

Using the Fuzzy Triangular Naive Bayes to Assess Users in Gynecological Examination Training

Ingrid L. A. da Silva¹, Elaine A. M. G. Soares¹, Liliane S. Machado¹,
Ronei M. Moraes¹

¹Laboratório de Tecnologias para o Ensino Virtual e Estatística (LabTEVE)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB) – 58051-900
João Pessoa, PB – Brasil

ingrid@cc.ci.ufpb.br, elaine.soares@ci.ufpb.br, liliane@di.ufpb.br,
ronei@de.ufpb.br

Abstract. *This paper aimed to analyze the application of the Fuzzy Triangular Naive Bayes method for assessment of users in a simulator for training in gynecological examination. This method is interesting for data that can be modeled by triangular statistical distribution. The method was analyzed with simulated data that represent two variables present in one of the stages of a gynecological examination. The performance of Fuzzy Triangular Naive Bayes are considered satisfactory when compared to a version that does not use fuzzy logic.*

Resumo. *Este artigo teve o objetivo de analisar a aplicação do método Fuzzy Triangular Naive Bayes para realizar a avaliação de usuários em um simulador para o treinamento de exames ginecológicos. O uso desse método é interessante quando aplicado a dados que podem ser modelados a partir da distribuição estatística triangular. O método foi analisado com dados simulados que representam duas variáveis presentes em uma das etapas de um exame ginecológico. A performance apresentada pelo Fuzzy Triangular Naive Bayes pode ser considerada satisfatória quando comparada com uma versão que não utiliza lógica fuzzy.*

1. Introdução

A realidade virtual é uma tecnologia que objetiva oferecer uma experiência interativa e imersiva através da criação de um mundo virtual, semelhante ao mundo real, que pode ser experienciado de forma multissensorial [Jerald 2015]. O usuário pode se comunicar com o ambiente virtual através de canais de entrada e receber informações desse ambiente através de canais de saída. Devido ao potencial da realidade virtual em oferecer experiências livres de riscos e com um custo baixo, essa tecnologia vem sendo utilizada no desenvolvimento de aplicações em diversas áreas, como a Saúde, a Indústria, a Educação, o Entretenimento, as Artes, entre outras [Tori et al. 2018].

O treinamento de profissionais na área da saúde é essencial e deve ser feito da forma mais efetiva possível, principalmente na realização de procedimentos sensíveis e invasivos. O treinamento prático desses profissionais costuma ser realizado em pacientes reais, no entanto esse treinamento oferece potenciais riscos de danos físicos e psicológicos para os pacientes, uma vez que os profissionais apresentam uma curva de aprendizado durante o período de treinamento [Scalese et al. 2008]. Outra desvantagem é a dificuldade

de entrar em contato com casos raros e diversos de doenças e o constrangimento e o desconforto do paciente quando o procedimento é realizado por um profissional inexperiente [Burdea et al. 1999].

Com o avanço da tecnologia foi possível realizar o treinamento de profissionais da saúde através de simuladores baseados em realidade virtual. Esse tipo de treinamento pode ser utilizado como um intermediário entre a teoria e a prática com pacientes reais, uma vez que são capazes de prover um ambiente seguro, diversificado e onde o procedimento pode ser realizado repetidamente [Machado e Moraes 2010]. Outra vantagem dos simuladores baseados em realidade virtual é que as ações do usuário podem ser monitoradas, com o objetivo de avaliar a qualidade de suas habilidades na realização do procedimento.

Simuladores de treinamento baseados em realidade virtual podem possuir sistemas de avaliação que são responsáveis por utilizar informações geradas pelo usuário durante o uso do simulador, com o objetivo de realizar uma avaliação da performance do usuário na realização do procedimento [Paloc et al. 2001]. Esses sistemas de avaliação permitem que a avaliação dos profissionais em treinamento sejam realizadas de forma padronizada e objetiva, já que os profissionais realizam o procedimento sob as mesmas condições, ou seja, nos mesmos casos de pacientes [Gal et al. 2011].

Os sistemas de avaliação podem ser considerados *online* ou *offline*. Na avaliação *offline*, os dados do usuário na realização do procedimento são coletados e armazenados para posterior avaliação e o resultado da avaliação pode demorar até dias ou semanas para ser entregue ao usuário. Na avaliação *online*, o usuário é avaliado durante a execução do procedimento e o resultado da avaliação deve ser apresentado em menos de um segundo [Moraes e Machado 2014]. A avaliação logo após o término da simulação de um procedimento é importante para que o usuário receba um *feedback* rápido, que o ajudará a identificar melhor os seus erros enquanto os detalhes da execução do procedimento realizado ainda estão em sua mente.

