REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–27

ESTIMATIVA DO FLUXO URINÁRIO EM HOMENS COM HIPERPLASIA PROSTÁTICA UTILIZANDO ACHADOS DE ULTRASSONOGRAFIA TRANSABDOMINAL E TÉCNICAS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA

ESTIMATE OF URINARY FLOW IN MEN WITH PROSTATE HYPERPLASIA USING ABDOMINAL ULTRASONOGRAPHY FINDINGS AND MACHINE LEARNING TECHNIQUES

ESTIMACIÓN DEL FLUJO URINARIO EN HOMBRES CON HIPERPLASIA PROSTÁTICA UTILIZANDO HALLAZGOS DE ULTRASONOGRAFÍA TRANSABDOMINAL Y TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

Wesley Queiroz Muniz
Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração em Cirurgia Geral e Urologia, Universidade do Estado do Pará (UEPA) - Campus XII, Brasil
E-mail: wesley.muniz@uepa.br

Alan Marcel Fernandes de Souza
Doutor em Engenharia Elétrica, ênfase em Computação Aplicada - Inteligência Computacional, Universidade do Estado do Pará (UEPA) – Campus XX, Brasil
E-mail: alanmarcel2@gmail.com

Emanuel Negrão Macêdo
Doutor em Engenharia Mecânica, áreas de concentração em Engenharia Química e Mecânica, atuando principalmente em modelagem e simulação de processos, Universidade Federal do Pará (UFPA), Brasil
E-mail: enegrao@ufpa.br

Resumo

A próstata é uma glândula acessória do sistema reprodutor masculino e sua alteração mais comum, a hiperplasia prostática benigna, acomete mais da metade dos homens acima de 60 anos. Essa doença

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

está associada a sintomas do trato urinário inferior e pode afetar a qualidade de vida e levar a complicações relativamente graves. Entre as opções utilizadas na avaliação do homem com essa doença estão bem definidos o emprego dos exames de ultrassonografia da próstata e a urofluxometria. Com o objetivo de determinar o fluxo máximo, o principal parâmetro fornecido pela urofluxometria, utilizando a idade e informações do exame de ultrassonografia, analisaram-se dados de 316 pacientes para desenvolver modelos baseados em cálculos matemáticos utilizando-se análise estatística tradicional (regressão linear) e comparação com o desempenho de uma Rede Neural Artificial (RNA) e de um Sistema Fuzzy. Os resultados demonstraram a superioridade da RNA, que apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,83 e um erro médio absoluto (MAE) de aproximadamente 2,3 ml/s, superando claramente o modelo estatístico (erro de 4,09 ml/s) e o sistema Fuzzy. A RNA mostrou-se particularmente eficiente na identificação de pacientes com baixo fluxo (< 10 ml/s). Conclui-se que o fluxo máximo pode ser estimado com alta confiabilidade pela rede neural, principalmente identificando pacientes de baixo fluxo e geralmente sintomáticos. Poderá ser aperfeiçoada para ser mais uma ferramenta eficaz de triagem para contribuir na decisão clínica e reduzir a dependência da urofluxometria.

Palavras – chave: Fluxo urinário; Próstata; Exame urológico; Hiperplasia prostática benigna

Abstract
The prostate is an accessory gland of the male reproductive system, and its most common alteration, benign prostatic hyperplasia, affects more than half of men over 60 years old. This disease is associated with lower urinary tract symptoms and can affect quality of life, potentially leading to relatively severe complications. Among the options used in the evaluation of men with this condition, the use of prostate ultrasonography and uroflowmetry is well-established. Aiming to determine the maximum flow rate (Qmax), the main parameter provided by uroflowmetry, using age and information from the ultrasound examination, data from 316 patients were analyzed to develop mathematical models using traditional statistical analysis (linear regression) and to compare them with the performance of an Artificial Neural Network (ANN) and a Fuzzy System. The results demonstrated the superiority of the ANN, which presented a coefficient of determination (R^2) of 0.83 and a Mean Absolute Error (MAE) of approximately 2.3 ml/s, clearly outperforming the statistical model (error of 4.09 ml/s) and the Fuzzy system. The ANN proved to be particularly efficient in identifying patients with low flow (< 10 ml/s). It is concluded that the maximum flow rate can be estimated with high reliability by the neural network, primarily by identifying low-flow and generally symptomatic patients. The model can be refined to serve as an effective screening tool to contribute to clinical decision-making and reduce dependence on uroflowmetry.
Keywords: Urinary flow; Prostate; Urological examination; Benign prostatic hyperplasia

Resumen
La próstata es una glándula accesoria del sistema reproductor masculino y su alteración más común, la hiperplasia prostática benigna, afecta a más de la mitad de los hombres mayores de 60 años. Esta enfermedad está asociada a síntomas del tracto urinario inferior y puede afectar la calidad de vida y llevar a complicaciones relativamente graves. Entre las opciones utilizadas en la evaluación del hombre con esta enfermedad están bien definidos el empleo de los exámenes de ultrasonografía de la próstata y la uroflujometría. Con el objetivo de determinar el flujo máximo, el principal parámetro proporcionado por la uroflujometría, utilizando la edad e información del examen de ultrasonografía, se analizaron datos de 316 pacientes para desarrollar modelos basados en cálculos matemáticos utilizando análisis estadístico tradicional (regresión lineal) y comparación con el desempeño de una Red Neuronal Artificial

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

(RNA) y de un Sistema Difuso (Fuzzy). Los resultados demostraron la superioridad de la RNA, que presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 0,83 y un error absoluto medio (MAE) de aproximadamente 2,3 ml/s, superando claramente al modelo estadístico (error de 4,09 ml/s) y al sistema Difuso. La RNA se mostró particularmente eficiente en la identificación de pacientes con bajo flujo (< 10 ml/s). Se concluye que el flujo máximo puede ser estimado con alta fiabilidad por la red neuronal, principalmente identificando pacientes de bajo flujo y generalmente sintomáticos. Podrá ser perfeccionada para ser una herramienta eficaz más de cribado para contribuir en la decisión clínica y reducir la dependencia de la uroflujometría.

Palabras clave: Flujo urinario; Próstata; Examen urológico; Hiperplasia prostática benigna

1.Introdução

A próstata é uma glândula acessória do sistema reprodutor masculino. Sua função é secretar um fluido para compor o sêmen. Após a puberdade, a próstata tem um volume de aproximadamente 20 a 30 cm^3. Mais de 50% dos pacientes com sintomas do trato urinário inferior apresentam idade entre 61 e 70 anos, mostrando que essas alterações urinárias, relacionadas à próstata, aumentam com o passar da idade (SUNDARAM *et al*., 2017).

A hiperplasia prostática benigna (HPB) é uma doença comum no homem com o envelhecimento. Ela pode estar associada a alguns sintomas do trato urinário inferior e pode afetar a qualidade de vida e causar alterações estruturais e funcionais da bexiga. O progresso dos sinais e sintomas depende não apenas do tamanho, mas da forma do crescimento prostático que pode causar obstrução pelo lobo mediano. Por esse padrão de crescimento, torna-se importante relacionar o volume prostático e o crescimento desse local, ou seja, determinar a protrusão prostática intravesical. Estudos encontraram obstrução em 21% dos pacientes com PPI menor ou igual a 5 mm a 94% de presença de obstrução para aqueles com PPI maiores que 10 mm (WANG et al., 2015; CHIA *et al*., 2003).

A urofluxometria é o registro eletrônico do fluxo urinário durante a micção. É um teste não invasivo muito utilizado para avaliar os pacientes com sintomas do trato urinário inferior (SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017). Os estudos que avaliam as alterações do trato urinário inferior utilizam um volume miccional de no mínimo 150 ml durante a avaliação do fluxo urinário. Dentre os parâmetros possíveis de avaliação o fluxo máximo representa o achado mais importante na avaliação, sendo normal um fluxo máximo (Qmax) maior que 15 ml/s, valores menores podem estar relacionados a obstrução infravesical ou hipocontratilidade detrusora (ABRAMS; KHOURY; WEIN, 1999; DOMINGUES *et al*., 2011).

Vários estudos têm utilizado a ultrassonografia da próstata via abdominal para medir o volume vesical inicial, o volume prostático e o resíduo pós-miccional, sendo esse considerado normal quando representa menos de 10% do volume inicial da

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

bexiga (WANG *et al*., 2015; LEE *et al*., 2016; SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017). O elevado resíduo pós-miccional está relacionado ao risco de infecção urinária e outras complicações que incluem cálculos, insuficiência renal, incontinência, retenção urinaria e hematúria (SUNDARAM *et al*., 2017).

A avaliação padrão da presença de obstrução infravesical é atualmente estimada com os achados da urofluxometria e da presença de resíduo pós-miccional elevado medido no exame de ultrassonografia. Além disso, utiliza-se a medida do volume da próstata e a protrusão prostática intravesical que se mostrou correlacionar satisfatoriamente com os achados de obstrução (TOPAZIO et al., 2018). A utilização em conjunto de informações epidemiológicas, como a idade, achados do volume prostático e medidas do resíduo pós-miccional através da ultrassonografia, além dos parâmetros da urofluxometria são recomendados na rotina da avaliação do paciente com HPB diminuído a necessidade de exames invasivos como o estudo urodinâmico (NETTO; LEVI D'ANCONA; DE LIMA, 1996; SANDHU *et al*., 2023). Essa avalição é utilizada para estratificar os níveis de tratamento, a necessidade de associação de medicações e para documentação da falha terapêutica, sendo então indicado a intervenção cirúrgica (SANDHU *et al*., 2023).

Nesse contexto de avaliação adequada do padrão miccional, torna-se interessante e oportuno encontrar uma alternativa para estimar o fluxo urinário de homens com hiperplasia prostática. Vários estudos têm demostrado aplicação de tecnologia para diminuir a utilização de exames invasivos, como o uso de inteligência artificial em padrões miccionais e aplicação na avaliação de disfunção do trato urinário com urofluxometria e estudo urodinâmico, apresentando resultados otimistas além de diminuir a necessidade de exames mais invasivos (HUANG; CHENG; TSAI, 2025).

