais biocompatíveis e atendendo às normas regulatórias, como as da ANVISA e IEC 60601-1.

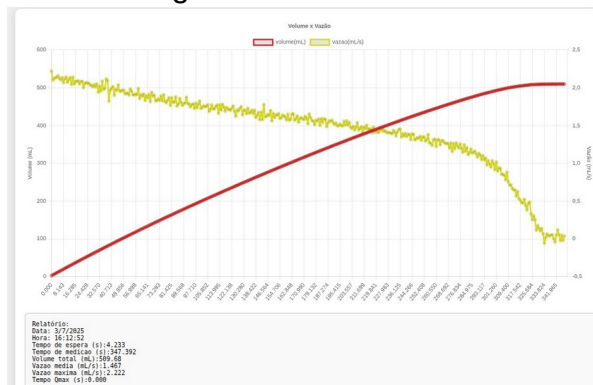
Para os testes foram realizados experimentos utilizando garrafa PET com 500 mL de água e orifícios de diferentes diâmetros para simular o escoamento do líquido. O gráfico de vazão obtido demonstrou que a taxa de fluxo não se mantém constante ao longo do tempo, apresentando valores mais altos no início, quando a altura da coluna de líquido é maior, e diminuindo gradualmente à medida que o nível da água baixa. Esse comportamento está de acordo com o princípio de Torricelli, que relaciona a velocidade de escoamento com a raiz quadrada da altura do fluido esse teste validou o funcionamento do sensor de fluxo e ajudou a compreender o padrão de variação da vazão em situações reais de esvaziamento, como as que ocorrem no ato da micção.

##### 4.1 Ensaios e resultados

A figura 9 apresenta o gráfico do teste realizado com um furo de 2 mm, evidenciando a relação entre o volume acumulado (em vermelho) e a vazão instantânea (em amarelo). Nota-se que o volume aumenta de forma contínua até atingir aproximadamente 510 mL, enquanto a vazão inicia em torno de 2,2 mL/s e vai diminuindo gradualmente até se aproximar de zero, comportamento esperado à medida que a altura da coluna de líquido na garrafa se reduz. A vazão máxima ocorre no início do escoamento, e a média registrada foi de 1,47 mL/s durante os 347 segundos de coleta.

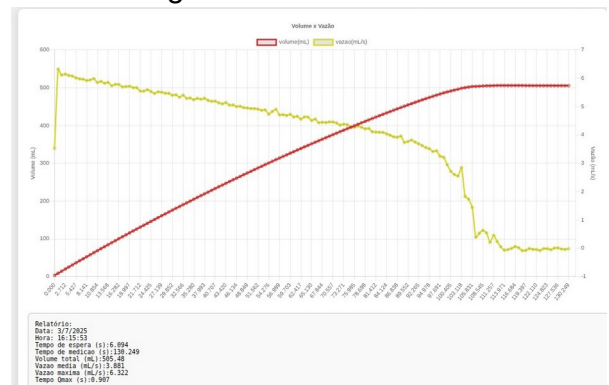
A figura 10 mostra o resultado do teste com um furo de 3 mm, mantendo o padrão de crescimento contínuo do volume (cerca de 505 mL) e apresentando uma vazão inicial mais intensa, com pico de 6,32 mL/s logo nos primeiros segundos. A partir daí, observa-se uma queda gradual, com oscilações mais evidentes no final da medição. O tempo de escoamento foi reduzido para 130 segundos, em função do maior diâmetro, e a vazão média subiu para 3,88 mL/s, reforçando a relação entre a área do orifício e a taxa de fluxo. O pico de vazão ( $Q_{max}$ ) foi identificado com precisão em 0,907 s.

Figura 9 – Furo 2mm



Fonte: Autores (2025)

Figura 10 – Furo 3mm

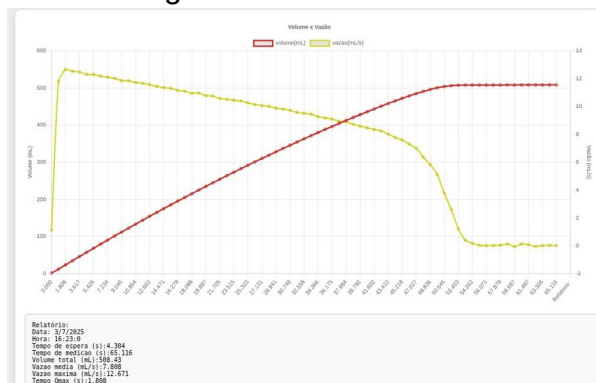


Fonte: Autores (2025)

Na figura 11, o teste com o furo de 4 mm também apresenta o mesmo padrão de crescimento do volume (até 508 mL) e uma vazão instantânea que atinge um pico acentuado de 12,67 mL/s em 1,808 s, seguido por uma queda progressiva. O tempo total da medição foi de 65 segundos, evidenciando um escoamento mais rápido. A vazão média registrada foi de 7,08 mL/s, comprovando o aumento significativo em comparação aos testes anteriores. A curva da vazão segue um comportamento compatível com a equação de Torricelli, que relaciona vazão e altura do fluido.