Os sistemas de avaliação de um simulador baseado em realidade virtual deve apresentar características de baixa complexidade para não comprometer a simulação do procedimento e de alta acurácia para não comprometer a avaliação do usuário [Machado e Moraes 2012]. Os métodos utilizados nos sistemas de avaliação podem ser baseados em diversas abordagens como modelos de lógica clássica e lógica *fuzzy*, modelos de aprendizado de máquina, medidas descritivas, entre outros [Machado e Moraes 2010]. No entanto, alguns métodos de avaliação costumam apresentar melhor resultado quando aplicado à certos tipos de dados. Quando a distribuição estatística dos dados é conhecida, pode-se utilizar um método que foi desenvolvido baseado nessa distribuição estatística e esses métodos costumam apresentar melhor performance [Ferreira et al. 2015].

O *Fuzzy Triangular Naive Bayes* é um método de avaliação que foi desenvolvido com base na distribuição estatística triangular, que foi estruturado em cima das redes bayesianas do tipo *Naive Bayes* e que é capaz de avaliar dados provenientes de eventos *fuzzy*. Esse método foi proposto em um artigo conceitual, onde ele é avaliado como uma alternativa viável para realizar a avaliação *online* em um simulador baseado em realidade virtual qualquer, assim como em outros sistemas que demandem *feedback* em tempo real [Moraes et al. 2020].

Neste artigo, o objetivo é avaliar a aplicação do método *Fuzzy Triangular Naive Bayes* para realizar a avaliação de usuários em um simulador para o treinamento de exames ginecológicos. O método foi aplicado na avaliação da performance do usuário na realização de uma das etapas do exame ginecológico, que consiste na coleta do material no colo do útero com a espátula de Ayre e a escova endocervical e o depósito desses materiais na lâmina de vidro. Nas próximas seções, serão explorados os conceitos necessários para o entendimento do problema, a metodologia utilizada para atingir os objetivos será apresentada e a performance do método será avaliada em comparação com a de outro método.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Exame Ginecológico

O exame ginecológico é um dos exames mais importantes para a saúde da mulher, pois permite identificar doenças como Herpes e HPV, além de permitir detectar o câncer do colo de útero em estágios iniciais. De acordo com o INCA (Instituto Nacional de Câncer), a estimativa para os próximos três anos no Brasil, é que o câncer de colo de útero seja o terceiro mais frequente entre as mulheres, com 16,590 novos casos a cada ano [INCA 2020]. Esse exame é realizado em várias etapas e se inicia na etapa de anamnese, que consiste de uma entrevista para identificar o histórico de saúde, o estilo de vida e as práticas sexuais da paciente. A próxima etapa corresponde ao exame físico, onde é realizado a inspeção e palpação da área do pescoço, da mama, do abdômen e das genitálias externas e internas, em busca de anomalias e lesões [Carcio e Secor 2018].

A última etapa do exame ginecológico é a coleta do material presente no colo do útero para a realização dos exames citológico, bacteriológico e de muco cervical. São coletados o material ectocervical com a utilização da espátula de Ayre na área da ectocérvice e o material endocervical com a utilização da escova endocervical na área da endocérvice. Os materiais coletados devem ser depositados em uma lâmina de vidro que contém as iniciais do nome da paciente e um número de identificação, sendo que o material ectocervical deve ser depositado na metade superior da lâmina no sentido vertical e o material endocervical na metade inferior da lâmina no sentido horizontal [Brasil 2013]. Na Figura (1) podemos observar a representação de um indivíduo segurando uma lâmina de vidro com a mão esquerda e uma escova endocervical com a mão direita. O material coletado com a espátula de Ayre já se encontra depositado na metade superior da lâmina, enquanto o indivíduo realiza o depósito do material coletado com a escova endocervical na metade inferior da lâmina.