Dessa forma, utilizando novos recursos tecnológicos, pode-se utilizar informações epidemiológicas como idade e achados da ultrassonografia transabdominal da próstata para obter o valor do fluxo urinário sem a realização de um exame específico para isso, reduzindo os custos sem comprometimento na qualidade da avaliação urológica. Portanto, determinar por meio do Excel (Microsoft Office) qual a relação e importância da influência da idade e dos achados ultrassonográficos da próstata, sobre resultado do fluxo máximo, para então elaborar aplicando a lógica de Fuzzy e a rede neural artificial qual o melhor modelo matemático capaz de estimar o fluxo urinário.

2.Revisão da literatura

2.1 Aplicação de métodos matemáticos de inferência na área da saúde

Vários artigos têm abordado a importância da utilização de modelos matemáticos na área da saúde e nesse contexto aplicações importantes em medicina. O

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

aprimoramento de modelos matemáticos impulsionou o desenvolvimento de exames de imagem na cardiologia e cirurgia cardíaca. Esses modelos matemáticos têm contribuído para desenvolvimento dessa especialidade médica (DEUFLHARD *et al.*, 2009; EGBA; OKONKWO, 2020).

Em outras áreas cirúrgicas como craniofaciais e ortopédicas, modelos matemáticos podem mostrar resultados possíveis após cirurgias reconstrutoras e também em diversas especialidades pode melhorar a qualidade, economia de tempo e recursos financeiros (DEUFLHARD *et al.*, 2009; EGBA; OKONKWO, 2020; CABRAL *et al.*, 2021).

Na nefrologia e urologia é relevante a avaliação da função renal, sendo a medida da taxa de filtração glomerular (TFG) a prova laboratorial mais utilizada. Tais avaliações com equações tem evoluído em eficiência sendo consideradas equivalentes ou melhores que o método clássico de avaliação laboratorial utilizando a urina de 24 h (LEVEY *et al.*, 1999; KIRSZTAJN, 2009; SILVA *et al.*, 2010). Fórmulas como a de Cockcroft e Gault (1976), para cálculo do clearance da creatinina, desenvolvidas utilizando dados epidemiológicos, parâmetros do exame físico e dosagem laboratorial da creatinina aplicando cálculos matemáticos para encontrar a relação entre os parâmetros permanecem importantes desde sua publicação em 1976, sendo utilizadas até a atualidade (COCKCROFT; GAULT, 1976; SERPA NETO *et al.*, 2011; SCHWARTZ *et al.*, 2009). Estudos também já foram realizados na tentativa de documentar obstrução infravesical sem exames invasivos, através da elaboração de fórmula matemática, mostrando essa frequente tentativa de oferecer objetividade aos parâmetros clínicos (OCKRIM *et al.*, 2001).

Existem várias possibilidades para utilização de um método de inferência matemática para aplicação na área da medicina. Um desses métodos é a Logica Fuzzy, a qual foi desenvolvida em 1965 por Lotfi Zadeh (professor da Universidade da California, EUA), sendo uma forma de lógica com raciocínio derivado da teoria dos conjuntos difusos para lidar com valores ou dados aproximados, não sendo necessários valores exatos. Esse método possibilita avanços no tratamento de dados complexos, que não são possíveis de serem utilizados em modelos de lógica clássica. A teoria de conjuntos fuzzy vem sendo aplicada em medicina desde a década de 70, uma vez que por meio dela torna-se possível a construção de modelo matemático capaz de lidar com as imprecisões, indo assim de encontro às reais necessidades de aplicação em ciência médica (ARAUJO; BRITO, 2020; SILVEIRA *et al.*, 2010). Estudos têm demonstrado aplicação ampla desse método, que foi aplicado para contribuir no diagnóstico de esquizofrenia, no estadiamento clínico de câncer de próstata, na previsão do risco de recidiva ou progressão de câncer de bexiga (ARAUJO; BRITO, 2020; SILVEIRA *et al.*, 2010; SAVERGNINI; VENDITE; MATHEUS, 2010).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

Outra abordagem possível para determinar os padrões de eventos na ciência médica é a aplicação de Redes Neurais Artificiais (RNAs). Estas possuem a capacidade de aproximar mapeamentos não lineares complexos. Essas redes são modelos computacionais inspirados no sistema nervoso dos seres vivos, possuindo a capacidade de aquisição e manutenção do conhecimento após ter recebido previamente informações adequadas (SILVA *et al*., 2016; BARRETO *et al*., 2018). Elas têm sido amplamente utilizadas em ciência e tecnologia com aplicações em vários ramos da química, física e biologia, englobando também a ciência médica. A aplicação na medicina é ampla e em evolução, com estudos mostrando a sua utilização na análise de sangue e amostras de urina de pacientes diabéticos, no diagnóstico de tuberculose, na classificação de leucemia, na análise de amostras de derrame complicado e análise de imagem de radiografias ou mesmo tecido vivo (AMATO *et al*., 2013; BARRETO *et al*., 2018). Também tem aplicação no diagnóstico de câncer do colo uterino, na administração pública e diagnóstico com marcadores genéticos de câncer, todos esses são exemplos de sua extensa aplicação (BARRETO *et al*., 2018; CABRAL *et al*., 2021; KHAN *et al*., 2001).

Ao longo do tempo tem se tornado uma ferramenta poderosa para ajudar médicos e outros especialistas e partes interessadas a realizar diagnósticos, prognósticos e outras aplicações necessárias (EGBA; OKONKWO, 2020).

2.2 A próstata e a hiperplasia prostática benigna

Na urologia recebe destaque a próstata e suas doenças associadas, dentre elas a HPB que é uma das doenças mais comuns da humanidade. Revisões de estudos epidemiológicos mostraram que nenhum homem com menos de 30 anos apresentava evidência de HPB e a prevalência foi de 8% na quarta década, enquanto 50% dos homens tinham evidência de HPB sintomática quando tinham entre 50 e 60 anos de idade (VUICHOUD; LOUGHLIN, 2015). Portanto, considera-se que em homens com mais de 40 anos de idade, a HPB é uma entidade comum que pode estar relacionada a incapacidade significativa, em alguns pacientes desse período da vida (SUNDARAM *et al*., 2017).

O crescimento da próstata é inevitável com o envelhecimento, no entanto, a taxa de crescimento é variável de indivíduo para indivíduo, mas essa doença representa 23% de todas as visitas ao consultório do urologista (VUICHOUD; LOUGHLIN, 2015).

A próstata tem a função de secretar um fluido para compor a maior parte do sêmen, portanto, é uma glândula acessória do sistema reprodutor masculino (SUNDARAM *et al*., 2017; NAHID *et al*., 2022). É observação comum que após a puberdade a próstata apresenta um volume de aproximadamente de 20 a 30 cm^3 (SUNDARAM *et al*., 2017).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

A próstata pode ser acometida por uma série de doenças que vão desde inflamações até doenças malignas. Mas uma das principais causas de aumento prostático são a hiperplasia prostática benigna (HPB) (NAHID *et al*., 2022; SUNDARAM *et al*., 2017; LERNER *et al*., 2021). Essa doença pode causar dificuldade miccional, sendo caracterizada pelos pacientes como aumento da frequência urinária, esforço miccional, fluxo interrompido, dor abdominal entre outros, algumas complicações podem ser graves como cálculo de bexiga, insuficiência renal, infecção, hematúria, retenção e incontinência urinária (SUNDARAM *et al*., 2017).

O tamanho da próstata na hiperplasia não é fator principal que está relacionado a progressão dos sinais e sintomas. Esta, tipicamente depende da forma do crescimento prostático que pode causar obstrução pelo lobo mediano. Nesse aspecto, não apenas o volume prostático é relevante, mas principalmente a projeção desse local, o lobo mediano, para o interior da bexiga, ou seja, torna-se importantíssimo determinar a protrusão prostática intravesical - PPI (WANG *et al*., 2015; NAHID *et al*., 2022).

A avaliação por imagem estimando o tamanho da próstata pela ultrassonografia transabdominal provou ser um preditor preciso das medidas reais, pois estudos mostram que a estimativa das medidas da próstata avaliada na ultrassonografia transabdominal apresentou uma boa correlação com o tamanho cirúrgico, nos pacientes que necessitaram fazer a remoção cirúrgica completa do órgão (SUNDARAM *et al*., 2017; KIM *et al*., 2015).

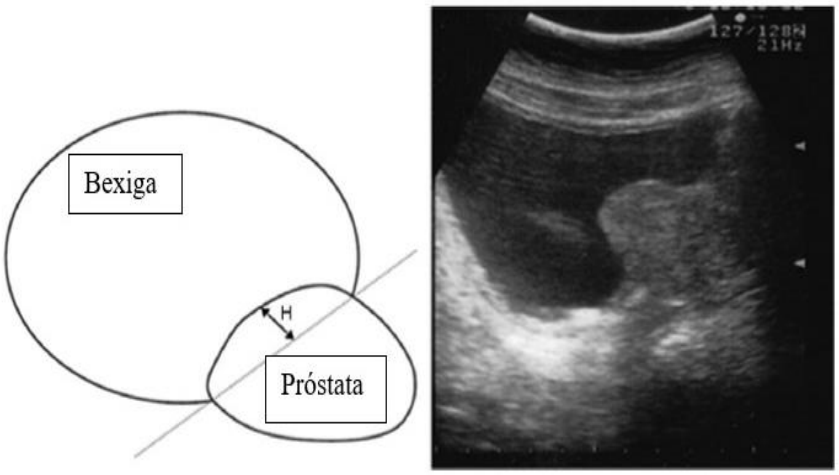
Estudos têm demonstrado a utilização da ultrassonografia da próstata via abdominal para medir o volume vesical inicial, o volume prostático e o resíduo pós-miccional, sendo esse considerado normal quando representa menos de 10% do volume inicial da bexiga (WANG *et al*., 2015; LEE *et al*., 2016; SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017). O elevado resíduo pós-miccional está relacionado ao risco de infecção urinária e outras complicações que incluem cálculos, insuficiência renal, incontinência, retenção urinária e hematúria (SUNDARAM *et al*., 2017).