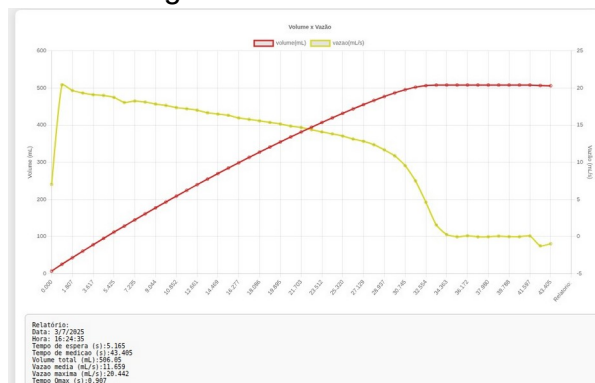
A figura 12, por sua vez, refere-se ao teste com o maior furo, de 5 mm, que resultou no tempo de escoamento mais curto, de apenas 43 segundos, com volume total de 506 mL. A vazão atingiu o valor mais alto entre os testes (20,44 mL/s), também registrado logo no início (0,907 s), e apresentou uma queda progressiva até se estabilizar próxima de zero. A vazão média foi de 11,66 mL/s, refletindo o impacto direto do aumento do diâmetro do orifício no desempenho do escoamento.

Figura 11 – Furo 4mm



Fonte: Autores (2025)

Figura 12 – Furo 5mm



Fonte: Autores (2025)

Com base nas Figuras 9, 10, 11 e 12, é possível concluir que todos os testes apresentaram um comportamento consistente nas curvas de volume e vazão, independentemente do tamanho do furo. Em todos os casos, o volume se acumulou de forma contínua, enquanto a vazão teve um pico inicial seguido de redução progressiva, como previsto pela dinâmica do escoamento livre. Um aspecto comum e marcante é a queda acentuada da vazão nos instantes finais, visível em todos os gráficos, causada pelo formato da garrafa PET, que restringe a saída do líquido quando o nível está mais baixo. Essa característica realça a sensibilidade do sistema em captar variações rápidas e confirma a eficácia do dispositivo na medição, registro e salvamento dos dados com precisão, conforme proposto no desenvolvimento do projeto.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, o fluxômetro urinário desenvolvido oferece uma solução eficiente, de baixo custo e portátil, que pode reduzir o tempo de diagnóstico, aumentar o conforto do paciente e proporcionar um monitoramento contínuo e preciso das condições urológicas. O projeto atende às necessidades tanto de pacientes quanto de profissionais de saúde, contribuindo para um manejo mais eficaz das disfunções do trato urinário e para a melhoria da qualidade de vida dos usuários.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.

ABNT NBR IEC 60601-1:2010. Equipamento eletromédico – **Parte 1: Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial**. Rio de Janeiro, 2010.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da diretoria Colegiada -RDC nº 751, de 15 de setembro de 2022**. Dispõe sobre a classificação

de risco, os regimes de notificação e de registro, e os requisitos de rotulagem e instruções de uso de dispositivos médicos. Diário Oficial da União, Brasília, 15 set. 2022.

CERATTI, R. DO N.; BEGHETTO, M. G. **Incidence of urinary retention and relations between patient's complaint, physical examination, and bladder ultrasound.** *Revista gaucha de enfermagem*, v. 42, 2021.

CALDAS, C. P.; CONCEIÇÃO, I. R. da S.; JOSÉ, R. M. da C.; SILVA, B. M. C. da. **Terapia comportamental para incontinência urinária da mulher idosa: uma ação do enfermeiro.** *Texto & Contexto – Enfermagem*, Florianópolis, v. 19, n. 4, p. 783–788, out./dez. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/tce/a/63D9qryM8DbrSfKSBBt93Qz/?lang=pt>. Acesso em: 29 maio 2025.

DIAS, Jose S. **Benign prostatic hyperplasia: clinical manifestations and evaluation. Techniques in vascular and interventional radiology**, v. 15, n. 4, p. 265–269, 2012.

OLIVEIRA, E. G. de; MARINHEIRO, L. P. F.; SILVA, K. S. da. **Diabetes melito como fator associado às disfunções do trato urinário inferior em mulheres atendidas em serviço de referência.** *Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia: revista da Federação Brasileira das Sociedades de Ginecologia e Obstetrícia*, v. 33, n. 12, p. 414–420, 2011.

OLIVEIRA, Emerson de *et al.* **Parâmetros da urofluxometria e do estudo fluxo/pressão em pacientes uroginecológicas.** *Revista da Associação Médica Brasileira*, São Paulo, v. 54, n. 2, p. 139–141, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0104-42302008000200016>. Acesso em: 21 dez. 2024.

NAKAMAE, D. D. et al. **EXAME DE URINA: TODO O RIGOR NA COLHEITA DE AMOSTRAS.** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/reeusp/a/bCcF5fsyk9y6SJDRKkcV6tC/?format=pdf>. Acesso em: 14 jan. 2025.

VASCONCELOS, M. M. DE A. et al. **Lower urinary tract dysfunction - a common diagnosis in the pediatrics practice.** *Jornal brasileiro de nefrologia: 'orgao oficial de Sociedades Brasileira e Latino-Americana de Nefrologia*, v. 35, n. 1, p. 57–64, 2013.

FATTINI, Carlo Américo. **Anatomia humana básica.** 3. ed. rev., atual. e ampl. Rio de Janeiro; São Paulo: Atheneu, 2025. 304 p.