O exame ginecológico é considerado um procedimento íntimo e invasivo, pois envolve a exposição de partes íntimas e coloca a paciente em uma posição de pouco controle. Vários fatores contribuem para o desconforto da paciente na realização do exame, alguns desses fatores são a vergonha de se despir, a preocupação com a limpeza, um contato negativo com o examinador, a utilização de instrumentos frios, o medo da dor e o medo de descobrir alguma condição patológica [Hilden et al. 2003]. Além da paciente, o profissional em treinamento também é afligido por fatores psicológicos, pois pode apresentar medo de ferir a paciente, medo de ser julgado inepto e nervosismo por não poder falar com os instrutores na frente da paciente [Leserman e Luke 1982].

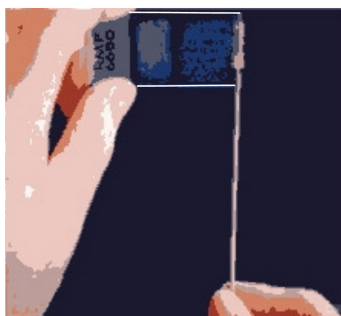


Figura 1. Depósito do material na lâmina

2.2. Simulador para Treinamento em Exame Ginecológico (SITEG 2.0)

Devido aos fatores físicos e psicológicos envolvidos, o treinamento para a realização de exame ginecológico é uma preocupação presente na área da saúde e alguns métodos já foram propostos. O SITEG é um simulador para treinamento de exames ginecológicos que não foi amplamente utilizado como um ambiente computacional por apresentar apenas um caso médico [Souza et al. 2006]. O SITEG 2.0 é um simulador que expande as funcionalidades da antiga versão ao apresentar gráficos realistas que facilitam a imersão dos usuários, apresentar novas doenças com diferentes níveis de gravidade e por possuir um sistema de avaliação mais complexo. O SITEG 2.0 é um simulador para treinamento de exame ginecológico capaz de simular a etapa de anamnese e a etapa do exame físico através da análise das genitálias externas e internas [Soares 2019]. Esse simulador contém casos diversos que simulam casos reais de pacientes saudáveis e de pacientes com Herpes, HPV e câncer de colo de útero em diferentes graus de gravidade das doenças.

O sistema de avaliação presente no SITEG 2.0 é responsável por atribuir uma performance à simulação realizada pelo usuário. O exame ginecológico realizado no simulador pode ser avaliado como um procedimento bem realizado, como um procedimento que precisa de mais treinamento ou como um procedimento que precisa de muito mais treinamento. O sistema de avaliação desse simulador é composto por diversos métodos que foram desenvolvidos com base em diferentes distribuições estatísticas, onde cada método é responsável por avaliar as variáveis que seguem a sua respectiva distribuição estatística [Soares e Moraes 2018]. Após isso, os resultados individuais dos métodos são combinados através da granularidade computacional com o objetivo de realizar a avaliação do usuário [Soares 2019]. O sistema de avaliação do SITEG 2.0 tem potencial de expansão através da inserção de novos métodos que sejam capazes de trabalhar com variáveis de diferentes distribuições estatísticas e que possam ser utilizado no contexto de um exame ginecológico.

2.3. Distribuição Triangular

A distribuição triangular é uma distribuição estatística contínua que é definida por três parâmetros: um valor mínimo, um valor máximo e um valor mais provável. Essa distribuição pode ser utilizada para modelar diversos tipos de aplicação e costuma ser utilizada em situações onde se identifica a ausência de dados detalhados [Jannat e Greenwood 2012]. No geral, a distribuição triangular para uma variável aleatória X que se encontra em $a \leq X \leq b$ pode ser escrita da forma da Equação (1) [Forbes et al. 2011].

$$P(X|a, b, c) = \begin{cases} \frac{2(X-a)}{(b-a)(c-a)}, & \text{se } a \leq X \leq c \\ \frac{2(b-X)}{(b-a)(b-c)}, & \text{se } c \leq X \leq b \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

onde $a, b, c \in \mathbb{R}$, $c \in [a, b]$ e a é um parâmetro que corresponde ao limite inferior, b é um parâmetro que corresponde ao limite superior e c é o parâmetro de forma equivalente a moda. Essa distribuição inicia no valor mínimo, aumenta linearmente até o pico na moda, e em seguida diminui linearmente até o valor máximo. Vale ressaltar que essa distribuição não é necessariamente simétrica em relação ao ponto modal c .