Similarmente tem sindo demostrado que essa obstrução está fortemente relacionada a protrusão prostática intravesical (PPI), sendo maior enquanto maior for essa protrusão, variando de obstrução em 21% dos pacientes com PPI menor ou igual a 5 mm a 94% de presença de obstrução para aqueles com PPI maiores que 10 mm (WANG *et al*., 2015; KIM *et al*., 2015; SUNDARAM *et al*., 2017). Confirmando esses achados, pacientes com PPI maiores que 10 mm se mostrou superior ao volume prostático para determinar obstrução infravesical, além disso ocorre mais falha na tentativa de retirar a sonda vesical nos que apresentaram retenção urinaria (TAN *et al*., 2022). A figura 1 ilustra a forma de fazer essa medida (LEE et al., 2016).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

Figura 1. Técnica da medida da PPI com ultrassonografia transabdominal.



Fonte: Medida da PPI. A distância vertical (H) entre o ponto de maior saliência da próstata até a base da bexiga na visão sagital (LEE *et al*., 2016).

A urofluxometria é uma avaliação não invasiva que determina as características do fluxo urinário durante a micção, registrado eletronicamente. Por ser um teste não invasivo, sem riscos ao paciente, tornou-se muito utilizado para avaliar os pacientes com sintomas do trato urinário inferior (SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017). Na literatura está bem estabelecido que isoladamente o fluxo máximo (Qmax) é o parâmetro mais importante na avaliação da presença de obstrução (SUNDARAM *et al*., 2017; ABRAMS et al., 1999; DOMINGUES *et al*., 2011). No entanto, deve ser considerado que o os parâmetros devem ser considerados em conjunto, isoladamente nem o volume prostático ou a taxa de fluxo ou os sintomas são suficientes para definir a presença de obstrução infravesical (STEELE *et al*., 2000; ROSIER *et al*., 1996).

3. Materiais e método

3.1 Caracterização do estudo

Essa pesquisa pode ser classificada como aplicada, quantitativa e descritiva envolvendo uso de técnicas padronizadas de coleta de dados como questionário ou formulários e observação sistemática (SILVA; MENEZES, 2005).

3.2 ASPECTOS ÉTICOS

O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) sob parecer número 2.826.666, de 2018, na UEPA - Universidade do Estado Do Pará - Campus XII – Tapajós, através da Plataforma Brasil.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

3.2 Exames Realizados

O exame de ultrassonografia foi realizado por um único operador, com técnica e equipamento padrão recomendado (WANG *et al*., 2015). Utilizou-se um aparelho Medison SonoAce R7 da Samsung com transdutor convexo, de frequência variável (2 a 8 MHz).

A urofluxometria foi realizada com um equipamento de urodinâmica da Dynamed, seguindo recomendações técnicas da literatura (SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017).

3.3 Caracterização e tamanho da amostra

O público-alvo foram 400 pacientes que realizaram exames de ultrassonografia e urofluxometria no período de abril de 2016 a abril de 2018 em uma clínica especializada em urologia, localizada no município de Santarém, Estado do Pará.

Foram incluídos na pesquisa indivíduos do sexo masculino que realizaram exames de ultrassonografia da próstata e urofluxometria, que estavam na faixa etária entre 40 a 90 anos, intervalo de idade adequado para avaliar em pacientes a possibilidade de apresentar HPB (WANG *et al*., 2015; SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017).

Foram excluídos 6 pacientes, 1 por ter feito cirurgia prostática previa e 5 por apresentarem um volume urinado menor que 150 ml, resultado que pode comprometer a qualidade do exame conforme levantamento na literatura (ABRAMS et al, 1999; DOMINGUES *et al*., 2011; WANG *et al*., 2015). Após a exclusão desses exames, permaneceram 394 pacientes, que ficaram disponiveis para utilização no estudo.

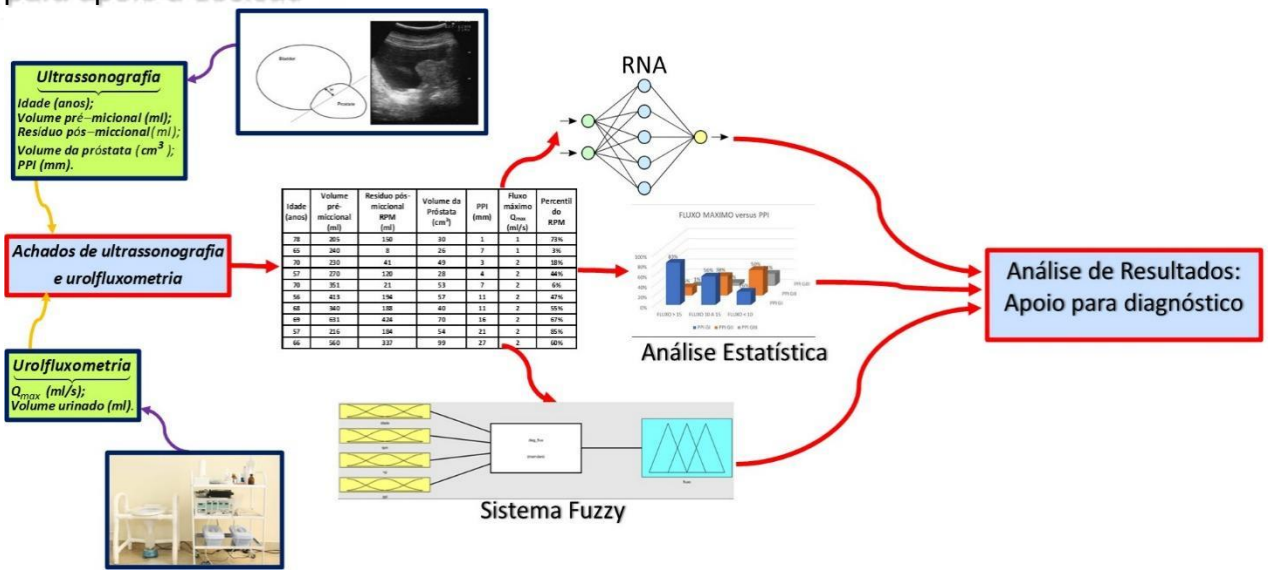
3.5 Metodologia de análise dos dados

Os dados foram tabulados e submetidos a classificação para aplicação da modelagem matemática. A análise foi inicialmente realizada no Excel (Microsoft Office) para definir a importância de cada variável como idade e os achados do exame de ultrassonografia da próstata e sua relação com o fluxo urinário medido na urofluxometria. Com a importância de cada parâmetro selecionada um modelo matemático envolvendo lógica de Fuzzy e outro a rede neural artificial foi desenvolvido, conforme mostra o fluxograma da figura 2 a seguir.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

Figura 2. Fluxograma da metodologia de aquisição de dados e seu processamento para apoio a decisão



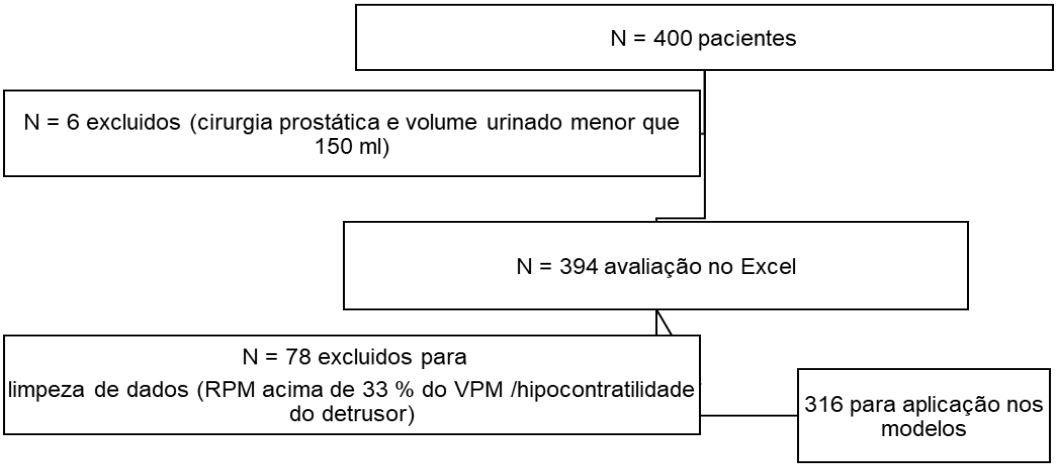
Fonte: Elaborado pelos autores

A análise realizada no Excel (Microsoft Office) mostrou a relevância e a influência de cada variável estudada no resultado do fluxo urinário. A partir desse ponto utilizou-se aplicação de técnicas de inteligência artificial, Rede Neural Artificial (RNA) e Sistema Fuzzy, para identificar o fluxo urinário utilizando os parâmetros fornecidos no exame de imagem ultrassonográfica da próstata. Foi realizada nesta etapa, nova filtragem para limpeza de dados, excluindo-se a presença de pacientes que apresentavam RPM acima de 33 % do VPM, pois esse poderia estar relacionado a hipocontratilidade do detrusor como causa do comprometimento do fluxo e não estaria relacionado ao fator obstrutivo (OELKE; RADEMAKERS; VAN KOEVERINGE, 2016). Por esse critério, foram excluídos 78 registros, restando 316 para aplicação nas técnicas eleitas para o estudo, conforme mostrado na figura 3.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

Figura 3. Fluxograma de seleção dos pacientes.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4. Resultados e discussões

4.1 Análise geral

Entre os 394 prontuários de pacientes eleitos para o estudo os extremos de idade foram de 40 a 79 anos. A análise realizada no Excel (Microsoft Office) mostrou que a média e a mediana de idade foram iguais a 59 anos e a moda 61 anos, respectivamente. Nos achados ultrassonográficos o volume pré-miccional médio (VPM) foi 376 ml (variação: 152 a 1105 ml), a média do resíduo pós-miccional (RPM) foi 63 ml (variação: 0 a 787 ml), o que representa 17% do VPM médio. O volume prostático médio e a protrusão prostática intravesical (PPI) média foram 40 cm^3 (variação: 10 a 137 cm^3) e 5 mm (variação: 0 a 27 mm), respectivamente. Quanto ao fluxo máximo medido na urofluxometria a média, a mediana e a moda apresentaram valores de 13 ml/s, 12 ml/s e 11 ml/s, respectivamente. Foram encontrados 229 (58%) com PPI GI, 117 (30%) com PPI G II e 48 (12%) com PPI G III.