Na literatura científica podem ser encontradas diversas abordagens para a estimação dos parâmetros para a distribuição triangular. Nesse trabalho foi utilizado o método dos quantis [Antweiler 2019], que consiste em um método simples, rápido e robusto para realizar a estimação de parâmetros para essa distribuição. Os três parâmetros a , b e c de uma variável aleatória $X \sim T(a, c, b)$ que segue a distribuição triangular, podem ser estimados a partir de quatro quantis da distribuição empírica. Os quantis são $Q_{\frac{1}{16}}$ e $Q_{\frac{1}{4}}$ que representam o lado esquerdo da distribuição triangular e os quantis $Q_{\frac{3}{4}}$ e $Q_{\frac{15}{16}}$ que representam o lado direito da distribuição triangular. Esses quantis podem ser obtidos a partir das Equações (2), (3), (4) e (5), respectivamente.

$$Q_{\frac{1}{16}} = \hat{a} + \frac{1}{4} \sqrt{(\hat{b} - \hat{a})(\hat{c} - \hat{a})} \quad (2)$$

$$Q_{\frac{1}{4}} = \hat{a} + \frac{1}{2} \sqrt{(\hat{b} - \hat{a})(\hat{c} - \hat{a})} \quad (3)$$

$$Q_{\frac{3}{4}} = \hat{b} + \frac{1}{2} \sqrt{(\hat{b} - \hat{a})(\hat{b} - \hat{c})} \quad (4)$$

$$Q_{\frac{15}{16}} = \hat{b} + \frac{1}{4} \sqrt{(\hat{b} - \hat{a})(\hat{b} - \hat{c})} \quad (5)$$

Resolvendo o conjunto de Equações (2), (3), (4) e (5), os três parâmetros \hat{a} , \hat{b} e \hat{c} são obtidos através das Equações (6), (7) e (8).

$$\hat{a} = 2Q_{\frac{1}{16}} - Q_{\frac{1}{4}} \quad (6)$$

$$\hat{b} = 2Q_{\frac{15}{16}} - Q_{\frac{3}{4}} \quad (7)$$

$$\hat{c} = \frac{\hat{b} \left(Q_{\frac{1}{4}} - Q_{\frac{1}{16}} \right)^2 + \hat{a} \left(Q_{\frac{15}{16}} - Q_{\frac{3}{4}} \right)^2}{\left(Q_{\frac{1}{4}} - Q_{\frac{1}{16}} \right)^2 + \left(Q_{\frac{15}{16}} - Q_{\frac{3}{4}} \right)^2} \quad (8)$$

2.4. Triangular Naive Bayes (TriangNB)

A rede *Naive Bayes* é um tipo de rede Bayesiana denominada “ingênua” por assumir que as variáveis da rede são condicionalmente independentes, ou seja, que a informação de um evento não tem correlação com a de outros eventos. Essas redes são o tipo de rede Bayesiana mais direto e extensivamente testado e possui a capacidade de avaliar dados para quais ela não foi treinada [Ramoni e Sebastiani 2001].

Formalmente, seja um conjunto $\Omega = \{1, \dots, M\}$, onde M é o número total de classes de performance para a avaliação de um usuário em um simulador baseado em realidade virtual. Seja $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ um vetor de dados com informações obtidas quando um treinamento é realizado e $w_i, i \in \Omega$ a classe de performance mais provável de ser escolhida dado as informações do vetor X . A probabilidade da classe w_i acontecer dado as informações do vetor X pode ser estimado utilizando o teorema de Bayes apresentado na Equação (9).

$$P(w_i|X) = \frac{P(X|w_i)P(w_i)}{P(X)} = \frac{[P(X_1, X_2, \dots, X_n|w_i)P(w_i)]}{P(X)} \quad (9)$$

Assumindo a hipótese ingênua de que cada variável X_k é condicionalmente independente de qualquer outra variável X_l para todo $k \neq l \leq n$, podemos fazer uma simplificação no cálculo da probabilidade condicional. Então, considerando um fator de escala que depende do vetor X , a rede *Naive Bayes* passa a ser dada pela Equação (10).

$$P(w_i|X_1, X_2, \dots, X_n) = \frac{P(w_i)}{S} \prod_{k=1}^n P(X_k|w_i) \quad (10)$$

A rede Triangular *Naive Bayes* é uma instância da rede *Naive Bayes*, na qual é assumida a função densidade da distribuição triangular apresentada na Equação (1), para o cálculo da probabilidade $P(w_i|X)$ da Equação (10) [Morales et al. 2020]. Então essa equação pode ser reescrita em forma da Equação (11), onde os parâmetros a_i , c_i e b_i são estimados a partir dos dados de treinamento através do conjunto de Equações (6), (7) e (8) para cada classe de performance $w_i, i \in \Omega$.

$$P(w_i|X) = \begin{cases} P(w_i) \times \prod_{k=1}^n \left(\frac{2(X_k - a_i)}{(b_i - a_i)(c_i - a_i)} \right), & \text{se } a_i \leq X \leq c_i \\ P(w_i) \times \prod_{k=1}^n \left(\frac{2(b_i - X_k)}{(b_i - a_i)(b_i - c_i)} \right), & \text{se } c_i \leq X \leq b_i \end{cases} \quad (11)$$

A melhor estimativa para a classe de performance do vetor de dados X é obtida a partir dos valores mais altos da probabilidade $P(w_i|X)$. Então, a regra de avaliação para a rede *Naive Bayes* é dada pela Equação (12).

$$\begin{aligned} &\text{selecione a classe de performance } w_i \text{ para o vetor } X, \text{ se} \\ &P(w_i|X) \geq P(w_j|X) \quad \text{para todo } i \neq j \quad i, j \in \Omega. \end{aligned} \quad (12)$$

2.5. Fuzzy Triangular Naive Bayes (FTriangNB)

Em 1968, Zadeh propôs o conceito de probabilidade para eventos *fuzzy*, a partir da formulação de probabilidade clássica [Zadeh 1968]. Seja (\mathbb{R}^n, B, P) um espaço de probabilidade onde B é a σ -álgebra dos subconjuntos de Borel em \mathbb{R}^n e P é a medida de probabilidade sobre \mathbb{R}^n . Seja F em B um evento *fuzzy* com função de pertinência $\mu_F : \mathbb{R}^n \rightarrow [0, 1]$, então a probabilidade de um evento *fuzzy* F é definida pela integral de Lebesgue-Sieltjes presente na Equação (13).

$$P(F) = \int_{F \subseteq \mathbb{R}^n} \mu_F(x) dP = E(\mu_F) \quad (13)$$

Então, a probabilidade de um evento *fuzzy* F é a expectativa matemática de sua função de pertinência. A Equação (13) pode ser reescrita como a Equação (14), onde $f(x)$ é a função de densidade de uma variável aleatória X .

$$P(F) = \int_{F \subseteq \mathbb{R}^n} \mu_F(x) f(x) dP \quad (14)$$

Assumindo que cada $X_k, k = 1, \dots, n$ do vetor $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, é uma variável *fuzzy* com função de pertinência $\mu_i(X_k)$ e levando em consideração a probabilidade para eventos *fuzzy* definida na Equação (14), a rede *Fuzzy Triangular Naive Bayes* é dada pela equação (15) [Moraes et al. 2020].

$$P(w_i|X) = \begin{cases} P(w_i) \times \prod_{k=1}^n \left(\frac{2(X_k - a_i)}{(b_i - a_i)(c_i - a_i)} \times \mu_i(X_k) \right), & \text{se } a_i \leq X \leq c_i \\ P(w_i) \times \prod_{k=1}^n \left(\frac{2(b_i - X_k)}{(b_i - a_i)(b_i - c_i)} \times \mu_i(X_k) \right), & \text{se } c_i \leq X \leq b_i \end{cases} \quad (15)$$

Com o objetivo de reduzir a complexidade computacional do método, a função logarítmica foi aplicada a Equação (15), substituindo as multiplicações por adições como pode ser visto na Equação (17), onde g_f é a nova função que substitui a Equação (15) com o objetivo de calcular FTriangNB para cada X e para cada classe de performance w_i [Moraes et al. 2020]. Para cada classe de performance $w_i, i \in \Omega$, os parâmetros relacionados a distribuição triangular podem ser aprendidos a partir dos dados de treinamento, através das Equações (6), (7) e (8). As funções de pertinência $\mu_i(X_k)$ podem ser estimadas usando histogramas dos dados de treinamento. A melhor estimacão para a classe de performance do vetor de dados X é obtido a partir dos valores mais altos da função g_f . Então, a regra de avaliação para a FTriangNB é dada pela Equação (16) [Moraes et al. 2020].

$$X \in w_i \text{ se } g_f(w_i, X) > g_f(w_j, X), \quad (16)$$

para todo $i \neq j \in \Omega$ e as funções g_f são dadas pela Equação 17.