Na amostra 116 (29 %) pacientes apresentaram fluxo acima de 15 ml/s (variação: 16 a 44 ml/s), sendo a média 21 ml/s. Com fluxo de 10 a 15 ml/s (variação: 10 a 15 ml/s), foram 149 (38%), com média de fluxo 12 ml/s. Já os que apresentaram fluxo menor que 10 ml/s (variação: 1 a 9 ml/s) foram 129 (33%), com média de 6 ml/s. O valor do fluxo apresentou variação de 1 a 44 ml/s em toda amostra analisada.

Com objetivo de unificar e padronizar os dados, para cada valor de fluxo foi calculada a média da idade, do volume prostático, do PPI e da porcentagem do RPM em relação ao VPM e os valores obtidos mostram a relação de cada variável de achado no exame de ultrassonografia com o resultado da urofluxometria. Na avaliação da relação do fluxo com o PPI, observamos que existe uma relação inversa importante

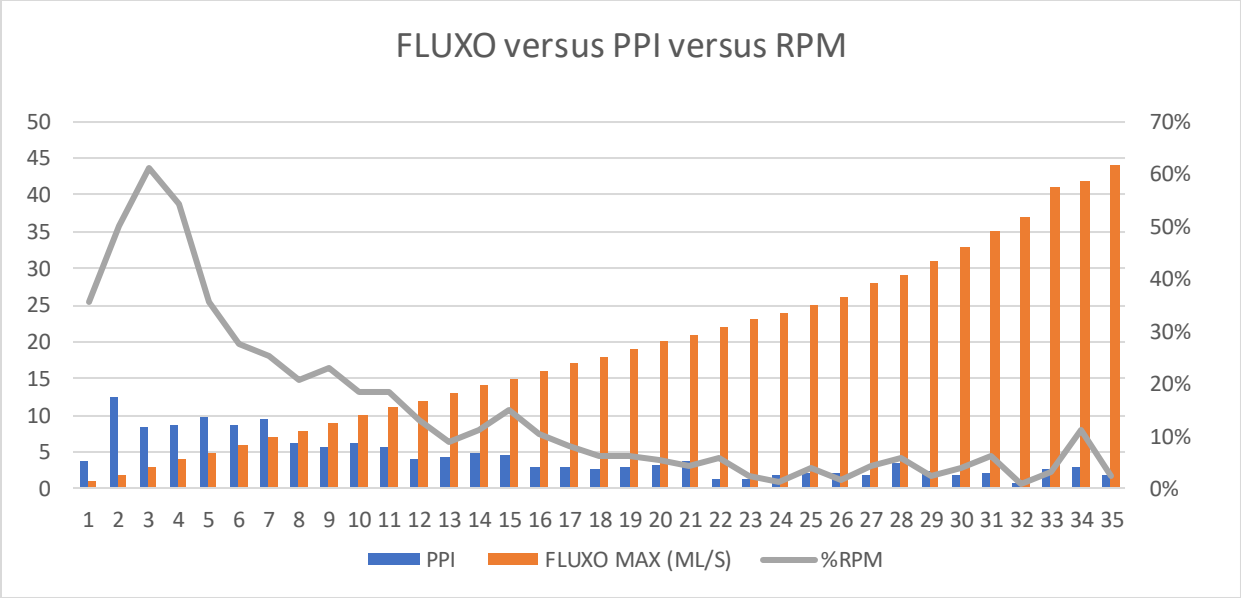
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

entre essas duas variáveis, pois o fluxo é baixo com valores elevados de PPI. À medida que a protrusão diminui o fluxo apresenta importante aumento. Quando se observa a relação do fluxo com a porcentagem do resíduo pós-miccional, semelhante ao achado anterior, ocorre uma relação inversa. Resíduo pós-miccional elevado está associado a um baixo fluxo urinário, mas a medida que esse fluxo aumenta o RPM diminui em uma proporção significativa. A relação do fluxo e o volume da próstata medida na ultrassonografia e o comportamento do fluxo com a idade também apresenta uma relação inversa entre as variáveis, mas a correlação menos significativa, porque observou-se que mesmo com aumento progressivo do fluxo urinário nem o volume prostático nem a idade apresentam uma diminuição acentuada.

Esse conjunto de informações mostram uma interferência muito maior do PPI e do RPM no fluxo urinário do que o volume da próstata ou a idade do paciente. Observa-se no gráfico da figura 4, que mostra ao mesmo tempo o comportamento do fluxo urinário com o PPI e o RPM, o quanto é expressivo que os maiores valores de fluxo estão relacionados a valores menores de PPI e RPM.

Figura 4. Gráfico, relação fluxo versus PPI versus RPM.



Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com o resultado do fluxo urinário pode-se dividir os pacientes em 3 grandes grupos. Os que apresentaram fluxo normal (acima de 15 ml/s), fluxo baixo (menor que 10 ml/s) e para fluxos indeterminados ou intermediários (entre 10 a 15 ml/s).

Para os que apresentaram fluxo normal, em um total de 116 pacientes, a média de idade foi 54 anos, o volume prostático médio de 33 cm^3, fluxo médio de 21 ml/s e

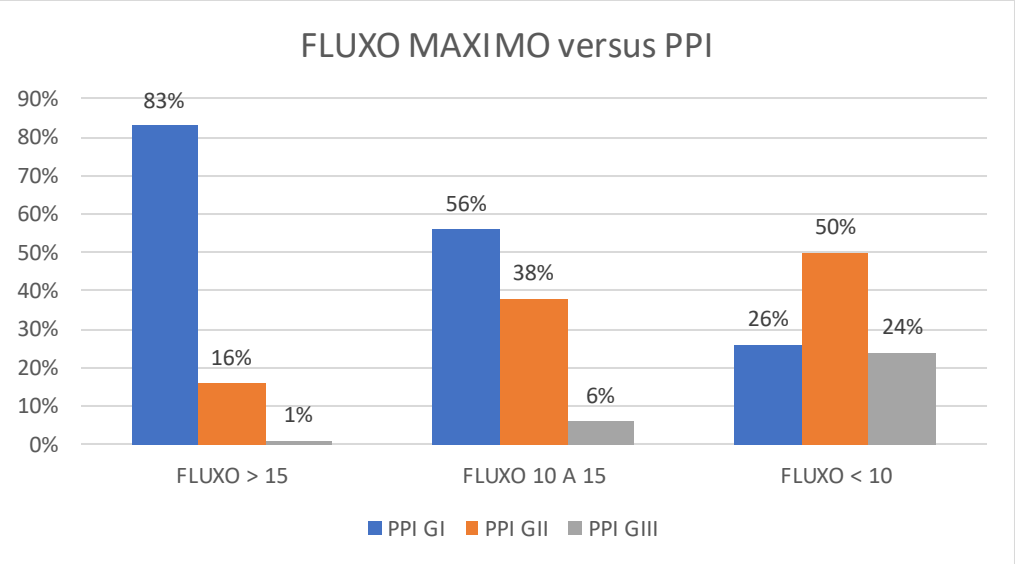
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

a porcentagem média de 6% do RPM em relação ao VPM. Já os que os que apresentaram fluxo urinário baixo, em um total de 129 pacientes, a média de idade foi 63 anos, o volume prostático médio de 48 cm^3, fluxo médio de 6 ml/s e a porcentagem média de 32% do RPM em relação ao VPM. Os que apresentam fluxo intermediário, em um total de 149 pacientes, a média de idade foi 60 anos, o volume prostático médio de 39 cm^3, fluxo médio de 12 ml/s e a porcentagem médio de 14% do RPM em relação ao VPM.

Dos 129 pacientes com fluxo menor que 10 ml/s, 33 (26%) tinham PPI G I, 64 (50%) apresentaram PPI G II e 32 (24%) PPI GIII, portanto, a maioria 74% apresentavam PPI GII OU III. A média do PPI nesse grupo foi 8 mm. Fluxo maior que 15 ml/s foram 116 pacientes, 97 (83%) tinha PPI G I, 18 (16%) apresentaram PPI G II e 1 (1 %) PPI GIII, portanto, apenas 17 % apresentavam PPI GII OU III; Os que apresentaram entre fluxo entre 10 a 15 ml/s, 149 pacientes, 83 (56%) tinha PPI G I, 57 (38%) apresentaram PPI G II e 9 (6%) PPI GIII, portanto, 44 % apresentavam PPI GII OU III e a maioria 56% apresentam PPI G I. O gráfico da figura 5 apresenta esses achados.