$$g_f(w_i, X) = \begin{cases} \log[P(w_i)] + 2 \sum_{k=1}^n \log(X_k - a_i) - \\ -n[\log(b_i - a_i) + \log(c_i - a_i)] + \\ + \sum_{k=1}^n \log[\mu_i(X_k)], & \text{se } a_i \leq X \leq c_i \\ \log[P(w_i)] + 2 \sum_{k=1}^n \log(b_i - X_k) - \\ -n[\log(b_i - a_i) + \log(b_i - c_i)] + \\ + \sum_{k=1}^n \log[\mu_i(X_k)], & \text{se } c_i \leq X \leq b_i \end{cases} \quad (17)$$

3. Simulação

O procedimento para a realização do exame ginecológico no SITEG 2.0 foi analisado e uma especialista na realização de exame ginecológico foi consultada, com o objetivo de identificar uma etapa do exame ginecológico que poderia ser simulada através da distribuição triangular.

Como apresentado na subseção 2.1, uma das últimas etapas do exame é a coleta do material presente no colo do útero utilizando a espátula de Ayre e a escova endocervical e o depósito desse material coletado na lâmina de vidro para ser enviado para uma análise posterior. As lâminas de vidro onde o material deve ser depositado possui cerca de 7,6 cm de largura. O material coletado com a espátula de Ayre deve ser depositado logo após a identificação da paciente em um espaço correspondente a 30/40% do tamanho da lâmina de vidro. Já o material coletado com a escova deve ser depositado no espaço restante. A Figura (2) representa um esboço do tamanho da lâmina de vidro e os espaços dedicados para o depósito do material. A partir das informações obtidas foi possível identificar que o local do depósito do material na lâmina poderiam ser simuladas utilizando a distribuição triangular, que é caracterizada por três parâmetros: um limite inferior, um limite superior e um valor mais provável.



Figura 2. Esboço da lâmina de vidro com os locais destinados para o depósito do material

Com o objetivo de realizar a avaliação do método FTriangNB no contexto de um simulador para treinamento de exame ginecológico, foi realizada uma simulação de Monte Carlo com o propósito de simular duas variáveis: o local do depósito do material coletado com a espátula de Ayre e o local do depósito do material coletado com a escova endocervical. Nessa simulação, foram geradas aleatoriamente amostras de dados pertencentes a três classes de performance, a classe um (C1) representa uma performance

muito boa, a classe dois (C2) representa um procedimento aceitável e a classe três (C3) representa uma performance inaceitável. Os parâmetros a , b e c da distribuição triangular utilizados para gerar as amostras de cada classe de performance de cada variável podem ser observados na Tabela (1). Esses parâmetros foram escolhidos a partir das informações presentes na Figura (2).

Tabela 1. Parâmetros utilizados na simulação das variáveis

	$C1(a; b; c)$	$C2(a; b; c)$	$C3(a; b; c)$
Local da Espátula de Ayre	(2,5; 3,5; 3,0)	(1,9; 2,9; 2,4) (3,2; 4,2; 3,7)	(1,7; 2,5; 2,1) (3,6; 4,4; 4,0)
Local da Escova Endocervical	(4,7; 7,1; 5,9)	(4,2; 6,6; 5,4) (5,2; 7,6; 6,4)	(4,0; 6,0; 5,0) (5,7; 7,7; 6,7)

Para o treinamento do método FTriangNB foi gerada uma amostra de treino com as duas variáveis apresentadas e com 200 instâncias por classe. Já para realizar a avaliação do método foi gerada uma amostra de teste com 100 instâncias por classe. Os mesmos parâmetros foram utilizados para simular as amostras de treino e de teste. O método FTriangNB foi executado com as amostras geradas e os resultados apresentados foram avaliados levando em consideração a Matriz de Confusão, o coeficiente de Acurácia Geral (AG) e o coeficiente Kappa (K).

A simulação foi executada em um computador com processador Intel i3, 2GB de RAM e com sistema operacional Ubuntu v16.04. O tempo médio apresentado pelo método foi registrado e foi realizada uma avaliação da performance do método FTriangNB quando comparado com o método TriangNB.

4. Resultados e Discussão

Os parâmetros do método FTriangNB foram estimados a partir dos dados da amostra de treinamento e os resultados foram obtidos a partir da execução do método com os dados da amostra de teste. O coeficiente de acurácia geral obtido para a execução do método foi de AG = 82,33% e o coeficiente Kappa de K = 73,50%. O método FTriangNB cometeu 53 erros nas suas avaliações e a matriz de confusão resultante dessa execução pode ser visualizada na Tabela (2).

Tabela 2. Matriz de confusão resultante do método FTriangNB

	C1	C2	C3
C1	89	11	0
C2	3	79	18
C3	1	20	79

Observando a matriz de confusão resultante podemos visualizar que apenas uma instância pertencente a classe três, que representa um procedimento inaceitável, foi avaliado como pertencente a classe um, que representa uma performance muito boa. Esse fator contribui para uma boa avaliação da performance do método FTriangNB, uma vez que o objetivo principal do sistema é treinar profissionais para a realização do procedimento

em pacientes reais e uma grande quantidade de erros desse tipo poderia ser crítico para o sistema.

Considerando as métricas avaliadas e a interpretação para o coeficiente Kappa proposta por [Landis e Koch 1977], a performance de avaliação do método nessa execução pode ser considerada substancial e demonstra a adequação do método para realizar a avaliação de usuários em um simulador baseado em realidade virtual para treinamento de exame ginecológico. Além disso, a média do tempo de execução do método ao realizar a estimação dos parâmetros e avaliação das instâncias da amostra de teste foi de 0,000844 segundos. Esse tempo médio indica que o método apresenta características de método *online*, onde o resultado da avaliação deve ser retornado em menos de um segundo.

Com o objetivo de realizar uma comparação da performance do método FTriangNB com o método TriangNB, a mesma amostra de treino e a mesma amostra de teste foram utilizadas para obter os resultados do método TriangNB. Esse método apresentou coeficiente de acurácia geral equivalente a $AG = 76,33\%$ e coeficiente Kappa $K = 64,50\%$. O método TriangNB realizou 71 avaliações erradas e sua matriz de confusão pode ser consultada na Tabela (3). O tempo médio de execução do método TriangNB foi de 0,000316 segundos.

Tabela 3. Matriz de confusão resultante do método TriangNB

	C1	C2	C3
C1	95	5	0
C2	5	58	37
C3	0	24	76

A Tabela (4) sumariza os resultados apresentados pelos dois métodos. Observando o coeficiente de Acurácia geral, o coeficiente Kappa e o número de avaliações erradas, podemos notar que o método FTriangNB apresenta performance de avaliação significativamente superior ao método TriangNB. A abordagem *fuzzy* leva em consideração as imprecisões presentes no mundo virtual ao simular o mundo real e, por isso, se adequou melhor ao problema, uma vez que a simulação baseada em realidade virtual é uma aproximação da realidade e existem casos em que os especialistas reconhecem que existem mais de uma maneira de realizar um procedimento corretamente.

Tabela 4. Resultados obtidos por cada avaliador na simulação

Avaliador	Acurácia Geral	Kappa	Avaliações Erradas	Tempo de CPU
FTriangNB	82,33%	73,50%	53	0,000844
TriangNB	76,33%	64,50%	71	0,000316

O tempo de execução do método FTriangNB não é tão bom quanto o tempo apresentado pelo método TriangNB. Esse fator pode ser explicado pelo fato de que o método FTriangNB utiliza a abordagem *fuzzy* e por isso necessita utilizar um tempo extra para realizar o cálculo das funções de pertinência. No entanto, os dois métodos apresentam características de método de avaliação *online*, apresentando o resultado da avaliação em menos de um segundo.

5. Conclusão

Neste trabalho foi proposto o uso de um novo método para realizar a avaliação da performance do usuário na realização de uma das etapas do exame ginecológico, que consiste na coleta do material no colo do útero com a espátula de Ayre e a escova endocervical e o depósito desses materiais na lâmina de vidro. O *Fuzzy Triangular Naive Bayes* é um método baseado na distribuição triangular, que foi desenvolvido com base nas redes *Naive Bayes* e que utiliza a abordagem *fuzzy* no cálculo da probabilidade. A avaliação da performance do método foi realizada com dados simulados que representam duas variáveis presentes no contexto de um exame ginecológico.

O método FTriangNB apresentou acurácia de avaliação substancial, além de apresentar características de método *online*, retornando seu resultado em menos de um segundo. O método também demonstrou acurácia de avaliação significativamente superior quando comparado com o método TriangNB. Com base nos resultados, é possível concluir que o método FTriangNB apresentou adequação para resolver o problema da avaliação da performance de usuários na etapa do exame ginecológico onde é realizado o depósito do material citológico na lâmina de vidro.