Figura 5. Gráfico, proporção do fluxo máximo com PPI.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para aplicação na rede neural artificial e lógica fuzzy os dados de entrada foram compostos por uma matriz 316×5 e outra matriz 316×1. Cada linha da matriz 316×5 representa o estado dos pacientes e a coluna representa uma propriedade do sistema urinário, além da idade do paciente. Os valores da coluna da matriz 316×1 representam a urofluxometria, ou seja, o estado de saúde do paciente (diagnóstico positivo ou negativo).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

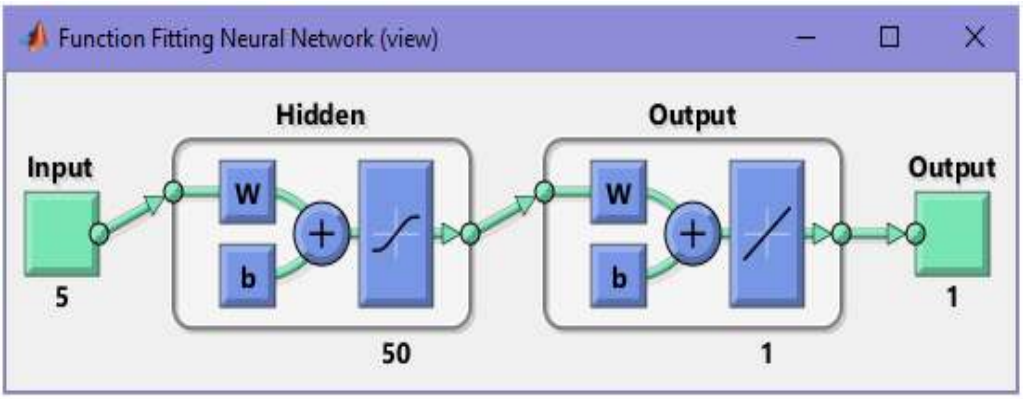
4.2 Avaliação de Desempenho: Baseline Estatístico e Rede Neural Artificial

Nesse trabalho para validar e justificar a necessidade de aplicação de Inteligência Artificial, estabeleceu-se inicialmente um modelo de linha de base utilizando Regressão Linear Múltipla clássica com as variáveis de entrada padronizadas no estudo (Idade, VPM, RPM, PPI, Volume Prostático) sobre a base de dados filtradas (n=316).

Os resultados da regressão linear demonstraram uma capacidade inadequada para este problema não-linear, obtendo um Coeficiente de Determinação (R^2) de 0,34 e um Erro Médio Absoluto (MAE) de 4,09 ml/s. Diante disso, justificou-se a utilização da Rede Neural Artificial (RNA) para trabalhar a complexidade das relações fisiológicas dos parâmetros padronizados.

A topologia da RNA é composta de uma camada de entrada, uma camada escondida e uma camada de saída. O número de entradas do sistema determina o número de neurônios na camada de entrada da rede e seu número de saídas determina o número de neurônios na camada de saída. Assim, a camada de entrada da rede tem 5 neurônios e a camada de saída tem 1 neurônio ao passo que 50 neurônios foram usados na camada escondida, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6. Topologia da RNA utilizada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O algoritmo que modela a RNA para estimar o fluxo urinário foi desenvolvido no aplicativo de ajuste de rede neural (neural net fitting) do MATLAB R2016a, seguindo os parâmetros do modelo exibidos a seguir: Função de criação da rede, com ajuste feedforward para uma relação entrada/saída. (fitnet)..

Os dados selecionados aleatoriamente com subconjunto para treinamento de 268 dados (85%); subconjunto de validação de 32 dados (10%) e subconjunto de teste

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

de 16 dados (5%). Função de ativação (transferência) sigmoidal na camada escondida e linear na camada de saída. Algoritmo de treinamento com Levenberg-Marquardt backpropagation (trainlm). Critério da função de parada com erro quadrático médio (mse). Critério de parada quando o erro de validação começar a aumentar em até 6 (seis) repetições.

Em seu melhor desempenho no conjunto de teste, a RNA alcançou um R^2 de 0,8347, superando significativamente o método estatístico tradicional. A tabela 1 apresenta uma tabela para comparação direta de desempenho entre as abordagens.

Tabela 1. Comparação de desempenho entre o modelo estatístico linear e a Rede Neural Artificial (RNA).

Modelo Utilizado	Coeficiente de Determinação (R^2)	Erro Médio Absoluto (MAE)	Raiz do Erro Quadrático (RMSE)
Baseline (Regressão Linear)	0,34	4,09 ml/s	5,47 ml/s
Rede Neural Artificial (RNA)	0,83	2,30 ml/s*	2,77 ml/s*

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise dos erros mostra que a RNA reduz a incerteza da estimativa em aproximadamente 43% comparada ao método convencional. Enquanto o modelo linear pode errar, aproximadamente 4 ml/s, a RNA mantém o erro médio próximo de 2,3 ml/s, oferecendo maior segurança para a inferência do fluxo. Essa diferença poderia mascarar o resultado do fluxo urinário e comprometer o diagnóstico.

Além da análise global, foi realizada uma estratificação por faixas urofluxometricas para verificar a robustez do modelo em pacientes com diferentes valores do fluxo urinário conforme estabelecido anteriormente (tabela 2).

Tabela 2. Erro médio do modelo preditivo estratificado por faixas de fluxo urinário máximo (Qmax).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

Faixa do fluxo (Qmax Real)	N Pacientes)	Erro Médio (MAE)	Interpretação
Baixo Fluxo (< 10 ml/s)	76	~ 2,0 ml/s	Alta Precisão (Fundamental para diagnóstico de obstrução)
Intermediário (10–15 ml/s)	133	~ 2,5 ml/s	Precisão Moderada
Fluxo Normal (> 15 ml/s)	114	~ 3,5 ml/s	Menor precisão (alta variabilidade natural)

Fonte: Elaborado pelos autores.

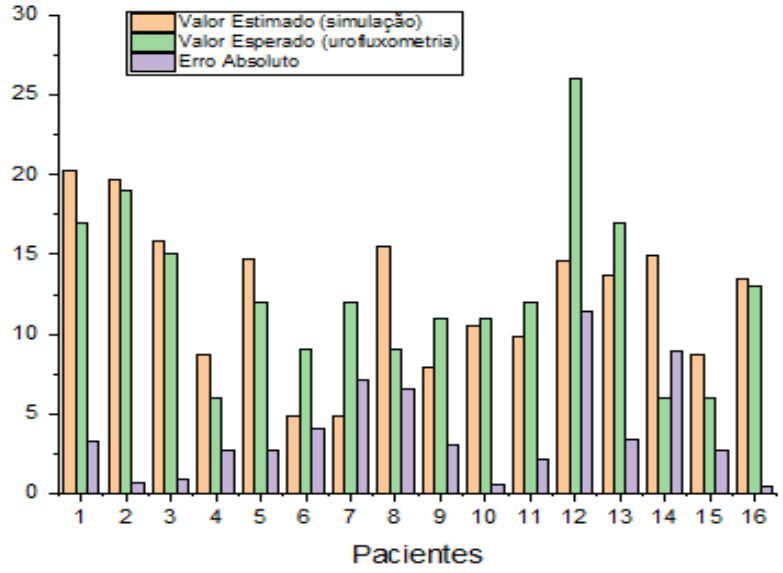
Os dados da tabela 2 revelam que o modelo é particularmente adequado na identificação de pacientes com baixo fluxo (< 10 ml/s), apresentando o menor erro absoluto médio (aproximadamente 2,0 ml/s) neste grupo. Isso é considerado relevante, pois minimiza o risco de falsos negativos em pacientes realmente obstruídos. O aumento do erro na faixa de fluxo normal (>15 ml/s) também é esperado devido à maior variância natural dos valores de fluxo em pacientes assintomático (com fluxo normal), onde a precisão é menos necessária para a decisão terapêutica.

Na figura 7, podem ser visualizados os resultados da simulação da RNA, comparando os valores reais versus preditos para o conjunto de teste. Observa-se discrepâncias residuais que podem ser atribuídas a variações individuais não detectadas devido variáveis anatômicas, mas mantêm-se dentro de um intervalo aceitável para triagem pelo fluxo urinário.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

Figura 7. Gráfico, resultados da simulação da RNA.



Fonte: Elaborado pelos autores

4.3 Sistema Fuzzy

O objetivo da lógica fuzzy é mapear um espaço de entrada para encontrar um espaço de saída, e o mecanismo principal para fazer isso é uma lista de instruções if-then chamadas regras. Todas as regras são avaliadas em paralelo e a sua ordem não é importante. As regras em si são úteis porque se referem a variáveis e adjetivos que as escrevem. Antes de criar um sistema que interprete as regras, deve-se definir todos os termos que se planeja usar e os seus adjetivos. A inferência fuzzy é um método que interpreta os valores no vetor de entrada e, com base em um conjunto de regras, atribui valores ao vetor de saída. Para isso, foi adotado o modelo Fuzzy Logic Toolbox do MATLAB R2016a, utilizando o método de inferência de Mamdani, previamente reconhecido na área da saúde pela sua capacidade de capturar o conhecimento especialista e permitir interpretação adequada das regras complexas. Nesse modelo a arquitetura do sistema é composta por quatro variáveis de entrada (inputs): Idade, Resíduo Pós-Miccional (RPM), Volume Prostático (VP) e Protrusão Prostática Intravesical (PPI); e uma variável de saída (output): o Fluxo Urinário Máximo (Qmax). Figura 8.

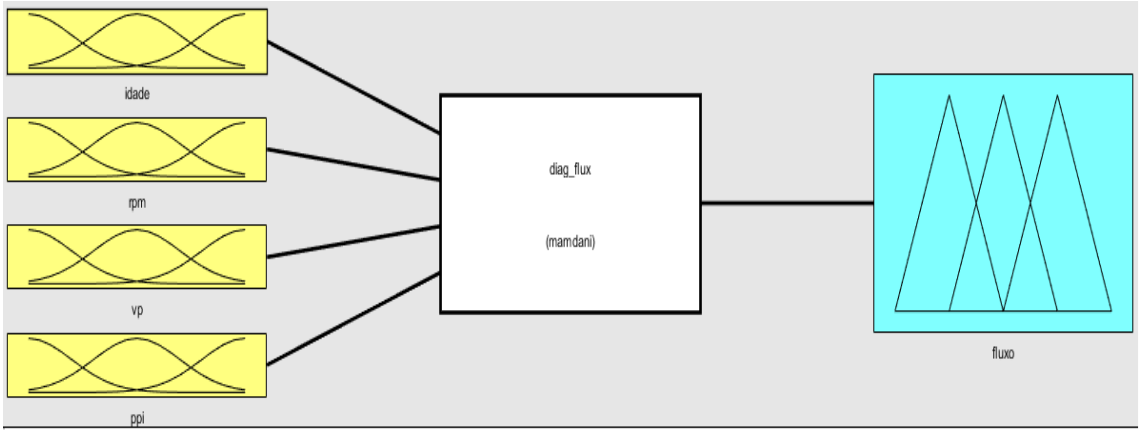
Sendo necessária a fuzzificação dos parâmetros, utilizou-se funções de pertinência (membership functions) do tipo trapezoidal nas extremidades do universo de discurso e triangular nas regiões intermediárias, conseguindo assim uma transição suave entre as classes linguísticas. As variáveis foram divididas em termos

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

linguísticos granulares para refinar a precisão do sistema. Essa divisão foi da seguinte forma, a variável PPI foi dividida em "Ausente", "Leve", "Moderada" e "Acentuada", enquanto o RPM foi categorizado conforme faixas possíveis de risco (Desprezível, Moderado, Acentuado, Muito Acentuado). Para a base de conhecimento foi estruturada a partir de um conjunto de regras lógicas do tipo Se-Então (If-Then), elaboradas para refletir a fisiopatologia da obstrução prostática. As regras reduziram o fluxo estimado na presença de evidências de obstrutivos conhecidos.

Figura 8. Configuração do Sistema Fuzzy.



Fonte: Elaborado pelos autores

Como exemplos da lógica aplicada incluem: regra 1, se (PPI é Acentuada) e (RPM é Muito Acentuado), então (Fluxo é Muito Baixo). Regra 2, se (PPI é Ausente) e (RPM é Desprezível) e (Idade é Jovem) e o (Fluxo é Normal/Alto). Nessa situação o operador de marcação utilizado foi o mínimo (AND) e o método de unificação foi o máximo (OR). Na fase final de defuzzificação, para transformar o conjunto fuzzy encontrado em um valor (nesse contexto, o fluxo estimado em ml/s), optou-se pelo método do centroide (centro de gravidade), que se adapta com todas as regras ativadas, fornecendo assim uma estimativa equilibrada.

A utilização de um Sistema Fuzzy para a resolução de um típico problema de estimativa de parâmetro ou de análise de regressão ou ajuste de dados apresenta uma alternativa a esse objetivo de determinação do fluxo urinário a partir de parâmetros predefinidos. O conjunto de dados de entrada compõe-se de 316 vetores amostra, com 5 (cinco) elementos cada, dispostos como colunas em uma matriz e 316 vetores alvo (valores desejados) com 1 elemento cada, que indica o fluxo urinário que os vetores de entrada determinam.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

Devido à inviabilidade de se estabelecer um termo linguístico que não gerasse uma contradição, tornando inviável a inferência, o volume pré-miccional foi descartado. O RPM utiliza valores fixos para estabelecer os termos linguísticos com base no trabalho de Burgardt Filho (2011), com 4 classes: volume desprezível (menor ou igual a 80 ml), volume moderado (de 81 a 150 ml), volume acentuado (de 151 a 300 ml) e volume muito acentuado (maior que 300 ml).

A matriz de dados de entrada que alimenta o sistema fuzzy para a realização da simulação é composta pelos parâmetros idade, volume inicial da bexiga, resíduo pós-miccional da bexiga, protrusão prostática intravesical e volume prostático estimado obtidos por exames em 16 pacientes, selecionados previamente da amostra.

O valor da média do erro absoluto é de 15,83. O percentual de acerto de diagnóstico foi de 50% (acerto em 8 pacientes de um total de 16). Sabe-se que um modelo de estimativa de parâmetro perfeito, por óbvio, deve resultar em valores próximos aos valores esperados, porém apenas em 3 pacientes, houve acerto do diagnóstico, nesses o valor do erro absoluto foi aceitável.

Sobre esses modelos, uma das formas de aumentar a assertividade dos resultados, seria melhorar a qualidade dos dados apresentados na fase de treinamento, como clonagem de registros para aumentar a diversidade dos dados e a exclusão, por exemplo, de uma variável com correlação positiva fraca.

O pré-processamento dos dados, uma das formas de melhorar os modelos, baseados em aprendizado de máquina é melhorar a qualidade dos dados apresentados ao modelo na fase de treinamento do mesmo.

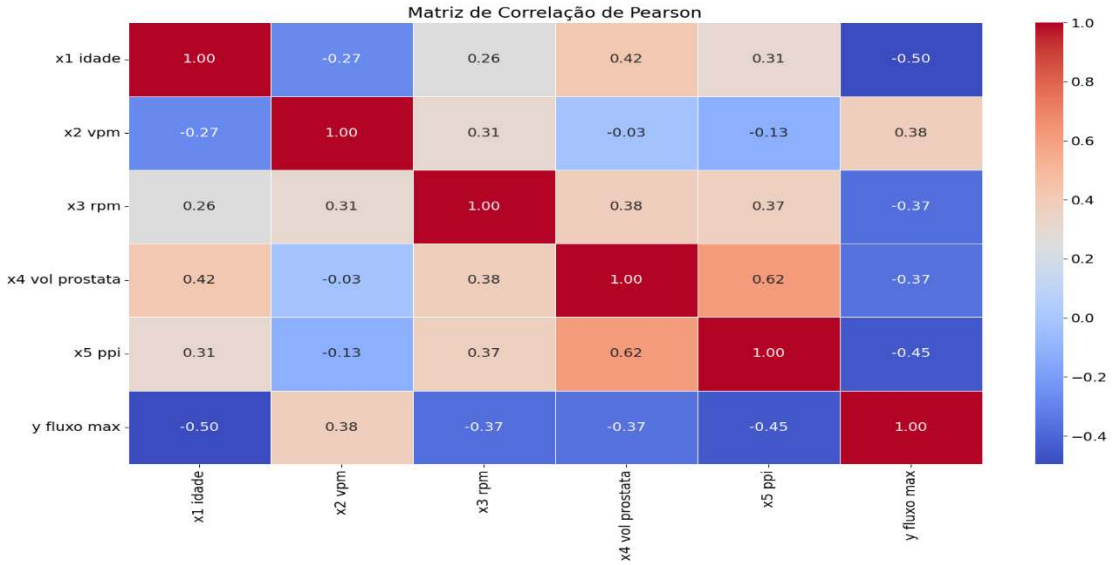
Primeiramente, a clonagem de registros para aumentar a diversidade dos dados. Os dois primeiros registros, de fluxo urinário máximo que vale 1, foram duplicados e os 17 últimos registros, de fluxo urinário entre 26 e 44, foram triplicados.

Em seguida a análise da correlação das variáveis de entrada com a variável de saída. de acordo com as matrizes de correlação, nota-se que a variável VPM (volume pré-miccional) é a única com correlação positiva fraca (figura 9). Portanto, ela foi removida do modelo e a matriz de correlação após a remoção dessa variável é mostrada na figura 10. Essa remoção contribuiu para a melhoria da precisão do modelo, gerando um modelo mais simples (com quatro entradas, ao invés de cinco entradas).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

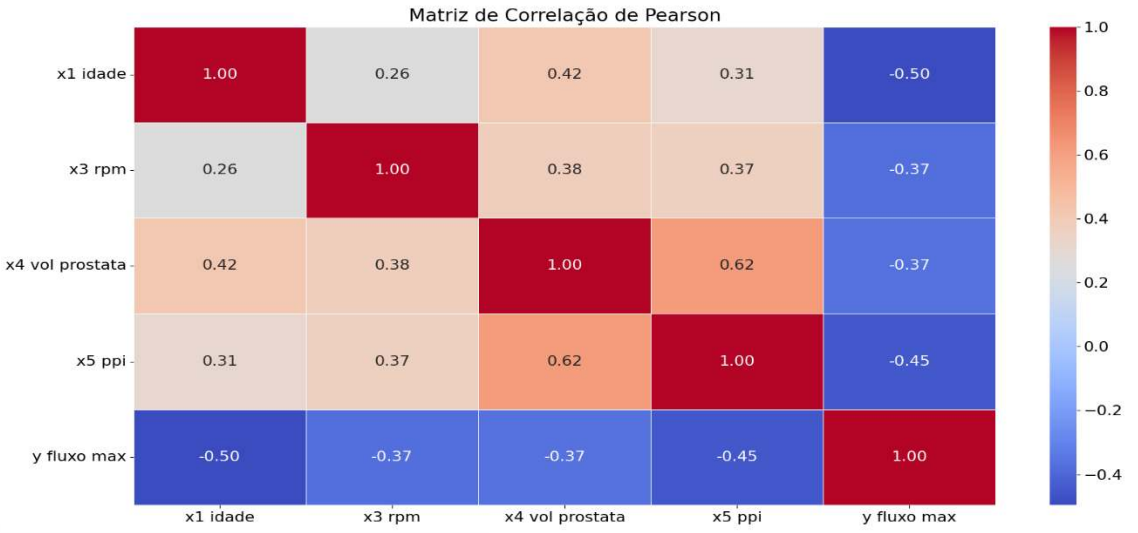
Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

Figura 9. Matriz de correlação antes da remoção da variável de entrada VPM



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 10. Matriz de correlação após a remoção da variável de entrada VPM



Fonte: Elaborado pelos autores

Essas medidas podem acrescentar mais precisão do modelo além de torná-lo mais simples. Essas manobras foram desenvolvidas para demonstrar tais possibilidades com mais detalhes, atingindo melhorias significativas nos modelos de inferência do fluxo urinário.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

Os resultados gerais encontrados mostraram-se semelhantes aos vários estudos que abordam a HPB, em pesquisas com homens apresentando mais de 40 anos. Neles, tem-se utilizado com frequência como exames de avaliação a ultrassonografia, por ser não invasivo, simples e evidenciar achados relacionados a obstrução infravesical, como PPI e o RPM (WANG *et al*., 2015; LEE *et al*., 2016; SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017; NAHID *et al*., 2022). Além disso a urofluxometria, e principalmente a obtenção do fluxo máximo, tornou-se importante na avaliação da disfunção miccional relacionada a próstata (SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017; WANG *et al*., 2015; LEE *et al*., 2016).