Referências

- Antweiler, W. (2019). Triangular distribution estimation. <https://wernerantweiler.ca/blog.php?item=2019-06-05>. Accessed: 2020-06-24.
- Brasil (2013). *Controle dos cânceres do colo do útero e da mama*. Cadernos da Atenção Básica, Ministério da Saúde.
- Burdea, G., Patounakis, G., Popescu, V., e Weiss, R. E. (1999). Virtual reality-based training for the diagnosis of prostate cancer. *IEEE Transactions on Biomedical engineering*, 46(10):1253–1260.
- Carcio, H. A. e Secor, R. M. (2018). *Advanced health assessment of women: Clinical skills and procedures*. Springer Publishing Company.
- Ferreira, J. A., Soares, E. A., Machado, L. S., e Moraes, R. M. (2015). Assessment of fuzzy gaussian naive bayes for classification tasks. *PATTERNS 2015*, page 73.
- Forbes, C., Evans, M., Hastings, N., e Peacock, B. (2011). *Statistical distributions*. John Wiley & Sons.
- Gal, G. B., Weiss, E. I., Gafni, N., e Ziv, A. (2011). Preliminary assessment of faculty and student perception of a haptic virtual reality simulator for training dental manual dexterity. *Journal of dental education*, 75(4):496–504.
- Hilden, M., Sidenius, K., Langhoff-Roos, J., Wijma, B., e Schei, B. (2003). Women's experiences of the gynecologic examination: factors associated with discomfort. *Acta obstetrica et gynecologica Scandinavica*, 82(11):1030–1036.
- INCA (2020). Estimativa 2020 - incidência de câncer no brasil. 1.
- Jannat, S. e Greenwood, A. G. (2012). Estimating parameters of the triangular distribution using nonstandard information. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, pages 1–2.

- Jerald, J. (2015). *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool.
- Landis, J. R. e Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, pages 159–174.
- Leserman, J. e Luke, C. (1982). An evaluation of an innovative approach to teaching the pelvic examination to medical students. *Women & Health*, 7(2):31–42.
- Machado, L. S. e Moraes, R. M. (2010). Intelligent decision making in training based on virtual reality. In *Computational intelligence in complex decision systems*, pages 85–123. Springer.
- Machado, L. S. e Moraes, R. M. (2012). Assessment systems for training based on virtual reality: A comparison study. *SBC Journal on Interactive Systems*, 3(1):9–17.
- Moraes, R. M. e Machado, L. S. (2014). Psychomotor skills assessment in medical training based on virtual reality using a weighted possibilistic approach. *Knowledge-Based Systems*, 70:97–102.
- Moraes, R. M., Silva, I. L. A., e Machado, L. S. (2020). Online skills assessment in training based on virtual reality using a novel fuzzy triangular naive bayes network. In *The 14th International FLINS Conference on Robotics and Artificial Intelligence and the 15th International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (FLINS 2020)*. No prelo.
- Paloc, C., Kitney, R., Bello, F., e Darzi, A. (2001). Virtual reality surgical training and assessment system. In *International Congress Series*, volume 1230, pages 210–217. Elsevier.
- Ramoni, M. e Sebastiani, P. (2001). Robust bayes classifiers. *Artificial Intelligence*, 125(1-2):209–226.
- Scalese, R. J., Obeso, V. T., e Issenberg, S. B. (2008). Simulation technology for skills training and competency assessment in medical education. *Journal of general internal medicine*, 23(1):46–49.
- Soares, E. A. M. G. (2019). Fusion of online assessment methods for gynecological examination training. Master's thesis, Mestrado em Modelos de Decisão e Saúde.
- Soares, E. A. M. G. e Moraes, R. M. (2018). Fusion of online assessment methods for gynecological examination training: a feasibility study. *TEMA (São Carlos)*, 19(3):423–436.
- Souza, D. F., Valdek, M. C., Moraes, R. M., e Machado, L. S. (2006). Siteg–sistema interativo de treinamento em exame ginecológico. In *VIII Symposium on Virtual Reality SVR*, volume 12.
- Tori, R., Hounsell, M. d. S., e Kirner, C. (2018). Realidade virtual. *Introdução a Realidade Virtual e Aumentada.[Internet]*. Porto Alegre: Editora SBC, pages 9–25.
- Zadeh, L. A. (1968). Probability measures of fuzzy events. *Journal of mathematical analysis and applications*, 23(2):421–427.