Nesse trabalho foram encontradas a média e a mediana de idade iguais 59 anos e a moda 61 anos. A idade variou de 40 a 79 anos. Na literatura, outros trabalhos abordando HPB, apresentaram média de idade de 62 a 66 anos, com extremos de idade de 40 ou 50 a 80 ou 90 anos (LEE *et al*., 2016; SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017; SUNDARAM *et al*., 2017; CHIA *et al*., 2003; WANG *et al*., 2015). A nossa amostra de pacientes apresentou idade média e extremos de idade semelhante. No entanto, apenas a média foi 3 anos a menor que alguns trabalhos encontrados.

Nos achados ultrassonográficos o volume pré-miccional médio (VPM) foi 376 ml (variação: 152 a 1105 ml), a média do resíduo pós-miccional (RPM) foi 63 ml (variação: 0 a 787 ml), o que representa 17% do VPM. Na literatura o volume pré-miccional não é frequentemente avaliado por ter uma importância menor em relação as alterações da HPB. O RPM, diferentemente com uma frequência maior é medido e recebe destaque como um dos parâmetros importantes relacionado a avaliação nessa patologia. Em um trabalho o volume médio pré-miccional de 235 ml com RPM médio de 37 ml, são valores menores que encontrado nessa pesquisa (SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017), mas o RPM, com variação de 0 a 787 ml se correlaciona com achados da literatura, que pode ser encontrado com uma variação muito grande, desde volumes 5 a 1000 ml (SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017; WANG *et al*., 2015).

O volume prostático médio e a protrusão prostática intravesical (PPI) média foram 40 cm^3 (variação: 10 a 137 cm^3) e 5 mm (variação: 0 a 27 mm), respectivamente. Nos trabalhos encontrou-se volume médio da próstata de 34 a 56 cm^3 com variação de (6 a 102) cm^3 (SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017; WANG *et al*., 2015; SUNDARAM *et al*., 2017), achados semelhantes ao da pesquisa realizada. A média o PPI não tem sido calculada nos trabalhos, tem-se utilizado a classificação de I a III, já estabelecida na literatura (LEE et al, 2016; WANG *et al*., 2015; CHIA *et al*., 2003). Na amostra foi encontrado predominância de PPI GI com 229 (58%), em seguida 117 (30%) com PPI G II e 48 (12%) com PPI G III, achado diferente encontrou-se em um trabalho que enumera uma proporção semelhante entre os grupos, G I 33%, G II 36% e G III 31% (LEE *et al*., 2016).

Quanto ao fluxo máximo medido na urofluxometria, o fluxo médio foi de 13 ml/s. Nos trabalhos envolvendo HPB e urofluxometria, encontrou-se um fluxo médio

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

semelhante que variou de 8 a 15 ml/s (SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017; LEE *et al*., 2016; CHIA *et al*., 2003; WANG *et al*., 2015; SUNDARAM *et al*., 2017).

Na amostra 116 (29 %) pacientes apresentaram fluxo acima de 15 ml/s (variação: 16 a 44 ml/s), sendo a média 21 ml/s. Com fluxo de 10 a 15 ml/s (variação: 10 a 15 ml/s), foram 149 (38%), com média de fluxo 12 ml/s. Já os que apresentaram fluxo menor que 10 ml/s (variação: 1 a 9 ml/s) foram 129 (33%), com média de 6 ml/s. Essa porcentagem de baixo fluxo, menor que 10 ml/s, em aproximadamente um terço dos pacientes, torna-se importante na medida em que 90% dos pacientes com fluxo menor que esse tem obstrução infravesical (SUNDARAM *et al*., 2017).

A relação do fluxo com o PPI, observamos que existe uma relação inversa importante entre essas duas variáveis, pois o fluxo é baixo com valores elevados de PPI. À medida que a protrusão diminui o fluxo apresenta importante aumento. No estudo, os 129 pacientes com fluxo menor que 10 ml/s, 33 (26%) tinham PPI G I, 64 (50%) apresentaram PPI G II e 32 (24%) PPI GIII, portanto, a maioria 74% apresentavam PPI GII OU III. A média do PPI nesse grupo foi 8 mm. Somente considerando o grupo com PPI GIII a média foi 14 mm com fluxo máximo médio de 7 ml/s. Na literatura PPI G III, média de 11 mm apresentou fluxo médio de 9 ml/s, mostrando correlação com achados da pesquisa (TOPAZIO *et al*., 2018).

Pacientes com PPI G III, mesmo com fluxo normal apresentaram achados de obstrução infravesical utilizando estudo urodinâmico, que é um exame invasivo, mas de escolha para detectar essa alteração. Portanto, pacientes com PPI de alto grau (G II / III), como os 74% dos que apresentaram fluxo menor que 10 ml/s no estudo, necessitam ser adequadamente avaliado para presença de obstrução. Além disso, 21% dos pacientes com PPI GI estão obstruídos e 94% dos pacientes com PPI GIII estão obstruídos (LEE et al, 2016). Reforçando esse aspecto trabalhos mostram que até 64% dos pacientes com PPI G III tem fluxo menor que 10 /ml/s e o PPI mostrou ser mais importante parâmetro na detecção de obstrução e consequente baixo fluxo, destacando-se desde as primeiras publicações feitas para tratar do assunto. (WANG *et al*., 2015; LEE *et al*., 2016; CHIA *et al*., 2003; TOPAZIO *et al*., 2018).

Um total de 116 paciente apresentou fluxo maior que 15 ml/s, a maioria 97 (83%) tinha PPI G I, 18 (16%) apresentaram PPI G II e 1 (1 %) PPI GIII, portanto, apenas 17 % apresentavam PPI GII OU III. Achado semelhante ao da literatura no qual 79% dos pacientes com PPI G I apresentaram fluxo maior que 10 ml/s (LEE et al, 2016).

Os que apresentaram fluxo entre 10 a 15 ml/s, 149 pacientes, 83 (56%) tinha PPI G I, 57 (38%) apresentaram PPI G II e 9 (6%) PPI GIII, portanto, 44 % apresentavam PPI GII OU III e a maioria 56% apresentam PPI G I. Esses valores intermediários de fluxo também estão associados com próstata de volume intermediário, como 46 cm^3 no grupo com PPI G II desse estudo, mostrando

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

apresentar um volume um pouco maior que os 20 a 40 cm^3 de próstata no grupo PPI G II em uma publicação da literatura (WANG *et al*., 2015).

Observa-se em relação inversa entre fluxo e o RPM (porcentagem do resíduo pós-miccional com volume pré-miccional). Resíduo pós-miccional elevado está associado a um baixo fluxo urinário, e a medida que esse fluxo aumenta o RPM diminui em uma proporção significativa. Resíduos pós-miccionais menores estão associados a fluxos mais elevados, conforme encontrado na literatura, sendo demostrado que os pacientes sem obstrução ou alteração do fluxo apresentam resíduo pós-miccional menor que 10% do volume pré-miccional e fluxo maior ou igual a 15 ml/s (LEE *et al*., 2016; SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017).

Ao avaliar a relação do fluxo e o volume da próstata e o comportamento do fluxo com a idade também se observa uma relação inversa entre as variáveis, mas a correlação não é expressiva, porque observa-se que mesmo com aumento progressivo do fluxo urinário nem o volume prostático nem a idade apresentam uma diminuição acentuada. Isso demonstra a maior relevância do PPI em relação aos outros parâmetros avaliados como encontrado em outro trabalho em que mesmo próstatas menores com PPI G III apresentavam obstrução, pois 82% mostraram fluxo menor que 10 ml/s (LEE *et al*., 2016). A correlação entre o a protrusão intravesical e o volume da próstata também se observa em publicações, em uma delas 65% dos pacientes com PPI G III tem próstata maior que 40 cm^3 e a maioria com próstatas menores de 20 cm^3 tem PPI GI (WANG *et al*., 2015).

Vários artigos têm abordado a importância da utilização de modelos matemáticos na área da saúde e nesse contexto aplicações importantes em medicina. O aprimoramento de modelos matemáticos impulsionou desenvolvimento de várias áreas na medicina, com melhoria na eficiência, padronização, otimização de tempo e custos, além qualificação de processos de diagnósticos e tratamentos (DEUFLHARD *et al*., 2009; ARAUJO; BRITO, 2020; SILVEIRA *et al*., 2010).

Nesse estudo a utilização de RNA mostrou que os dados utilizados para a simulação na rede não estavam completamente correlacionados umas com as outras (ruído branco), gerando erros, como foi o caso da simulação executada. Entretanto, com o aumento no número de dados e ajuste nos pesos de cada variável esse padrão pode ser melhorado. Considerando os achados desse trabalho e os encontrados na literatura principalmente o PPI, e também com importante relevância o RPM espera-se ajustar a rede para obter uma previsão adequada do fluxo máximo utilizando informações do exame de imagem, a ultrassonografia transabdominal da próstata (SIGIBERTO II; ÁLVARO, 2017; WANG *et al*., 2015; LEE *et al*., 2016).

No estudo, a aplicação da lógica Fuzzy com objetivo de encontrar um padrão de relação entre o fluxo máximo e os achados do exame de ultrassonografia, não apresentou resultado satisfatório. Sabe-se que um modelo de estimativa de parâmetro perfeito, por óbvio, deve resultar em valores próximos aos valores esperados, porém

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

nem todos os achados apresentaram correlação adequada. Na aplicação de logica Fuzzy o percentual de erro de diagnóstico foi de 50%. Com o aumento no número de dados e adequação dos pesos de cada variável, esse resultado utilizando a RNA pode ser melhorado, diminuindo assim o número de erros. Além disso, conforme descrito anteriormente o aprimoramento do treinamento, como clonagem de registros e a exclusão de uma variável com correlação positiva fraca pode simplificar os modelos e torná-los mais precisos.

5. Conclusões

Nesse trabalho utilizou-se a modelagem matemática para correlacionar a idade e as informações do exame de ultrassonografia da próstata com o fluxo urinário. A análise demonstrou a viabilidade da aplicação desses parâmetros não invasivos para estimar o resultado do fluxo máximo, que é o parâmetro mais importante da urofluxometria. Na análise inicial no Excel (Microsoft Office) fluxos baixos foram correlacionados a PPI e RPM elevados de maneira evidente. Ao ser feita a comparação entre a modelagem estatística linear clássica, os achados se mostram ineficientes para representar a complexa urodinâmica do trato urinário inferior. Diante disso, ao avaliar com o modelo de Rede Neural Artificial o desempenho foi superior e consistente, alcançando um coeficiente de determinação (R^2) de 0,83 no conjunto de teste. Nessa modelagem observou-se redução do erro médio de estimativa para aproximadamente 2,3 ml/s, superando significativamente tanto o modelo linear quanto o Sistema Fuzzy, que demonstrou limitações na capacidade de generalização para este conjunto de dados.

Ao se analisar os 2 modelos, a rede neural artificial e lógica de Fuzzy, a primeira destacou-se na identificação de pacientes com baixo fluxo (< 10 ml/s), valor associado a sintomas e presença de obstrução infravesical. Embora o modelo não substitua a urofluxometria convencional em todos os pacientes devido à complexidade da dinâmica do trato urinário inferior, os achados sugerem o potencial uso como uma ferramenta eficaz de triagem, podendo também funcionar como mais um auxílio na decisão clínica, especialmente em locais com acesso limitado a equipamentos de urofluxometria.

O aperfeiçoamento desse modelo ou outros semelhantes, em trabalhos multicêntricos e com ampliação da base de dados, tem o potencial de otimizar mais ainda esse algoritmo, refinando o resultado para aumentar a aplicabilidade na pratica clínica da urologia, podendo tornar-se mais um instrumento não invasivo de avaliação do homem com hiperplasia prostática benigna.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

Referências

ABRAMS, P.; KHOURY, S.; WEIN, A. **Incontinence**: proceedings of 1st International Consultation on Incontinence 1998. Plymouth: Health Publication Ltd., 1999. p. 933-969.

AMATO, F. *et al*. Artificial neural networks in medical diagnosis. **J Appl Biomed**, v. 11, p. 47-58, 2013

ARAUJO, M. D. A.; BRITO, R. X. Modelo de previsão fuzzy como mecanismo de pré-diagnóstico da esquizofrenia em adultos. **Revista de Sistemas e Computação**, Salvador, v. 10, n. 1, p. 79-83, jan./abr. 2020.

BARRETO, R. G. et al. Utilizando redes neurais artificiais para o diagnóstico de câncer cervical. **Revista Saúde e Ciência Online**, v. 7, n. 2, p. 59-67, maio/ago. 2018.

BURGARDT FILHO, J. L. **Importância do resíduo urinário pós-miccional em pacientes portadores de hiperplasia prostática benigna**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Medicina) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/121378/308250.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

CABRAL, K. F. D. et al. The use of Artificial Neural Networks in the diagnosis of manageable factors on Brazilian Primary Health Care. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, 2021.

CHIA, S. J. et al. Correlation of intravesical prostatic protrusion with bladder outlet obstruction. **BJU International**, v. 91, p. 371-374, 2003.

COCKCROFT, D. W.; GAULT, M. H. Prediction of creatinine clearance from serum creatinine. **Nephron**, v. 16, p. 31-41, 1976.

DEUFLHARD, P. et al. More mathematics into medicine! *In*: **Production factor mathematics**. Berlin; Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 357-378.

DOMINGUES, N. et al. Nomograma de urofluxometria do homem português: Nomograma de Lisboa. **Acta Urológica**, v. 4, p. 21-25, 2011.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

EGBA, A. F.; OKONKWO, O. R. Artificial neural networks for medical diagnosis: a review of recent trends. **International Journal of Computer Science and Engineering Survey**, v. 11, n. 3, 2020.

HUANG, H.H.; CHENG, P.Y.; TSAI, C.Y.. Exploring artificial intelligence in functional urology: a comprehensive review. **Urological Science**, v. 36, n. 1, e000057, p. 1-10, 2025. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1097/us9.0000000000000057.

KHAN, J. et al. Classification and diagnostic prediction of cancers using gene expression profiling and artificial neural networks. **Nature Medicine**, v. 7, n. 6, 2001.

KIM, J. H. et al. Terminal dribbling in male patients with lower urinary tract symptoms: relationship with International Prostate Symptom Score and with intravesical prostatic protrusion. **BMC Urology**, v. 15, art. 89, 2015.

KIRSZTAJN, G. M. Avaliação de função renal. **Jornal Brasileiro de Nefrologia**, São Paulo, v. 31, n. 1, supl. 1, p. 14-20, 2009.

LEE, A. et al. Can intravesical prostatica predict bladder outet obstruction even in men good flow. **Asian Journal of Urology**, v. 3, p. 39-43, 2016.

LERNER, L. B. et al. Management of lower urinary tract symptoms attributed to benign prostatic hyperplasia: AUA Guideline Part I - Initial work-up and medical management. **Journal of Urology**, v. 206, n. 4, p. 806-817, out. 2021.

LEVEY, A. S. et al. A more accurate method to estimate glomerular filtration rate from serum creatinine: a new prediction equation. **Annals of Internal Medicine**, v. 130, p. 461-470, 1999.

NAHID, S. et al. Transabdominal ultrasonographic evaluation of enlarged prostate with histopathological comparison. **Scholars Journal of Applied Medical Sciences**, v. 10, n. 4, p. 562-566, abr. 2022.

NETTO, N. R.; LEVI D'ANCONA, C. A.; DE LIMA, M. L. Correlation between the International Prostatic Symptom Score and a pressure-flow study in the evaluation of symptomatic benign prostatic hyperplasia. **Journal of Urology**, v. 155, n. 1, p. 200-202, 1996.

OELKE, M.; RADEMAKERS, K. L.; VAN KOEVERINGE, G. A. Unravelling detrusor underactivity: development of a bladder outlet resistance-bladder contractility

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

nomogram for adult male patients with lower urinary tract symptoms. **Neurourology and Urodynamics**, Hoboken, v. 35, n. 8, p. 980-986, nov. 2016.

OCKRIM, J. L. et al. A probability based system for combining simple office parameters as a predictor of bladder outflow obstruction. **Journal of Urology**, v. 166, n. 6, p. 2221-2225, dez. 2001.

ROSIER, P. F. et al. Clinical diagnosis of bladder outlet obstruction in patients with benign prostatic enlargement and lower urinary tract symptoms: development and urodynamic validation of a clinical prostate score for the objective diagnosis of bladder outlet obstruction. **Journal of Urology**, v. 155, n. 5, p. 1649-1654, maio 1996.

SANDHU, J. S. et al. Management of lower urinary tract symptoms attributed to benign prostatic hyperplasia (BPH): AUA Guideline amendment 2023. **Journal of Urology**, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1097/JU.0000000000003698.

SAVERGNINI, K. D,; VENDITE, L. L.; MATHEUS, W. E. Modelagem fuzzy para predizer os riscos de recidiva e progressão de tumores superficiais de bexiga. **Biomatemática**, v. 20, p. 1-10, 2010.

SCHWARTZ, G. J. et al. New equations to estimate GFR in children with CKD. **Journal of the American Society of Nephrology**, v. 20, p. 629-637, 2009.

SERPA NETO, A. et al. Predictive performance of 12 equations for estimating glomerular filtration rate in severely obese patients. **Einstein**, São Paulo, v. 9, n. 3, pt. 1, p. 294-301, 2011.

SIGIBERTO II, G.; ÁLVARO, J. M. Uroflowmetry and post-void urine volume in the initial evaluation of suspected obstructive prostatic enlargement. **Experimental Techniques in Urology & Nephrology**, v. 1, n. 2, p. 1-3, 2017.
SILVA, A. B. T. da et al. Correlation between the creatinine clearance in the urine collected during 24 hours and 12 hours. **Jornal Brasileiro de Nefrologia**, v. 32, n. 2, p. 165-172, 2010.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p.

SILVA, I. N. et al. **Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas**: fundamentos teóricos e aspectos práticos. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2016.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 02.01
DOI: 10.61164/0b3sh879
Pages: 1–26

SILVEIRA, G. P. et al. A metodologia ROC na avaliação de um modelo fuzzy de predição do estádio patológico do tumor de próstata. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 26, n. 1, p. 3-9, 2010.

STEELE, G. S. et al. Combination of symptom score, flow rate and prostate volume for predicting bladder outflow obstruction in men with lower urinary tract symptoms. **Journal of Urology**, v. 164, n. 2, p. 344-348, ago. 2000.

SUNDARAM, D. et al. Correlation of prostate gland size and uroflowmetry in patients with lower urinary tract symptoms. **Journal of Clinical and Diagnostic Research,** v. 11, n. 5, p. AC01-AC04, maio 2017.

TAN, Y. G. et al. A systemic review and meta-analysis of transabdominal intravesical prostatic protrusion assessment in determining bladder outlet obstruction and unsuccessful trial without catheter. **European Urology Focus,** v. 8, n. 4, p. 1003-1014, 2022.

TOPAZIO, L. et al. Intravescical prostatic protrusion is a predictor of alpha blockers response: results from an observational study. **BMC Urology**, v. 18, p. 6, 2018.

VUICHOUD, C.; LOUGHLIN, K. R. Benign prostatic hyperplasia: epidemiology, economics and evaluation. **Canadian Journal of Urology**, v. 22, supl. 1, p. 1-6, 2015.

WANG, D. et al. Relationships between prostatic volume and intravesical prostatic protrusion on transabdominal ultrasound and benign prostatic obstruction in patients with lower urinary tract symptoms. **Annals of the Academy of Medicine**, Singapore, v. 44, n. 2, p. 60-65, fev. 2015.